



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาการแก้ปัญหาฉนวนที่เปราะเปื้อนในระบบสายส่งอากาศ 69 เควี. และ 115 เควี.
ของการไฟฟ้านครหลวง

A Study to Solve the Problem of Contaminated Insulators in Aerial
Transmission Line Rated 69 kV. and 115 kV. for Metropolitan Electricity Authority

นามผู้วิจัย นายกมล พะเทพ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์วินัย พฤกษ์วัน, Dr.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์เกียรติคุณ กวีญาณ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์พันธุ์ เลาหชัย, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงศ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการแก้ปัญหาฉนวนที่เปื้อนในระบบสายส่งอากาศ 69 เควี. และ 115 เควี.
ของการไฟฟ้านครหลวง

A Study to Solve the Problem of Contaminated Insulators in Aerial Transmission Line Rated
69 kV. and 115 kV. for Metropolitan Electricity Authority

โดย

นายกมล พะเทพ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กมล พะเทพ 2553: การศึกษาการแก้ปัญหาลูกถ้วยที่เปราะเปื้อนในระบบสายส่งอากาศ 69 เควี. และ 115 เควี. ของการไฟฟ้านครหลวง ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์วินัย พลฤกษ์วัน, Dr.Ing. 210 หน้า

การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาและสาเหตุของการเกิดไฟฟ้าดับ ซึ่งเกิดจากการ วาบไฟตามผิวของลูกถ้วยที่เปราะเปื้อน ในระบบสายส่งอากาศ 69 เควี. และ 115 เควี ของการ ไฟฟ้านครหลวง จาก สภาพสิ่งแวดล้อมบริเวณ ถ.เพชรเกษม และ ถ .กาญจนาภิเษก โดยจะ ทำการศึกษา และเปรียบเทียบปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนบริเวณพื้นผิวของลูกถ้วย กับอุณหภูมิที่ เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของลูกถ้วย โดยอ้างอิง ตามการติดตั้ง และทดสอบตามมาตรฐาน ANSI C29.1-1988 (R2002), มอก. 354-2523 และมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง ตลอดจนศึกษา วิธีการ และระยะเวลาในการบำรุงรักษาลูกถ้วยที่เปราะเปื้อน

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนที่บริเวณผิวของลูกถ้วย ในสภาพ สิ่งแวดล้อมปกติ (สภาวะไม่จ่ายไฟ) ของบริเวณ ถ .เพชรเกษม จะมีค่าการเกิดสิ่งเปราะเปื้อน มากกว่า บริเวณ ถ .กาญจนาภิเษก ที่ประมาณ 1.5 เท่า, ค่าปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนที่บริเวณผิวของ ลูกถ้วยในสภาวะจ่ายไฟ 69 เควี. จะมีค่าประมาณ 2 เท่าของสภาวะไม่จ่ายไฟ, ค่าปริมาณสิ่งเปราะ เปื้อนที่บริเวณผิวของลูกถ้วยในสภาวะจ่ายไฟ 115 เควี. จะมีค่าประมาณ 3 เท่าของสภาวะไม่ จ่ายไฟ, ที่บริเวณ ถ .เพชรเกษม สายส่ง 69 เควี. จะต้องใช้ระยะเวลาในการบำรุงรักษาสายส่ง ประมาณ 6 เดือนต่อครั้ง ในขณะที่สายส่ง 115 เควี. จะต้องใช้ระยะเวลาในการบำรุงรักษาสายส่ง ประมาณ 3 - 5 เดือนต่อครั้ง โดยมีปริมาณสิ่งเปราะเปื้อน 0.0519 mg/cm^2 และที่บริเวณ ถ . กาญจนาภิเษก สายส่ง 69 เควี. จะต้องใช้ระยะเวลาในการบำรุงรักษาสายส่ง ประมาณ 8 - 12 เดือน ต่อครั้ง ในขณะที่สายส่ง 115 เควี. จะต้องใช้ระยะเวลาในการบำรุงรักษาสายส่ง ประมาณ 7 เดือน ต่อครั้ง โดยมีปริมาณสิ่งเปราะเปื้อน 0.0589 mg/cm^2

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Kamol Pathep 2010: A Study to Solve the Problem of Contaminated Insulators in Aerial Transmission Line Rated 69 kV. and 115 kV. for Metropolitan Electricity Authority. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Mr. Winai Plueksawan, Dr.Ing. 210 pages.

This research is to study problem and cause of Metropolitan Electricity Authority (MEA) power failures resulted from a flash over on surface of contaminated insulators for 69 kV. and 115 kV. transmission lines on Petchkasem and Kanjanabhisek Rd. The study is to compare between the amount of pollution and temperature occurring on the surface of insulators, and also the methods and maintenance period for the contaminated insulators. The above mentioned study is technically based on the installation and testing standards; ANSI C29.1-1988 (R2002), TIS 354-2523, and MEA Standards. In addition, the study on the appropriate method and schedule for polluted insulator maintenance is also presented.

The results show that, between the two areas in the un-energized condition, the insulator contamination rate in the Petchkasem area is 2 times higher than the Kanjanabhisek area. For the energized 69 kV. transmission line, the insulator contamination rate is 2 times higher in the un-energized condition. For the energized 115 kV. transmission line, the insulator contamination rate is 3 times higher in the un-energized condition. From the study, with the insulator contamination rate at 0.0519 mg/cm^2 in the Petchkasem area, the maintenance must be applied every 6 months on 69 kV. transmission line, and every 3-5 months on 115 kV. transmission line. With the insulator contamination rate at 0.0589 mg/cm^2 in Kanjanabhisek area, the maintenance must be applied every 8-12 months and every 7 months on 69 kV. and 115 kV. transmission line, respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ด้วยความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือ จากผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.วินัย พงศ์ชะวัน อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการเข้าร่วมทำการวิจัยช่วยเหลือในการวางแผนงาน วิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษาแนะนำและให้ข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย รวมทั้งตรวจ แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เกียรติยศ กวีญาณ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ร่วม และรองศาสตราจารย์ ดร.พันธุ์เทพ เลาหะชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ ได้กรุณาตรวจสอบความถูกต้องพร้อมทั้งให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำ งานวิจัยครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ บิดา มารดา ที่ได้อบรม และให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

กมล พะเทพ

เมษายน 2553

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	52
อุปกรณ์	52
วิธีการ	58
ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล	77
ผลการวิจัย	77
การวิเคราะห์ข้อมูล	95
สรุปและข้อเสนอแนะ	103
สรุป	103
ข้อเสนอแนะ	105
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	106
ภาคผนวก	108
ภาคผนวก ก สถิติสายส่งขัดข้องประจำปี พ.ศ. 2549 – 50 ของการไฟฟ้านครหลวง	109
ภาคผนวก ข ผลการทดลองของสายส่ง BOT695	112
ภาคผนวก ค ผลการทดลองของสายส่ง BOT791	127
ภาคผนวก ง รูปพื้นที่ผิวลูกถ้วยพอร์ซเลน 52-3	154
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งานเครื่องควบคุมหม้อแปลงทดสอบแรงดันกระแสสลับ	156

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ฉ โครงการวิจัยการจัดสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง (Tesla Transformer)	182
ภาคผนวก ช คุณภาพอากาศ	205
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	210

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การแบ่งระดับความรุนแรงของสิ่งประอะเปื้อน ตามค่า ESDD.	23
2	การแบ่งระดับของสิ่งประอะเปื้อนตามสภาพพื้นที่	24
3	การเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและขนาดของแรงที่กระทำกับอนุภาคของฝุ่นที่จะเกิดการสะสมบนผิวลูกถ้วย	27
4	ค่าตัวประกอบแก้ไขที่ใช้ในการหาค่า ความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิต่างๆ	37
5	แผนการดำเนินงาน การศึกษาการวางไฟตามผิวของลูกถ้วยที่ประอะเปื้อน	66
6	แผนการดำเนินงาน การวัดค่าอุณหภูมิ	67
7	แผนการดำเนินงาน การวัดค่าปริมาณสิ่งประอะเปื้อน	68
8	แผนการดำเนินงาน การทดสอบทางไฟฟ้าของลูกถ้วยตาม ANSI C29.1-1988 (R2002)	68
9	สรุปการวิเคราะห์ระหว่างระยะเวลา, ปริมาณสิ่งประอะเปื้อนและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบริเวณผิวลูกถ้วย 69 เควี.	84
10	สรุปการวิเคราะห์ระหว่างระยะเวลา, ปริมาณสิ่งประอะเปื้อนและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบริเวณผิวลูกถ้วย 115 เควี.	93
ตารางผนวกที่		
ฉ1	สรุปข้อกำหนดอุปกรณ์เครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง	193
ฉ2	การปรับจำนวนรอบขดลวดเหนี่ยวนำปฐมภูมิ L_1 เพื่อให้เกิดการวางไฟตามผิวลูกถ้วยชนิดต่างๆ	198

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สายส่งจ่ายแรงดัน 69 เควี. บริเวณเพชรเกษม ของการไฟฟ้านครหลวง	4
2	สายส่งจ่ายแรงดัน 115 เควี. บริเวณถนนกาญจนาภิเษก ของการไฟฟ้านครหลวง	5
3	สายส่งจ่ายแรงดัน 230 เควี. บริเวณถนนพระราม 2 ของการไฟฟ้านครหลวง	5
4	HORIZONTAL LINE POST INSULATOR 69 kV. SINGLE (STUD BASE)	7
5	HORIZONTAL LINE POST INSULATOR 69 kV. SINGLE (PLAIN BASE)	7
6	HORIZONTAL LINE POST INSULATOR 69 kV. BUNDLE (PLAIN BASE)	8
7	HORIZONTAL LINE POST INSULATOR 115 kV. SINGLE (STUD BASE)	8
8	HORIZONTAL LINE POST INSULATOR 115 kV. SINGLE (PLAIN BASE)	8
9	HORIZONTAL LINE POST INSULATOR 115 kV. BUNDLE (PLAIN BASE)	9
10	SUSPENSION INSULATOR CLASS 52-3 F/69/115 kV. SINGLE	9
11	SUSPENSION INSULATOR CLASS 52-8 F/69/115 kV. BUNDLE	10
12	SUSPENSION INSULATOR CLASS 52-3 F/69/115 kV. SINGLE (FOG TYPE)	10
13	SUSPENSION INSULATOR CLASS 52-8 F/69/115 kV. BUNDLE (FOG TYPE)	11
14	ขั้นตอนแสดงการเกิดวาทไฟตามผิวเนื่องจากสิ่งเปราะเปื้อน	26
15	การอาร์กที่แถบแห้งของลูกถ้วยที่เปราะเปื้อน	30
16	การเก็บสิ่งเปราะเปื้อนของลูกถ้วยที่เปราะเปื้อน	34
17	แฟลคเตอร์การแก้ไขอุณหภูมิของสารละลายโซเดียมคลอไรด์	35
18	กราฟแสดงความเข้มข้นการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (ที่ 20 องศา C)	36
19	ขั้นตอนของการแยกวัตถุที่ละลายน้ำได้	38
20	การวัดความเข้มข้นการสะสมของสิ่งเปราะเปื้อนที่ละลายน้ำไม่ได้	39
21	งานฉีดน้ำล้างลูกถ้วยสายส่ง 115 เควี. บริเวณ ถ.กาญจนาภิเษก ของ การไฟฟ้านครหลวง	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	การทำความสะอาดลูกถ้วยแบบแห้งโดยใช้ Com ในขณะทำงาน	42
23	การออกแบบรูปทรงระยะห่างซึ่งมีระยะรั้วป้องกัน(Protective Leakage Distance) ยาว	43
24	ครีบทึบซึ่งใช้ในงานที่ Station Posts ในระดับแรงดัน 500 kV.	45
25	การสปาร์กข้าม Corroded Glaze ของลูกถ้วยที่เคลือบความต้านทาน	46
26	รอยคราบเป็นทางของ Grease ซึ่งจะเพิ่มรอยแตกให้กับ Substrate	48
27	ลูกถ้วยแขวน(พอร์ชเลน) ที่ติดตั้งบน โครงสร้างทางผ่าน (DC-DC-1) สายส่งระบบ 69 เควี. ของการไฟฟ้านครหลวง	53
28	ลูกถ้วยแขวน(พอร์ชเลน) ที่ติดตั้งบน โครงสร้างทางผ่าน (TS-115) สายส่งระบบ 115 เควี. ของการไฟฟ้านครหลวง	53
29	กล้องถ่ายภาพความร้อนหรือกล้องอินฟราเรด	54
30	กล้องถ่ายภาพ	54
31	เครื่องวัดค่าความนำน้ำ (Conductivity Tester)	54
32	น้ำกลั่นพร้อมภาชนะ	55
33	Barometer	55
34	Tesla Transformer	55
35	Testing Transformer	56
36	Stop Watch	56
37	AC/DC Kilovolt Meter	56
38	เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมระบบปฏิบัติการ	57
39	(a) ภาพถ่ายความร้อน สายส่ง SKT695 ที่เสา Tower #4 ใกล้สถานีต้นทาง พระนครใต้	58
	(b) ภาพถ่าย Jumper Ø B สายส่ง SKT695 ที่เสา Tower #4	58
	(c) ภาพตัวอย่าง Jumper ชำรุด	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
40	(a) ภาพถ่าย สายส่ง BPT693B ที่เสา #127 ถนนบางนา - ตราด	59
	(b) ภาพถ่ายความร้อน สายส่ง BPT693B ที่เสา #127 ถนนบางนา - ตราด	59
	(c) ภาพ Non-Tension Sleeve Ø B ที่เสา #127 สายส่ง BPT693B	59
41	(a) ภาพถ่าย Disconnecting switch 69 kV # 6032BA Line BAT697 ถนนพระราม 4	59
	(b) ภาพถ่ายความร้อน Disconnecting switch 69 kV # 6032BA	59
	(c) ภาพถ่ายใบมีด SW.6032BA Ø Y	59
42	Electromagnetic Spectrum	60
43	หลักการทำงานของการวัดค่ารังสี Infrared	61
44	การหาค่า Emissivity ของลูกถ้วยพอร์ซเลนขนาดแรงดัน 69 และ 115 เควี. ยี่ห้อ AI	62
45	ลูกถ้วยพอร์ซเลนขนาดแรงดัน 69 และ 115 เควี. ยี่ห้อ AI	63
46	องค์ประกอบของค่าการแผ่รังสี Infrared	64
47	Diagram ขั้นตอนการทดลอง	69
48	การวัดค่าอุณหภูมิ	70
49	การวัดปริมาณสิ่งเปื้อน	73
50	ค่าตัวประกอบของสภาวะทั่วไปของอุณหภูมิและความชื้น (Kh)	75
51	การทดสอบตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง	76
52	Route Diagram สายส่ง BOT695	77
53	ภาพถ่ายสายส่ง BOT695	78
54	ภาพถ่ายลูกถ้วยแรงดัน 69 เควี. บริเวณตรงข้ามซอยเพชรเกษมที่ 69 – 81 ถ.เพชร เกษม(ขาเข้า) ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนและกล้องถ่ายภาพ ระยะเวลา 1-6 เดือน	78
55	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับปริมาณสิ่งเปื้อนสภาวะ ต่างๆ ของ ถ.เพชรเกษม และ ถ.กาญจนาภิเษก	80
56	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งเปื้อนสภาวะไม่จ่ายไฟของ ถ.เพชรเกษม และ ถ.กาญจนาภิเษก	80
57	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งเปื้อนสภาวะไม่จ่ายไฟกับ ปริมาณสิ่งเปื้อนสภาวะจ่ายไฟ 69 เควี.	81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะจ่ายไฟ 69 เควี.ที่ บริเวณ ถ.เพชรเกษม และ ถ.กาญจนาภิเษก	81
59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะจ่ายไฟ 69 เควี. กับอุณหภูมิผิวของลูกถ้วย	82
60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทดสอบที่ทนได้กับปริมาณสิ่งเปราะ เปื้อนสภาวะไม่จ่ายไฟ 69 เควี.	82
61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิของลูกถ้วยกับสิ่งแวดล้อม ต่อปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะจ่ายไฟ 69 เควี.	83
62 ภาพถ่ายสายส่ง BOT791	86
63 Route Diagram สายส่ง BOT791	86
64 ภาพถ่ายลูกถ้วยแรงดัน 115 เควี. บริเวณใกล้แยกครัวสมร ถ.กาญจนาภิเษก ด้วย กล้องถ่ายภาพความร้อนและกล้องถ่ายภาพ ระยะเวลา 1-7 เดือน	87
65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะ ต่างๆ ของ ถ.เพชรเกษม และ ถ.กาญจนาภิเษก	89
66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะไม่จ่ายไฟของ ถ.เพชรเกษม และ ถ.กาญจนาภิเษก	89
67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะไม่จ่ายไฟกับ ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะจ่ายไฟ 115 เควี.	90
68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะจ่ายไฟ 115 เควี.ที่ บริเวณ ถ.เพชรเกษม และ ถ.กาญจนาภิเษก	90
69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะจ่ายไฟ 115 เควี. กับอุณหภูมิผิวของลูกถ้วย	91
70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทดสอบที่ทนได้กับปริมาณสิ่งเปราะ เปื้อนสภาวะไม่จ่ายไฟ 115 เควี.	91
71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิของลูกถ้วยกับสิ่งแวดล้อม ต่อปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะจ่ายไฟ 115 เควี.	92

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ก1 สถิติสายส่งขัดข้องประจำปี พ.ศ. 2549 ของการไฟฟ้านครหลวง	110
ก2 สถิติสายส่งขัดข้องประจำปี พ.ศ. 2550 ของการไฟฟ้านครหลวง	111
ข1 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 1 ของสายส่ง BOT695 ช่วงเสา #1 - #10	113
ข2 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 2 ของสายส่ง BOT695 ช่วงเสา #2 - #11	113
ข3 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 3 ของสายส่ง BOT695 ช่วงเสา #3 - #12	114
ข4 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 4 ของสายส่ง BOT695 ช่วงเสา #4 - #13	114
ข5 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 5 ของสายส่ง BOT695 ช่วงเสา #5 - #14	115
ข6 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 6 ของสายส่ง BOT695 ช่วงเสา #6 - #15	115
ข7 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 1 – 7 ของสายส่ง BOT695 เฟส R	116
ข8 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 1 – 7 ของสายส่ง BOT695 เฟส Y	116
ข9 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 1 – 7 ของสายส่ง BOT695 เฟส B	117
ข10 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 69 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 1 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #1	117
ข11 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 69 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 2 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #2	118
ข12 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 69 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 3 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #3	118

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข13 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 69 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 4 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #4	119
ข14 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 69 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 5 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #5	119
ข15 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 69 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 6 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #6	120
ข16 ผลการทดสอบลูกถ้วย 69 เควี. เดือนที่ 1 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #1	120
ข17 ผลการทดสอบลูกถ้วย 69 เควี. เดือนที่ 2 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #2	121
ข18 ผลการทดสอบลูกถ้วย 69 เควี. เดือนที่ 3 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #3	121
ข19 ผลการทดสอบลูกถ้วย 69 เควี. เดือนที่ 4 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #4	122
ข20 ผลการทดสอบลูกถ้วย 69 เควี. เดือนที่ 5 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #5	122
ข21 ผลการทดสอบลูกถ้วย 69 เควี. เดือนที่ 6 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #6	123
ข22 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ ถ.เพชรเกษม เดือนที่ 1 ที่เสา #1	123
ข23 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ ถ.เพชรเกษม เดือนที่ 2 ที่เสา #2	124
ข24 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ ถ.เพชรเกษม เดือนที่ 3 ที่เสา #3	124
ข25 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ ถ.เพชรเกษม เดือนที่ 4 ที่เสา #4	125
ข26 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ ถ.เพชรเกษม เดือนที่ 5 ที่เสา #5	125
ข27 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ ถ.เพชรเกษม เดือนที่ 6 ที่เสา #6	126
ค1 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 1 ของสายส่ง BOT791 ช่วงเสา #1 - #10	128

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ค2 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 2 ของสายส่ง BOT791 ช่วงเสา #2 - #11	128
ค3 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 3 ของสายส่ง BOT791 ช่วงเสา #3 - #12	129
ค4 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 4 ของสายส่ง BOT791 ช่วงเสา #4 - #13	129
ค5 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 5 ของสายส่ง BOT791 ช่วงเสา #5 - #14	130
ค6 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 6 ของสายส่ง BOT791 ช่วงเสา #6 - #15	130
ค7 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 7 ของสายส่ง BOT791 ช่วงเสา #7 - #16	131
ค8 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 1 – 8 ของสายส่ง BOT791 เฟส R	131
ค9 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 1 – 8 ของสายส่ง BOT791 เฟส Y	132
ค10 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 1 – 8 ของสายส่ง BOT791 เฟส B	132
ค11 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 115 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 1 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #1	133
ค12 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 115 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 2 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #2	134
ค13 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 115 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 3 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #3	135
ค14 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 115 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 4 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #4	136

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ก15 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 115 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 5 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #5	137
ก16 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 115 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 6 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #6	138
ก17 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 115 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 7 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #7	139
ก18 ผลการทดสอบลูกถ้วย 115 เควี. เดือนที่ 1 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #1	140
ก19 ผลการทดสอบลูกถ้วย 115 เควี. เดือนที่ 2 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #2	141
ก20 ผลการทดสอบลูกถ้วย 115 เควี. เดือนที่ 3 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #3	142
ก21 ผลการทดสอบลูกถ้วย 115 เควี. เดือนที่ 4 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #4	143
ก22 ผลการทดสอบลูกถ้วย 115 เควี. เดือนที่ 5 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #5	144
ก23 ผลการทดสอบลูกถ้วย 115 เควี. เดือนที่ 6 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #6	145
ก24 ผลการทดสอบลูกถ้วย 115 เควี. เดือนที่ 7 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #7	146
ก25 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ ถ.กาญจนภิเษก เดือนที่ 1 ที่เสา #1	147
ก26 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ ถ.กาญจนภิเษก เดือนที่ 2 ที่เสา #2	148
ก27 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ ถ.กาญจนภิเษก เดือนที่ 3 ที่เสา #3	149
ก28 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ ถ.กาญจนภิเษก เดือนที่ 4 ที่เสา #4	150
ก29 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ ถ.กาญจนภิเษก เดือนที่ 5 ที่เสา #5	151
ก30 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ ถ.กาญจนภิเษก เดือนที่ 6 ที่เสา #6	152
ก31 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ ถ.กาญจนภิเษก เดือนที่ 7 ที่เสา #7	153

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง1 พื้นที่ผิวของลูกถ้วยพอร์ซเลน 52-3	155
จ1 วงจรสร้างแรงดันสูงกระแสสลับ พิกัด 150 kV, 100 kVA.	158
จ2 วงจรควบคุม.	159
จ3 วงจรส่วนที่อยู่กับชุดปรับระดับแรงดัน (VR1, Variac)	160
จ4 แผนผังภาพแบบการต่อสายของวงจรทดสอบแรงดันสูงกระแสสลับ	162
จ5 การจัดวางวงจรและการต่อสาย (รูปจริง)	163
จ6 ภาพแบบตู้ Variac	179
จ7 ภาพแบบตู้ควบคุม	180
จ8 แผงแสดงตำแหน่งปุ่มควบคุม ไฟแสดงสถานะการทำงาน และมีเตอร์ต่างๆ	181
ฉ1 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง โดย L คือ ตัวเหนี่ยวนำจำกัดกระแสต้านแรงดันต่ำ และ Q คือ แกปดับอาร์ค	184
ฉ2 เครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง	186
ฉ3 ความถี่ของกระแสจากการทดสอบลูกถ้วยหลายๆ แบบ	187
ฉ4 วงจรสร้างแรงดันสูงความถี่สูง	190
ฉ5 วงจรควบคุม	192
ฉ6 เครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง	194
ฉ7 การจัดเรียงเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูงและฐานรองรับลูกถ้วย	195
ฉ8 การต่อปลั๊กเพาเวอร์ที่ตู้ชุดควบคุม	196
ฉ9 ขั้วต่อจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ของแกปดับอาร์ค	196
ฉ10 เบรกเกอร์แบบตัดไฟรั่ว (earth leakage circuit breaker) ที่อยู่ภายในตู้ชุดควบคุม	197
ฉ11 แผงชุดควบคุม	197
ฉ12 แผงชุดควบคุม (ขยาย)	198
ฉ13 การปรับจำนวนรอบขดลวดเหนี่ยวนำปฐมภูมิ L_1 เพื่อให้เกิดการวาวไฟตามผิวลูกถ้วยชนิดต่างๆ	199
ฉ14 ตำแหน่งหลอดสัญญาณไฟต่างๆ บนชุดควบคุม	201

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
จ15 แบบอุปกรณ์เครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง	203
จ16 แบบอุปกรณ์ฐานวางลูกถ้วย	204
ช1 คุณภาพอากาศบริเวณริมถนนจากจุดตรวจวัดแบบชั่วคราวในกรุงเทพมหานคร ปี 2551	206
ช2 คุณภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณริมถนนในเขต กรุงเทพมหานครแยกตามรายสถานี ปี 2551	207
ช3 คุณภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดบริเวณพื้นที่ทั่วไปในกรุงเทพมหานครแยกตาม รายสถานี ปี 2551	208
ช4 คุณภาพอากาศในเขตปริมณฑลแยกตามรายสถานี ปี 2551	209

**การศึกษาการแก้ปัญหาฉนวนที่เปื้อนในระบบสายส่งอากาศ 69 เควี.
และ 115 เควี. ของการไฟฟ้านครหลวง**

**A Study to Solve the Problem of Contaminated Insulators in Aerial Transmission
Line Rated 69 kV. and 115 kV. for Metropolitan Electricity Authority**

คำนำ

ในอากาศทั่วไป จะมีสิ่งเปื้อนต่างๆ เช่น ละอองเกลือ ผุ่นละออง ขี้เถ้า หรือขี้เถ้าเป็นต้น โดยระดับชนิดและส่วนประกอบของสิ่งเปื้อนเหล่านี้ ในแต่ละสถานที่จะแตกต่างกัน เช่น ที่ชายฝั่งทะเล สิ่งเปื้อนส่วนใหญ่จะเป็นส่วนประกอบของคราบเกลือ ส่วนสถานที่ที่มีโรงงานติดตั้งอยู่ สิ่งเปื้อนจะอยู่ในรูปของขี้เถ้าและขี้เถ้า สิ่งเปื้อนที่ตกลงลอยอยู่ในอากาศ เมื่อลอยผ่านลูกถ้วย(ฉนวน) ก็อาจจะเกาะติดบนผิวของลูกถ้วย และสะสมมากขึ้น จนเป็นอันตรายแก่อุปกรณ์ ซึ่งจะทำให้เกิดการวาวไฟตามผิว (Flashover) ทำให้ระบบสายส่งอากาศของ การไฟฟ้านครหลวง ขาดความน่าเชื่อถือ ไม่มีประสิทธิภาพ และสร้างปัญหาให้แก้ไขได้

ปัจจุบันการไฟฟ้านครหลวง มีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบสายส่งอากาศ 69 เควี. และ 115 เควี. จำนวนมาก และมีระยะทางค่อนข้างไกล โดยพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณตัวเมือง จากสภาพสิ่งแวดล้อม จึงมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพ การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง เนื่องจากบริเวณที่การไฟฟ้านครหลวง จ่ายไฟฟ้านั้นมีสภาพมลภาวะ (สิ่งเปื้อน) ค่อนข้างสูง ปกติการไฟฟ้านครหลวงจะมีเทคโนโลยีของกล้องถ่ายภาพความร้อน ซึ่งใช้ในงานบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า โดยใช้ตรวจสอบบริเวณจุดต่อต่างๆ เพื่อหาจุดต่อที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งจุดต่อที่ไม่สมบูรณ์จะก่อให้เกิดความร้อนบริเวณจุดต่อนั้นๆ กล้องถ่ายภาพความร้อน ยังสามารถนำมาวัดค่าความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของลูกถ้วย ที่มีความสกปรกเนื่องจากสิ่งเปื้อนที่มีอยู่ในอากาศ โดยความร้อนที่ผิวของลูกถ้วย จะเกิดจากกระแสรั่วไหลที่บริเวณผิวของลูกถ้วย ที่มีสิ่งเปื้อนเคลือบอยู่ โดยนำอุณหภูมิที่เกิดขึ้นมาเปรียบเทียบกับปริมาณสิ่งเปื้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวลูกถ้วย และนำลูกถ้วยที่มีสิ่งเปื้อนมาทำการทดสอบตามมาตรฐาน ANSI C29.1-1988 (R2002) เพื่อหามาตรฐานของค่าพิกัดต่างๆ ที่ใช้สำหรับงานของการไฟฟ้านครหลวง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัญหาและสาเหตุการเกิดไฟดับ ที่เกิดจากการวางไฟตามผิวของลูกถ้วยที่เปราะเปื้อน ในระบบสายส่งอากาศของการไฟฟ้านครหลวง
2. เพื่อแก้ไขปัญหการวางไฟตามผิวของลูกถ้วยที่เปราะเปื้อน ในระบบสายส่งอากาศของการไฟฟ้านครหลวง เพื่อให้สามารถจ่ายไฟฟ้าให้แก่ลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. เพื่อช่วยให้ การไฟฟ้านครหลวง ประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อ จัดหาลูกถ้วยใหม่ แทนลูกถ้วยเก่าที่ชำรุดอันเกิดจากปัญหาสิ่งเปราะเปื้อน
4. เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำรุงรักษาลูกถ้วยในสภาพแวดล้อมต่างๆ

การตรวจเอกสาร

ในอดีตที่ผ่านมา มีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับสิ่งเปราะเปื้อนของลูกถ้วยชนิดต่างๆ จากสถานที่หลายๆ แห่ง หลายๆ ประเด็น เช่น การจับเกาะของสิ่งเปราะเปื้อนบนลูกถ้วยในเขต 3 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (นิรนาม, 2536), ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของลูกถ้วยฉนวนเปราะเปื้อน (บุญเรือง, 2541), ลักษณะสมบัติของลูกถ้วยคอตันยาวปีกสลับในระบบจำหน่าย (นรเศรษฐ, 2545) และการศึกษาการแก้ปัญหาลูกถ้วยที่เปราะเปื้อนในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าภูมิภาค (ประจักษ์, 2545) เป็นต้น แต่สาเหตุในเบื้องต้นที่ทำให้ต้องศึกษาเกี่ยวกับสิ่งเปราะเปื้อนของลูกถ้วย ก็คือ สิ่งเปราะเปื้อนมีผลกับความเป็นฉนวนของลูกถ้วยนั้นๆ โดยตรง ซึ่งมีผลกับประสิทธิภาพการจ่ายไฟของระบบไฟฟ้า

การจ่ายไฟในระบบสายส่งอากาศของการไฟฟ้านครหลวงนั้นจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพและความเชื่อถือได้ในการจ่ายไฟให้กับลูกค้าต่างๆ สิ่งหนึ่งที่มีส่วนสัมพันธ์กับประสิทธิภาพ และความเชื่อถือได้ของการจ่ายไฟ คือ อุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในระบบสายส่งอากาศ เช่น เสาไฟฟ้า , สายไฟฟ้า และ อุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในระบบสายส่งอากาศ คือ ลูกถ้วย ซึ่งทำหน้าที่จับยึดและรองรับตัวนำไฟฟ้า ดังนั้นหากลูกถ้วยซึ่งทำหน้าที่จับยึดเกิดการชำรุดจะก่อให้เกิดความสูญเสียและโอกาสในการจ่ายไฟ ปัญหาที่เกิดขึ้นกับลูกถ้วยแล้วอาจทำให้ลูกถ้วยเกิดการชำรุดในระบบสายส่งอากาศของการไฟฟ้านครหลวงคือการเกิดการวบไฟตามผิวลูกถ้วยที่เปราะเปื้อน(ภาคผนวก ก.)

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาคูณลักษณะของลูกถ้วยที่ใช้งานอยู่ในระบบสายส่งอากาศของการไฟฟ้านครหลวง จากปรากฏการณ์การวบไฟตามผิวเนื่องจากสิ่งเปราะเปื้อน วิธีการวัดสิ่งเปราะเปื้อนและแนวทางแก้ไขปัญหาลูกถ้วยเปราะเปื้อน เพื่อนำผลที่ได้ไปเป็นข้อมูลในการบำรุงรักษาลูกถ้วยในสายส่งอากาศของการไฟฟ้านครหลวง และเพื่อให้การบำรุงรักษามีความน่าเชื่อถือมากขึ้น จึงได้มีการแบ่งเป็นกรณีศึกษาออกเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 โดยศึกษาการสะสมของสิ่งเปราะเปื้อน (SDD.), อุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วยซึ่งเกิดมาจากสิ่งเปราะเปื้อนและค่ามาตรฐานทางไฟฟ้าของลูกถ้วยในขณะที่มีสิ่งเปราะเปื้อนที่บริเวณผิวของลูกถ้วยในระบบสายส่งอากาศ 69 เควี. ของการไฟฟ้านครหลวง กรณีที่ 2 โดยศึกษาการสะสมของสิ่งเปราะเปื้อน(SDD.), อุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วยซึ่งเกิดมาจากสิ่งเปราะเปื้อนและค่ามาตรฐานทางไฟฟ้าของลูกถ้วยในขณะที่มีสิ่งเปราะเปื้อน ที่บริเวณผิวของลูกถ้วยในระบบสายส่งอากาศ 115 เควี. ของการไฟฟ้านครหลวง กรณี ที่ 3 โดยศึกษาการ

สะสมของสิ่งประอะเปื้อน (SDD.) โดยทั่วไปของสิ่งแวดล้อมนั้นๆ เปรียบเทียบกับสิ่งประอะเปื้อนของระบบสายส่งอากาศ 69 เควี. และ 115 เควี. เพื่อหาค่ามาตรฐานของระยะเวลาในการบำรุงรักษาถูกถ้วยของระบบสายส่งอากาศของการไฟฟ้านครหลวง

สายส่งอากาศของการไฟฟ้านครหลวงแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

- สายส่งอากาศขนาดแรงดัน 69 เควี.
- สายส่งอากาศขนาดแรงดัน 115 เควี.
- สายส่งอากาศขนาดแรงดัน 230 เควี.

สายส่งอากาศส่วนใหญ่ของการไฟฟ้านครหลวงจะมีขนาด 69 เควี. และ 115 เควี. ส่วนสายส่งอากาศขนาด 230 เควี. จะมีเฉพาะบริเวณถนนพระราม 2 เพียงแห่งเดียว ดังนั้นศึกษาสิ่งประอะเปื้อนในเบื้องต้น จึงเน้นไปที่สายส่งอากาศขนาดแรงดัน 69 เควี. และ 115 เควี.



ภาพที่ 1 สายส่งจ่ายแรงดัน 69 เควี. บริเวณเพชรเกษม ของการไฟฟ้านครหลวง

ที่มา: การไฟฟ้านครหลวง (2552)



ภาพที่ 2 สายส่งจ่ายแรงดัน 115 เควี. บริเวณถนนกาญจนาภิเษก ของการไฟฟ้านครหลวง

ที่มา: การไฟฟ้านครหลวง (2552)



ภาพที่ 3 สายส่งจ่ายแรงดัน 230 เควี. บริเวณถนนพระราม 2 ของการไฟฟ้านครหลวง

ที่มา: การไฟฟ้านครหลวง (2552)

ลูกถ้วย

1. บทนำ

ลูกถ้วยเป็นอุปกรณ์ฉนวนที่ใช้สำหรับยึดหรือรองรับตัวนำไฟฟ้าที่มีแรงดัน หรือศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าศักย์ดิน ยึดตัวนำไฟฟ้าให้อยู่ห่างกันอย่างมั่นคงพอที่จะไม่ทำให้แกว่ง หรือเคลื่อนไหวเข้าใกล้กันจนทำให้เกิดการเบรกดาว์ และเกิดการลัดวงจรระหว่างตัวนำที่มีศักย์ไฟฟ้าต่างกัน โดยมีตัวกลางอื่นเป็นฉนวนกัน คือ อากาศ ก๊าซ หรือฉนวนเหลว ลูกถ้วยนอกจากทำหน้าที่ยึดสายไฟแรงสูง บัสบาร์ หรือสวิตช์ตัดตอนแล้ว ยังใช้เป็นภาชนะถังฉนวนห่อหุ้ม เช่น ปลอกฉนวนนำสาย คือ บุชชิ่ง เซอร์ คิตเบรคเกอร์ กับดักฟ้าผ่า หม้อแปลงกระแสและแรงดัน (CT, PT) และตัวเก็บประจุ เป็นต้น (สำรวย, 2541)

ลูกถ้วยฉนวนที่ใช้ยึดตัวนำในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง ในปัจจุบันแบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ

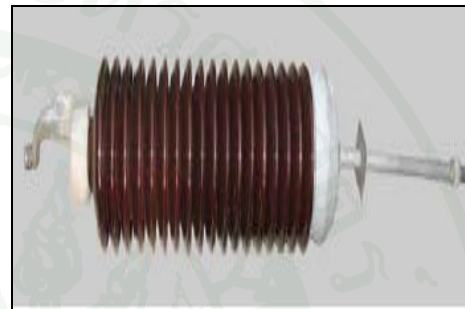
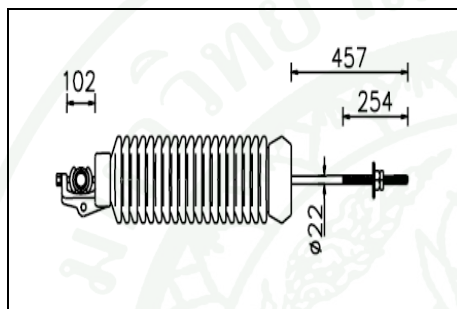
- 1) ลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน (porcelain) สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันใช้ลูกถ้วยชนิดนี้มากกว่า 80% มีประวัติการใช้งานนาน อายุการใช้งานมากกว่า 50 ปี ตรวจหาจุดบกพร่องอยาก เกิดวาวไฟง่ายที่สภาวะเปรอะเปื้อน
- 2) ลูกถ้วยแกนเหนียว (toughened glass) ในประเทศไทยมีใช้อยู่ในปัจจุบันน้อยกว่า 20% อายุการใช้งานมากกว่า 50 ปี เมื่อผิวดพร่องตรวจหาได้ง่าย เกิดวาวไฟง่ายที่สภาวะเปรอะเปื้อน
- 3) ลูกถ้วยเนื้อสารสังเคราะห์ (composite หรือ nonceramic) มีคุณสมบัติผิวไม่เปียกน้ำ (hydrophobicity) ได้แก่ silicone rubber, ethylene propylene rubber (EPR) น้ำหนักเบา ทนต่อสภาวะเปรอะเปื้อน ลูกถ้วยชนิดนี้ยังไม่นิยมใช้ในประเทศ เพราะยังไม่มั่นใจในเรื่องคุณภาพ และอายุการใช้งาน ที่มีใช้อยู่ในขั้นการศึกษาวิจัย และการทดลองใช้งาน (สำรวย, 2549)

2. ชนิดของลูกถ้วยในระบบสายส่งอากาศของการไฟฟ้านครหลวง

รูปลักษณะและขนาดของลูกถ้วยที่ใช้ในการยึดสายตัวนำไฟฟ้า ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า มีอยู่หลายรูปแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับแรงดันของระบบ หน้าที่การใช้งานและสภาวะแวดล้อมของการใช้งานภายในหรือภายนอกอาคาร ประเภทของลูกถ้วยไฟฟ้าแรงสูงแบ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย (มอก.) ซึ่งร่างตามมาตรฐาน American National Standard Institute (ANSI) ที่ปัจจุบันใช้งานในระบบส่งจ่ายของการไฟฟ้านครหลวง(ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า, 2552) มีดังนี้

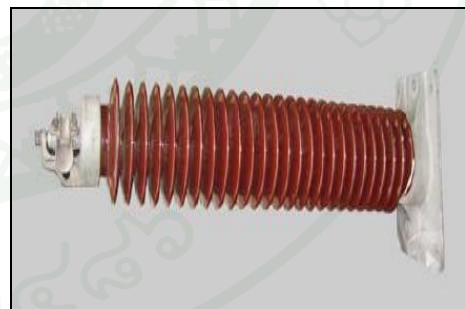
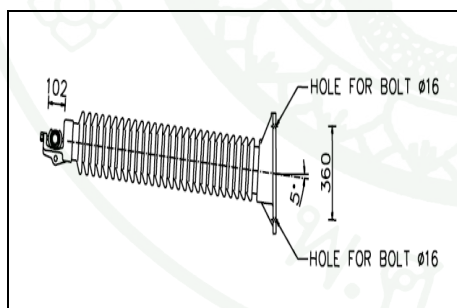
2.1 ลูกถ้วยแขวน (Line Post Insulator)

ลูกถ้วยแขวนจะมีลักษณะคอตันยาว ๕ วนยอดบนมีบาร์รับสายเดี่ยวและสายคู่ ๕ วนฐานล่างมีแท่นโลหะยึดกานตรง เนื่องจากมีคอตันยาว จึงมีข้อเด่นที่ไม่เกิดการเจาะทะลุ การไฟฟ้านครหลวงใช้งานลูกถ้วยชนิดนี้ในระบบสายส่งอากาศ 69 และ 115 เควี. โดยใช้มาตรฐานอุตสาหกรรม หมายเลขแบบเลขที่ 10A4-0393 หน้าที่ 13 - 17



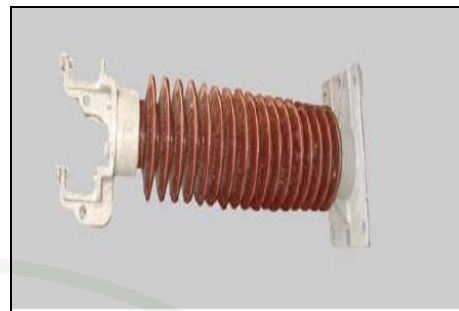
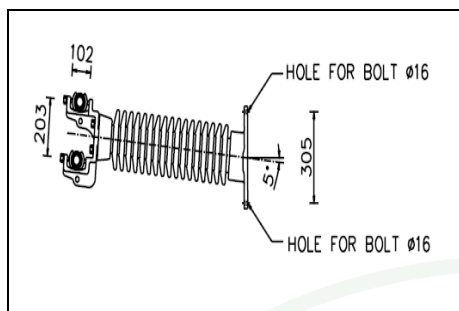
ภาพที่ 4 HORIZONTAL LINE POST INSULATOR 69 kV. SINGLE (STUD BASE)

ที่มา: ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า (2552)



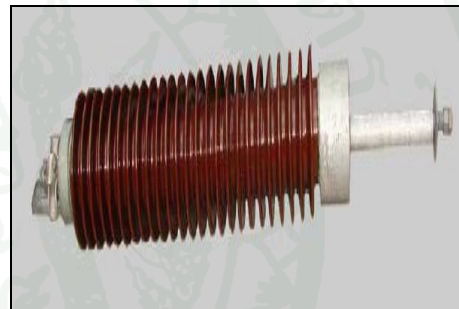
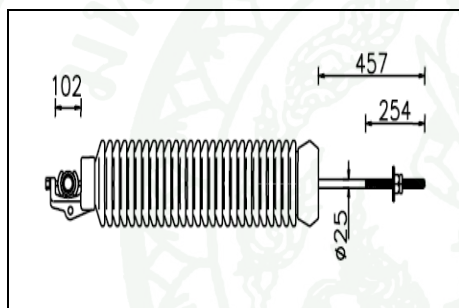
ภาพที่ 5 HORIZONTAL LINE POST INSULATOR 69 kV. SINGLE (PLAIN BASE)

ที่มา: ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า (2552)



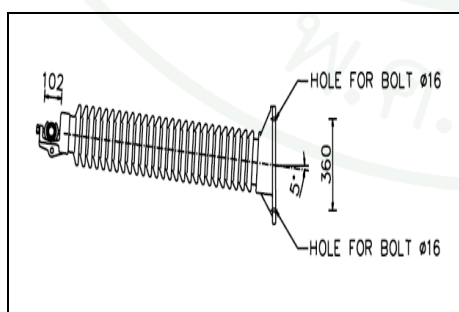
ภาพที่ 6 HORIZONTAL LINE POST INSULATOR 69 kV. BUNDLE (PLAIN BASE)

ที่มา: ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า (2552)



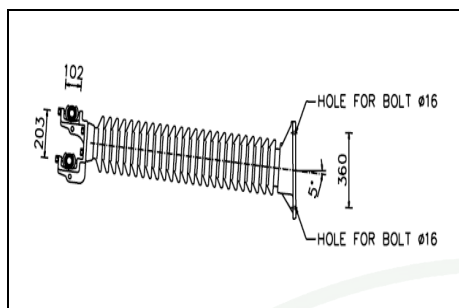
ภาพที่ 7 HORIZONTAL LINE POST INSULATOR 115 kV. SINGLE (STUD BASE)

ที่มา: ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า (2552)



ภาพที่ 8 HORIZONTAL LINE POST INSULATOR 115 kV. SINGLE (PLAIN BASE)

ที่มา: ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า (2552)

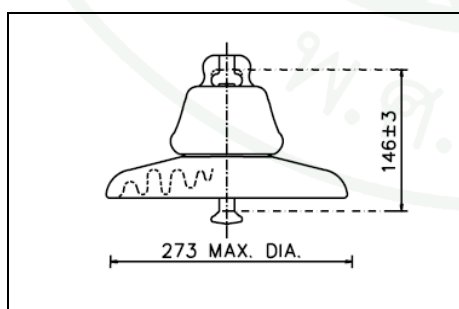


ภาพที่ 9 HORIZONTAL LINE POST INSULATOR 115 kV, BUNDLE (PLAIN BASE)

ที่มา: ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า (2552)

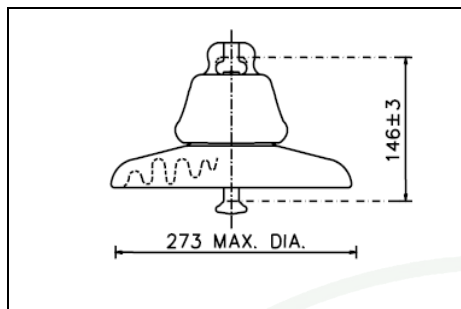
2.2 ลูกถ้วยแขวน (Suspension Insulator)

ลูกถ้วยแขวนเป็นลูกถ้วยแรงสูง สามารถห้อยแขวนต่อกันเป็นพวงได้ ส่วนบนของลูกถ้วยจะมีฝาครอบโลหะ มีรูหรือช่องที่จะใช้ห้อยเกี่ยวกับกานที่อยู่ด้านล่างของลูกถ้วยลูกบนได้ ในกรณีที่ห้อยสายไฟแรงสูงมากขึ้น จำนวนลูกถ้วยในพวงก็จะมีมากขึ้น เพื่อให้สามารถทนแรงดันได้สูงขึ้น การไฟฟ้านครหลวงใช้ลูกถ้วยแขวนในระบบสายส่งอากาศ โดยทำหน้าที่รับน้ำหนักของสายในแนวดิ่ง จะติดตั้งในลักษณะตั้งตรง (ทางผ่าน) ในระบบสายส่งอากาศ 69, 115 เควี. จะเป็น Type 52-3 แต่เมื่อแนวเดินสายเป็นทางโค้งหรือหักมุม(จุดตัดเบรก)ในระบบสายส่งอากาศ 69, 115 เควี. จะเป็น Type 52-8



ภาพที่ 10 SUSPENSION INSULATOR CLASS 52-3 F/69/115 kV. SINGLE

ที่มา: ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า (2552)

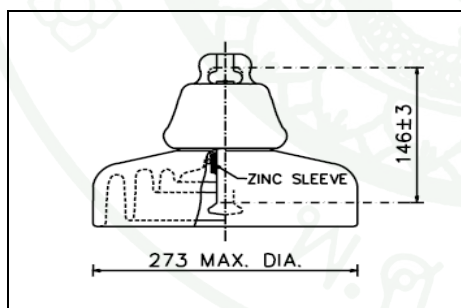


ภาพที่ 11 SUSPENSION INSULATOR CLASS 52-8 F/69/115 kV. BUNDLE

ที่มา: ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า (2552)

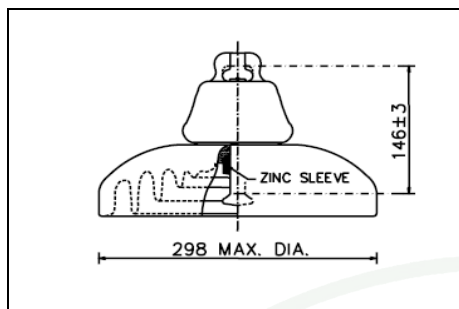
2.3 ลูกถ้วยแขวนแบบฟอก (Fog Type Suspension Insulator)

ลูกถ้วยกานตรงแบบฟอก จะมีลักษณะพื้นฐานแบบลูกถ้วยแขวน เพียงแต่เพิ่มระยะรั้ว โดยเฉพาะระยะรั้วป้องกันจะยาวกว่าลูกถ้วยแขวนธรรมดา ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้ ในย่านที่มีความเปรอะเปื้อนสูง เช่น ชายทะเล หรือ อุตสาหกรรม การไฟฟ้านครหลวงฯ งานลูกถ้วยชนิดนี้ในระบบสายส่งอากาศ 69, 115 เควี.



ภาพที่ 12 SUSPENSION INSULATOR CLASS 52-3 F/69/115 kV. SINGLE (FOG TYPE)

ที่มา: ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า (2552)



ภาพที่ 13 SUSPENSION INSULATOR CLASS 52-8 F/69/115 kV. BUNDLE (FOG TYPE)

ที่มา: ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า (2552)

3. ลักษณะสมบัติที่สำคัญของลูกถ้วย

ลูกถ้วยถือเป็นส่วนประกอบสำคัญยิ่ง ต่อเสถียรภาพ และความเชื่อถือได้ของ ระบบส่งจ่าย พลังไฟฟ้า ความบกพร่อง หรือความล้มเหลวของลูกถ้วยย่อมทำให้ การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า หยุดชะงักและเป็นผลทำให้เกิดความยุ่งยากและเสียหายต่อเศรษฐกิจ ฉะนั้นลูกถ้วยที่ดีจะต้องไม่ เป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องต่อระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า(ประจักษ์, 2545)

ลูกถ้วยในสภาวะใช้งานจะต้องทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศทุกรูปแบบ ต้องมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า แรงกล ความร้อน และปฏิกิริยาเคมี ลักษณะสมบัติที่สำคัญของลูกถ้วยที่นำมากล่าวในที่นี้ ก็คือ ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับมิติและคุณสมบัติของเนื้อฉนวน

3.1 ลักษณะสมบัติทางมิติ

ลักษณะทางมิติที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของลูกถ้วยที่ควรทราบ ความหมายมีดังนี้

1) ระยะรั้ว (Leakage Distance) คือระยะที่สั้นที่สุดที่วัดตามผิวลูกถ้วยระหว่าง อิเล็กโทรดโดยส่วนหนึ่งของระยะรั้วจะเป็นส่วนที่มีผิวแยกโดงาย เมื่ออยู่ในสภาพฝนตกซึ่ง จะช่วยให้ลูกถ้วยมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าตามผิวได้สูงขึ้น

2) ระยะรั้วป้องกัน (Protective Leakage Distance) คือระยะที่ไม่เปียกฝนซึ่งปกติจะ

หมายถึง ระยะในปีกลูกถ้วย

3) ระยะอาร์ก (Arcing Distance) คือระยะสั้นที่สุดที่วัดระหว่างอิเล็กโทรดผานอากาศหรือกล่าว อีกนัยหนึ่งก็คือ ระยะที่วัดตามแนวที่เกิดอาร์กนั่นเอง ระยะอาร์กแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

- ระยะอาร์กแห้ง (Dry Arcing Distance) หมายถึง ระยะอาร์กที่วัดในสภาวะลูกถ้วยแห้ง ซึ่งจะมีทั้งลักษณะที่วัดตามผิวและส่วนที่เป็นอากาศ
- ระยะอาร์กเปียก (Wet Arcing Distance) หมายถึง ระยะอาร์กที่วัดในลักษณะลูกถ้วยเปียก

3.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่จะใช้เป็นข้อกำหนดและเกณฑ์การพิจารณาเลือกใช้ลูกถ้วยฉนวนที่ควรทราบมีดังนี้

- 1) แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวแห้งความถี่ต่ำ (Low Frequency Dry Flashover Voltage) หมายถึง ค่าเฉลี่ยของแรงดันกระแสสลับ 50 เฮิร์ต ที่ทำให้เกิดวาบไฟตามผิวบนลูกถ้วยในสภาพแห้ง
- 2) แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวเปียกความถี่ต่ำ (Low Frequency Wet Flashover Voltage) หมายถึง ค่าเฉลี่ยของแรงดันกระแสสลับ 50 เฮิร์ต ที่ทำให้เกิดวาบไฟตามผิวบนลูกถ้วยในสภาพเปียก
- 3) แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤติ (Critical Impulse Flashover Voltage) หมายถึง ค่าวาบไฟตามผิวบนลูกถ้วย 50% เมื่อป้อนแรงดันอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μ s. แบ่งเป็นชั่วบวกและชั่วลบ
- 4) ความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ (Impulse Withstand Voltage) อาจทำได้โดยป้อนแรงดันตามที่กำหนด 15 ครั้งของแต่ละชั่ว และยอมให้เกิดวาบไฟตามผิวได้ไม่เกิน 2 ครั้ง หรืออาจหาได้จากค่าวาบไฟตามผิว 50 % คือหาความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์โดยอาศัยสถิติ คือ

$$U_{w90\%} = U_{50\%}(1-3\sigma) = 0.96U_{50\%}$$

เมื่อ σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและมีค่าเท่ากับ 0.03 เมื่อการกระจายเป็นปกติ

5) แรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุ (Radio Influence Voltage = RIV) ของลูกถ้วย หมายถึง ค่าแรงดันที่ทำให้เกิดโคโรนาบนลูกถ้วย โดยมากจะเกิดตรงที่ บริเวณผิวลูกถ้วยใกล้กับที่ พาดหรือยึดสายไฟ ซึ่งเป็นจุดที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูง แล้วส่งคลื่นรบกวนวิทยุระบบสื่อสาร ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ การแก้ปัญหาทำได้โดยเคลือบสารกึ่งตัวนำที่บริเวณรองพาดสายไฟฟ้า เพื่อลดความเครียดสนามไฟฟ้า

6) แรงดันไฟฟ้าเจาะผ่าน(Puncture Voltage) หมายถึง แรงดันที่จะทำให้เกิดการเจาะ ทะลุผ่านเนื้อลูกถ้วย โดยเฉพาะลูกถ้วยที่มีเนื้อฉนวน (ปอร์เชนหรือแก้ว) มีความหนากระหว่าง อิเล็กโทรดน้อยเมื่อเทียบกับระยะอาร์ก

4. การทดสอบ

การทดสอบผลิตภัณฑ์ลูกถ้วยเป็นสิ่งจำเป็น ทั้งนี้เพื่อให้ เกิดความมั่นใจว่าลูกถ้วยที่ผลิตขึ้น ในโรงงานนั้นมีคุณสมบัติและคุณภาพได้ตามที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งเมื่อนำไปใช้ งานแล้วจะทำให้ ฉนวนของระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ามีความเชื่อถือได้ ไม่มีข้อบกพร่อง การทดสอบอาจแบ่ง ได้ เป็น 3 ประเภท คือการทดสอบประจำ (Routine Test) การทดสอบเฉพาะแบบ (Type Test) และ การทดสอบเพื่อตรวจรับ (Acceptance Test) แต่มาตรฐานใดกำหนดให้มีการทดสอบเกี่ยวกับรูปร่าง และมิติ คุณสมบัติทางไฟฟ้า คุณสมบัติทางกล และการอบสังกะสีของส วนที่เป็นโลหะ ซึ่งมี รายละเอียดดังนี้

4.1 การทดสอบรูปร่างและมิติ

การทดสอบรูปร่างและมิติเป็นการทดสอบลักษณะทั่วไป ลูกถ้วยแต่ละชนิด แบบ มาตรฐานจะกำหนดรูปร่างลักษณะมิติไวแน่นอน พร อมกับค่าที่ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ ทั้งนี้เพราะ การเผาแล้วยอมทำให้มิติหดลงจากลูกถ้วยที่ยังดิบอยู่ และตรวจสอบสภาพเรียบรอยทั่วไปของ ผิว เคลือบฉนวน อย่างไรก็ตามทั้งมิติและสภาพเรียบรอยของผิวมักจะควบคุมด้วยคุณสมบัติทางไฟฟ้า และ ทางกลโดยอัตโนมัติ เพราะขนาดเล็กเกินไปยอมทนต่อแรงดันไฟฟ้าหรือทางกลไม่ได้

4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า

รายการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าประกอบด้วย

- 1) การทดสอบแรงดันไฟฟ้าวาวไฟตามผิวแห้งความถี่ต่ำ ทดสอบด้วยแรงดันกระแสสลับ เพื่อตรวจสอบความทนแรงดันโดยเฉลี่ยได้เท่าใด
- 2) การทดสอบแรงดันไฟฟ้าวาวไฟตามผิวเปียกความถี่ต่ำ ทดสอบด้วยแรงดันกระแสสลับ เพื่อความเมื่อฝนตกผิวถูกฉาบเปียกแล้วจะทนแรงดันโดยเฉลี่ยได้เท่าใด
- 3) การทดสอบแรงดันไฟฟ้าวาวไฟตามผิวแห้งอิมพัลส์วิกฤต ทดสอบด้วยอิมพัลส์รูปคลื่น 1.2/5 μ s. ที่ค่า 50%
- 4) การทดสอบแรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุ (Radio Influence Voltage Test) ทดสอบเกี่ยวกับแรงดันกระแสสลับ เพื่อตรวจสอบว่า ลูกถ้วยเมื่อใช้งานจะยึดหรือรองรับตัวนำ ไฟฟ้าแรงสูงนั้น จะต้องไม่สร้างคลื่นออกไปรบกวนระบบสื่อสาร
- 5) การทดสอบแรงดันไฟฟ้าเจาะผ่าน (Puncture Test) ทดสอบด้วยแรงดันกระแสสลับ ความถี่ต่ำ เพื่อตรวจสอบว่าเนื้อพอร์ซเลนจะทนต่อแรงดันได้มากน้อยเท่าใด โดยปกติการออกแบบจะให้เกิดวาวไฟตามผิวง่ายกว่าการเจาะผ่าน เพราะเมื่อเกิดเจาะผ่านเนื้อลูกถ้วยแล้วลูกถ้วยนั้นก็จะใช้งานต่อไปไม่ได้อีก ฉะนั้นเวลาทำการทดสอบแรงดันไฟฟ้าเจาะผ่าน จึงต้องเอาลูกถ้วยจุ่มในน้ำมันฉนวน เช่น น้ำมันหม้อแปลง

4.3 การทดสอบทางกล

ในการใช้งานของลูกถ้วย นอกจากจะต้องมียุทธศาสตร์ที่ทนต่อความเครียดทางไฟฟ้าแล้ว ลูกถ้วยยังได้รับความเครียดทางกล อันเนื่องมาจากน้ำหนักและแรงดึงแรงกระแทกต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) การทดสอบความแข็งแรงรวมทางกลและทางไฟฟ้า ในทางปฏิบัติลูกถ้วยใช้งานตามสภาพจริงนั้นจะได้รับความเครียดสนามไฟฟ้าจากแรงดันของตัวนำ และได้รับแรงทางกลด้วย ฉะนั้นจึงต้องทำการทดสอบโดยการป้อนแรงดันตามที่มาตรฐานกำหนดแล้ว จึงป้อนแรงดึงให้กับลูกถ้วย ซึ่งลูกถ้วยจะใดทนมากกว่า เมื่อทดสอบแต่เพียงทางไฟฟ้าหรือทางกล
- 2) การทดสอบความแข็งแรงต่อการกระทบทางกล (Impact Test) ในการขนส่ง การติดตั้ง ลูกถ้วยมีโอกาสจะได้รับแรงกระแทกหรือแรงกระทบ ซึ่งลูกถ้วยจะต้องทนต่อแรงกล

แยกเหล่านี้ออก ทดสอบโดยการไขด้ามมีน้ำหนัก มีแขนยึดหมุนรอบจุดหมุน ยกน้ำหนักให้ สูงระดับหนึ่งเพื่อให้ได้แรง เมื่อตกกระทบลูกถ้วยใดตามที่มาตรฐานกำหนด หลังจากรับแรงกระทบแล้วต้องนำไปทดสอบวาวไฟตามผิวชั่วคราวอีกครั้งหนึ่งว่าเกิดรอยร้าวหรือแตกภายในหรือไม่

3) การทดสอบความทนแรงดึง ลูกถ้วยแขวนในสภาพการใช้งานจะได้รับแรงดึงจากน้ำหนักตัวนำสายไฟจากลูกถ้วยแขวนลูกที่อยู่ด้านล่างๆ จากแรงลม และอื่นๆ จึงต้องทดสอบความทนต่อแรงดึงด้วย โดยการดึงฝากรอบด้านหนึ่งและที่ก้านต่ออีกด้านหนึ่งในแนวแกนเดียวกัน

4) โหลดเวลา การทดสอบโหลดเวลาเป็นการทดสอบความมั่นคงของเนื้อพอร์ซเลนและการเกาะแน่นของสวนที่เป็นโลหะกับซีเมนต์ จึงดึงลูกถ้วยในแนวแกนด้วยแรงดึงและเวลานานเท่าที่กำหนด เพราะเวลาใช้งานจริงๆ จะได้ รับแรงดึงอยู่ตลอดเวลา หลังการดึงแล้วนำไปทดสอบความมั่นคงทางไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่งเพื่อความีรอยร้าวภายในหรือไม่ ลูกถ้วยดีจะไม่เกิดชำรุดเสียหายหรือรอยร้าวใดๆ

5) ความแข็งแรงสวนที่เหลือ มีโอกาสเป็นไปได้ที่พวงลูกถ้วยจะได้รับแรงกระแทกจนแตกหลุดออกไปหมด คงเหลือแต่เนื้อพอร์ซเลนภายในฝากรอบโลหะกับก้านต่อ สวนที่เหลือนี้จะต้องรับแรงกลของสายตัวนำต่อไปได้ การทดสอบทำโดยเคาะให้ปีกลูกถ้วยหลุดออกให้หมดก่อนแล้วจึงนำไปทดสอบ

6) การทดสอบความพรุน (Porosity Test) ลูกถ้วยจะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีนั้นจะต้องไม่มีความพรุนเลย ทั้งนี้เพื่อให้ ดูดซึมความชื้น ทดสอบโดยการไข เนื้อพอร์ซเลนที่ได้จากการทุบให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล ่วใส่ลงไปในถังน้ำยาสารละลายของเบสิกฟลูกซินดาอ์ อัตราความดันประมาณ 2.76 กิโลนิวตันต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หรืออัตราความดัน ประมาณ 6.8 กิโลนิวตันต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เนื้อพอร์ซเลน ที่ดีจะไม่ดูดซึมสีนี้ เขาช่างในเนื้อพอร์ซเลน

7) การทดสอบการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลัน (Thermal Shock Test) การทดสอบการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันเป็นการตรวจสอบความสม่ำเสมอของเนื้อพอร์ซเลน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากเย็นไปร้อน และจากร้อนไปเย็นโดยทันที หากเนื้อไม่ สม่ำเสมอก็จะทำให้เกิดรอยร้าวภายในได้ ฉะนั้นหลังการทดสอบแล้วยังต้องนำไปทดสอบวาวไฟตามผิวชั่วคราวอีกครั้งหนึ่งว่ายังคงมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีอยู่ การทดสอบจะจุ่มน้ำเย็นประมาณ 2 องศาเซลเซียส จุ่มนาน 10 นาที แล้วนำไปจุ่มน้ำร้อน ประมาณ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ทำซ้ำเดิมจนครบ 10 วัฏจักร (ประจักษ์, 2545)

ฝุ่นละออง

1. บทนำ

ฝุ่นละอองในบรรยากาศ เป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญที่สุดของกรุงเทพมหานคร และเมืองใหญ่ของแต่ละประเทศ โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็ก หรือฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) หากพบค่าเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศ จะส่งผลกระทบต่อทางเดินหายใจของประชาชน โดยเฉพาะผู้ที่อยู่ในกลุ่มเสี่ยง ได้แก่ เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีโรคประจำตัวเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจอยู่แล้ว จะเป็นผู้ที่ได้รับผลกระทบได้ง่าย

กิจกรรมการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้านอากาศ เป็นปัจจัยที่สำคัญในการวางแผน การจัดการคุณภาพอากาศที่มีประสิทธิภาพ โดยข้อมูลคุณภาพที่ได้ สามารถนำไปกำหนดมาตรการในการแก้ไขปัญหาการป้องกัน และลดผลกระทบที่เกิดจากปัญหามลพิษทางอากาศต่อไป

ดังนั้นการเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ ให้แก่เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานทั้งภาครัฐ เอกชน และผู้ที่สนใจทั่วไปจะเป็นการส่งเสริมให้มีกิจกรรมการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้านอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเฝ้าระวัง และติดตามตรวจสอบสถานการณ์คุณภาพอากาศของประเทศ มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จากปัญหามลพิษจะมีผลกับจำนวนลูกถ้วยในงานสายส่งอากาศ ของการไฟฟ้านครหลวงเช่นกัน โดยฝุ่นละอองจะทำให้ค่าความเป็นฉนวนและค่าต่างๆ ทางไฟฟ้าของลูกถ้วยมีค่าลดลง

2. ความรู้พื้นฐาน

ฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นอนุภาคมีทั้งเป็นของแข็งและของเหลวซึ่งแพร่กระจายอยู่ในอากาศ โดยทั่วไปจะมีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 0.0002 ไมครอน (ขนาดใกล้เคียงกับโมเลกุลของสาร) จนถึงขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดใหญ่สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ 2-3 นาที จะตกลงสู่พื้นด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงลม ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมักเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) เนื่องจากมีความเร็วในการตกลงพื้นต่ำ หาก

มีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น กา รไหลเวียนของอากาศ และกระแสลม เป็นต้น จะทำให้แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมากขึ้น

แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 ประเภท

- 1) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่ ดิน ทราย หิน ละอองไอน้ำ เขม่าควันจากไฟฟ้า และละอองเกลือจากน้ำทะเล
- 2) ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์สร้างขึ้น ได้แก่
 - ฝุ่นจากการคมนาคมขนส่งและการจราจร เช่น ฝุ่นทราย ที่ฟุ้งกระจายขณะรถวิ่ง และเขม่าควันจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล เป็นต้น
 - ฝุ่นจากการก่อสร้าง เช่น ก่อสร้างอาคาร ถนน และการรื้อถอน เป็นต้น
 - ฝุ่นจากการประกอบการอุตสาหกรรม เช่น การทำปูนซีเมนต์ การโม่บดหรือย่อยหิน และอื่นๆ เป็นต้น

2.1 ผลกระทบของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

1. ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

หากมีการหายใจเอาฝุ่นละอองที่ปะปนในอากาศเข้าไปในระบบทางเดินหายใจ ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 15 ไมครอน จะถูกคัดจับที่ระบบทางเดินหายใจส่วน ต้น ในส่วนของจมูกและลำคอ ซึ่งถูกขับออกมาพร้อมเสมหะ ส่วนฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ เพราะสามารถแทรกตัวลึกเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจส่วนล่างเข้าไปในเนื้อเยื่อปอด และนำสารอันตรายเข้าสู่ร่างกาย โดยกลุ่มเสี่ยงจะได้รับผลกระทบได้ง่าย ได้แก่ เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีโรคประจำตัวเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจอยู่แล้ว เช่น ผู้ป่วยโรคปอด ไข้หวัดใหญ่ และโรคหืด เป็นต้น

2. ผลกระทบต่อทัศนวิสัย

ฝุ่นละอองจะลดความสามารถในการมองเห็น เนื่องจากฝุ่นละอองในอากาศที่เป็นทั้งของแข็งและของเหลวสามารถดูดซับ และหักเหแสงได้ ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด ความหนาแน่น และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองนั้น

3. ผลกระทบต่อวัตถุ และสิ่งก่อสร้าง

เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศมีคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีที่ต่างกัน สามารถส่งผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง การเสื่อมคุณภาพของผลงาน และความสกปรกและเทอะของวัตถุ เป็นต้น

2.2 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยทั่วไปของประเทศไทย

การตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ ตามมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ โดยทั่วไปสำหรับประเทศไทย จำเป็นต้องทำความเข้าใจในค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยทั่วไป ณ ช่วงเวลาหนึ่งเวลาใด และวิธีการตรวจวัด เพื่อป้องกันการผิดพลาดในการตรวจวัด และวิเคราะห์ผลการตรวจวัดได้

1) ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยทั่วไป

- ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองรวมหรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (Total Suspended Particulate; TSP) ในเวลา 24 ชั่วโมง จะต้องไม่เกิน 0.33 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในเวลา 1 ปี จะต้องไม่เกิน 0.10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (Particulate Matter with an aerodynamic diameter less than or equal to a nominal 10 micrometer; PM_{10}) ในเวลา 24 ชั่วโมง จะต้องไม่เกิน 0.12 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในเวลา 1 ปี จะต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2) วิธีการตรวจวัด

การวัดค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองรวมหรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเวลา 1 ชั่วโมง หรือในเวลา 1 ปี ให้ใช้วิธีการตรวจวัดตามระบบกราวิเมตริก (Gravimetric) หรือระบบอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ เช่น ระบบเบต้าเรย์ (Beta Ray) ระบบเทปเปอ อิลิเมนต์ ออสซิลเลตติ้ง ไมโครบาลานซ์ (Tapered Element Oscillating Microbalance) และระบบไดโคโทมัส (Dichotomous) เป็นต้นในการวัดค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองในบรรยากาศนั้น ในตรวจวัดในบรรยากาศทั่วไป โดยจะต้องสูงจากพื้นดินอย่างน้อย 1.50 เมตร แต่ไม่เกิน 6 เมตร

2.3 หลักการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ ระบบกราวิเมตริก (Gravimetric) ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดไฮโวลุ่ม (High Volume Air Sampler)

ระบบกราวิเมตริก (Gravimetric) หมายความว่า การวัดค่าฝุ่นละอองโดยดูดอากาศผ่านแผ่นกรอง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละอองขนาด 0.3 ไมครอน (Micron) ได้ร้อยละ 99 แล้วหาน้ำหนักฝุ่นละอองจากแผ่นกรองนั้น

หลักการตรวจวัดฝุ่นละอองรวมหรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (TSP)

- เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดไฮโวลุ่ม ดูดอากาศจำนวนหนึ่งที่วัดปริมาตรแน่นอนเข้าสู่ช่องทางเข้าอากาศ และผ่านกระดาดกรอง ตลอดช่วงการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง โดยกระดาดที่ใช้จะต้องมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละอองขนาด 0.3 ไมครอน ได้อย่างน้อยร้อยละ 99
- ชั่งน้ำหนักกระดาดกรอง (หลังจากอบกระดาดกรองเพื่อไล่ความชื้นแล้ว) ทั้งก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง เพื่อหาน้ำหนักสุทธิ (มวล) ของฝุ่นละออง โดยปริมาตรทั้งหมดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างต้องปรับแก้ค่าตามสภาวะมาตรฐานที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความกดของอากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท

หลักการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10})

- เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดไฮโวลุ่ม ดูดอากาศในบรรยากาศด้วยอัตราการไหลคงที่เข้าสู่ช่องทางเข้าอากาศที่ได้รับการออกแบบพิเศษเพื่อให้สามารถคัดขนาดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศออกมา และถูกรวบรวมไว้บนกระดาดกรอง ตลอดช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง (24 ชั่วโมง)
- ชั่งน้ำหนักกระดาดกรอง (หลังจากอบกระดาดกรองเพื่อไล่ความชื้นแล้ว) ทั้งก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง เพื่อหาน้ำหนักสุทธิ (มวล) ของ PM_{10} ที่เก็บรวบรวมได้ โดยปริมาตรอากาศทั้งหมดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างต้องปรับแก้ค่าตามสภาวะมาตรฐานที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความกดของอากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท (ดัดแปลงจาก กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

สิ่งเปื้อน

1. ประเภทของสิ่งเปื้อน

สิ่งเปื้อนในแต่ละท้องถิ่นอาจจะไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของสิ่งเปื้อนว่าอยู่ในบริเวณใด ดังนั้น จึงสามารถแบ่งประเภทของสิ่งเปื้อนตามแหล่งกำเนิดของสิ่งเปื้อนได้ 4 ชนิดหลักๆ (นิรนาม, 2536) ดังนี้

1.1 สิ่งเปื้อนบริเวณชายทะเล

สิ่งเปื้อนบริเวณชายทะเล (Marine Contamination) ได้แก่ สิ่งเปื้อน ที่มีส่วนผสมของเกลือทะเล (NaCl) ซึ่งแบ่งได้ตามลักษณะการสะสมบนผิวลูกถ้วยได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) สิ่งเปื้อนบริเวณชายทะเลชนิดสะสมแบบธรรมดา

สิ่งเปื้อนบริเวณชายทะเลชนิดสะสม แบบธรรมดา (Ordinary Salt Contamination) เกิดจากการสะสมสิ่งเปื้อนที่ไหลมาตามน้ำในบริเวณที่มีลมพัดพัดตามฤดูกาล ตามชายฝั่งทะเล

2) สิ่งเปื้อนบริเวณชายทะเลชนิดสะสมแบบรวดเร็ว

สิ่งเปื้อนบริเวณชายทะเลชนิดสะสม แบบรวดเร็ว (Rapid Salt Contamination) เกิดจากการสะสมของสิ่งเปื้อนตามชายฝั่งทะเลที่มีลมแรง ในสภาพนี้ลูกถ้วยจะสกปรกมากและรวดเร็ว ปรากฏการณ์การเกิดวาปไฟตามผิวจะเกิดมากขึ้นทันที ในบริเวณที่มีหมอกหรือฝนตกบ่อยๆ หรือ มีน้ำค้าง เป็นต้น ความเร็วลมที่ทำให้สิ่งเปื้อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วนี้ ปกติมีค่าประมาณ 5-10 เมตร/วินาที และยิ่งขึ้นกับสภาพภูมิประเทศด้วย สภาพลมแรงอาจเป็นพายุคลื่น ใต้ฝุ่น หรือลมมรสุมต่างๆ ก็ได้ ตามปกติแล้วระดับของสิ่งเปื้อนจะลดลงไปเมื่อลึกลงไปจากชายฝั่งทะเล อย่างไรก็ตาม อิทธิพลของสิ่งเปื้อนแถบชายทะเลนี้เคยพบทางไกลออกไปเป็น 100 กม. จากชายฝั่ง

1.2 สิ่งเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรม

สิ่งเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Contamination) เกิดจากการพัฒนาของอุตสาหกรรม เมื่อมีแหล่งอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น ก็ทำให้มีแหล่งกำเนิดสิ่งเปื้อนมากขึ้นด้วย สิ่งเปื้อนประเภทนี้ จะมีผลตกค้างในระบบสงและจำหน่าย ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน ซึ่งบางครั้งเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโรงงานเหล่านั้นเอง แต่โดยปกติโรงงานอุตสาหกรรมจะตั้งอยู่ในบริเวณที่จำกัด และตัวโรงงานก็มักติดตั้ง เครื่องกรองควัน และฝุ่น ทำให้ลดความรุนแรงได้ นอกจากนี้แล้ว ระดับของสิ่งเปื้อนชนิดนี้จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อห่างไกลจากโรงงานมากขึ้น ระดับของสิ่งเปื้อนชนิดนี้จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อห่างจากแหล่งกำเนิดสิ่งเปื้อนมากขึ้น

สิ่งเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายชนิด ขึ้นกับประเภทของอุตสาหกรรมนั้นๆ (เช่น อุตสาหกรรมถลุงแร่ เคมี ปโตรเคมี หรือโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ เป็นต้น) สิ่งเปื้อนบางชนิด ลางออกได้ง่ายเหมือนสิ่งเปื้อนจากทะเล แต่สิ่งเปื้อนบางชนิดติดผิวลูกถ้วยได้อย่างแน่นหนา เช่น ฝุ่นจากซีเมนต์ โรงงานอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ชายฝั่งทะเล จะทำให้เกิดสิ่งเปื้อนแบบผสมในบริเวณนั้นได้

1.3 สิ่งเปื้อนจากฝุ่น

สิ่งเปื้อนจากฝุ่น (Dust Contamination) สิ่งเปื้อนที่เกิดการสะสมบนผิวลูกถ้วย จำพวกเศษดินละเอียดเป ฝุ่น และถูกพัดมาโดยลม สารละลายเกลือของฝุ่นชนิดนี้ ส่วนใหญ่ ประกอบด้วยแคลเซียมซัลเฟต (Calcium Sulphate) และโซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride) องค์ประกอบของสารละลายเหล่านี้ เปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งที่ตั้ง ในบางครั้งสารละลายของเกลืออนามีแคลเซียมซัลเฟต เป็นส่วนประกอบประมาณ 30-70 % ส่วนสารละลายชนิดเกลือโซเดียมคลอไรด์เกิดขึ้นโดยทั่วไปในพื้นที่ต่างๆ นอกจากนี้ อาจเกิดขึ้นจากการฉีดพ่นปุ๋ยให้กับต้นไม้ พืช ผัก หรือการเผาไหม้ของกากธัญพืชต่างๆ เมื่อมีลมพัดก็จะนำเอาสิ่งเหล่านั้น แพร่กระจายออกไป

1.4 สิ่งเปื้อนจากทะเลทราย

สิ่งเปื้อนจากทะเลทราย (Desert Contamination) สิ่งเปื้อนจากทะเลทราย จะสะสมบนผิวลูกถ้วยได้จำนวนมาก เพราะหา การชะล้างด้วยฝนไม่เพียงพอ สิ่งเปื้อนส่วนใหญ่ จะเป็น เชนดินหรือเศษทราย ในกรณีที่ทะเล ทรายอยู่ใกล้ชายฝั่งสิ่งเปื้อนเหล่านั้น จะมีเกลือรวมอยู่ในเศษดินทรายนั้น

2. คุณลักษณะของระดับสิ่งเปื้อน

ในพื้นที่การติดตั้ง ถึงแม้ว่าจะมีสิ่งเปื้อนหลายชนิด แต่ผลกระทบที่มีต่อสมรรถนะของลูกถ้วย จะสามารถประเมินได้ 2 แฟกเตอร์ คือ ความนำไฟฟ้าซึ่งเป็นส่วนที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขการเปียกน้ำ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสิ่งเปื้อนที่ละลายในน้ำ และความสามารถที่จะเก็บความชื้นไว้ และขนาดของกระแสรั่ว ก็จะเป็นสัดส่วนกับความนำไฟฟ้า ดังนั้น สมรรถนะของลูกถ้วยที่เปื้อน สามารถที่จะถูกคาดการณ์ว่าจะเสื่อมลง จากความนำไฟฟ้าที่ผิวของลูกถ้วย ที่เพิ่มขึ้น และช่วงเวลาของปฏิกิริยาดิซชาร์จ จะขึ้นอยู่กับจำนวนของความชื้นที่จะเกิดขึ้น

สิ่งเปื้อนจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สิ่งเปื้อนชนิดละลายน้ำได้ และละลายน้ำไม่ได้ สิ่งเปื้อนชนิดที่ละลายน้ำได้จะมีผลมากกับสมรรถนะของลูกถ้วย พารามิเตอร์นี้เรียกว่า ความเข้มข้นการสะสมเทียบเท่าเกลือ (Equivalent Salt Deposit Density, ESDD) ซึ่งได้มีการใช้สำหรับการพิจารณาคุณลักษณะระดับของสิ่งเปื้อน ค่า ESDD จะถูก จำกัดความจากจำนวนของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ได้จากผลของการวัดความนำไฟฟ้า โดยนำเอาสิ่งเปื้อนบนผิวลูกถ้วยที่เกิดขึ้นจริงๆ ออก ตามปริมาณของน้ำบริสุทธิ์ที่ถูกเบง โดยพื้นผิวของผิวที่ถูกล้าง ดังนั้น ESDD จะทำให้เรารู้ถึงวิธีการโดยทั่วไปในการแสดงคุณลักษณะ ระดับความรุนแรงของสิ่งเปื้อนโดยไม่คำนึงถึงชนิดของสิ่งเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นบนผิวลูกถ้วย วิธีสำหรับการวัดค่า ESDD เป็นไปตามมาตรฐาน IEC ANSI และมาตรฐานอื่นๆ

ค่า ESDD มีหน่วยเป็น mg/cm^2 ตารางที่ 1 แสดงค่าของ ESDD ซึ่งแบ่งตามระดับความรุนแรงของสิ่งเปื้อนตามค่า ESDD ซึ่งข้อมูลนี้ได้จากการวัดและหาค่าที่สถานที่ติดตั้ง (Gorur และคณะ, 1986) และ ตารางที่ 2 แสดงการเบงระดับของสิ่งเปื้อนตามสภาพพื้นที่ (IEC 815, 1986)

ตารางที่ 1 การแบ่งระดับความรุนแรงของสิ่งเปื้อนตามค่า ESDD

ค่า ESDD mg/cm ²	ระดับความรุนแรงของสิ่งเปื้อน
0 – 0.03	สะอาด หรือ น้อยมาก
0.03 – 0.06	เล็กน้อย
0.06 – 0.1	ปานกลาง
> 0.1	รุนแรง

สิ่งเปื้อนชนิดที่ไม่ละลาย เรียกว่า ค่าความเข้มข้นของการสะสมสารละลาย ที่ไม่ละลายน้ำ (NSDD) จะมีผลกระทบไม่รุนแรงกับสมรรถนะของลูกถ้วยภายใต้เงื่อนไข ใช้งานในสถานะมีสิ่งเปื้อน เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งเปื้อนชนิดละลายน้ำ NSDD แสดงค่าในหน่วยของ mg/cm² ปกติแล้วพื้นที่การติดตั้งที่อยู่นอกอาคาร สมรรถนะของลูกถ้วยที่เกิดจากสิ่งเปื้อนชนิดไม่ละลายน้ำจะไม่พิจารณาเพราะมีผลน้อยมาก อย่างไรก็ตามในบางพื้นที่เช่นพื้นที่ที่มีลูกถ้วยติดตั้งอยู่ใกล้กับโรงงานอุตสาหกรรม มีขบวนการทางเคมี (เช่น ถลุงแร่ น้ำมัน กระจาย เป็นต้น) จะมีการสะสมของสิ่งเปื้อนชนิดไม่ละลายน้ำอย่างรุนแรง จะทำให้แรงดันวาทไฟตามผิวของลูกถ้วยที่ใช้งานในบริเวณนี้ มีค่าลดลงประมาณ 25 % เมื่อเปรียบเทียบกับลูกถ้วยที่ติดตั้งในพื้นที่สะอาด ในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานที่จะพิจารณาเกี่ยวกับ NSDD การพิจารณาที่จะกระทำโดยการกรองสิ่งเปื้อนชนิดที่ไม่ละลายน้ำด้วยกระดาษกรอง แล้วปล่อยให้แห้ง แล้วชั่งน้ำหนัก ค่าของ NSDD จะแสดงในหน่วยของ mg/cm² ของพื้นที่ผิวของลูกถ้วยที่ล้างออกมา

ตารางที่ 2 การแบ่งระดับของสิ่งเปราะเปื้อนตามสภาพพื้นที่

ระดับของสิ่งเปราะเปื้อน	ตัวอย่าง
เล็กน้อย (Light)	- บริเวณที่ปราศจากการประกอบอุตสาหกรรม และชุมชนที่มีอัตราการใช้เครื่องทำความร้อนปริมาณน้อย - บริเวณที่มีความหนาแน่นในการประกอบอุตสาหกรรมหรือที่อยู่อาศัยน้อยโดยที่จะต้องเป็นบริเวณที่มีลมพัดผ่าน หรือมีฝนตกบ่อย - บริเวณเขตเกษตรกรรมหรือบริเวณที่อยู่ใกล้ๆ ภูเขาโดยที่พื้นที่ทั้งหมดเหล่านี้ จะต้องอยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลไม่น้อยกว่า 10 - 20 กิโลเมตร และจะต้องไม่ได้รับลมทะเลโดยตรง
ปานกลาง (Medium)	- บริเวณเขตอุตสาหกรรมที่ไม่ได้มีการสร้างฝุ่นหรือควันออกมาและอาจเปื้อนบริเวณย่านชุมชนที่มีอัตราการใช้เครื่องทำความร้อนปานกลาง - บริเวณย่านชุมชนหรือเขตอุตสาหกรรมหนาแน่นแต่จะต้องมีลมพัดผ่านหรือฝนตกบ่อยๆ - บริเวณที่มีลมทะเลพัดผ่าน ซึ่งจะต้องอยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลพอสมควร (ควรจะห่างหลายๆกิโลเมตร)
สูง (Heavy)	- เขตอุตสาหกรรมหนาแน่นหรือบริเวณชานเมืองของเมืองใหญ่ ที่มีอัตราการใช้เครื่องทำความร้อนสูง - บริเวณที่ได้รับลมทะเลที่รุนแรงโดยตรงหรือชายฝั่งทะเล
สูงมาก (Very Heavy)	- บริเวณที่เปื้อนเขตรับฝุ่นควันจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยตรง - บริเวณที่อยู่ใกล้ชายฝั่งทะเลมากๆ ซึ่งมีการรับเอาสิ่งเปราะเปื้อนที่พัดมาจากทะเลโดยตรง - ทะเลทรายที่มีโอกาสฝนตกน้อยมาก จะต้องรับลมที่นำเอาทรายและไอเกลือเข้ามา

หมายเหตุ

1. บริเวณเกษตรกรรมในบริเวณที่ระดับสิ่งเปราะเปื้อนเล็กน้อย ถ้ามีการใช้ปุ๋ย โดยการพ่นหรือมีการเผาไหม้ของกากหญ้าพืชต่างๆ เมื่อมีลมพัดนำเอาสิ่งเหล่านั้นแพร่กระจายออกไป ระดับของสิ่งเปราะเปื้อนอาจจะอยู่ในระดับสูง

2. บริเวณที่อยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลหรืออยู่ใกล้ชายฝั่งทะเลในบริเวณระดับสิ่งเปรอะเปื้อนปานกลาง หรือสูง ระยะทางที่พิจารณาจะต้องขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศของชายฝั่งทะเล และลักษณะของลมทะเลที่เกิดขึ้นด้วย

3. ปรากฏการณ์การเกิดวาบไฟตามผิวเนื่องจากสิ่งเปรอะเปื้อน

3.1 การศึกษาในอดีต

การศึกษากลไกการเกิดวาบไฟตามผิวของลูกถ้วยที่เปรอะเปื้อน ได้มีการศึกษามานานกว่า 40 ปี เพื่อให้เกิดความเข้าใจอย่างทองแท้ ได้มีความพยายามที่จะทำความเข้าใจในเรื่องดังกล่าวจากอดีตที่ผ่านมา เริ่มต้นจากการวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงกายภาพของการเกิดวาบไฟตามผิว ของลูกถ้วยและได้มีความพยายามที่จะเสนอรูปแบบของสมการและแบบจำลองขึ้นมาเพื่อที่จะใช้อธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าว (Holtzhausen และ Swift, 1999)

3.2 ขั้นตอนแสดงการเกิดวابلไฟตามผิวเนื่องจากสิ่งเปื้อน

บริเวณผิวถูกดวยสะสมสิ่งเปื้อนต่อมาถูกทำให้เปื่อยเนื่องจากหยดน้ำฝน หรือหมอก

กระแสเริ่มก่อตัวขึ้น

ความเข้มของกระแสบนผิวถูกดวยไม่สม่ำเสมอ จะสูงที่บริเวณขนาดเล็ก (คอคอด) และจะต่ำ ที่บริเวณมีขนาดใหญ่

กระแสจะทำให้เกิดความร้อน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดแถบแห้ง(Dry Band) ในบริเวณที่มีความเข้มของกระแสสูง

แรงดันตกคร่อมของช่องว่างที่เกิดแถบแห้ง มีความเครียดทางไฟฟ้าสูงซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดอาร์กขามแถบแห้ง

อาร์กจะหยุดด้วยตัวเอง เมื่อความดันทานมาก

ถ้าความดันทานที่ผิวถูกดวยต่ำ การเกิดอาร์กที่แถบแห้งจะเพิ่มและเชื่อมต่อกันซึ่งเป็นสาเหตุการเกิดการวابلไฟตามผิว

ภาพที่ 14 ขั้นตอนแสดงการเกิดวابلไฟตามผิวเนื่องจากสิ่งเปื้อน

ที่มา: ประจักษ์ (2545)

3.3 การสะสมสิ่งเปื้อน (Accumulation of Contamination)

แรงโน้มถ่วง ลม และ สนามไฟฟ้า เป็นแฟคเตอร์ที่มีบทบาทมาก ต่อการสะสมของสิ่งเปื้อนที่อยู่บริเวณใกล้ๆกับลูกดวยขนะใช้งาน แรงที่เกิดจากสนามไฟฟ้ากระทำกับอนุภาคของสิ่งเปื้อน จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ แรงที่เกิดจากความเครียดไฟฟ้า (E) และแรงที่เกิดจากการแผของสนามไฟฟ้า (E²) สำหรับลูกดวยที่ใช้งานในระบบไฟกระแสสลับ แรงที่เกิดจากความเครียดไฟฟ้าจะเป็นศูนย์ เพราะการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน แต่ แรงที่เกิดจากการแผออกของสนามไฟฟ้า จะเป็นแรงบวก ซึ่งขนาดจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของสนามไฟฟ้า

ลูกถ้วยที่ใช้งานในระบบไฟกระแสดตรง แรงที่เกิดจากความเครียดไฟฟ้าและแรงที่เกิดจากการแผ่ของสนามไฟฟ้าจะเป็นแรงบวก ดังนั้นการสะสมของสิ่งเปราะเปื้อนบนผิวลูกถ้วยชนิดนี้ จะเห็นได้ชัดเจนมากกว่าลูกถ้วยที่ใช้งานในระบบไฟกระแสสลับ

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและขนาดของแรงที่กระทำกับอนุภาคของฝุ่นที่จะเกิดการสะสมบนผิวลูกถ้วย

ชนิดของแรง	ความสัมพันธ์กับขนาด
แรงโน้มถ่วง	1 PU (อ้างอิง)
ความเครียดไฟฟ้า ($E = 2 \text{ kV/cm DC}$)	10
การแผ่ของสนามไฟฟ้า ($E^2 = 0.2 \text{ kV}^2/\text{cm}^2$)	0.0001
ลม (ความเร็ว = 2 m/s)	1,000
ลม (ความเร็ว = 5 m/s)	2,000
ลม (ความเร็ว = 10 m/s)	3,000

ปัจจัยที่สำคัญของแรงที่กระทำกับสิ่งเปราะเปื้อนที่ไปจับเกาะลูกถ้วย คือ ลม รองลงมาคือ ความเครียดไฟฟ้า (กระแสดตรง) ซึ่งสนามไฟฟ้าจะเป็นแบบไม่สม่ำเสมอทั้งลูกถ้วยที่เข้ากับระบบไฟกระแสสลับและกระแสดตรง และจะมีจำนวนมากที่บริเวณหัวแรงดันสูง ซึ่งสิ่งเปราะเปื้อนที่ส่วนนี้จะพบจำนวนมากกว่าส่วนอื่นของลูกถ้วย

ในสถานที่ติดตั้งระบบไฟฟ้าจะมีสิ่งเปราะเปื้อนอยู่หลายชนิด ซึ่งชนิดและจำนวนการสะสมของสิ่งเปราะเปื้อนบนผิวลูกถ้วย จะขึ้นอยู่กับพื้นที่นั้นๆ ลูกถ้วยที่ติดตั้งใช้งานอยู่บริเวณชายทะเล โดยมากสิ่งเปราะเปื้อนจะเป็นทราย (SiO_2) คราบเกลือ (NaCl) ซึ่งเป็นปัญหาสำหรับการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในแนวสายบริเวณนั้น ส่วนลูกถ้วยที่ติดตั้งอยู่บนแผ่นดินสิ่งเปราะเปื้อน จะเป็น ยิปซัม (CaSO_2) เปนตน นอกจากนี้ยังมี แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ซึ่งเป็นเกลือที่ใช้ในบริเวณพื้นที่ที่มีอากาศเย็น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดน้ำแข็งบนถนนหลังจากหิมะตก เมื่อมีการสัญจรของยานพาหนะที่ผ่านไปผ่านมา และลมที่พัดไปมาได้นำเอาแคลเซียมคลอไรด์ จากพื้นถนนไปสะสมบนผิวลูกถ้วยได้ นอกจากนี้ในพื้นที่ที่มีการทำเกษตรจะมีสิ่งเปราะเปื้อนชนิด ฟอสเฟส และไนเตรทของไนโตรเจนและแอมโมเนียไปสะสมบนผิวลูกถ้วยได้

3.4 การเปียกน้ำของลูกถ้วย (Insulator Wetting)

ลูกถ้วยจะเปียกน้ำระหว่างการใช้งาน เนื่องจาก ฝน ลม (พัดเม็ดฝนกระทบกับผิวลูกถ้วยเหมือนการพน) และหยดน้ำ หรือหมอก สำหรับการเปียกน้ำจากฝน และลมที่พัดเม็ดฝนเป็นวิธีที่ผิวลูกถ้วยได้รับน้ำซึ่งมีขนาดเล็กๆ มากระทบกับผิวลูกถ้วย รูปทรงของลูกถ้วยที่เปดออกรับฝน หรือมีลมที่พัดเม็ดฝนมากระทบที่ผิว จะทำให้ผิวของลูกถ้วยง่ายต่อการเปียกน้ำมากกว่าผิวของลูกถ้วยส่วนที่ป้องกัน (Protective Leakage Distance) แต่ถาฝนตกต่อเนื่องเป็นเวลานานแล้วสวนต่างๆ ของลูกถ้วยก็อาจจะเปียกน้ำทั้งหมด ส่วนการเปียกน้ำ ที่เกิดจากขบวนการควบแน่นของหยดน้ำและหมอกซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวของลูกถ้วยกับสิ่งแวดล้อม ถาหาอุณหภูมิที่ผิวลูกถ้วยต่ำกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ขบวนการควบแน่นบนผิวลูกถ้วยจะเกิดเป็นระยะเวลานาน แต่เมื่อไม่มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสิ่งแวดล้อมกับผิวลูกถ้วย ขบวนการควบแน่นก็จะหยุด ซึ่งผลจากการทดลองรูปทรงภายนอกของลูกถ้วยจะมีผลน้อยมากกับการเปียกน้ำ เนื่องจากขบวนการควบแน่น

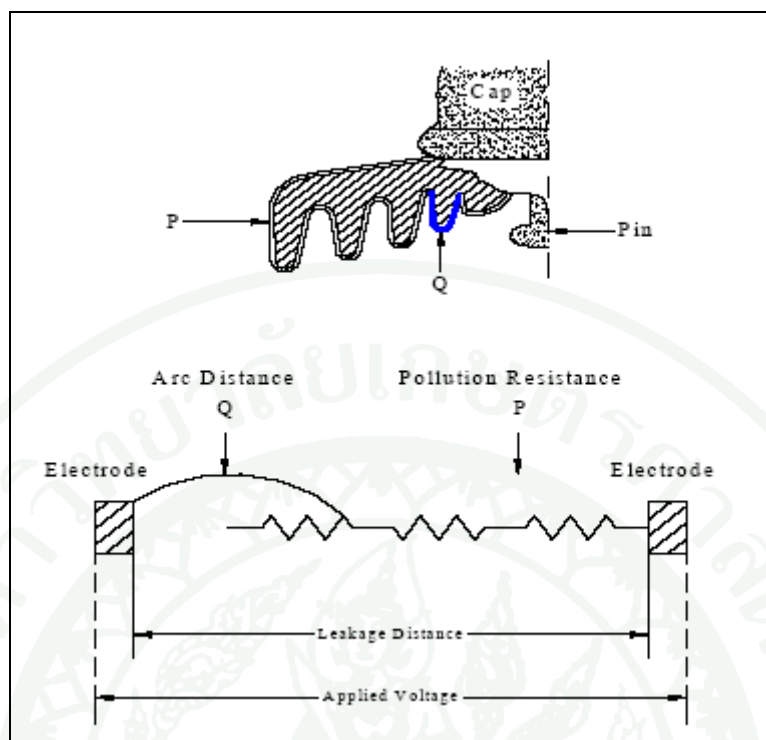
วัสดุที่ใช้ทำลูกถ้วยจะเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเปียกน้ำของผิวลูกถ้วยในขณะใช้งาน สาร อนินทรีย์ ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ทำลูกถ้วยพอร์ชเลนและลูกถ้วยแก้ว จะมีความสามารถในการเปียกน้ำที่แตกต่างกันมาก เมื่อเทียบกับสารอินทรีย์ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ทำลูกถ้วย Composite พันธะทางไฟฟ้าที่แข็งแรงในพอร์ชเลนและแก้วมีส่วนทำให้พลังงานอิสระที่ผิวลูกถ้วยมีค่าสูงขึ้น ซึ่งเป็นปริมาณทางไดนามิกส์ที่เสริมความแข็งแรงของการจับเกาะระหว่างผิวลูกถ้วยกับน้ำ ดังนั้นลูกถ้วยพอร์ชเลนและลูกถ้วยแก้วจะมีความสามารถในการเปียกน้ำได้ง่าย ในทำนองเดียวกันลูกถ้วย Composite ซึ่งทำมาจากวัสดุจำพวกสารอินทรีย์ พันธะทางไฟฟ้าไม่แข็งแรง และจะมีค่าพลังงานอิสระที่ผิวดำ ซึ่งคุณสมบัติสวนนี้ของลูกถ้วย Composite จะทำให้เกิดการต้านทานการกอดตัวของผิวน้ำไม่ไต่ต่อเนื่อง ได้ดีกว่าลูกถ้วยพอร์ชเลนและลูกถ้วยแก้วเป็นอย่างมากซึ่งคุณสมบัตินี้ก็คือ คุณสมบัติการไล่น้ำ (Hydrophobicity) นั่นเอง

ความต้านทานที่ผิวของลูกถ้วยจะลดต่ำอย่างมาก เนื่องจากการเปียกน้ำ โดยขบวนการควบแน่น เมื่อเปรียบเทียบกับ การเปียกน้ำจากฝน ซึ่งการเปียกน้ำเนื่องจากขบวนการควบแน่น จะมีลักษณะ กระจ่ายที่สม่ำเสมอของหยดน้ำเล็กๆ ต่างจากการเปียกน้ำจากฝน ซึ่งมีจะมีลักษณะเป็นหยดน้ำขนาดใหญ่ๆ แต่ผิวลูกถ้วยที่เปียกน้ำโดยลมที่พัดเม็ดฝนมากระทบกับผิวลูกถ้วย รูปแบบที่เกิดขึ้นจะคล้ายกับการเปียกน้ำเนื่องจากขบวนการควบแน่น แต่ก็ขึ้นอยู่กับความเร็วของลม

ภายใต้เงื่อนไขการเปียกน้ำ การลดลงของความต้านทานที่ผิวของลูกถ้วย จะเป็นฟังก์ชันของความสามารถในการละลายน้ำของสิ่งเปราะเปื้อน ในบรรดาเกลือทั้งหมด โซเดียมคลอไรด์ เป็นเกลือที่สามารถละลายน้ำได้ดี แต่ก็ไม่ได้เป็นสิ่งเปราะเปื้อนที่เจอบ่อยๆ (ยกเว้นบริเวณใกล้กับมหาสมุทร) ดังนั้นเกลือโซเดียมคลอไรด์จะเป็นสิ่งเปราะเปื้อนชนิดที่มีค่ากระแสรั่วสูง ส่วนเกลือชนิดอื่นๆ ซึ่งบอๆ ที่พบบนผิวลูกถ้วยจะมีความสามารถที่จะละลายน้ำที่ระดับต่างๆ กัน สำหรับ ยิปซัม และทรายจะเป็นสิ่งเปราะเปื้อนที่ไม่ละลายน้ำ

3.5 การอาร์กที่แถบแห้ง (Dry Band Arcing)

น้ำที่อยู่ในฟลัมสิ่งเปราะเปื้อนบนผิวลูกถ้วยเมื่อนำไฟฟ้า จะมีกระแสรั่วไหลซึ่งทำให้อุ่นและกลายเป็นไอ บนฟลัมสิ่งเปราะเปื้อน การกระจายของกำลังไฟฟ้าซึ่งเป็นฟังก์ชันของความเข้มข้นของกระแสสูงในบริเวณส่วนที่แคบของลูกถ้วย เช่น ที่ใกล้ๆ กับ Pin ของลูกถ้วยแก้ว และลูกถ้วยพอร์ซเลน และที่ก้นของลูกถ้วย Composit บริเวณที่เป็นแถบวงแหวนเล็กๆ เรียกว่า แถบแห้ง (Dry Band) การเกิดแถบแห้งเป็นสาเหตุการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ ในการกระจายของ แรงดันตามผิวลูกถ้วย แรงดันนี้จะคร่อมแถบแห้งที่แคบ เพราะฉะนั้นความเครียดไฟฟ้าที่ข้ามแถบแห้งจะสูงกว่าค่าแรงดันคงทนอยู่ได้ของแถบแห้ง เป็นเหตุให้อาร์กพัฒนาข้ามแถบแห้งนี้กระแสอาร์กจะถูกจำกัดโดยความต้านทานของชั้นผิวดำน้ำที่อนุกรมกันของแถบแห้ง ซึ่งแสดงตามภาพที่ 15



ภาพที่ 15 การอาร์กที่แถบแห้งของลูกถ้วยที่เปราะเปื้อน

ที่มา: ประจักษ์ (2545)

อาร์กที่แถบแห้งโดยปกติจะหยุดด้วยตัวมันเอง กระแสอาร์กที่แถบแห้งจะมีขนาดไม่มาก ไม่ก็มีลิเลียมป์ ทำให้ต้องการแรงดันจำนวนมาก ในกรณีที่ความต้านทานที่ผิวมีมาก อาร์กที่แถบแห้งจะหยุดหรือถูกกำจัด อย่างไรก็ตาม ภายใต้เงื่อนไขบางอย่าง เช่น ความต้านทานต่ำมีสาเหตุจากระดับสิ่งเปราะเปื้อนสูง แรงดันเสร็จ หรือปรากฏการณ์ ไอออไนซ์ ที่บริเวณใกล้เคียงกับลูกถ้วย นอกจากนี้ลมก็จะช่วยในการเคลื่อนที่ของอาร์ก แถบแห้งสามารถที่จะยืดยาวเพียงพอที่จะเชื่อมต่อช่องว่างระหว่างขั้วของลูกถ้วยซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดการวบไฟตามผิวได้

เงื่อนไขบางอย่างสำหรับแถบแห้ง ซึ่งเป็นสาเหตุการวบไฟตามผิวยังไม่เป็นที่เข้าใจอย่างถ่องแท้ อย่างไรก็ตาม นักวิจัยเป็นส่วนใหญ่ กล่าวว่า สภาพที่จำเป็นสำหรับการแพร่ของอาร์กคือสนามไฟฟ้าในฟลอมของสิ่งเปราะเปื้อนที่อนุกรมกันกับอาร์ก ต่ำกว่าสนามไฟฟ้าที่ ส่วนปลายของอาร์ก ถ้าอาร์กที่แถบแห้งเกิดขึ้นแล้วสามารถเชื่อมต่อประมาณ 2/3 ของความยาวลูกถ้วย การเกิดวบไฟตามผิวที่ถาวรจะปรากฏขึ้น

3.6 แบบจำลองของการเกิดวาวไฟตามผิวเนื่องจากสิ่งเปราะเปื้อนสำหรับลูกถ้วยที่ไม่ เจาะจงรูปร่าง(Flashover Models for Insulators with Arbitrary Shapes)

ขบวนการเกิดการวาวไฟตามผิว เนื่องจากสิ่งเปราะเปื้อน สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองของการเกิดวาวไฟตามผิวที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างคุณลักษณะอาร์กที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Arc) กับความต้านทานที่เป็นเชิงเส้น (Linear Resistance) ของฟลัมสิ่งเปราะเปื้อน ซึ่งปัจจัยหลัก ได้แก่ แรงดัน ความยาวของลูกถ้วย และความสามารรถในการนำไฟฟ้า ที่บริเวณพื้นผิวลูกถ้วย โดยทั่วไป แบบจำลองเหล่านี้ มักจะมีพื้นฐานมาจากการตั้งสมมุติฐานใหม่ มีความง่าย เช่น มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกทั่วไป หรือมีการกระจายของความต้านทานที่ผิวของลูกถ้วย เป็นรูปแบบเดียวกันอย่างสม่ำเสมอ (Holtzhausen และ Swift, 1999) อย่างไรก็ตาม ในความเป็นจริงแล้ว ลูกถ้วยจะมีรูปร่างที่ซับซ้อน ซึ่งต้องใส่ใจหลักการของ Form Factor ในการแปลงลูกถ้วยที่มีความซับซ้อนให้เป็นรูปทรงกระบอกต่างๆ ไป โดยมีคุณสมบัติเท่าเทียมกัน ทรงกระบอกที่มีคุณสมบัติเท่าเทียมกันนี้ จะมีความยาวเท่ากับ ความยาวของลูกถ้วยจริง และในการแปลงนี้มีสมมุติฐานว่าในความเป็นจริง อาร์กจะไหลไปตามรูปร่างของลูกถ้วย แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีสาเหตุ หลายประการที่ทำให้ อาร์กไม่จำเป็นต้องไหลไปตามรูปร่างของลูกถ้วย เช่น

- 1) ลูกถ้วยที่มีระดับสิ่งเปราะเปื้อนเพียงเล็กน้อย จึงต้องการความเครียดไฟฟ้าที่สูงขึ้น เพื่อให้ เกิดการวาวไฟตามผิวเนื่องจากสิ่งเปราะเปื้อน ดังนั้นจึงสามารถมองภาพได้ว่า ระหว่าง การก่อตัวของขบวนการ การเกิดวาวไฟตามผิวอาจจะเกิด Inter-Disc หรือ Inter-Rib Air Breakdown ขึ้นด้วย ดังนั้นความยาวของอาร์กจะสั้นลงและทำให้ขบวนการเกิดการวาวไฟตามผิวเร็วขึ้น

- 2) ในทางกลับกัน ลูกถ้วยที่มีระดับสิ่งเปราะเปื้อนมาก จึงต้องการความเครียดต่ำ เพื่อให้ เกิดการวาวไฟตามผิว ระดับกระแสไฟฟ้าซึ่งเกี่ยวข้องกับระดับสิ่งเปราะเปื้อนจึงมีค่าสูง และอาร์กจะถูกผลักรออกไปในแนวรัศมี โดยผลของเทอร์โมไดนามิกส์ หรือเขาสุกภายในเนื่องจากผลของ อิเล็กโตรไดนามิกส์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับารออกแบบลูกถ้วย

4. การวัดสิ่งเปื้อน

4.1 บทนำ

ในทางอุดมคติการวัดระดับของสิ่งเปื้อนที่สถานที่ติดตั้ง ควรจะใช้อนุภาคทุกอย่าง ที่จำเป็นในการคำนวณความน่าจะเป็น ที่จะทำให้เกิดการวาบไฟตามผิว เนื่องจากสิ่งเปื้อนเปื้อนกับลูกถ้วยทุกชนิดที่ติดตั้งที่สถานที่ติดตั้งนั้นๆ และพลังงานที่แรงดันที่กำหนดไว้ แลจะต้องคำนึงถึงสภาวะแวดล้อมทุกชนิดที่สถานที่ติดตั้ง ซึ่งจะมีผลต่อขั้นตอนต่างๆ ของขบวนการเกิด การวาบไฟตามผิว เนื่องจากสิ่งเปื้อน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เป็นสถิติ ที่เกี่ยวข้องในแต่ละขั้นตอนด้วย วิธีการที่ใช่วัดระดับสิ่งเปื้อนที่สถานที่ติดตั้ง (IEC 815, 1986) มีหลายวิธีคือ

- 1) การวัดหาความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตรของสิ่งเปื้อนที่รวบรวมโดยวิธี Directional gauges
- 2) การวัดหาปริมาณการสะสมของสิ่งเปื้อนบนผิวลูกถ้วยเทียบกับปริมาณเกลือ (NaCl) ซึ่งจะให้ความนำไฟฟ้าเท่ากับความนำไฟฟ้า ของสารละลายที่ใด จากการนำสิ่งเปื้อนมาละลายน้ำ ที่มีปริมาณเท่ากัน ซึ่งจะเรียกวิธีนี้ว่าการหาค่า ESDD (Equivalent Salt Deposit Density)
- 3) การนำเอาข้อมูลทางสถิติจำนวนครั้งของการเกิดวาบไฟตามผิวของพวงลูกถ้วยที่มีความยาวแตกต่างกันมาทำการวิเคราะห์
- 4) การวัดหาความนำไฟฟ้าเชิงผิวของลูกถ้วยตัวอย่าง
- 5) การวัดหากระแสรั่วไหลของลูกถ้วยขณะที่ได้รับแรงดันใช้งานปกติ (เป็นการหากระแสรั่วไหลสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่พิจารณา)

การวัดระดับสิ่งเปื้อนแต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันกล่าวคือ วิธีที่ 1 และ 2 สามารถทำได้โดยง่ายและไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง แต่วิธีที่ 1 นั้นไม่ได้ให้ข้อมูล ลักษณะช่วงเวลาการสะสมและระดับของความเปื้อนออกมาโดยตรง วิธี 2 ข้อมูลที่ได้จะเป็น ระดับของความเปื้อนที่เกิดขึ้นในสภาวะที่ผิวลูกถ้วยมีความเปียกชื้น ความถูกต้องของการวัด ทั้ง 2 วิธีนี้ จะขึ้นอยู่กับความถี่ในการวัด ถ้าการสะสมของสิ่งเปื้อนเกิดขึ้นไม่เร็วนัก ก็อาจจะ วัดเดือนละครั้ง หรือ เวนระยะห่างกว่านี้ แต่การสะสมของสิ่งเปื้อนเกิดขึ้นรวดเร็วก็

จะต้องทำการวัดค่าขึ้น สำหรับวิธีที่ 3 นั้นจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือทดสอบที่มีราคาแพง ข้อมูลที่ได้จะ ถูกดองเฉพาะลูกถ้วยที่มีความยาวใกล้เคียงกับลูกถ้วยที่พิจารณา และใช้ งานที่ระดับแรงดันใกล้เคียง กัน สองวิธีสุดท้ายต้องการแหล่งพลังงานและอุปกรณ์เก็บบันทึกข้อมูลต่อเนื่อง วิธีการประเมินค่า ระดับของสิ่งเปื้อนที่ไบนที่ไชน้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ได้แก่ การวัดค่า ESDD การวัดค่าความต้านทานของผิว และการวัดหาคากระแสรั่วไหล

การหาการระดับสิ่งเปื้อนที่ไบนนั้นเพื่อให้ข้อมูลที่ไคมีความถูกต้องน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น IEC 815 ไคแนะนำให้พิจารณาองค์ประกอบต่างๆ ต่อไปนี้เพิ่มเติม คือ ลักษณะของพื้นที่แต่ละแห่งที่สัมพันธ์กับระดับความเปื้อน และข อมูลของเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้ งานของลูกถ้วย ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญมาทำการวิเคราะห์

แต่ละวิธีจะเกี่ยวข้องกับขั้นตอนต่างๆ ของขบวนการเกิดการวางไฟตามผิว เนื่องจากสิ่งเปื้อนบางวิธีการเกี่ยวข้องกับขบวนการนี้เพียงขั้นตอนเดียว แต่บางวิธีเกี่ยวข้องกับขบวนการนี้หลายขั้นตอน แต่ ในเอกสารนี้จะกล่าวเฉพาะวิธีการวัดค่า ความเข้มข้นสะสมเทียบเทาเกลือ (วิธี ESDD) สาเหตุที่เลือกวิธีนี้เป นวิธีที่ไชมาก เพราะไม่ตองใช้เครื่องมือที่มีความสลับซับซ้อน และไม่ตองใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ ซึ่งตองลงทุนสูง และนำไปติดตั้งในจุดที่ยังไม่มีไฟฟ้าไชไม่ได้ เทคนิคและการวัดที่ทันสมัยเหมาะที่จะนำมาใช้กับระบบส่งกำลังไฟฟ้าขนาดใหญ ระดับแรงดันสูงๆ และตองการระบบที่มีความน่าเชื่อถือไคสูง

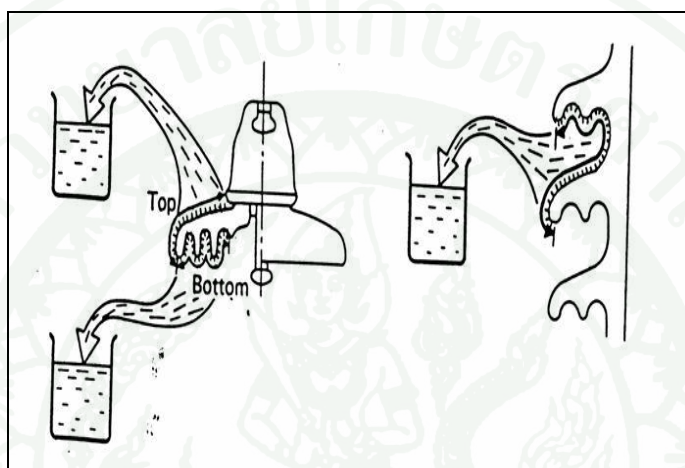
4.2 การวัดสิ่งเปื้อนโดยวิธีหาคา ESDD มีดังนี้

สำหรับวิธีการวัดสิ่งเปื้อนโดยวิธีหาคา ESDD จะแบ่งสิ่งเปื้อนออกเป น 2 ชนิด คือสิ่งเปื้อนที่ละลายน้ำไค และสิ่งเปื้อนที่ละลายน้ำไม่ได้ (นิรนาม, 2536) รายละเอียดและวิธีการวัดมีดังนี้

4.2.1 การวัดจำนวนของสิ่งเปื้อนที่ละลายน้ำไค

โดยทั่วไปจำนวนของสิ่งเปื้อนที่ละลายน้ำไค จะแสดงคาโดยคาความเข้มข้น การสะสมเทียบเทาเกลือ (Equivalent Salt Deposit Density, ESDD) คา ESDD จะหาคาไคโดยการวัดค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายที่เป็นสิ่งเปื้อนที่นำมาจากผิวลูกถ้วย และคำนวณค่าเทียบเทากับจำนวนของเกลือ (NaCl) ที่มีคาความนำไฟฟ้าเทากัน วิธีในการวัดคา ESDD มีดังนี้

ขั้นตอนการเก็บสิ่งเปราะเปื้อน โดยนำน้ำ กลั่นที่จำนวนที่แน่นอนใส่ลงไปใน Beaker นำสิ่งเปราะเปื้อนจากผิวลูกถ้วย โดยการเช็ดถูด้วยผ้าที่ดูดความชื้นหรือไขแปรง นำผ้าที่ไขเช็ดถู ผิวลูกถ้วยใส่ใน Beaker ดังแสดงตามภาพ 20 สิ่งเปราะเปื้อนจะถูกทำให้ละลายในน้ำ โดยการเขย่า และปิดฝา ที่ไขเช็ดถูในน้ำที่ Beaker การเช็ดถูผิวลูกถ้วยจะถูกกระทำซ้ำจนกระทั่งไม่เหลือสิ่งเปราะเปื้อนบนผิวลูกถ้วย



ภาพที่ 16 การเก็บสิ่งเปราะเปื้อนของลูกถ้วยที่เปราะเปื้อน

ที่มา: ประจักษ์ (2545)

จำนวนน้ำกลั่นที่จะใช้ขึ้นอยู่กับพื้นผิวและระดับสิ่งเปราะเปื้อน โดยทั่วไปจะใช้ประมาณ 100 - 500 ซี ซี แต่อาจจะใช้ ถึง 1,000 - 2,000 ซี ซี ในกรณีของสิ่งเปราะเปื้อนมีขนาดใหญ่เป็น ชนิดละลายน้ำได้น้อย ปกติแล้วค่านำไฟฟ้าของน้ำกลั่นจะน้อยกว่า $5 \mu\text{s/cm}$ ถ้าความนำไฟฟ้าของน้ำกลั่นสูง ก็จะใช้ตัวประกอบแก้ไขสำหรับความนำไฟฟ้าเริ่มต้นของน้ำ

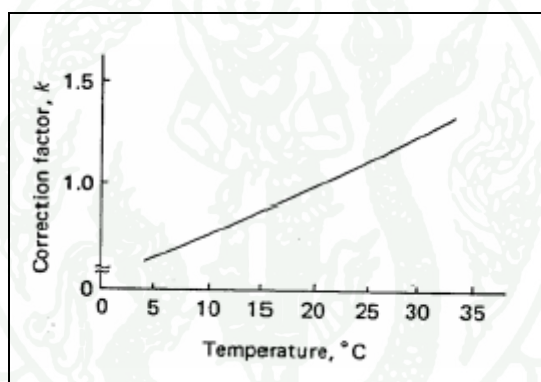
การคำนวณและวิเคราะห์หาค่า ESDD สามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับระดับความต้องการความถูกต้องของค่า ESDD แต่วิธีที่นิยมมี 2 วิธีคือ การคำนวณและวิเคราะห์หาค่า ESDD ตามคำแนะนำในวารสาร NGK (นิรนาม, 2536) และการคำนวณและวิเคราะห์หาค่า ESDD ตามมาตรฐาน (IEC 507, 1991)

1) การคำนวณและวิเคราะห์หาค่า ESDD ตามคำแนะนำในวารสาร NGK มีวิธีการดังนี้

1.1 หลังจากนั้นทำการวัดความนำไฟฟ้าและอุณหภูมิของน้ำที่มีส่วนผสมของสิ่งเปื้อน การวัดความนำไฟฟ้าของน้ำ จะถูกต้องจะต้องเป็นความนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิองศา C โดยความสัมพันธ์ตาม Correction factor (k)

$$\sigma_{20} = \frac{\sigma_t}{k}$$

เมื่อ ค่า k คือ ตัวประกอบแก้ไขตามภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แฟกเตอร์การแก้ไขอุณหภูมิของสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ที่มา: ประจักษ์ (2545)

สามารถคำนวณจากกราฟ จะไดสมการ

$$k = \left(\frac{1}{1.046} \right) (1 + 0.0226(t - 18) + 0.000084(t - 18)^2)$$

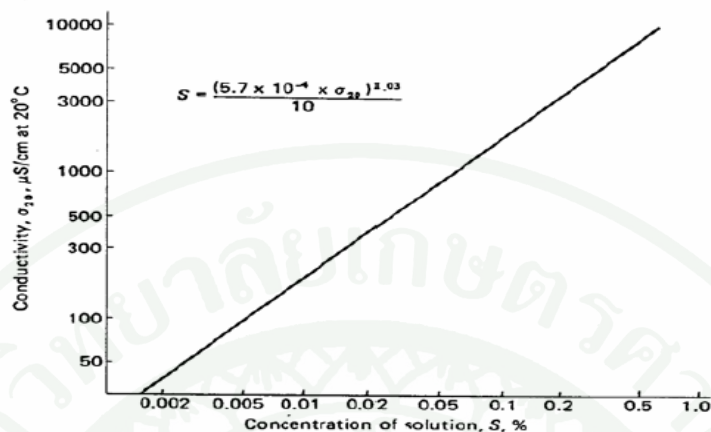
เมื่อ

σ_{20} = ค่าความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิ 20 องศา C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

σ_t = ค่าความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิ t องศา C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

t = อุณหภูมิของสารละลาย (องศา C)

1.2 คำนวณค่าความเป็นเกลือของสารละลาย ตามภาพที่ 18



ภาพที่ 18 กราฟแสดงความเข้มข้นการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (ที่ 20 องศา C)

ที่มา: ประจักษ์ (2545)

สามารถคำนวณจากกราฟ จะได้สมการ

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

เมื่อ

D = ความเข้มข้นของสารละลาย (Concentration of Solution (%))

1.3 คำนวณค่า ESDD ที่ผิวลูกถ้วยตามสมการ

$$\text{ESDD} = \frac{10 \times V \times (D_A - D_B)}{S}$$

เมื่อ

ESDD = Equivalent Salt Deposit Density (mg/cm^2)

V = ปริมาตรของน้ำกลั่นที่ใช้ (ml)

D_A = ความเข้มข้นของสารละลายเปอร์อะซิโตนเทียบเทาเกลือ (%)

D_B = ความเข้มข้นของน้ำกลั่นรวมกับแปรงเทียบเทาเกลือ (%)

S = พื้นที่ผิวของลูกถ้วยที่พิจารณา (cm^2)

2) การคำนวณหาค่า ESDD ตามมาตรฐาน IEC 507 มีวิธีการดังนี้

2.1 คำนวณค่าความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตร ที่อุณหภูมิ 20 องศา C ตามสมการดังนี้

เมื่อ

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta} - [1 - \sigma(\theta - 20)]$$

θ = อุณหภูมิของสารละลาย (องศา C)

σ_{θ} = ค่าความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตร ที่อุณหภูมิ 20 องศา C (S/m)

σ_{20} = ค่าความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตร ที่อุณหภูมิ 20 องศา C (S/m)

σ = ค่าตัวประกอบแก้ไขแปรตามอุณหภูมิของสารละลาย แสดงตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าตัวประกอบแก้ไขที่ใช้ในการหาค่า ความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิต่างๆ

θ (องศา)	σ
5	0.03156
10	0.02817
20	0.02277
30	0.01905

ข้อสังเกต ในกรณีที่ค่าอุณหภูมิของสารละลายไม่ได้ระบุไว้ในตาราง แต่ค่าอุณหภูมิดังกล่าวอยู่ในช่วง 5 องศา C – 30 องศา C ค่าตัวประกอบแก้ไข σ สามารถหาได้โดยวิธีการประมาณในช่วง (Interpolation)

2.2 คำนวณค่าความเป็นเกลือ (Salinity ; Sa) (kg/m^3) ของสารละลายเมื่อ σ_{20} มีค่าอยู่ในช่วง 0.004 – 0.4 S/m ตามสมการข้างล่าง

$$\text{Sa} = (5.7\sigma_{20})^{1.03} (\text{kg/m}^3)$$

2.3 คำนวณค่า ESDD. (Equivalent Salt Deposit Density) (mg/m^2) ตาม

สมการข้างล่าง

$$\text{ESDD} = \frac{S_a \times V}{A} \quad (\text{mg}/\text{cm}^2)$$

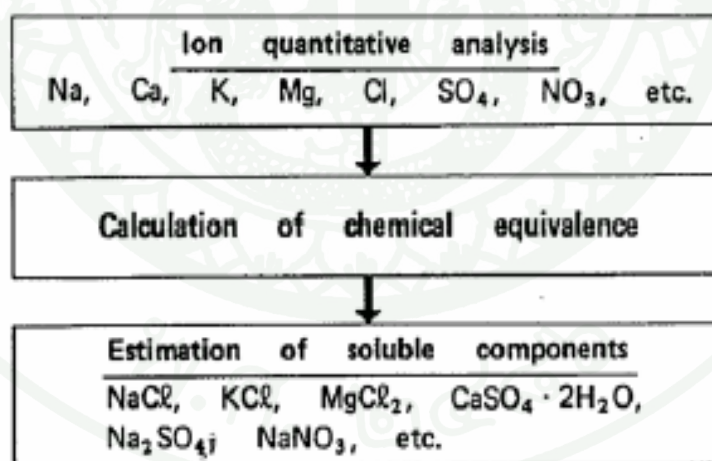
เมื่อ

S_a = ค่าความเป็นเกลือของสารละลาย (kg/m^3)

V = ปริมาตรสารละลาย (cm^3)

A = พื้นที่ผิวลูกถ้วยที่พิจารณา (cm^2)

ชนิดของสิ่งเปราะเปื้อนที่ละลายน้ำได้ แรงดันวาบไฟตามผิว เนื่องจากสิ่งเปราะเปื้อนจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายน้ำของสิ่งเปราะเปื้อนที่ละลายน้ำได้ ถึงแม้ว่าจำนวนของสิ่งเปราะเปื้อนบนผิวลูกถ้วยจะเหมือนกัน ชนิดของส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้สามารถถูกประมาณตามขั้นตอนที่แสดงตามภาพที่ 19

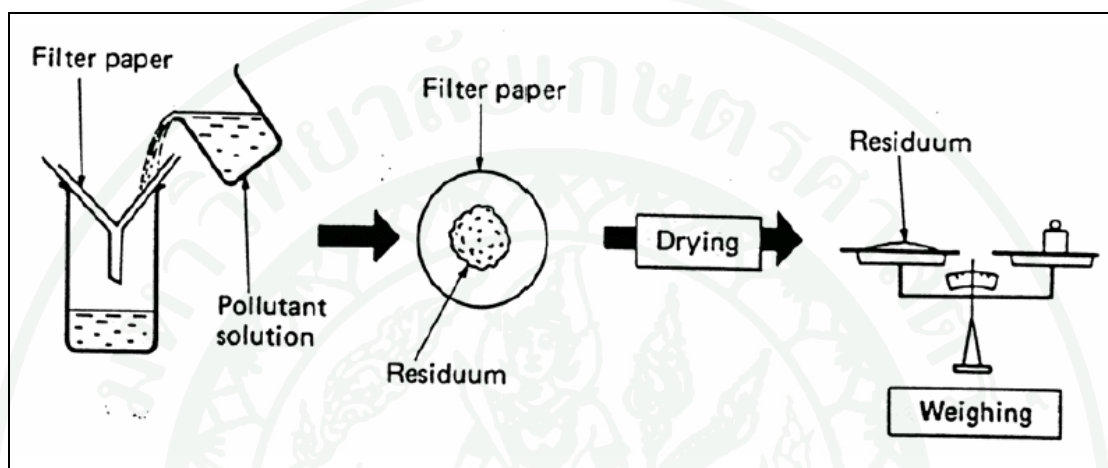


ภาพที่ 19 ขั้นตอนของการแยกวัตถุที่ละลายน้ำได้

ที่มา: ประจักษ์ (2545)

4.2.2 การวัดจำนวนของสิ่งเปราะเปื้อนที่ละลายน้ำไม่ได้

ความเข้มข้นการสะสมสิ่งเปราะเปื้อนที่ละลายน้ำไม่ได้ (NSDD) จะมีผลต่อแรงดันวาทไฟตามผิวเนื่องจากสิ่งเปราะเปื้อนที่จะค่าได้ตามภาพที่ 24 และจะแสดงค่าในหน่วยของ mg/cm^2 (น้ำหนักของสิ่งเปราะเปื้อนที่ไม่ละลายน้ำ/พื้นที่ผิว)



ภาพที่ 20 การวัดความเข้มข้นการสะสมของสิ่งเปราะเปื้อนที่ละลายน้ำไม่ได้

ที่มา: ประจักษ์ (2545)

5. แนวทางการแก้ไขการเกิดวาทไฟตามผิวของลูกถ้วยเปราะเปื้อนในอิตาลี

5.1 บทนำ

หลายๆ สถานที่ใน โลกนี้ ปัญหาของลูกถ้วยเปราะเปื้อน ได้ กลายเป็นสาเหตุหลักของการเกิดไฟดับในระบบไฟฟ้า ลูกถ้วยชนิดที่ใช้อย่างแพร่หลายในโลกนี้ คือ ลูกถ้วยแก้วและลูกถ้วยพอร์ซเลน เมื่อได้รับสิ่งเปราะเปื้อนมาเกาะที่ผิว และใช้งานในสภาวะที่บรรยากาศเปียกชื้น ก็จะทำให้เกิดกระแสรั่ว (Leakage Current) ไหลตามผิวลูกถ้วย ซึ่งบางครั้งก็อาจจะทำให้เกิดการวาทไฟตามผิว (Flashover) แล้วเกิดไฟดับ ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียมากมาย ตัวอย่าง เช่น โรงงานผลิตกระดาษ เกิดไฟดับประมาณ 15 วินาที ทำให้เครื่องจักรหยุดทำงานคิดเป็นมูลค่าความเสียหายประมาณ 50,000 เหรียญ ซึ่งปัญหาแบบนี้ในวิเทศมากสำหรับอุตสาหกรรมจำพวกเคมีคอนกรีตหรือปิโตรเคมี เป็นต้น

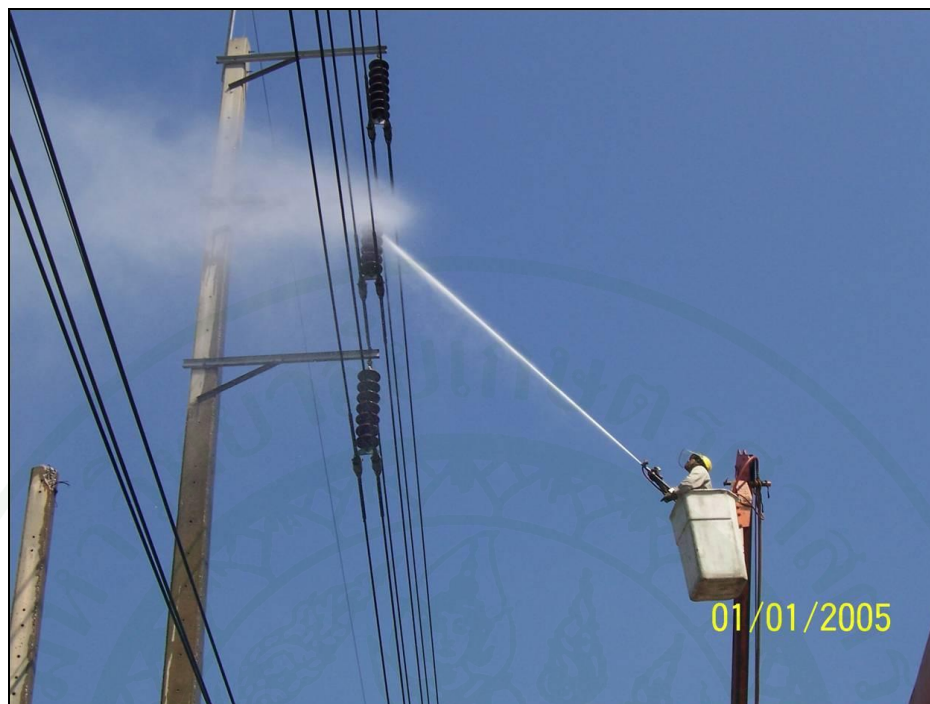
ในการแก้ปัญหาที่พบบ่อยก็มีหลายวิธี ตัวอย่างเช่น การปรับปรุงในการออกแบบลูกถ้วย ก็เป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้สมรรถนะของลูกถ้วยดีขึ้น วิธีการเดิมๆ ที่ มีการเพิ่มระยะรั้ว วิธีนี้จะเป็นการลดแรงดันที่ทำให้เกิดความเครียด (Voltage Stress) ที่คร่อมผิวลูกถ้วย วิธีการใหม่ๆ คือ การใช้ Resistive Glaze (ตัวอย่าง เช่น สารกึ่งตัวนำ) เคลือบที่ผิวลูกถ้วย วิธีนี้เป็นการแก้ไขความเครียดทางไฟฟ้า (Electrical Stress) ในเวลาเดียวกันก็จะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย เพื่อป้องกันการรวมตัวของหมอกหรือหยดน้ำ เทคโนโลยีของลูกถ้วย Nonceramic ประสบความสำเร็จมากมายในการป้องกันการวาวไฟตามผิว เนื่องจากสิ่งเปราะเปื้อนสำหรับลูกถ้วยพอร์ซเลน การเคลือบด้วย Grease ซิลิโคน และ RTV ซิลิโคนจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการซ่อมบำรุงโดยวิธีอื่น นอกจากนี้ก็มีการทำความสะอาดวิธีต่างๆ หรือการทาสี Grease และ RTV Silicone เป็นต้น (Gorur และคณะ, 1999) สำหรับรายละเอียดในแต่ละวิธีมีดังนี้

5.2 การทำความสะอาด (Cleaning)

การทำความสะอาดลูกถ้วย ได้กล่าวไว้ในมาตรฐาน IEEE ในหัวข้อแนวทางในการทำ ความสะอาดลูกถ้วย ซึ่งมีวิธีการต่างๆ ดังนี้

5.2.1 การล้างสิ่งเปราะเปื้อนด้วยน้ำ (Water Washing)

การล้างลูกถ้วยด้วยน้ำ ได้มีการพิสูจน์แล้วว่า เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่จะนำเอา สิ่งเปราะเปื้อนออกจากผิวลูกถ้วย การล้างจะมีประสิทธิภาพสำหรับสิ่งเปราะเปื้อนเป็นฝุ่นที่มาจาก ถนน หรือ คราบเกลือจากทะเล และสิ่งเปราะเปื้อนชนิดอื่นๆ ที่เกาะติดที่ผิวลูกถ้วยไม่แน่นมากเกินไป ในสมัยก่อนการล้างลูกถ้วยด้วยน้ำเป็นวิธีที่ประหยัด แต่ปัจจุบันถือว่าเป็นวิธีที่แพงเกินไป จะทุกสถานที่ในโลกนี้ (Looms, 1990)



ภาพที่ 21 งานฉีดน้ำล้างลูกถ้วยสายส่ง 115 เควี. บริเวณ ถ.กาญจนาภิเษก ของการไฟฟ้านครหลวง

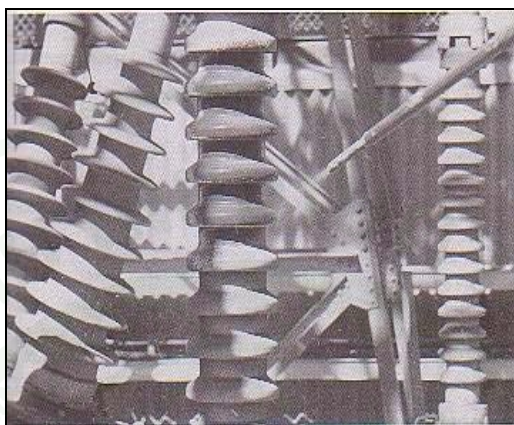
ที่มา: การไฟฟ้านครหลวง (2548)

ความถี่ในการล้างสิ่งเปรอะเปื้อนจากลูกถ้วย จะพิจารณาจาก ระดับความรุนแรงของ สิ่งเปรอะเปื้อน สภาพะบรรยากาศ และลักษณะของลูกถ้วย สำหรับลูกถ้วยที่ติดตั้งใกล้กับบริเวณ ชายทะเล ก็มีความจำเป็นที่จะต้องล้างบ่อยๆ ซึ่งก็อาจจะติดตั้งหัวฉีด แบบถาวร สำหรับการล้างแบบอัตโนมัติ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ปกติการล้างลูกถ้วยจะต้องกระทำก่อนที่การระดับความรุนแรงของสิ่งเปรอะเปื้อนจะถึงควาวิกฤติ

5.2.2 การทำความสะอาดสิ่งเปรอะเปื้อนแบบแห้ง (Dry Cleaning)

การทำความสะอาดสิ่งเปรอะเปื้อนโดยใช้วัสดุชนิดแห้ง เช่น Ground Walnut, Corncob และ Lemstone พ่นไปขูดสิ่งเปรอะเปื้อนออก วิธีนี้จะใช้ ได้อย่างมีประสิทธิภาพกับสิ่งเปรอะเปื้อนชนิดที่ติดแน่น เช่น ซีเมนต์ และ ปูน แต่ การขูดสิ่งเปรอะเปื้อนออกจะต้องไม่นำวัสดุที่หาผิวลูกถ้วยออกไปด้วย วิธีนี้สามารถปฏิบัติได้ ในขณะที่จ่ายไฟ แต่ สถานที่บางแห่ง เช่น สถานีจ่ายไฟจะเป็นพื้นที่ที่มีอันตรายจากไฟ เพราะวัสดุที่ใช้ทำความสะอาดจะเป็นเชื้อเพลิงที่ดี ดังนั้นเมื่อทำความสะอาดเสร็จแล้ว จะต้องนำวัสดุที่จะไปขูดสิ่งเปรอะเปื้อนออกให้หมด ซึ่งเป็ นเรื่องที่ยุ้งยาก

และค่าใช้จ่ายสูง และขอควรระวัง ถ้าใช้การทำความสะอาดแบบนี้บ่อยๆ อาจจะทำให้สารที่ทาที่ผิว ลูกถ้วยพอร์ซเลนชำรุดได้ และในกรณีของลูกถ้วยแก้วก็อาจทำให้ผิวของลูกถ้วยชำรุดได้



ภาพที่ 22 การทำความสะอาดลูกถ้วยแบบแห้งโดยใช้ Corn ในขณะที่ใช้งาน

ที่มา: ประจักษ์ (2545)

5.2.3 การทำความสะอาดสิ่งเปื้อนด้วยมือ (Hand Cleaning)

การทำความสะอาดสิ่งเปื้อนที่ลูกถ้วยด้วยมือ จะเป็นวิธีที่ทำไ้ละเอียด และมีประสิทธิภาพมาก แต่ คนงานจะต้องมีความประณีตในการทำ และจะต้องดับไฟ วัดดูที่โซ่ สำหรับการทำความสะอาดสิ่งเปื้อนที่ลูกถ้วยด้วยมือ ขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งเปื้อนที่สะสมตามธรรมชาติ ที่ต้องการทำความสะอาด การทำความสะอาดสิ่งเปื้อนที่ลูกถ้วยแก้วด้วยมือ จะมีประสิทธิภาพมาก กับสิ่งเปื้อนจำพวกคาร์บอน แต่ก็มึสิ่งเปื้อนบางชนิด ซึ่งเกิดจากการแตกตัวโดยขบวนการทางชีวภาพซึ่งยากที่จะทำความสะอาดด้วยมือ

5.2.4 การทำความสะอาดสิ่งเปื้อนด้วยน้ำแข็งแห้ง (Dry Ice Cleaning)

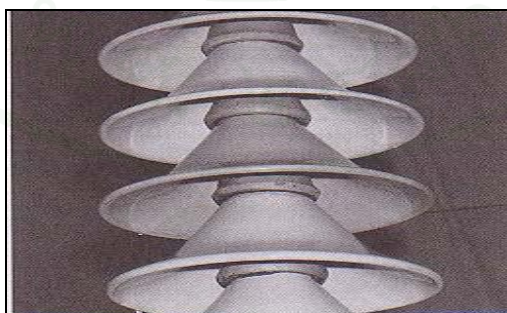
การทำความสะอาดสิ่งเปื้อนด้วยน้ำแข็งแห้ง เป็นเทคโนโลยีใหม่ ซึ่งได้มีการนำไปใช้และแสดงให้เห็นว่าเป็นวิธีที่ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ โดยปราศจากวัตถุ ที่หลงเหลือกลายเป็นขยะ เหมือน วิธีการทำความสะอาดสิ่งเปื้อนแบบแห้ง โดยวิธีนี้ การกระทบของน้ำแข็งแห้งก้อนเล็กๆ ทำความสะอาดบนผิวลูกถ้วย ซึ่งจะกระทำโดยการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการระเหิด ซึ่งวิธีการทำความสะอาดแบบนี้จะไม่ทำความเสียหายให้กับผิวของพอร์ซเลน ไม่มีขยะ และไม่ต้องป้องกันอุปกรณ์ แต่ก็จะมีข้อเสียก็ คือ ค่าใช้จ่ายจะสูง

การทำความสะอาดแบบนี้ เหมาะกับการทำความสะอาดอุปกรณ์ในสวิตเกียร์ ซึ่งพื้นที่จะแคบไม่เหมาะที่จะใช้วิธีการทำความสะอาดสิ่งเปื้อนด้วยวิธีการล้างด้วยน้ำ หรือแบบแห้ง

5.3 การเปลี่ยนแปลงการออกแบบลูกถ้วย (Modification of Insulator Design)

การออกแบบลูกถ้วยพอร์ซเลน และลูกถ้วยแก้ว เพื่อนำไปใช้ในสถานะเงื่อนไขที่มีสิ่งเปื้อน จะขึ้นอยู่กับ การนำเอาประสบการณ์ การเก็บข้อมูลที่ไดจากการใช้ลูกถ้วยมาเป็นเวลา 100 ปี และข้อกำหนดของวัตถุพอร์ซเลน และแก้วในการที่จะสร้างเป็นแบบรูปร่างต่างๆ กัน สำหรับเทคนิคการออกแบบลูกถ้วย จะสัมพันธ์ กับขนาด และระยะของว่างต่างๆ ของลูกถ้วยแต่ละลูก หรือสวนต่างๆ ของลูกถ้วยที่จะได้มาซึ่งระยะรั่ว (Leakage Distance) ต่อหน่วยความยาว เหมาะสมเท่าที่จะเป็นไปได้ ระยะรั่วถือว่าเป็นพารามิเตอร์การออกแบบที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง พารามิเตอร์อย่างอื่น เช่น ช่องว่างของรอง (Shed Spacing) รูปทรง และขนาด ก็มีความสำคัญใน การพิจารณา เช่นเดียวกัน ดังนั้นการป้อนกันระยะรั่วถือว่าเป็นกฎหลักที่จะต้องพิจารณาสมรรถนะ ของลูกถ้วยพอร์ซเลน ส่วนของจำกัดในเรื่อง ขนาด รูปทรง และคุณลักษณะรูปแบบของเซรามิก แฟกเตอร์ทั้งหมดล้วนแต่มีผลต่อสมรรถนะของลูกถ้วยทั้งนั้น

จากเหตุผลที่กล่าวมา การออกแบบมีการศึกษาและกระทำมาหลายปี จนถึงปัจจุบัน ก็ยังไม่ มีมาตรฐานควบคุมในการออกแบบ หรือควบคุมสมรรถนะของลูกถ้วยสำหรับการใช้งานในสถานะ เงื่อนไขที่มีสิ่งเปื้อน



ภาพที่ 23 การออกแบบรูปทรงระฆังซึ่งมีระยะรั่วป้องกัน (Protective Leakage Distance) ยาว

ที่มา: ประจักษ์ (2545)

5.3.1 การออกแบบโดยการขยายระยะรั้ว (Extended Leakage Distance)

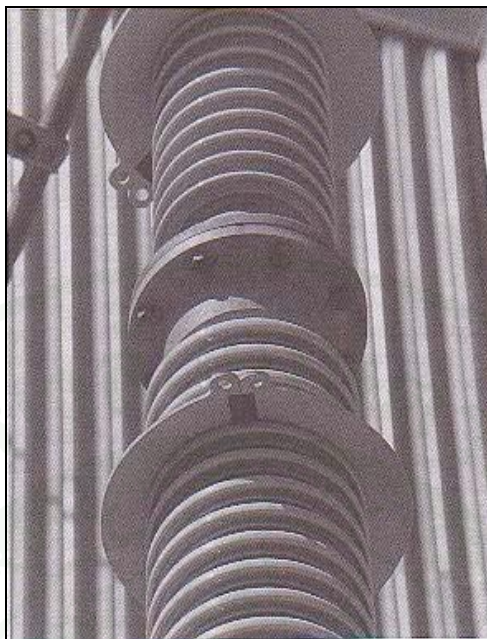
จากการทดสอบลูกถ้วยเปราะเปื้อน ค แรงดันคงทนอยู่ได้ในระบบไฟฟ้า กระแสสลับ (AC Withstand Voltage) จะพบว่ามีค่าเป็นสัดส่วนกับระยะรั้วของลูกถ้วย แต่แรงดันคงทนอยู่ได้ในระบบไฟฟ้ากระแสตรง จะพิจารณาไม่ เฉพาะระยะรั้ว ยังพิจารณาถึงรูปทรงภายนอกของลูกถ้วย ด้วย ซึ่งแรงดันคงทนอยู่ได้จะกระโดดข้ามระหว่างร่อง กฎการออกแบบเหล่านี้ โดยทั่วไปใช้ได้กับลูกถ้วยแขวน ใน ส่วนของลูกถ้วยชนิด Post Type ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจะแสดงถึงสมรรถนะ ของลูก ถ้วย โดยทั่วไปลูกถ้วยชนิด Post Type ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กจะมีสมรรถนะดีกว่า ลูกถ้วยชนิด Post Type ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่

5.3.2 การออกแบบ แบบพลูลม (Aerodynamic Designs)

การออกแบบรูปทรงที่เป่ดออก หรือ ลมของลูกถ้วย จะมีสมรรถนะดี โดยเฉพาะ บริเวณที่มีสิ่งแวดล อมที่แห้งแล้ง ฝนตกน อย ซึ่งจะพบ ว ลูกถ้วยรูปทรงแบบนี้ จะมี ปัญหาไฟดับ ที่เกิดจากสิ่งเปราะเปื้อ นมีน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับลูกถ้วยรูปทรงอย่างอื่น ซึ่งโดยปกติทั้ง สิ่งเปราะเปื้อนที่มาจากทะเล หรือจากบริเวณที่แห้งแล้ง จะมีผลจากการกลางตามธรรมชาติที่ จะทำให้สิ่งเปราะเปื้อนลดน้อยลงจากฝนนอยมาก แต่ อย่างไรก็ตามลูกถ้วยที่ออกแบบรูปทรงพลูลม จะมีสมรรถนะไม่ดีเท่าลูกถ้วยที่ออกแบบโดยการเพิ่มระยะรั้ว

5.3.3 ครีบริมเสริม (Booster Sheds)

ครีบริมเสริมเป็นการพัฒนาลูกถ้วยชนิด Post ที่มีสิ่งเปราะเปื้อน เพื่อไม่ให้เกิดการ วาบไฟตามผิวระหวางการกลางจากน้ำ โดยไม่มีการดับไฟ ครีบริมเสริมจะทำงานได้ ดีโดยเฉพาะกับ ลูกถ้วยชนิด Post แต่ก็มีบางปัญหาที่ไ้เกิดขึ้นขณะใช้งานที่เกี่ยวกับการใช้ครีบริมเสริมเหล่านี้ คือ ระยะระหว่างครีบริมโพลิเมอร์ (Polymer Sheds) และครีบริมพอร์ซเลน จะมีขนาดที่เหมาะสม ที่ทำให้เกิด โครโน้ดิสชาร์จ ซึ่งจะทำให้ครีบริมโพลิเมอร์เสียหาย แล ยังทำความเสียหายให้กับสารเคลือบ พอร์ซเลนอีกด้วย ซึ่งการเกิดโครโน้ดิสชาร์จจะเป็นแหล่งพลังงานที่ทำให้เกิดการรบกวน ทาง ดา นแม่เหล็กไฟฟ้า ในขณะที่เพาเวอร์ อารกระหวางครีบริมกับผิวพอร์ซเลนจะทำให้เกิดความเสียหาย กับสารเคลือบที่ผิว



ภาพที่ 24 ครีปเสริมซึ่งใช้งานที่ Station Posts ในระดับแรงดัน 500 kV

ที่มา: ประจักษ์ (2545)

5.3.4 การเพิ่มระยะทางรั้ว (Leakage or Creepage Extenders)

การเพิ่มขึ้นของระยะทางรั้ว จะทำได้ กับลูกถ้วยที่สามารถเพิ่มระยะรั้วได้ ซึ่งอุปกรณ์ที่สามารถเพิ่มระยะรั้วได้นั้นจะยึดติดอยู่กับที่ด้วยสารบางชนิด วิธีนี้จะใช้ได้มีประสิทธิภาพกับฉนวนที่สาย และสถานีไฟฟ้า ซึ่งค่าใช้จ่ายก็ไม่สูงมาก

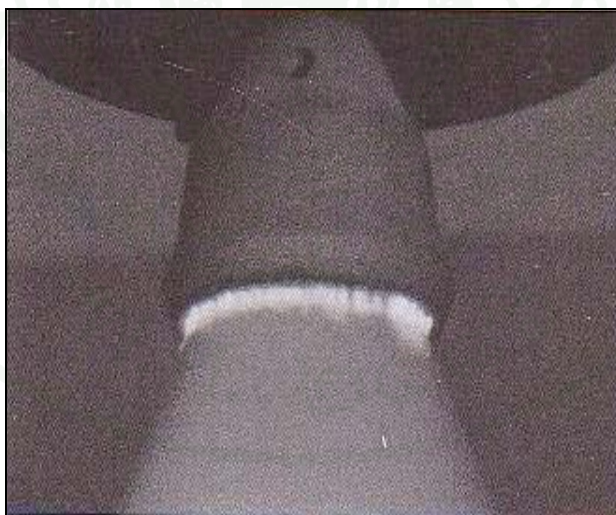
5.3.5 การเพิ่มลูกถ้วย (Additional Insulators)

หลักทั่วๆ ไปที่จะใช้ แก้ไขปัญหาการไขงานในสภาวะมีสิ่งเปราะเปื้อน คือการเพิ่มความยาวของพวงลูกถ้วย และ Taller Posts ตามสถานที่ติดตั้งต่างๆ การเพิ่มความยาวของพวงลูกถ้วยของในระบบสายเหนือหัว สามารถป้องกันการรบกวนไฟตามผิวเนื่องจากสิ่งเปราะเปื้อนได้ และกระแสน้ำจะเสริมให้แรงดันกระจายเกือบจะเป็นเชิงเส้นกับความยาว หลักการนี้จะใช้ได้เหมาะสมกับฉนวนที่สาย หรือสถานีไฟฟ้า ลูกถ้วยแขวน กระแสน้ำจะผ่านทะลุซีเมนต์ในลูกถ้วยซึ่งเป็นปัญหาที่แก้ไขให้สมบูรณ์ไม่ได้ กระแสน้ำจะไหลผ่านเกลือในซีเมนต์ซึ่งเป็นสาเหตุการเกิดแรงดันในซีเมนต์ ซึ่งจะทำให้ซีเมนต์เกิดการขยายตัว การเพิ่มแรงดันทำให้เกิดความเครียดในฉนวนพอร์ซเลน ซึ่งเป็นสาเหตุให้พอร์ซเลนแตก การกักครอนของสารเคลือบกิ่งตัวนำ ที่บริเวณ

ไกลๆ กับซีเมนต์ ก็ยังเป็นปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขได้ สำหรับลูกถ้วยชนิด Post ความเสียหายจากการขยายตัวของซีเมนต์ไม่เกิดขึ้น อย างไรก็ตาม การกัศกร หนึ่งของสารเคลือบจะเกิดขึ้นซ้ำๆ เพราะว่าการซ่อมแซมของกระแสดำการกัศกรหนึ่งของสารเคลือบจะเกิดอย่างรวดเร็วในสิ่งแวดล้อมที่ ยังเป็นการขยายช่วงเวลาในซ่อมบำรุงโดยการล้างลูกถ้วยอีกด้วย แต่ในสถานีไฟฟ้าการเพิ่มลูกถ้วย ไม่สามารถทำได้ ถ้าหากไม่มีการเปลี่ยนความสูงของ Bus Runs

5.3.6 ลูกถ้วยเคลือบด้วยความต้านทาน (Resistive Glaze Insulators)

บริเวณที่มีหมอก และสภาวะที่มีสิ่งเปรอะเปื้อน อนุ รูปทรงของลูกถ้วยอย่างเดียว จะป้องกันการเปกไคเล็กน้อย อย างไรก็ตาม ถ้าผิวของลูกถ้วยเคลือบด้วยสารกึ่งตัวนำ กำลังไฟฟ้า จะกระจายตามสารเคลือบแล้วจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นหลายองศา เมื่อ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิ บรรยากาศทำให้สามารถป้องกันการเปกเนื่องจากขบวนการควบแน่นไค (Sangkasaad และคณะ, 2000) การแก้ปัญหานี้ แลบแห สามารถที่จะรักษาและป้องกันการรวมตัวจากหมอก และเป็น หมอก และมีคราบเกลือ การกัศกรหนึ่งของสารเคลือบที่เกิดขึ้น ทำให้ที่ฟลอสสิ่งเปรอะเปื้อนไม่มี ประสิทธิภาพ และเกิดการอร ก ข ามสารเคลือบ แสดงตา มภาพที่ 25 ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายของการ รบกวสนามแม่เหล็กไฟฟ้า



ภาพที่ 25 การสปารกขาม Corroded Glaze ของลูกถ้วยที่เคลือบความต้านทาน

ที่มา: ประจักษ์ (2545)

5.4 ลูกถ้วย Nonceramic (Nonceramic Insulators)

ลูกถ้วย Nonceramic ซึ่งมีคุณลักษณะพิเศษ คือ มีระยะร้าวยาว และพื้นที่ผิวหน้าขนาดเล็ก ตอนผลิตออกมาใหม่ๆ ดูเหมือนว่าจะมีสมรรถนะต่อสิ่งเปื้อนดีกว่าลูกถ้วย Ceramic และจากการพิจารณา การเกิดฉนวนไฟตามผิว โดยการทดสอบในห้องทดลอง และจากการสังเกตจากผลของการใช้งานจริง ในสถานที่ติดตั้งในช่วงสั้นๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ลูกถ้วย Nonceramic มีสมรรถนะดีกว่าลูกถ้วย Ceramic สมัยก่อนการพัฒนาออกแบบสร้างลูกถ้วย Nonceramic ไม่ได้พิจารณาถึงการใช้งานในพื้นที่ที่มีระดับสิ่งเปื้อนรุนแรง ซึ่งเมื่อนำไปใช้งานในสถานที่ติดตั้งจริงๆ ซึ่งระดับสิ่งเปื้อนรุนแรงก็จะมีผลเสียหายเกิดขึ้น จากเหตุผลดังกล่าว การใช้ลูกถ้วย Nonceramic ในพื้นที่ที่มีระดับสิ่งเปื้อนรุนแรง ได้กลายเป็นประเด็นปัญหาที่ต้องแก้ไข

นอกจากนี้ การใช้ EP หรือซิลิโคนเป็นเปลือกลูกถ้วย ก็เป็นปัญหาดูแล อย่างไรก็ตาม ในส่วนของ ยางซิลิโคน ปรากฏว่า เป็นวัสดุที่ได้รับการสนับสนุนให้ใช้เนื่องจากมีคุณสมบัติต้านน้ำ ปัญหาหลัก กับการใช้ลูกถ้วย Nonceramic ในพื้นที่ที่มีระดับสิ่งเปื้อนรุนแรง จะเกิดกระแสรั่วต่อมาก็เกิดแถบแห้ง และเกิดอาการ แตก มีมากก็อาจจะทำลายผิวภายนอกของลูกถ้วย และจะส่งผลให้เกิดความเสียหายกับลูกถ้วย รวมทั้ง Core ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดฉนวนไฟตามผิว และการแตกทางกล แต่ถ้ามมีการซ่อมบำรุงโดยการล้างด้วยน้ำบ่อยๆ อย่างเพียงพอ สมรรถนะของลูกถ้วย Nonceramic ที่มีสิ่งเปื้อนก็จะดีกว่ากับลูกถ้วย Ceramic ที่มีสิ่งเปื้อน ดังนั้นจากผลของปัญหานี้ บริษัทผู้ผลิตลูกถ้วย Nonceramic บางแห่งไม่แนะนำให้ติดตั้งลูกถ้วย Nonceramic ในพื้นที่ที่มีสิ่งเปื้อน เพราะไม่มีการกำหนด ข อจำกัด และระดับการยอมรับของสิ่งเปื้อน รวมทั้งแนวทางในการซ่อมบำรุงโดยการล้างด้วยน้ำ ซึ่งปัจจุบัน ลูกถ้วย Nonceramic จะนิยมใช้ในพื้นที่สะอาด หรือพื้นที่ที่มีสิ่งเปื้อนเล็กน้อย

5.5 การทาป้องกันที่เปลี่ยนแปลงได้ (Mobile Protective Coatings)

การทาสีลูกถ้วยที่เปลี่ยนแปลงได้ จะทำให้ลูกถ้วยมีคุณสมบัติคือ เปียกน้ำได้ยาก และสามารถดูดซับสิ่งเปื้อนได้ ซึ่งจะมีการเตรียมการก่อนที่ระบบสายส่งจะถูกสร้างขึ้น และนำลูกถ้วยนั้นไปติดตั้งหลายๆ วิธีของการปฏิบัติกับผิวลูกถ้วย เช่น การใช้น้ำมัน (Oils) สารที่ลื่นเหมือนน้ำมัน (Greases) และสารพอก (Pastes) ซึ่งใช้มาเป็นเวลาหลายสิบปีมาแล้ว ซึ่งผลจากการใช้งานก็มีประสิทธิภาพพอสมควร แต่ อย่างไรก็ตามก็ยังมีข้อเสียเกิดขึ้น โดยเฉพาะผลของ ความ

เสียหายของลูกถ้วยระหว่างการอาร์กที่แถบแห้ง การทาป้องกันที่เปลี่ยนแปลงใดจะป้องกัน การเกิด วาบไฟตามผิวซึ่งแยกออกได้เป็น 2 แนวทางคือ

- การลดการรวมตัวของน้ำที่จะก่อตัวเป็นฟลัมที่ต่อเนื่องกัน
- การห่อหุ้มสิ่งเปราะเปื้อนเพื่อป้องกันการกลายเปลี่ยนสารละลาย และทำให้ผิวลูก

ถ้วยเป็นผิวดำนำไฟฟ้า

สมรรถนะของ Greases จะมีประสิทธิภาพตามระยะเวลาและความรุนแรงของสิ่ง ปรอะเปื้อน อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการดูดซับสิ่งเปราะเปื้อนเข้าไปมากๆ ความเสียหายเกิดขึ้น จะทำ ให้เกิด การเบรกดาวน์ เนื่องจากการอาร์กที่แถบแห้ง ซึ่งจะทำให้ วัสดุ Ceramic เกิดการแตก การทา ป้องกัน ที่เปลี่ยนแปลงใดที่โรงงานอยู่ในปัจจุบัน 2 ชนิดคือ



ภาพที่ 26 รอยคราบปนทางของ Grease ซึ่งจะเพิ่มรอยแตกให้กับ Substrate

ที่มา: ประจักษ์ (2545)

5.5.1 การทา Greases ชนิดไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon Greases Coatings)

Greases ชนิดไฮโดรคาร์บอน Jellies และ Pastes ทำมาจากน้ำมันไฮโดรคาร์บอน และ สารเติม มหหลายๆ ชนิด อย่างไรก็ตาม Greases ชนิดไฮโดรคาร์บอนจะเปลี่ยนสถานะตามอุณหภูมิ และทำให้ เกิดการลื่นที่ผิวลูกถ้วย แต่ มีข้อจำกัดคือไฮโดรที่อุณหภูมิไม่สูง และไม่ สามารถ

นำไปใช้กับ อุปกรณ์จำพวก Bushings ขอลือของ Greases ชนิดไฮโดรคาร์บอน คือ ราคา และการทำพื้นผิวลวกด้วยไฮสอาดโดยโซเดียมหรือสารละลาย เพื่อที่ทำไมจะเปงานงานที่ยุงยาก เซน ในสถานไฟฟ้ายอยหนึ่งๆ น้ำหนักของ Greases จะมีน้ำหนักถึงพันๆ ปอนด์ เมื่อจะทำไม ซึ่งจะต้องทำความสะอาด Greases เดิมออกให้หมด ทำได้ ลำบาก และต องใช้เวลามาก จึงเป ็นปัญหาของการนำ Greases ไปใช้งาน

5.5.2 การทา Greases ชนิดซิลิโคน (Silicone Grease Coatings)

การนำ Greases ชนิดซิลิโคนในการทาป้องกันลูกถ้วยแถว และลูกถ้วยพอร์ซเลนมีการใช้มาเป็นเวลากว่า 30 ปี มาแล้ว และเป็น ที่รู้จักว่ามีคุณภาพดีกวาสารประกอบไฮโดรคาร์บอน Greases ชนิดซิลิโคนจะประกอบด้วย น้ำมันซิลิโคน และสารเติมชนิดต่างๆ สถานะปกติจะไม่หลอมเหลว แต่จะสลายตัวที่อุณหภูมิมากกว่า 200 องศา C เพราะวา Viscosity จะมีค่าอยู่ที่ -50 ถึง 200 องศา C ซึ่งสามารถใช้งานได้ทุกๆ สภาพ พบรรยากาศ แต่ ขอลือที่สำคัญ คือจะต องทำความสะอาด Greases เดิมออกให้หมดก่อนที่ จะทำไมซึ่งจะเปงานงานที่ยุงยาก และใช้เวลา มาก รวม ทั้งค่าใช้จ่ายก็จะสูง Greases เป็นสารประกอบที่ทาบนผิวลูกถ้วยแล้ว ผิวลูก ถ้วยจะมีคุณสมบัติไม่เปียกน้ำ และรักษาความตานทานผิวสูง เมื่อ มีฝุ่นคราบเกลือหรือสิ่งเปรอะเปื้อนชนิดอื่นมาสะสมบนผิวลูกถ้วย เป็นระยะเวลานาน นอกจากนี้ Greases ชนิดนี้จะไม่อึดตัวกับสิ่งเปรอะเปื้อนที่เป็นของแข็ง กระแสเล็ ร์บนผิวของ Greases จะถูกกำจัด และแรงดันวบไฟตามผิวก็ยังคงสูง Greases ชนิดซิลิโคนจะมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด จะขึ้นอยู่กับความหนาและความสม่ำเสมอเป็นแบบเดียวกันในการทา การกำหนดความหนาของการทาคือขึ้นอยู่กับระดับความต้องการสำหรับการป้องกัน ที่แตกต่างกัน ตามพื้นที่จะติดตั้งและสิ่งแวดล้อม Greases ชนิดซิลิโคน ประกอบด้วย Alumina Tri-Hydrate (ATH) ซึ่งมีลักษณะคล้ายสารที่เคลือบไล่น้ำ (Water Repellency) เช่น Greases ชนิดซิลิโคนที่ถูกเติมกับซิลิกา แต่ Arc-Resistance จะดีกว่า Greases ชนิดซิลิโคนได้นำมาใช้ในปี ค.ศ.1975 อย่างกว้างขวางในระบบไฟฟ้ากำลังเพราะมีคุณสมบัติคือ มีความแข็งแรง สามารถที่จะซ่อมบำรุงได้ อย่างไรก็ดีตาม ก็มีขอลือ คือ ขอลือจำกัดของ Arc-Resistance ผลของน้ำที่ถูกกัดเซาะ การสะสมและการดูดซับน้ำ ของสิ่งเปรอะเปื้อนซึ่งเป็นสาเหตุของการสูญเสียของน้ำที่ไหลผ่าน และต้องการการซ่อมบำรุงสม่ำเสมอโดยการทำความสะอาด การที่จะนำ Greases ชนิด ไฮโดรคาร์บอนออก เพื่อทำความสะอาด จะใช้ผา หรือสารละลาย เปงานงานที่ยุงยาก และใช้เวลา มาก ทำให้เป ็นปัญหาของการนำ Greases ไปใช้งาน

5.6 การเคลือบโดย Solid Water Repellent (Solid Water Repellent Coatings)

มีความยุ่งยากระหว่างการทำแบบเปลี่ยนแปลงได้ เช่น Greases ซึ่งผิวจะลื่นน้ำ และการเคลือบแข็งแบบไล่น้ำ (Solid Water Repellent) เช่น Fluorocarbon และยางซิลิโคน RTV ซึ่งถึงแม้ว่าจะไล่น้ำได้ แต่เปลี่ยนแปลงเพื่อเคลือบใหม่ไม่ได้ การเคลือบแข็งแบบไล่น้ำจะไล่น้ำที่ผิวโดยการจับเกาะอย่างแน่นหนาของพันธะเคมี แต่การทำซิลิโคนผิวจะลื่นน้ำโดยจะเป็นการลอกตัวของโมเลกุลที่มีน้ำหนักเบาไปที่ผิวส่วนบนซึ่งจะไปไล่น้ำได้ทำให้ผิวถูกฉนวนที่ทาซิลิโคนจะลื่นน้ำ

5.6.1 การเคลือบแบบ Fluorourethane (Fluorourethane Coatings)

รูปแบบของ Fluorourethane Resin ถูกพัฒนาสำหรับการใช้ประโยชน์กับพื้นผิวชนิดต่างๆ เช่น ผิวที่ไม แหลม ซึ่งจะช่วยรักษาพื้นผิวให้สะอาด สารเรซินได้ ปรับปรุงโดย Silane Coupling Agent และ ATH Filler ซึ่งมีประโยชน์สำหรับลูกถ้วยแรงสูง ถึงแม้จะมีประโยชน์จากการนำไปใช้ แต่การไฟฟ้าก็สนใจเทคโนโลยีนี้ต่ำ มีการทดสอบในห้องทดลองของลูกถ้วยตัวอย่างที่นำมาจากสถานที่ติดตั้ง ผลที่ได้ แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติจากการเคลือบแบบไล่น้ำจะเสื่อมลงมาก ต่างจากประเภทของการนำไปใช้

5.6.2 การเคลือบยางซิลิโคน RTV (RTV Silicone Rubber Coatings)

ยางซิลิโคนใช้ประโยชน์ทางไฟฟ้ามากมาย มีคุณสมบัติความเป นฉนวนที่ดี และช่วง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกว ้าง รวมทั้งความทนทาน ที่ดีต่อแสงอัลตราไวโอเล็ต เคมี ความร้อน แล ะโคโรนาดีสชาร์จ คุณสมบัติที่สำคัญของยางซิลิโคน ที่เป นประโยชน์ต่อลูกถ้วย คือ การรักษ ารการกระแทกจากน้ำ ภายใต้อิทธิพลของรังสีแกมมา และแรงดันสูง แสดงว่ายางซิลิโคนจะมี คุณสมบัติการไล่น้ำ (Water Repellency) เพราะวาพลังงานที่ผิวต่ำ เมื่อใช้งานกับลูกถ้วยพอร์ซเลน พื้นผิวที่ลื่นน้ำจะทนทานต่อการพัฒนาของกระแสรั่ว และอาร์กที่แถบแห้ง

การเคลือบ ซิลิโคน RTV (Room Temperature Vulcanizing) เปนประโยชน์ที่สำคัญเป็นที่รู้จัก ตั้งแต่การทดลองในสถานที่ติดตั้งในปี ค.ศ.1973 และต่อมาในปี ค.ศ.1987 ได้มีการผลิตเป็นทางการคา ถึงแม้ว่า จะมีปัญหาเล็กน้อยที่ไพบกับการเคลือบในครั้งแรก ต่อมา มีการปรับปรุง เทคโนโลยีการเกาะติดที่ผิวพอร์ซเลน ปรับปรุงความเหนียว หรือ De-Polymerization ใช้การพ่นอย่างรวดเร็ว ใช้ ประโยชน์ขณะจ่ายไฟ และ ปรับปรุงความต้านทาน เพื่อจะพัฒนากระแสรั่ว และการวาวไฟตามผิว

5.7 การลดแรงดันสาย (Line Voltage Reduction)

วิธีที่มีประโยชน์อีกอย่างหนึ่งในการป้องกันไฟดับเนื่องจากสิ่งแวดลอม ที่มีสิ่งเปราะ
เปื้อน คือการลดแรงดันในสาย บางครั้ง สามารถจะหลีกเลี่ยงการเกิดวาบไฟตามผิวโค ยการลด
แรงดัน ประมาณ 10 ถึง 15 %



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิบริเวณผิวลูกถ้วย

- 1.1 ลูกถ้วยแขวน(พอร์ชเลน) ที่ติดตั้งบนโครงสร้างทางผ่าน ของการไฟฟ้านครหลวง
- 1.2 กล้องถ่ายภาพความร้อนหรือกล้องอินฟราเรด
- 1.3 กล้องถ่ายภาพ
- 1.4 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมระบบปฏิบัติการ

2. อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดสิ่งเปราะเปื้อนบริเวณผิวลูกถ้วย

- 2.1 ลูกถ้วยแขวน(พอร์ชเลน) ที่ติดตั้งบนโครงสร้างทางผ่าน ของการไฟฟ้านครหลวง
- 2.2 เครื่องวัดค่าความนำน้ำ (Conductivity Tester)
- 2.3 น้ำกลั่นพร้อมภาชนะ

3. อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบค่าพิกัดต่างๆ ทางไฟฟ้าของลูกถ้วย

- 3.1 ลูกถ้วยแขวน(พอร์ชเลน) ที่ติดตั้งบนโครงสร้างทางผ่าน ของการไฟฟ้านครหลวง
- 3.2 Barometer
- 3.3 Tesla Transformer
- 3.4 Testing Transformer
- 3.5 Stop Watch
- 3.6 AC/DC Kilovolt Meter

4. อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์และการคำนวณ

4.1 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมระบบปฏิบัติการ

4.2 โปรแกรม Microsoft Office 2007 (Word, Excel และ PowerPoint) สำหรับรวบรวมข้อมูลและคำนวณข้อมูลต่างๆ

4.3 เครื่องพิมพ์ (Printer) และเครื่องสแกนเนอร์ (Scanner)

4.4 กล้องถ่ายภาพ



ภาพที่ 27 ลูกถ้วยแขวน(พอร์ชเลน) ที่ติดตั้งบนโครงสร้างทางผ่าน (DC-DC-1) สายส่งระบบ 69 เควี. ของการไฟฟ้านครหลวง



ภาพที่ 28 ลูกถ้วยแขวน(พอร์ชเลน) ที่ติดตั้งบนโครงสร้างทางผ่าน (TS-115) สายส่งระบบ 115 เควี. ของการไฟฟ้านครหลวง



ภาพที่ 29 กล้องถ่ายภาพความร้อนหรือกล้องอินฟราเรด



ภาพที่ 30 กล้องถ่ายภาพ



ภาพที่ 31 เครื่องวัดค่าความนำน้ำ (Conductivity Tester)



ภาพที่ 32 น้ำกลั่นพร้อมภาชนะ



ภาพที่ 33 Barometer



ภาพที่ 34 Tesla Transformer



ภาพที่ 35 Testing Transformer



ภาพที่ 36 Stop Watch



ภาพที่ 37 AC/DC Kilovolt Meter



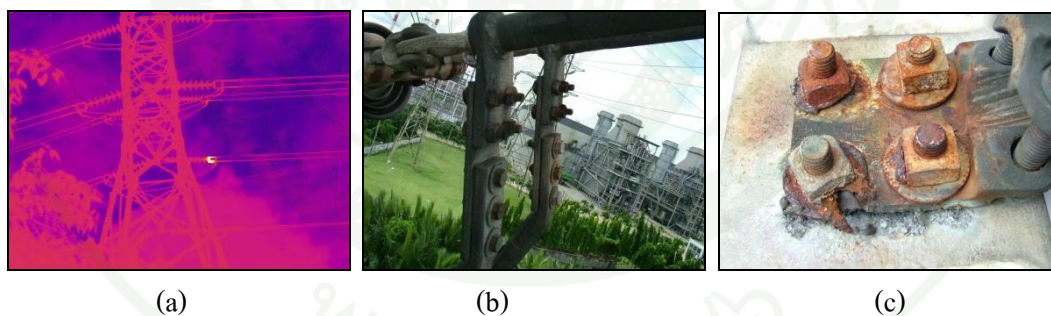
ภาพที่ 38 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมระบบปฏิบัติการ

วิธีการ

1. ศึกษาปัญหาและวิเคราะห์สาเหตุการเกิดไฟฟ้าดับจากสิ่งประอะเปื้อน

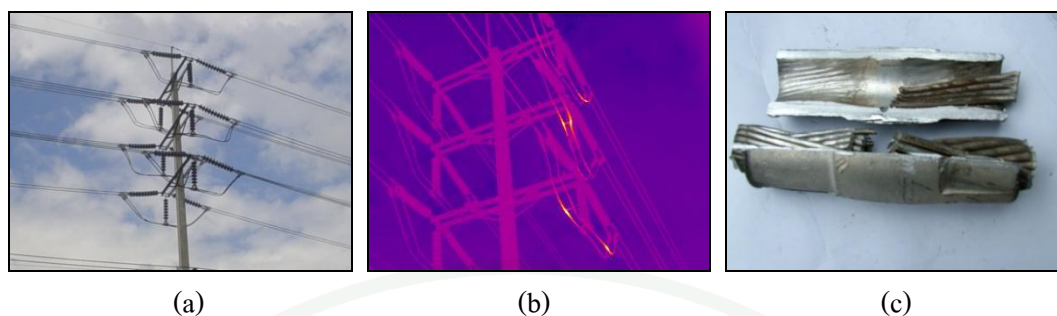
ทำการศึกษาปัญหาและสาเหตุของการเกิดไฟฟ้าดับ จากข้อมูลของการไฟฟ้านครหลวง เพื่อคิดวิธีการแก้ปัญหาของไฟฟ้าดับ สาเหตุหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้ไฟฟ้าดับ มาจากการเกิดการรวบไฟตามผิวของลูกถ้วยที่มีความสกปรกบริเวณผิวของลูกถ้วย ดังนั้นจึงต้องหาคำมาตรฐานของระยะเวลาในการเกิดการรวบไฟตามผิว, ปริมาณสิ่งประอะเปื้อนที่ทำให้เกิดการรวบไฟตามผิวและปริมาณอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการรวบไฟตามผิว เพื่อ ในการป้องกันการเกิดการรวบไฟตามผิวของลูกถ้วย

ปัจจุบันการไฟฟ้านครหลวงมีเทคโนโลยีของกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Image Camera หรือ Infrared Camera) มาใช้ในงานบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า โดยใช้ตรวจสอบบริเวณจุดต่อต่างๆ เพื่อหาจุดต่อที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งจุดต่อที่ไม่สมบูรณ์จะก่อให้เกิดความร้อนบริเวณจุดต่อนั้นๆ เช่น



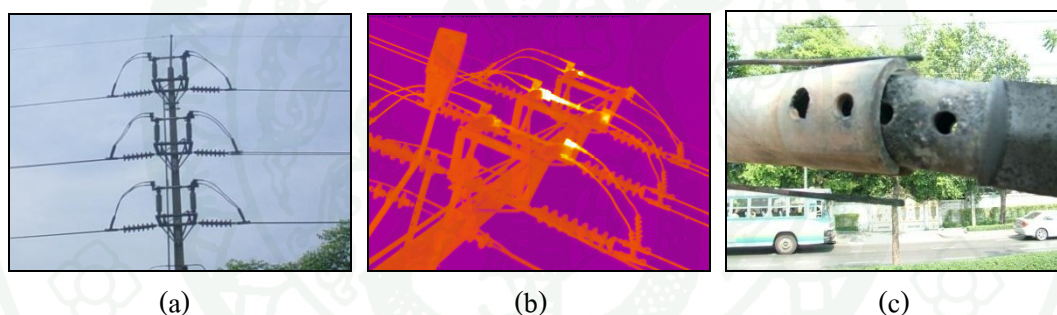
ภาพที่ 39 (a) ภาพถ่ายความร้อน สายส่ง SKT695 ที่เสา Tower #4 ใกล้สถานีต้นทางพระนครใต้
 (b) ภาพถ่าย Jumper Ø B สายส่ง SKT695 ที่เสา Tower #4
 (c) ภาพตัวอย่าง Jumper ชำรุด

ที่มา: ฝ่ายบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง (2550)



ภาพที่ 40 (a) ภาพถ่าย สายส่ง BPT693B ที่เสา #127 ถนนบางนา - ตราด
 (b) ภาพถ่ายความร้อน สายส่ง BPT693B ที่เสา #127 ถนนบางนา - ตราด
 (c) ภาพ Non-Tension Sleeve Ø B ที่เสา #127 สายส่ง BPT693B

ที่มา : ฝ่ายบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง (2550)



ภาพที่ 41 (a) ภาพถ่าย Disconnecting switch 69 kV # 6032BA Line BAT697 ถนนพระราม 4
 (b) ภาพถ่ายความร้อน Disconnecting switch 69 kV # 6032BA
 (c) ภาพถ่ายใบมีด SW.6032BA Ø Y

ที่มา : ฝ่ายบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง (2550)

กล้องถ่ายภาพความร้อนยังสามารถนำมาวัดค่าความร้อนที่เกิดขึ้น บริเวณผิวของลูกถ้วยที่มีความสกปรกเนื่องจากสิ่งเปรอะเปื้อนที่มีอยู่ในอากาศ โดยความร้อนที่ผิวของลูกถ้วยจะเกิดจากกระแสรั่วไหลที่บริเวณผิวของลูกถ้วยที่มีสิ่งเปรอะเปื้อนเคลือบอยู่ โดยนำอุณหภูมิที่เกิดขึ้นมาเปรียบเทียบกับปริมาณสิ่งเปรอะเปื้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวลูกถ้วย และนำลูกถ้วยที่มีสิ่งเปรอะเปื้อนมาทำการทดสอบตามมาตรฐาน ANSI C29.1-1988 (R2002) เพื่อหามาตรฐานของค่าพิกัดต่างๆที่ใช้

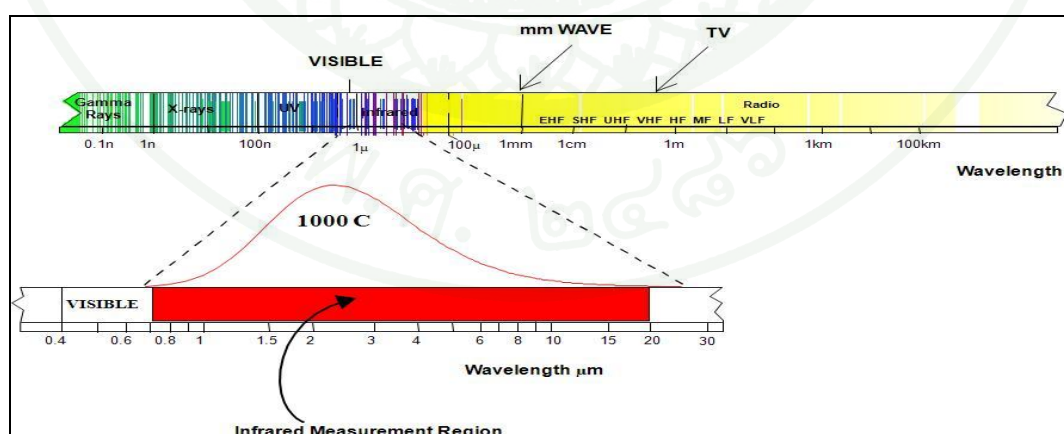
สำหรับงานของการไฟฟ้านครหลวง (โดยปริมาณสิ่งประกอบอื่นไม่ได้มีการกำหนดค่าให้อยู่ในมาตรฐาน ของการไฟฟ้านครหลวง) (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

โดยลูกถ้วยที่มีสิ่งประกอบอื่นอยู่บริเวณผิวมากจะทำให้ค่าพิคต์ต่างๆทางไฟฟ้า เช่น แรงดันไฟฟ้าวบไฟตามผิวแห้ง(เปียก)ความถี่ต่ำ, แรงดันไฟฟ้าวบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางบก(ลบ), ค่าความเป็นฉนวน และค่าอื่นๆ ลดลงต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ทางการไฟฟ้านครหลวงกำหนด

การใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนหรือกล้องอินฟราเรดสำหรับวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุนั้นๆ มีข้อจำกัดในการใช้งานและรายละเอียดต่างๆของกล้อง ดังนี้

1.1 หน้าทีของกล้องถ่ายภาพความร้อนหรือกล้องอินฟราเรด (Thermal Image Camera หรือ Infrared Camera)

กล้อง Infrared เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการแผ่รังสี Infrared ของวัตถุใดๆ โดยวัตถุทุกชนิดจะมีการแผ่รังสี Infrared ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุนั้นๆ ความยาวคลื่นของรังสี Infrared จะอยู่ที่ประมาณ $0.7 - 1,000 \mu\text{m}$. (กล้อง Infrared ที่ใช้งานจะเป็นชนิด Long wave มีความยาวคลื่นประมาณ $7.5 - 14 \mu\text{m}$.)

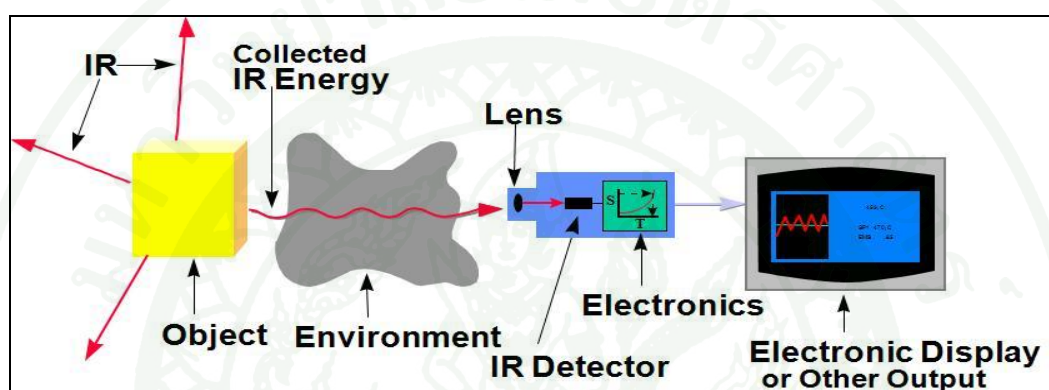


ภาพที่ 42 Electromagnetic Spectrum

ที่มา : ตัวแทนจำหน่ายกล้องถ่ายภาพความร้อน ยี่ห้อ FLUKE

1.2 หลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อนหรือกล้องอินฟราเรด

กล้อง Infrared จะวัดค่าการแผ่รังสีของวัตถุใดๆ ซึ่งบริเวณดังกล่าวจะต้องมีความแตกต่างกันของอุณหภูมิผ่านตัวกลาง (Environment) โดยจะมีตัว Sensor เป็นตัววัดค่ารังสีที่แผ่ออกมา (กล้อง Infrared ที่เป็นแบบ Long wave ตัว Sensor จะใช้ Thermo couple) จากนั้นก็จะผ่านวงจรทาง Electronic เพื่อประมวลและแสดงผล



ภาพที่ 43 หลักการทำงานของกล้องวัดค่ารังสี Infrared

ที่มา : ตัวแทนจำหน่ายกล้องถ่ายภาพความร้อน ยี่ห้อ FLUKE

1.3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าจากกล้องถ่ายภาพความร้อนหรือกล้องอินฟราเรด

1.3.1 Emissivity ของวัตถุ ควรจะวัดค่าของวัตถุที่มีค่า Emissivity สูงๆ (ลดค่าผิดเพี้ยน)

Emissivity เป็นค่าสัมประสิทธิ์ในการแผ่รังสี Infrared ของวัตถุใดๆ ต่อ Blackbody ที่อุณหภูมิและ Wavelength เดียวกัน (วัตถุแต่ละชนิดจะมีค่า Emissivity ไม่เท่ากัน) แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

- Blackbody ($\epsilon_\lambda = \epsilon = 1$) คือ วัตถุที่สามารถดูดซับพลังงานได้ทั้งหมดในทุกๆ ความยาวคลื่น มีค่าเท่ากับ 1
- Graybody ($\epsilon_\lambda = \epsilon < 1$) คือ วัตถุที่สามารถดูดซับพลังงานได้ไม่ทั้งหมดในทุกๆ ความยาวคลื่น มีค่าตั้งแต่ 0 – 1 เช่น ผิวหนัง, ไม้ เป็นต้น

- Selective body หรือ Color body (ϵ_λ เปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่น) คือ วัตถุที่เปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นแต่มีค่าไม่คงที่ (ให้ระวังความร้อนที่จะเกิดขึ้นกับ Color body) เช่น แก้ว (จะทึบในบางเวลา)

ขั้นตอนการหาค่า Emissivity ของวัตถุใดๆ

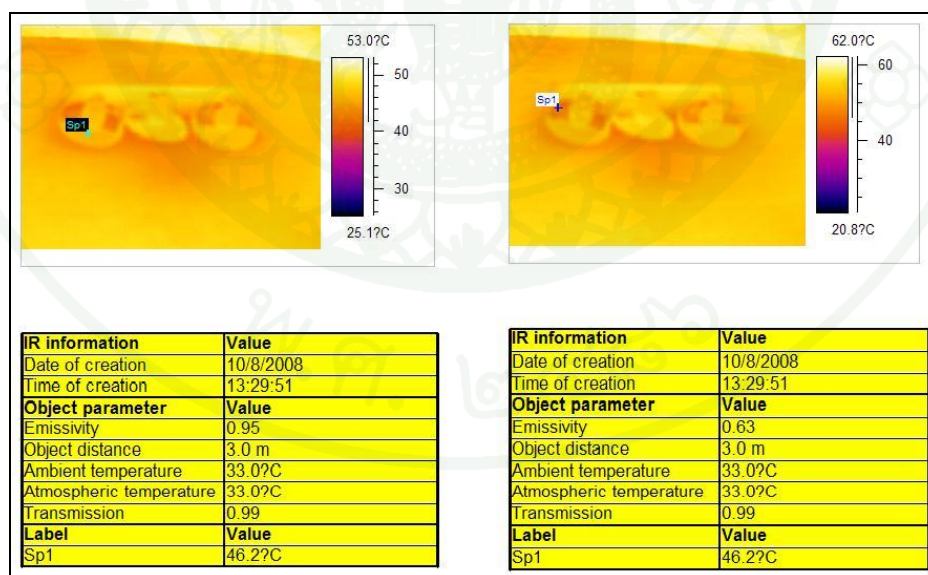
- เปะเทปดำบนผิวของวัตถุ
- ให้อุณหภูมิที่ผิวของวัตถุร้อนกว่าอุณหภูมิรอบๆ
- วัดค่าอุณหภูมิที่เทปดำ โดยปรับค่า Emissivity = 1 (Spot ที่เทปดำ)
- วัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ (Spot ที่ผิววัตถุ) โดยปรับค่า Emissivity

จนกว่าจะวัดค่าอุณหภูมิได้เท่ากับค่าอุณหภูมิที่เทปดำข้างต้น

- เมื่อปรับอุณหภูมิได้เท่ากันแล้ว ค่า Emissivity ที่ปรับจนให้อุณหภูมิเท่ากันคือ ค่า Emissivity ของวัตถุนั้นๆ

ตัวอย่าง การหาค่า Emissivity ของลูกถ้วยพอร์ซเลนขนาดแรงดัน 69 และ 115 เควี. ยี่ห้อ AI

($\epsilon = 0.63 - 0.75$)



ภาพที่ 44 การหาค่า Emissivity ของลูกถ้วยพอร์ซเลนขนาดแรงดัน 69 และ 115 เควี. ยี่ห้อ AI



ภาพที่ 45 ลูกถ้วยพอร์ซเลนขนาดแรงดัน 69 และ 115 เควี. ยี่ห้อ AI

1.3.2 Reflected (การสะท้อน) ของสิ่งแวดล้อม จะต้องหลีกเลี่ยงสถานที่ที่มีค่า

Reflect สูงๆ แต่ในบางกรณีก็ต้องอาศัยอุปกรณ์ที่มีค่า Reflect สูงเพื่อใช้ในการวัดค่าเช่นกัน เช่น บริเวณที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ โดยจะใช้แผ่นสแตนดาร์ดเลสในการสะท้อนรังสีเพื่อให้กล้องวัดค่าได้

1.3.3 Transmitted (การส่งผ่าน) ของตัวกลาง จะต้องวัดค่าที่ค่า Transmitted สูงๆ

(โปร่ง) แต่บางกรณีก็ต้องมีค่าต่ำ(ทึบ) เพื่อให้สามารถวัดค่าได้ เช่น การวัดแก๊สรั่ว เป็นต้น

1.3.4 ระยะทาง ต้องไม่ไกลเกินไป จนทำให้ตัว Spot ใหญ่กว่าวัตถุและไกลจนไม่สามารถทำให้ Focus ภาพได้

1.3.5 ขนาดของวัตถุ ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าตัว Spot ของกล้อง Infrared

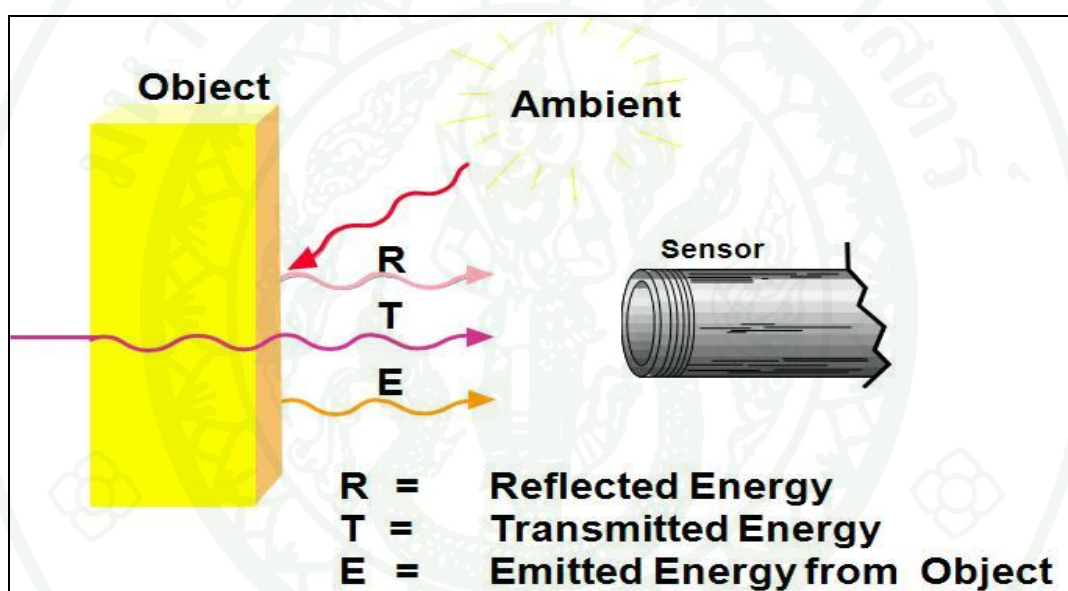
1.4 การวัดค่าการแผ่รังสีอินฟราเรด

1.4.1 พลังงานที่กล้องวัดได้ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ

- Emitted energy (E) : พลังงานการแผ่รังสี
- Reflected energy (R) : พลังงานการสะท้อนรังสี
- Transmitted energy (T) : พลังงานการส่งผ่านรังสี

ดังนั้นการ

$$E + R + T = 1$$



ภาพที่ 46 องค์ประกอบของค่าการแผ่รังสี Infrared

ที่มา : ตัวแทนจำหน่ายกล้องถ่ายภาพความร้อน ยี่ห้อ FLUKE

1.4.2 องค์ประกอบที่ใช้ในการพิจารณาการวัดค่าที่ถูกต้อง

- คุณภาพของกล้อง Infrared
- ความรู้ทางด้าน Infrared
- รู้เกี่ยวกับงานที่ใช้วัดค่า Infrared

1.4.3 องค์ประกอบที่ใช้ในการพิจารณาการใช้กล้อง Infrared ให้มีประสิทธิภาพ

(บริเวณจุดที่ใช้งาน)

- W (พลังงานความร้อน) ต้องมีค่าต่างกัน
- ϵ (Emissivity) ต้องมีค่าสูง
- T (อุณหภูมิ) ต้องมีค่าต่างกัน

1.5 ประโยชน์ของกล้องถ่ายภาพความร้อนหรือกล้องอินฟราเรด

- ลดความเสียหายที่เกิดจากเครื่องจักรหยุดทำงาน
- ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเครื่องจักร
- สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของทีมงานซ่อมบำรุง
- ลดความสิ้นเปลืองจากการสูญเสียพลังงาน
- สามารถยืนยันได้ว่าการซ่อมบำรุงได้ถูกกระทำอย่างถูกต้อง
- ลดความเสี่ยงจากอัคคีภัย
- สามารถจัดลำดับความเร่งด่วนในการซ่อมบำรุง ประหยัดเวลา
- แสดงจุดที่เป็นปัญหาได้อย่างแม่นยำ และลดปัญหาการซ่อมบำรุง
- สามารถลดเบี้ยประกันภัยของโรงงานลงได้ ในด้านวินาศภัย หรืออัคคีภัย
- ยืดอายุการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งทางด้านไฟฟ้า และอื่นๆ
- สามารถเตรียมอะไหล่ไว้ล่วงหน้าได้
- สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างเร่งด่วน

2. แผนงาน

2.1 แผนการดำเนินงาน การศึกษาการวับไฟตามผิวของลูกถ้วยที่เปราะเปื้อน

ตารางที่ 5 แผนการดำเนินงาน การศึกษาการวับไฟตามผิวของลูกถ้วยที่เปราะเปื้อน

ลำดับ	รายละเอียดงาน	เดือน											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ศึกษาปัญหาและสาเหตุการเกิดไฟดับ ที่เกิดจากการวับไฟตามผิวของลูกถ้วยที่เปราะเปื้อนในระบบสายส่งอากาศ												
2	ศึกษาและทดลองการวับไฟตามผิวของลูกถ้วยที่เปราะเปื้อนในระบบสายส่งอากาศ												
3	ศึกษาการจำลองด้วยโปรแกรมช่วยทางวิศวกรรม												
4	วิเคราะห์และสรุปผล												

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลำดับ	รายละเอียดงาน	เดือน											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	นำเสนอ วิทยานิพนธ์ในการ สอบสัมภาษณ์ขั้น สุดท้าย												
6	การปรับปรุงแก้ไข การพิมพ์ วิทยานิพนธ์และ เข้ารูปเล่ม												

2.2 แผนการดำเนินงาน การวัดค่าอุณหภูมิ

ตารางที่ 6 แผนการดำเนินงาน การวัดค่าอุณหภูมิ

ลำดับ	เบอร์เสา (R,Y,B)	ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล(เดือน)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	#1								
2	#2								
3	#3								
4	#4								
5	#5								
6	#6								
7	#7								
8	#8								

2.3 แผนการดำเนินงาน การวัดค่าปริมาณสิ่งประอะเปื้อน

ตารางที่ 7 แผนการดำเนินงาน การวัดค่าปริมาณสิ่งประอะเปื้อน

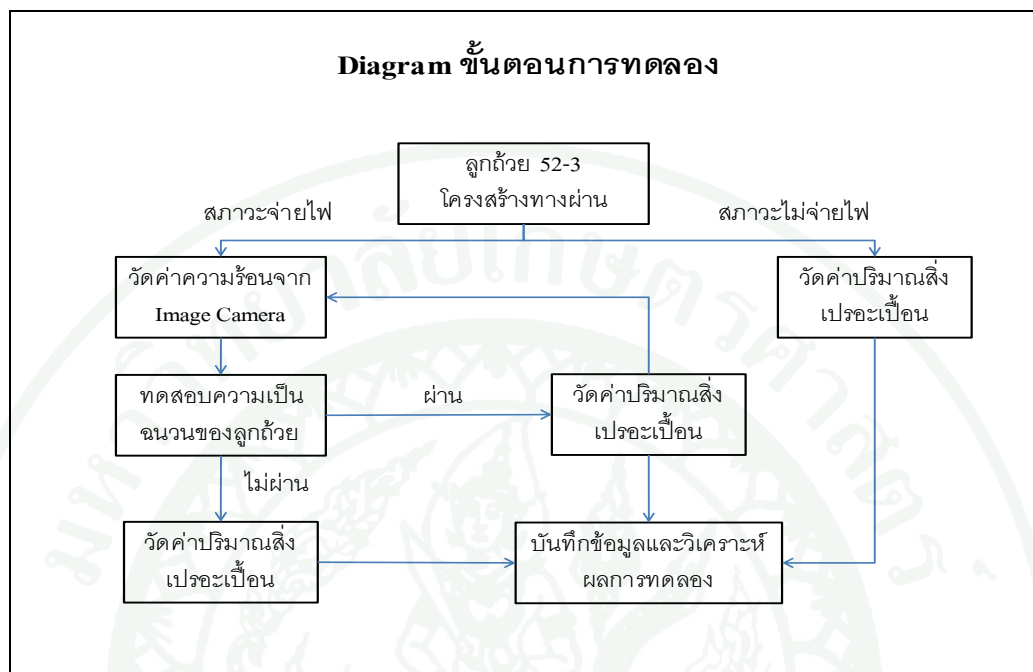
ลำดับ	เบอร์เสา (R,Y,B)	ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล(เดือน)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	#1								
2	#2								
3	#3								
4	#4								
5	#5								
6	#6								
7	#7								
8	#8								

2.4 แผนการดำเนินงาน การทดสอบทางไฟฟ้าของลูกถ้วยตาม ANSI C29.1-1988(R2002)

ตารางที่ 8 แผนการดำเนินงาน การทดสอบทางไฟฟ้าของลูกถ้วยตาม ANSI C29.1-1988 (R2002)

ลำดับ	เบอร์เสา (R,Y,B)	ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล(เดือน)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	#1								
2	#2								
3	#3								
4	#4								
5	#5								
6	#6								
7	#7								
8	#8								

3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

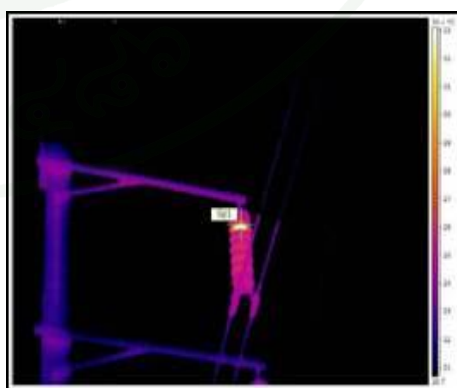
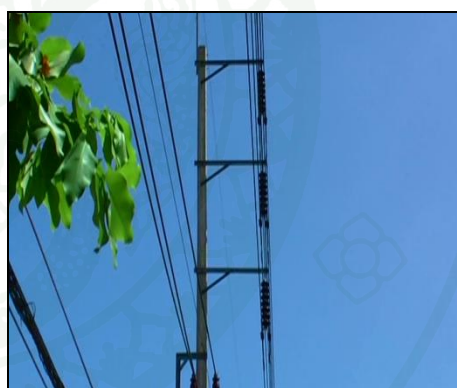


ภาพที่ 47 Diagram ขั้นตอนการทดลอง

จากขั้นตอนการทดลอง จะทำการวัดค่าความร้อน บริเวณผิวของลูกถ้วยด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนที่ผิวของลูกถ้วยที่สภาวะจ่ายไฟ บริเวณจุดใช้งาน จากนั้นจึงนำลูกถ้วยมาทดสอบค่าพิถีดต่างๆ ตามมาตรฐาน โดยค่าการทดสอบของลูกถ้วยจะต้องมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด และวัดค่าปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนที่ผิวของลูกถ้วย จากนั้นจะทำการทดลองซ้ำจากขั้นตอนแรกจนกว่าค่าการทดสอบของลูกถ้วยมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งค่าการทดสอบลูกถ้วยที่ได้ เมื่อมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานแล้วถือว่าลูกถ้วยนั้น ไม่สามารถใช้งานได้ ระยะเวลาที่ได้จา การทดลอง คือระยะเวลาที่จะต้องมีการบำรุงรักษาหรือทำการเปลี่ยนลูกถ้วยใหม่เพื่อให้ลูกถ้วยสามารถใช้งานได้ปกติ ระยะเวลาในการวัดค่าต่างๆและเก็บข้อมูลประมาณ 1 เดือน (การเก็บข้อมูลครั้งต่อไปที่เวลา 2 เดือน และเพิ่มขึ้นในแต่ละครั้ง ครั้งละ 1 เดือน) จากนั้นจะทำการเก็บข้อมูลในส่วน of ลูกถ้วยในสภาวะที่ไม่จ่ายไฟ โดยใช้ระยะเวลาเดียวกัน สิ่งที่ต้องการเก็บ คือ ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนที่ผิวของลูกถ้วย เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ระยะเวลาการบำรุงรักษาของสถานที่ที่เก็บข้อมูลของทั้ง 2 พื้นที่ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ระยะเวลาการบำรุงรักษาของลูกถ้วย โดยเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของลูกถ้วยกับอัตราการเพิ่มของสิ่งเปราะเปื้อนในสภาวะจ่ายไฟและไม่จ่ายไฟของลูกถ้วย

3.1 ขั้นตอนการวัดค่าอุณหภูมิ

- เลือกสถานที่ ที่ใช้เก็บข้อมูลโดยสถานที่นั้นจะต้องเป็นที่ ที่ไม่มีสิ่งประกอบอื่น มากหรือน้อยจนเกินไป เนื่องจากการเก็บข้อมูลสามารถเก็บได้เพียงเดือนละ 1 ครั้ง(ปัญหาจากการดับไฟเพื่อเก็บข้อมูล) หากสิ่งประกอบอื่นมากเกินไป จะทำให้อุณหภูมิที่ใช้เปรียบเทียบปริมาณสิ่งประกอบอื่นคลาดเคลื่อน แต่ถ้าปริมาณสิ่งประกอบอื่นน้อยเกินไป ก็จะทำให้ใช้ ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลมาก
- เริ่มเก็บข้อมูล โดยการเปิดกล้องและตั้งค่าเครื่อง เช่น ค่าระยะห่างของตัวกล้องกับ ลูกถ้วยที่จะวัดค่าอุณหภูมิ, ค่า Emissivity ของลูกถ้วย เก็บข้อมูลเดือนละ 1 ครั้ง/ต้น(ทั้ง 3 เฟส)
- เก็บภาพจากกล้องวัดค่าความร้อนและกล้องถ่ายภาพ
- สิ่งที่ได้ คือ อุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วยกับสถานที่ บันทึกข้อมูล เพื่อเตรียมการวิเคราะห์ผล



ภาพที่ 48 การวัดค่าอุณหภูมิ

3.2 ขั้นตอนการวัดปริมาณสิ่งเปื้อน

- เตรียมลูกถ้วยที่มีสิ่งเปื้อน
- นำน้ำกลั่นจำนวน 200 ml. ใส่ลงไปใน Beaker และวัดค่าความนำน้ำด้วยเครื่องวัดค่าความนำน้ำ บันทึกข้อมูล
- นำน้ำกลั่นล้างสิ่งเปื้อนจากผิวลูกถ้วย โดยการเช็ดลูกถ้วยที่ดูความชื้นหรือใช้แปรงปัดสิ่งเปื้อนจากผิวลูกถ้วย
- สิ่งเปื้อนจะถูกทำให้ละลายในน้ำ โดยการเขย่า การเช็ดลูกถ้วยจะถูกกระทำจนกระทั่งไม่เหลือสิ่งเปื้อนบนผิวลูกถ้วย
- นำน้ำกลั่นที่มีสิ่งเปื้อนมาวัดค่าความนำน้ำ บันทึกข้อมูล เพื่อเตรียมการวิเคราะห์ผล

ตัวอย่างขั้นตอนการคำนวณค่า ESDD ตามคำแนะนำในวารสาร NGK

ค่าที่ใช้ในการคำนวณ(ได้จากการทดลอง)

- ปริมาณน้ำ 200 ml.
- ค่าความนำน้ำของน้ำกลั่นก่อนการล้างสิ่งเปื้อน 0 μmho
- ค่าความนำน้ำของน้ำกลั่นหลังการล้างสิ่งเปื้อน 230 μmho
- อุณหภูมิ 25 $^{\circ}\text{C}$
- พื้นที่ผิวของลูกถ้วย 1,656.97 cm^2

1. การวัดความนำไฟฟ้าของน้ำ จะถูกต้องจะต้องเป็นความนำไฟฟ้าที่ อุณหภูมิ องศา C โดยความสัมพันธ์ตาม Correction factor (k)

$$k = \left(\frac{1}{1.046} \right) (1 + 0.0226(t - 18) + 0.000084(t - 18)^2)$$

เมื่อ อุณหภูมิ 25 $^{\circ}\text{C}$

$$k = \left(\frac{1}{1.046} \right) (1 + 0.0226(25 - 18) + 0.000084(25 - 18)^2)$$

$$k = 1.11$$

2. คำนวณค่าความนำน้ำจากสมการ

$$\sigma_{20} = \frac{\sigma_t}{k}$$

เมื่อ

$$\sigma_{20} = \text{ค่าความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิ 20 องศา C (\mu S/cm)}$$

$$\sigma_t = \text{ค่าความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิ t องศา C (\mu S/cm)}$$

$$t = \text{อุณหภูมิของสารละลาย (องศา C)}$$

$$\sigma_{20} = \frac{\sigma_t}{k}$$

$$= \frac{0}{1.11} = 0 \quad (\text{น้ำกลั่น})$$

$$\sigma_{20} = \frac{\sigma_t}{k}$$

$$= \frac{230}{1.11} = 207.01 \quad (\text{น้ำกลั่น + สิ่งเปราะเปื้อน})$$

3. คำนวณค่าความเป็นเกลือของสารละลายจากสมการ

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

เมื่อ

$$D = \text{ความเข้มข้นของสารละลาย (Concentration of Solution (\%))}$$

$$D_B = \frac{(5.7 \times 10^{-4} \times 0)^{1.03}}{10} = 0 \% \quad (\text{น้ำกลั่น})$$

$$D_A = \frac{(5.7 \times 10^{-4} \times 207.01)^{1.03}}{10} = 0.0139 \% \quad (\text{น้ำกลั่น + สิ่งเปราะเปื้อน})$$

4. คำนวณหาค่า SDD ที่ผิวลูกถ้วยตามสมการ

$$\text{เมื่อ } SDD = \frac{10 \times V \times (D_A - D_B)}{S}$$

SDD = Salt Deposit Density (mg/cm^2)

V = ปริมาตรของน้ำกลั่นที่ใช้ (ml)

D_A = ความเข้มข้นของสารละลายเปรอะเปื้อนเทียบเท่าเกลือ (%)

D_B = ความเข้มข้นของน้ำกลั่นรวมกับแปรงเทียบเท่าเกลือ (%)

S = พื้นที่ผิวของลูกถ้วยที่พิจารณา (cm^2)

$$SDD = \frac{10 \times 200 \times (0.0139 - 0)}{1,656.97} = 0.0167 \text{ mg}/\text{cm}^2$$



ภาพที่ 49 การวัดปริมาณสิ่งเปรอะเปื้อน

3.3 ขั้นตอนการทดสอบทางไฟฟ้าของลูกถ้วยตาม ANSI C29.1-1988 (R2002)

- เตรียมลูกถ้วยที่มีสิ่งเปราะเปื้อน
- ทำการทดสอบตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง เพื่อหาค่าพิคัดทางไฟฟ้าที่กำหนด ได้แก่

3.3.1 Visual Check

3.3.2 Insulation Resistance Test

3.3.3 High Frequency Test 200 kHz.

3.3.4 50 Hz. Dry Withstand Voltage Test

3.3.5 50 Hz. Dry Flashover Voltage Test

ตัวอย่างขั้นตอนการคำนวณการทดสอบลูกถ้วยตามมาตรฐาน ANSI C29.1-1988 (R2002)

ค่าที่ใช้ในการคำนวณ(ได้จากการทดลอง)

- อุณหภูมิ	30.5	°C
- ความชื้น	61	%
- ความดันอากาศ	760	mm.Hg.
- แรงดันทดสอบ	86.25	kV.(เฉลี่ย 6 ครั้ง)

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$K_d = 0.392 \times (b / (273 + t))$$

$$U_{bn} = U_b \times (K_h / K_d)$$

เมื่อ

U_{bn} = ค่าแรงดันสภาวะมาตรฐาน (kV.)

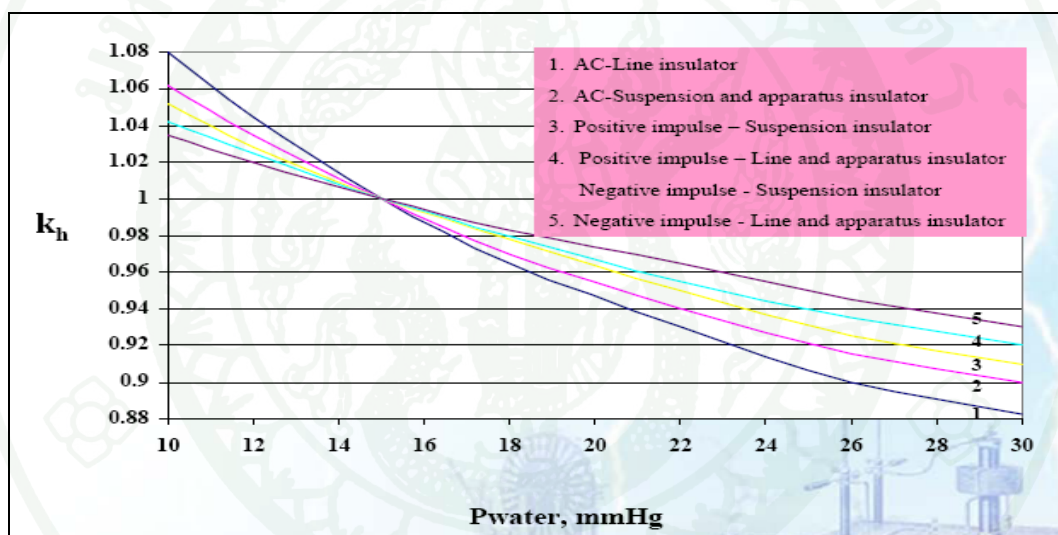
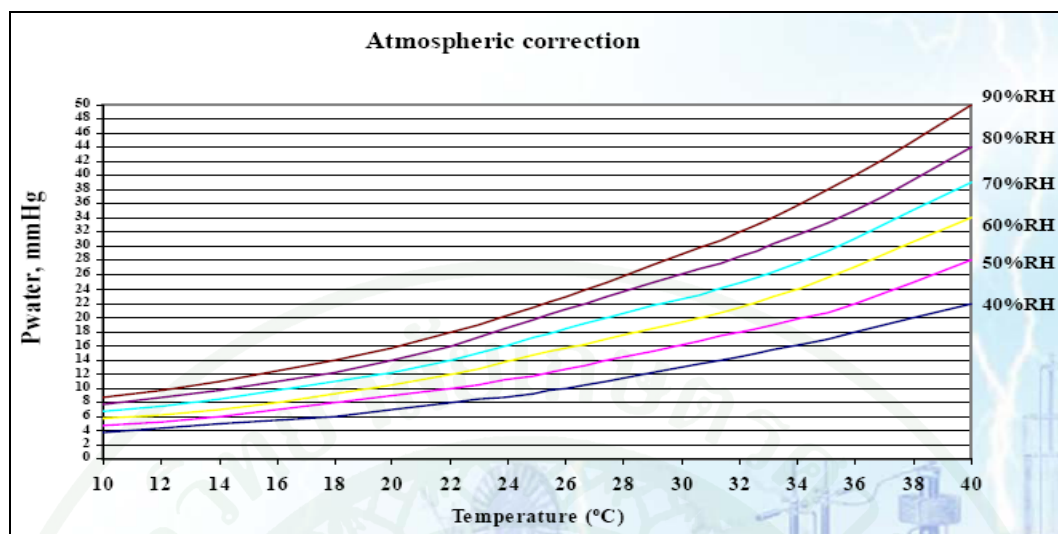
U_b = ค่าเฉลี่ยของแรงดันที่ทำให้เกิดการวาวไฟ > 5 ครั้ง (kV.)

t = อุณหภูมิ (°C)

b = ความดันอากาศ (mm.Hg.)

K_h = ตัวประกอบของสภาวะทั่วไปของอุณหภูมิและความชื้น

K_d = ตัวประกอบแปรผันตามความดันของอากาศและอุณหภูมิ



ภาพที่ 50 ค่าตัวประกอบของสภาวะทั่วไปของอุณหภูมิและความชื้น(K_h)

จากภาพที่ 54 $K_h = 0.945$

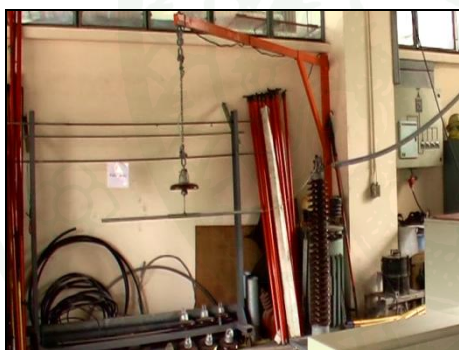
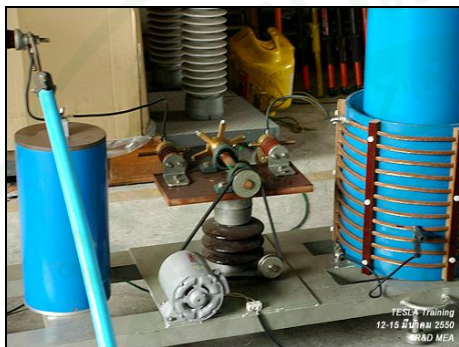
$$K_d = 0.392 \times (760 / (273 + 30.5)) = 0.982$$

$$U_{bn} = 86.25 \times (0.945 / 0.982) = 83.03 \text{ kV.}$$

Rated AC Dry Flashover = 80 kV.

$$U_{bn} \geq 95 \% \text{ of Rated AC Dry Flashover} = 80 \times 0.95 = 76 \text{ kV.}$$

$$U_{bn} = 83.03 \text{ kV.} > 76 \text{ kV.} \quad (\text{ผลผ่านการทดสอบ})$$



ภาพที่ 51 การทดสอบตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง

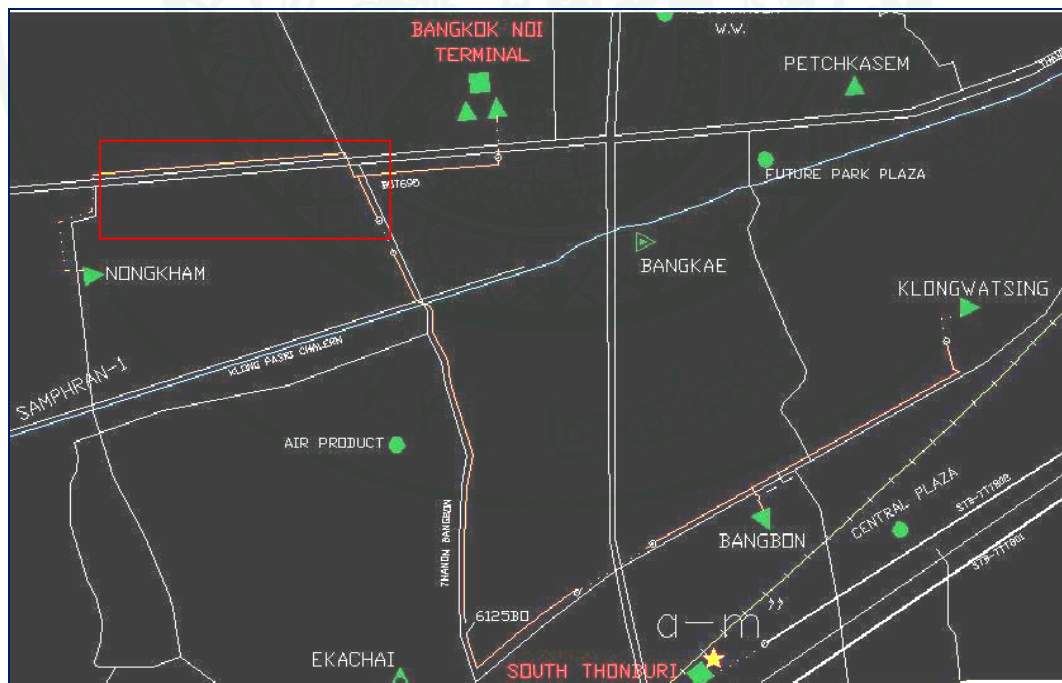
ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิจัย

จากผลการทดสอบลูกถ้วยแบบแขวน (พอร์ชเลน) ในระบบสายส่ง 69 เควี. สายส่ง BOT695 ช่วงเสา #1 - #20 บริเวณตรงข้ามซอยเพชรเกษมที่ 69 – 81 ถ.เพชรเกษม(ขาเข้า) และระบบสายส่ง 115 เควี. สายส่ง BOT791 ช่วงเสา #1 - #20 บริเวณใกล้แยกครัวสมร ถ.กาญจนาภิเษก ของการไฟฟ้านครหลวง ได้ผลดังนี้

กรณีที่ 1

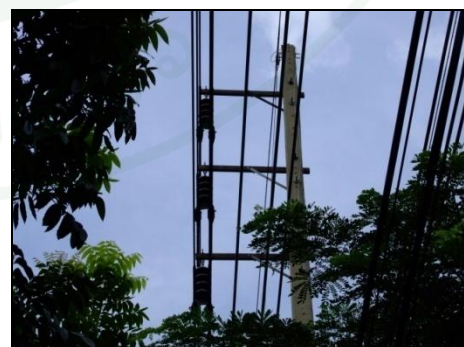
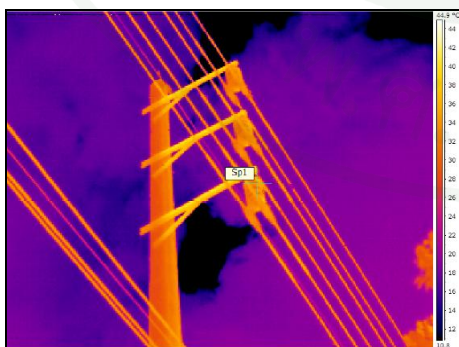
รายละเอียด : แรงดัน 69 เควี. สายส่ง BOT695 ช่วงเสา #1 - #20 บริเวณตรงข้ามซอยเพชรเกษมที่ 69 – 81 ถ.เพชรเกษม(ขาเข้า) สภาพสิ่งแวดล้อมเป็นอาคารพาณิชย์ บริษัทห้างร้าน ที่พักอาศัยและโรงงานขนาดเล็ก การจราจรค่อนข้างหนาแน่น คุณภาพอากาศอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (ภาคผนวก ข)



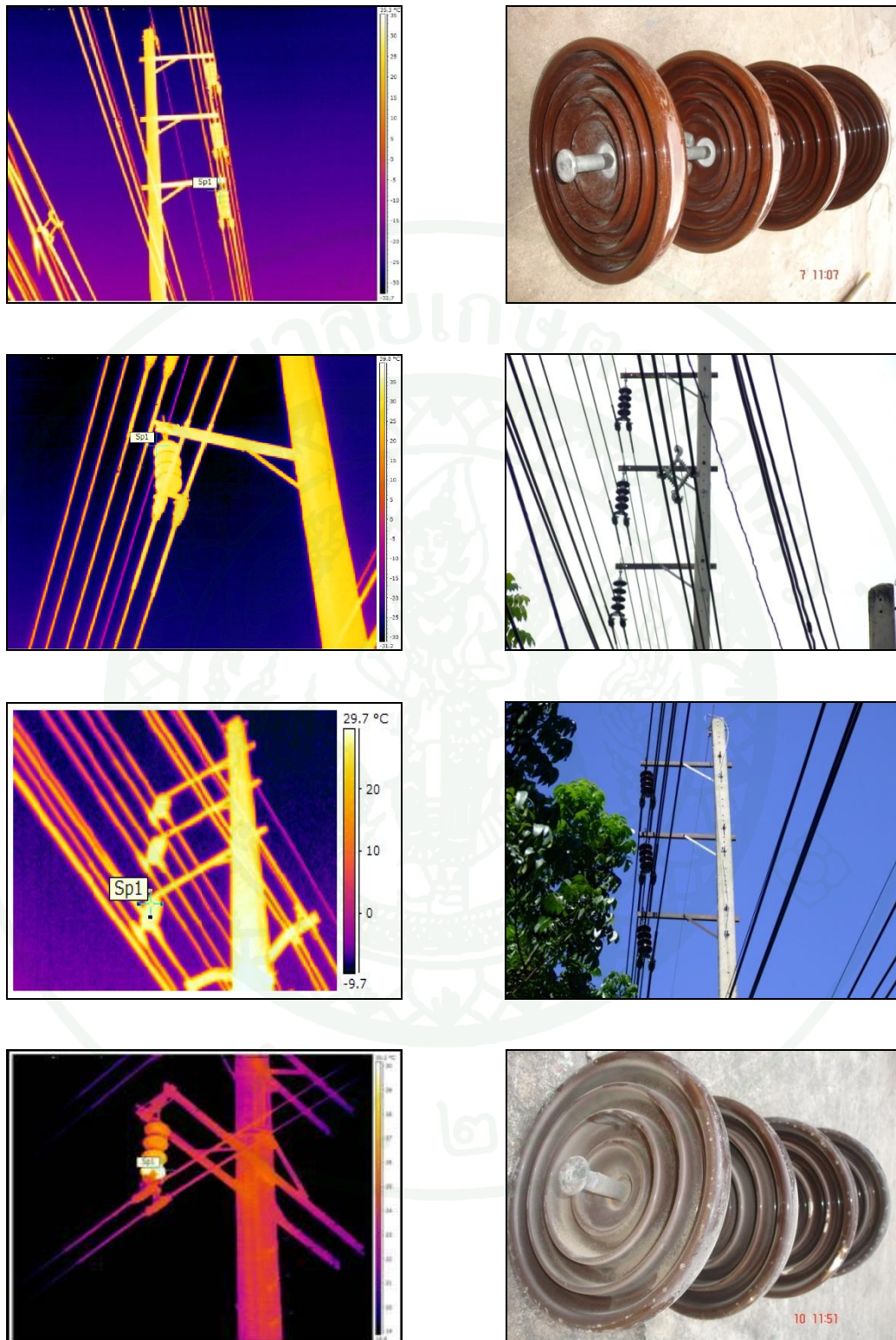
ภาพที่ 52 Route Diagram สายส่ง BOT695



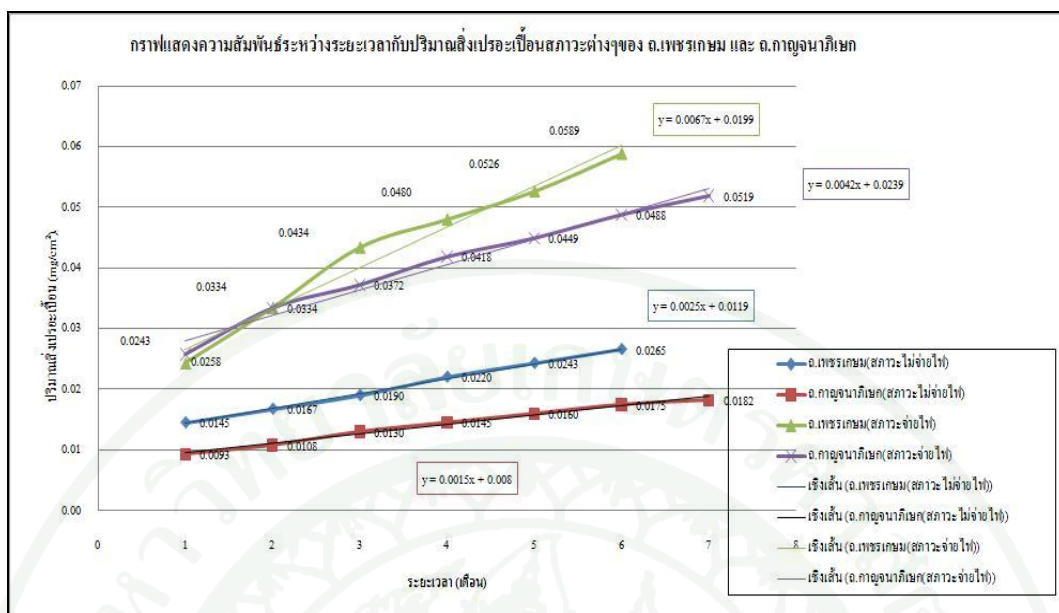
ภาพที่ 53 ภาพถ่ายสายส่ง BOT695



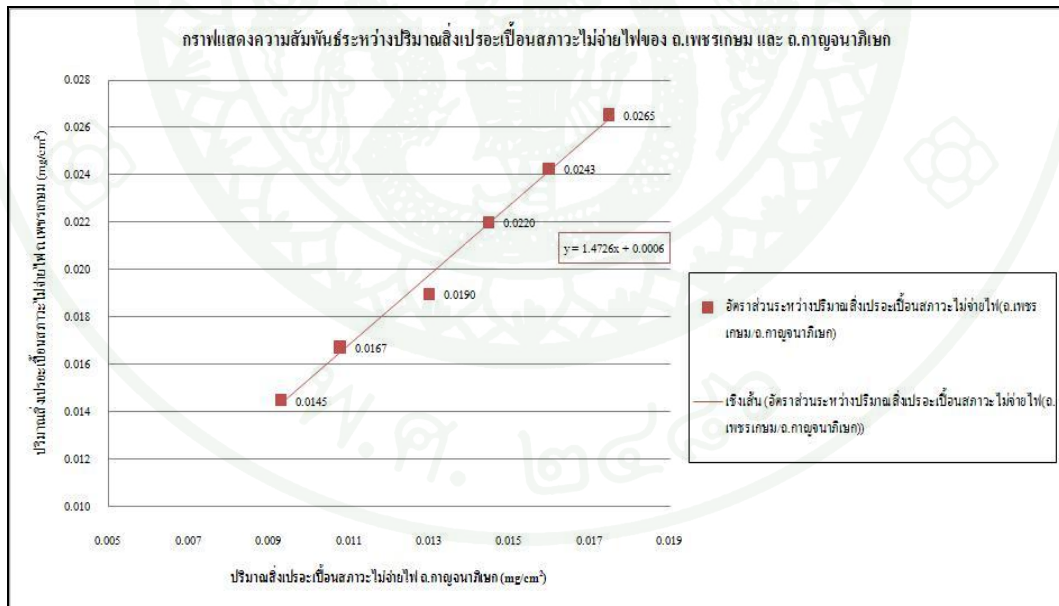
ภาพที่ 54 ภาพถ่ายลูกถ้วยแรงดัน 69 เควี. บริเวณตรงข้ามซอยเพชรเกษมที่ 69 – 81 ถ.เพชรเกษม (ขาเข้า) ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนและกล้องถ่ายภาพ ระยะเวลา 1-6 เดือน



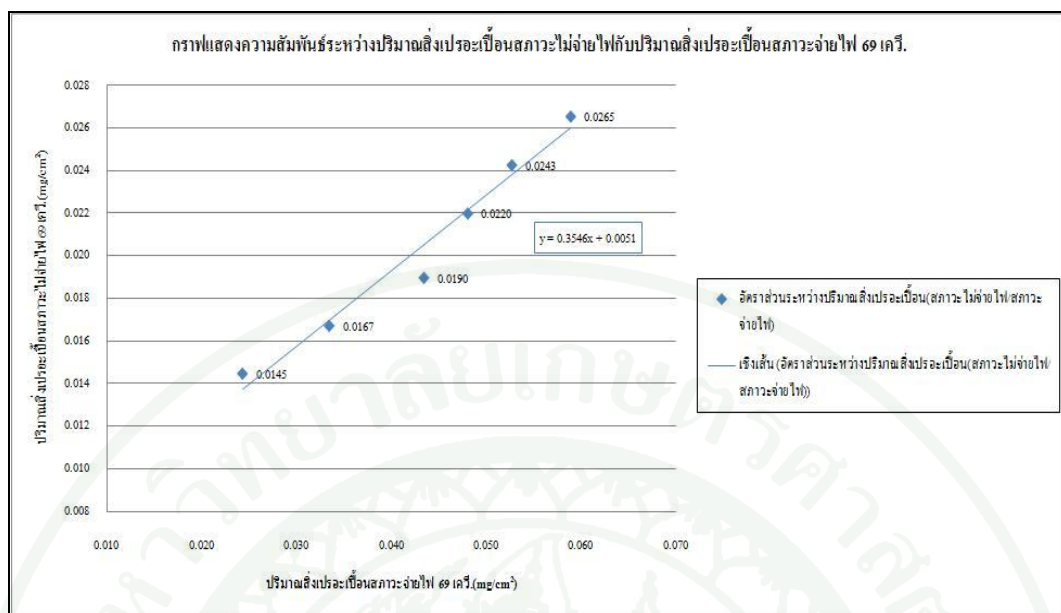
ภาพที่ 54 ภาพถ่ายลูกถ้วยแรงดัน 69 เควี. บริเวณตรงข้ามซอยเพชรเกษมที่ 69 – 81 ถ.เพชรเกษม (ขาเข้า) ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนและกล้องถ่ายภาพ ระยะเวลา 1-6 เดือน(ต่อ)



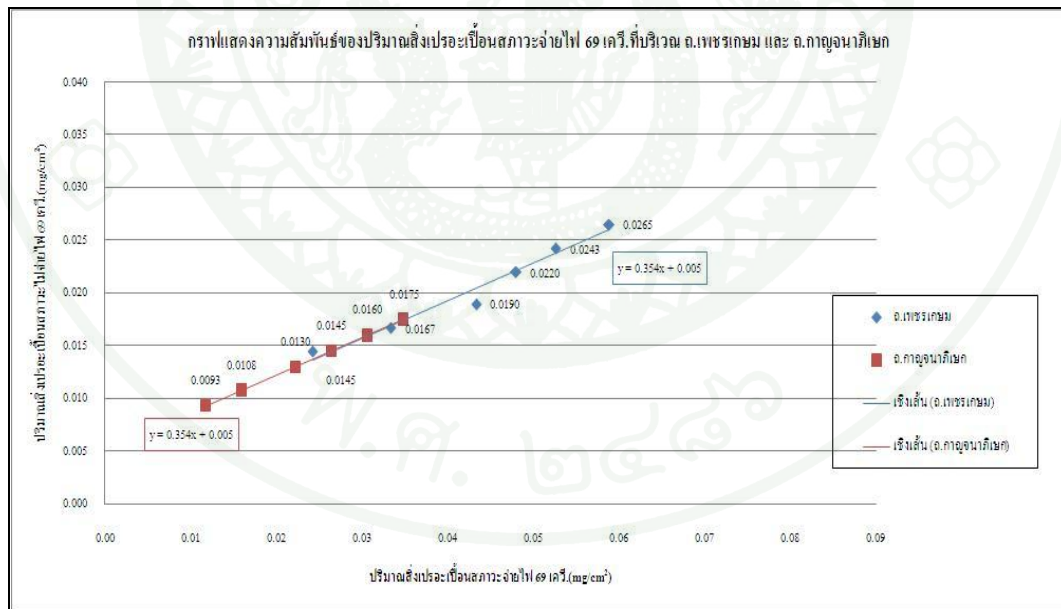
ภาพที่ 55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาปริมาณสิ่งประอะเปื้อนสภาวะต่างๆของ อ.เพชรเกษม และ อ.กาญจนภิเษก



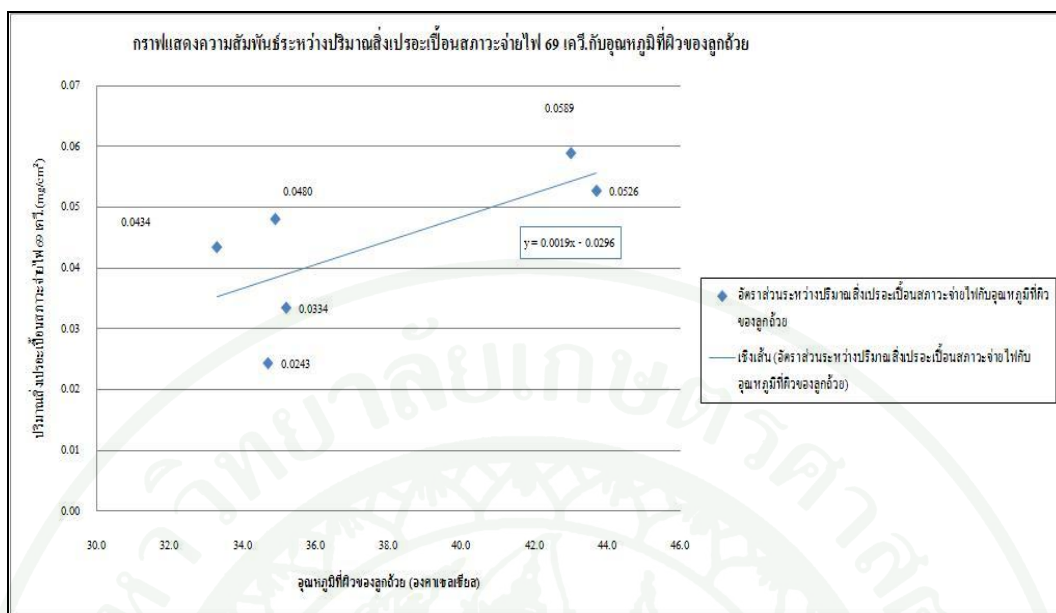
ภาพที่ 56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งประอะเปื้อนสภาวะไม่จ่ายไฟของ อ.เพชรเกษม และ อ.กาญจนภิเษก



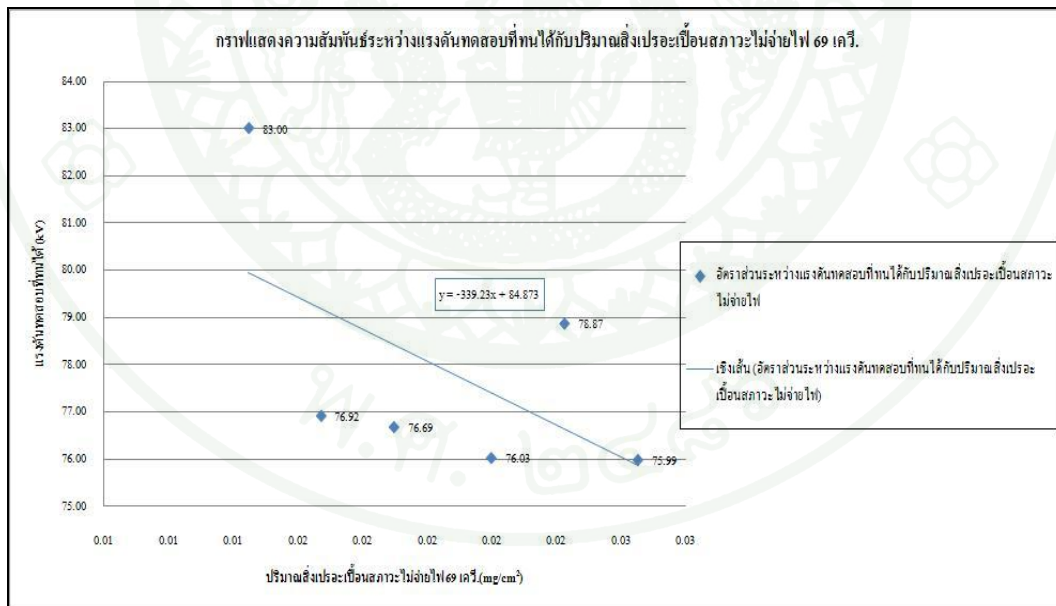
ภาพที่ 57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งเปื้อนสถานะไม่จ่ายไฟกับปริมาณสิ่งเปื้อนสถานะจ่ายไฟ 69 เควี.



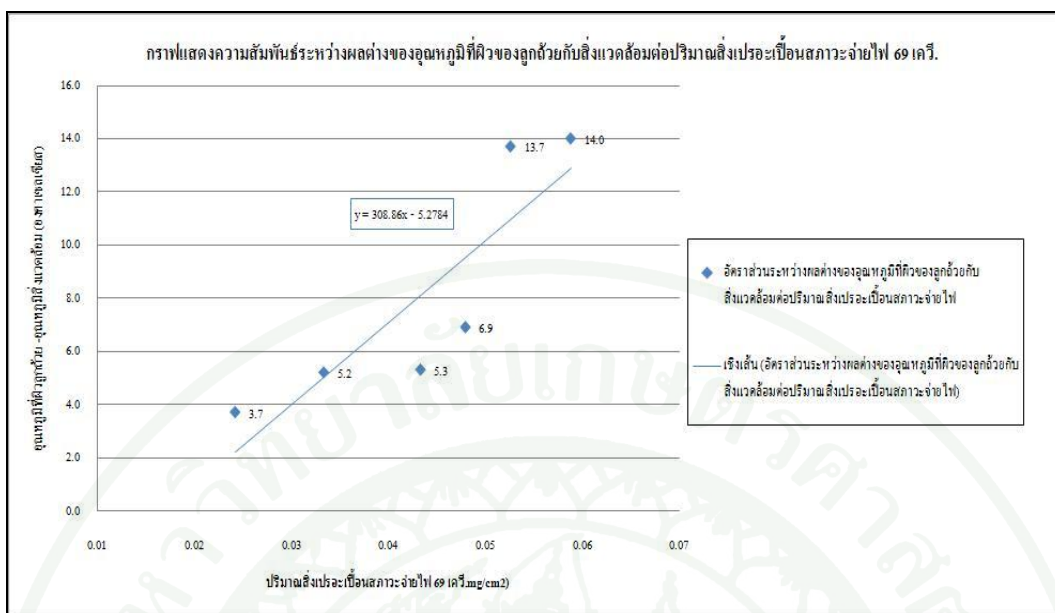
ภาพที่ 58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสิ่งเปื้อนสถานะจ่ายไฟ 69 เควี. ที่บริเวณ อ.เพชรเกษม และ อ.กาญจนภิเษก



ภาพที่ 59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งปรองเปื้อนสภาวะจ่ายไฟ 69 เควี. กับอุณหภูมิผิวของลูกถ้วย



ภาพที่ 60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทดสอบที่ทนได้กับปริมาณสิ่งปรองเปื้อนสภาวะไม่จ่ายไฟ 69 เควี.



ภาพที่ 61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิของลูกถ้วยกับสิ่งแวดล้อมต่อปริมาณสิ่งเปื้อนสกาวะจ่ายไฟ 69 เควี.

ตารางที่ 9 สรุปการวิเคราะห์ระหว่างระยะเวลา, ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบริเวณผิวลูกถ้วย 69 เควี.

		ผลการทดลอง(ถ.เพชรเกษม)						ผลการคำนวณ(ถ.เพชรเกษม)					ผลการคำนวณ(ถ.กาญจนภิเษก)				
ระยะเวลา		สภาวะไม่จ่ายไฟ		สภาวะจ่ายไฟ				สภาวะไม่จ่ายไฟ		สภาวะจ่ายไฟ			%Error (สมการ เส้นตรง)	สภาวะไม่จ่ายไฟ		สภาวะจ่ายไฟ	
ลำดับ	เฉลี่ย/ เดือน	ปริมาณสิ่ง เปราะเปื้อน 1	ปริมาณ สิ่ง เปราะ เปื้อน 2	อุณหภูมิ ที่ผิวลูก ถ้วย	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม	อุณหภูมิที่ ผิวลูกถ้วย- อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม	ผลทดสอบ แรงดัน	ปริมาณสิ่ง เปราะเปื้อน 1	ปริมาณ สิ่ง เปราะ เปื้อน 2	อุณหภูมิ	ผลทดสอบ แรงดัน (สมการ เส้นตรง)	ปริมาณสิ่ง เปราะเปื้อน 1		ปริมาณ สิ่ง เปราะ เปื้อน 2	อุณหภูมิ	ผลทดสอบ แรงดัน (สมการ เส้นตรง)	
1	1	0.0145	0.0243	34.7	31.0	3.7	83.00	0.0180	0.0363	34.7	78.77	5.10	0.0093	0.0118	21.81	81.72	
2	2	0.0167	0.0334	35.2	30.0	5.2	76.92	0.0183	0.0373	35.2	78.66	2.26	0.0108	0.0160	24.00	81.22	
3	3	0.0190	0.0434	33.3	28.0	5.3	76.69	0.0170	0.0337	33.3	79.09	3.14	0.0130	0.0223	27.30	80.46	
4	4	0.0220	0.0480	34.9	28.0	6.9	76.03	0.0181	0.0367	34.9	78.73	3.54	0.0145	0.0265	29.51	79.96	
5	5	0.0243	0.0526	43.7	30.0	13.7	78.87	0.0240	0.0534	43.7	76.72	2.74	0.0160	0.0307	31.73	79.45	
6	6	0.0265	0.0589	43.0	29.0	14.0	75.99	0.0236	0.0521	43.0	76.88	1.16	0.0175	0.0349	33.95	78.94	
													0.0262	0.0589	46.55	75.99	
													ระยะเวลา	12	8	เดือน	

จากภาพที่ 54 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงระหว่างปริมาณอุณหภูมิที่เกิดขึ้น บริเวณผิว ลูกถ้วยจากกล้องถ่ายภาพความร้อน (เนื่องจากสิ่งเปราะเปื้อน) กับระยะเวลา จากการเก็บข้อมูลของ ลูกถ้วยแรงดัน 69 เควี. ที่บริเวณ ถ.เพชรเกษม

จากภาพที่ 55 – 61 ได้มาจากการทดลองตามภาคผนวก ข นำมาแสดงความสัมพันธ์ ต่างๆ ในรูปแบบกราฟ

จากภาพที่ 55 เป็นผลการทดลองแสดงความความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งเปราะเปื้อน บริเวณที่ผิวของลูกถ้วยต่อระยะเวลา ในสภาวะจ่ายไฟและสภาวะไม่จ่ายไฟ บริเวณ ถ .เพชรเกษม และ ถ .กาญจนภิเษก เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนที่เพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นใน ระยะเวลาสั้นๆ

จากภาพที่ 56 แสดงค่าอัตราส่วนของปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสภาพแวดล้อมปกติ (สภาวะไม่จ่ายไฟ) บริเวณ ถ.เพชรเกษม กับ ถ .กาญจนภิเษก โดยจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า บริเวณ ถ .เพชรเกษม จะ มีปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนมากกว่าบริเวณ ถ .กาญจนภิเษก ที่ 1.5 เท่า โดยประมาณ

จากภาพที่ 57 และ 60 เป็นผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้า 69 เควี. กับปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนที่เกิดขึ้นบริเวณ ถ.เพชรเกษม และ ถ .กาญจนภิเษก โดยแสดงให้เห็นว่า ปริมาณของสิ่งเปราะเปื้อนที่ผิวของลูกถ้วย ขึ้นอยู่กับปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในอากาศด้วย จากภาพ ยังสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อหาข้อมูลสำหรับระยะเวลาในสถานที่อื่นๆ เพื่อการบำรุงรักษาอีกด้วย

จากตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาพที่ 55 – 61 โดยที่บริเวณ ถ.เพชรเกษม สายส่ง 69 เควี. จะต้องใช้ระยะเวลาในการบำรุงรักษาสายส่ง ประมาณ 6 เดือนต่อครั้ง (มี ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อน 0.0589 mg/cm^2) และที่บริเวณ ถ.กาญจนภิเษก สายส่ง 69 เควี.จะต้องใช้ ระยะเวลาในการบำรุงรักษาสายส่ง ประมาณ 8 - 12 เดือนต่อครั้ง (มีปริมาณสิ่งเปราะเปื้อน 0.0589 mg/cm^2 ใช้การคำนวณจากตารางที่ 9) ซึ่งค่าของปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้ค่ามาจากการทดลองและการทดสอบลูกถ้วยที่ไม่ผ่านตามมาตรฐาน ANSI C29.1-1988(R2002)

กรณีที่ 2

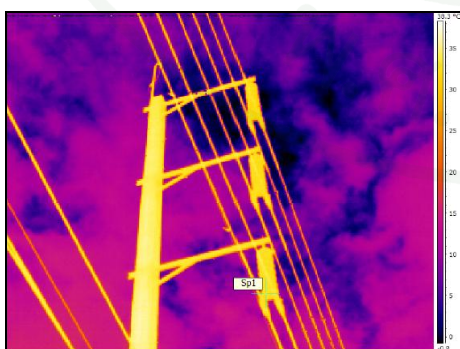
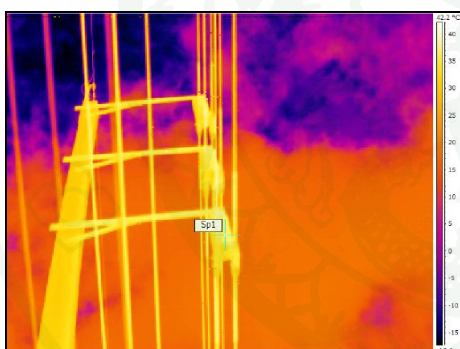
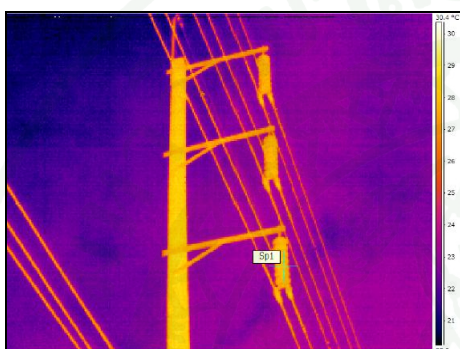
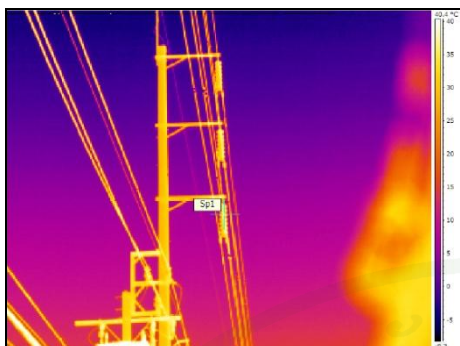
รายละเอียด : แรงดัน 115 เควี. สายส่ง BOT791 ช่วงเสา #1 - #20 บริเวณใกล้แยกกริ้วสมร
 ถ.กาญจนาภิเษก สภาพสิ่งแวดล้อมเป็นอาคารพาณิชย์ บริษัทห้างร้าน และที่พักอาศัย การจราจร
 ปกติ คุณภาพอากาศอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (ภาคผนวก ข)



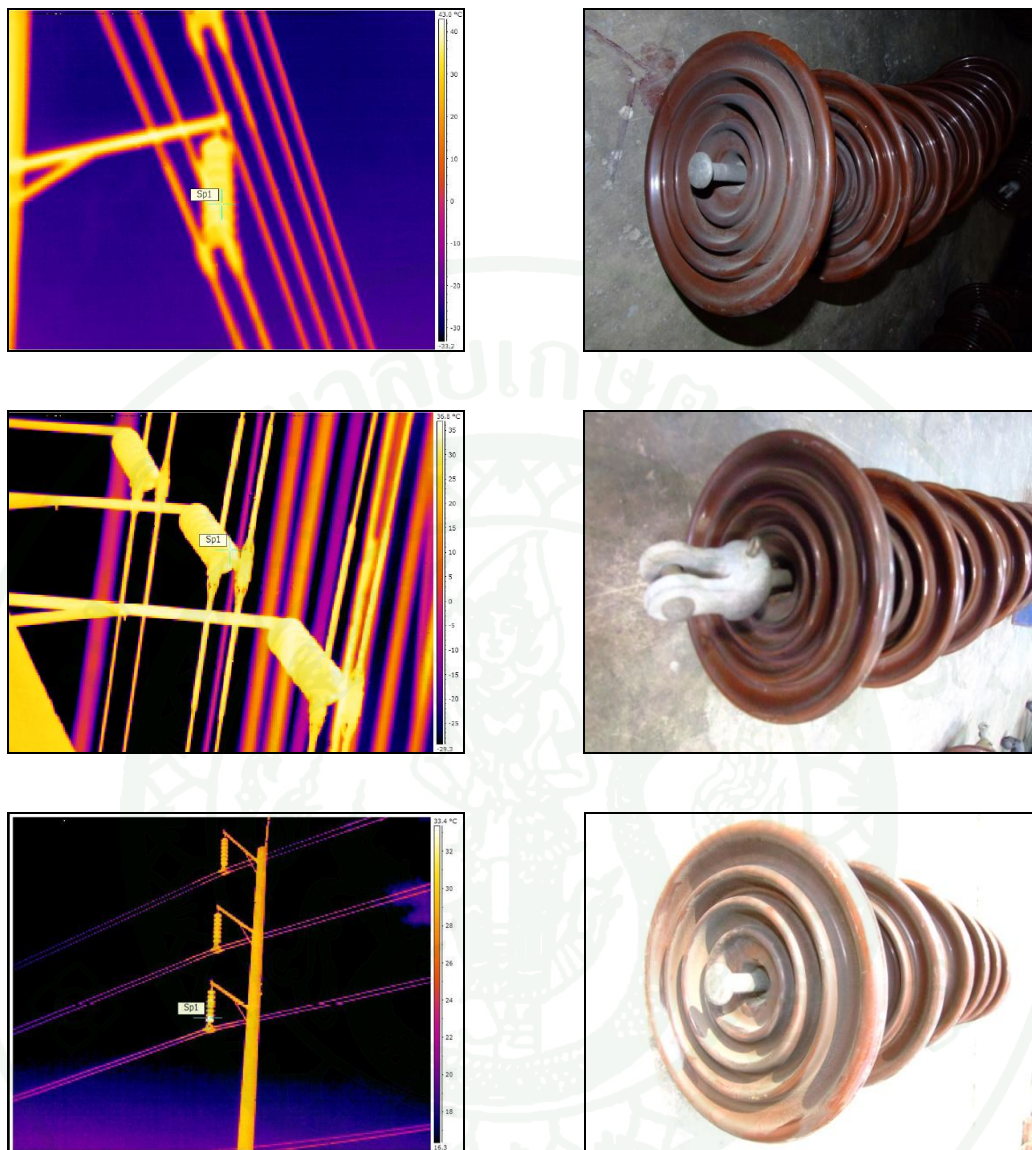
ภาพที่ 62 ภาพถ่ายสายส่ง BOT791



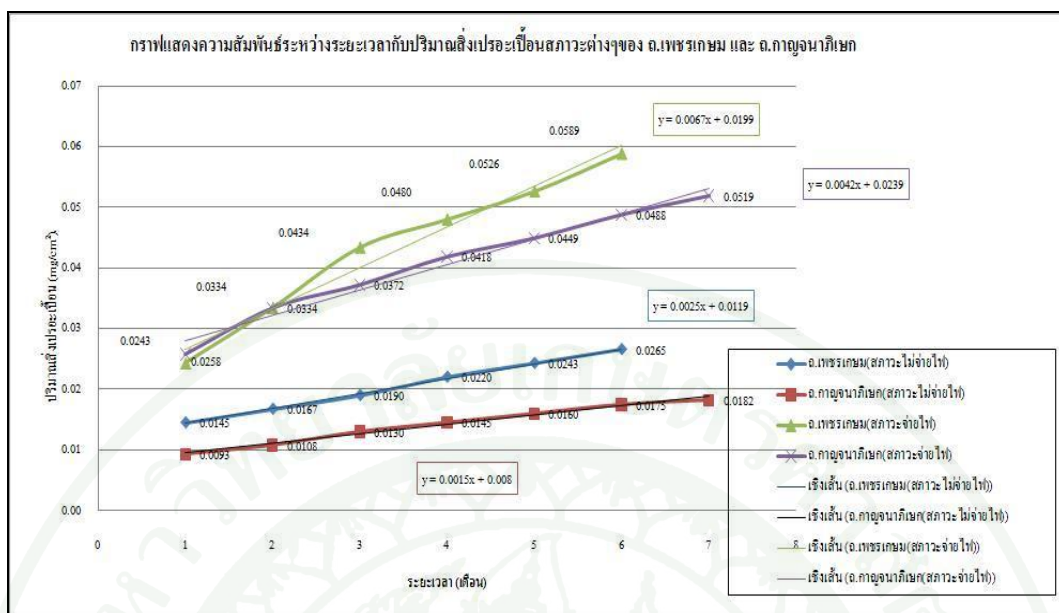
ภาพที่ 63 Route Diagram สายส่ง BOT791



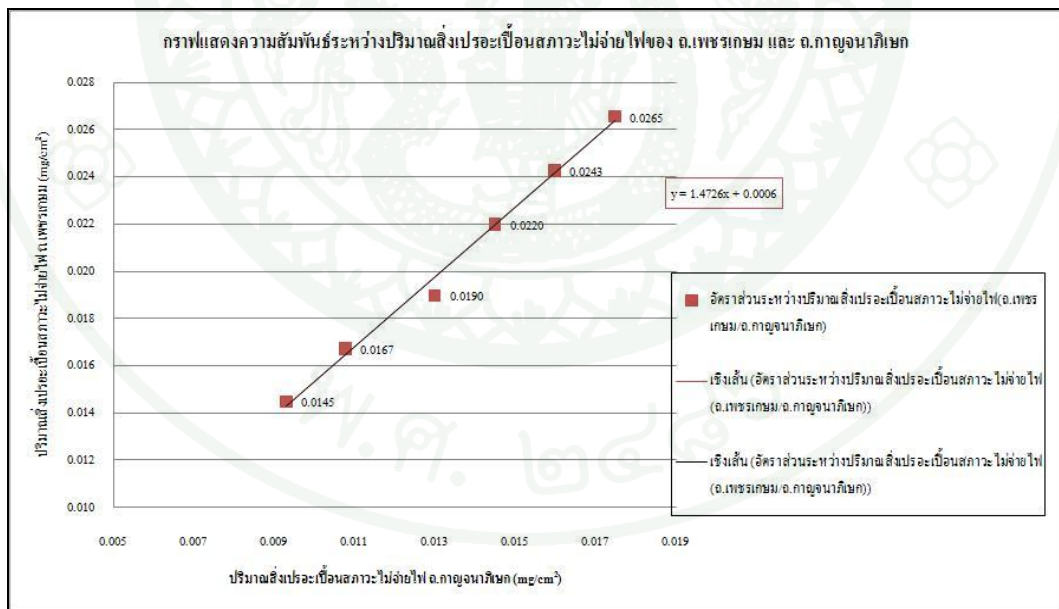
ภาพที่ 64 ภาพถ่ายลูกถ้วยแรงดัน 115 เควี. บริเวณใกล้แยกครัวสมร อ.กาญจนภิเษก ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนและกล้องถ่ายภาพ ระยะเวลา 1-7 เดือน



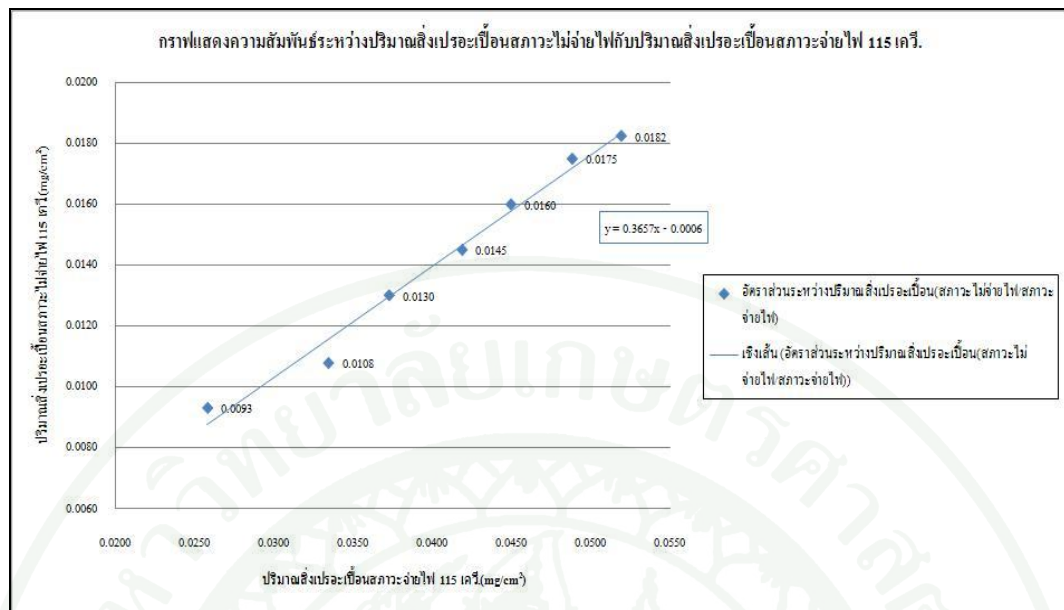
ภาพที่ 64 ภาพถ่ายลูกถ้วยแรงดัน 115 เควี. บริเวณใกล้แยกครัวสมร ถ.กาญจนาภิเษก ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนและกล้องถ่ายภาพ ระยะเวลา 1-7 เดือน(ต่อ)



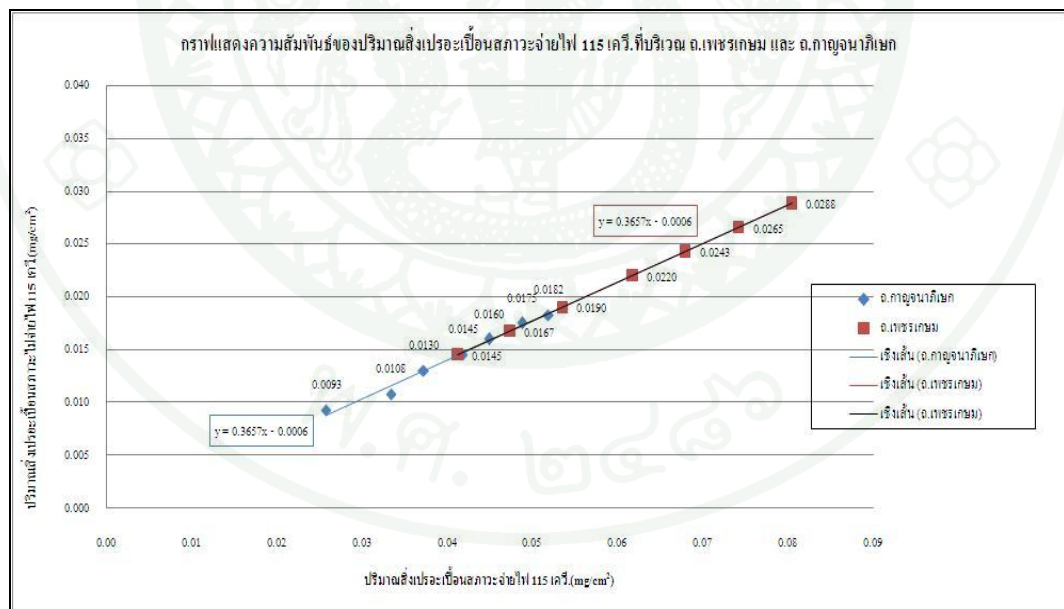
ภาพที่ 65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะต่างๆของ ถ.เพชรเกษม และ ถ.กาญจนภิเษก



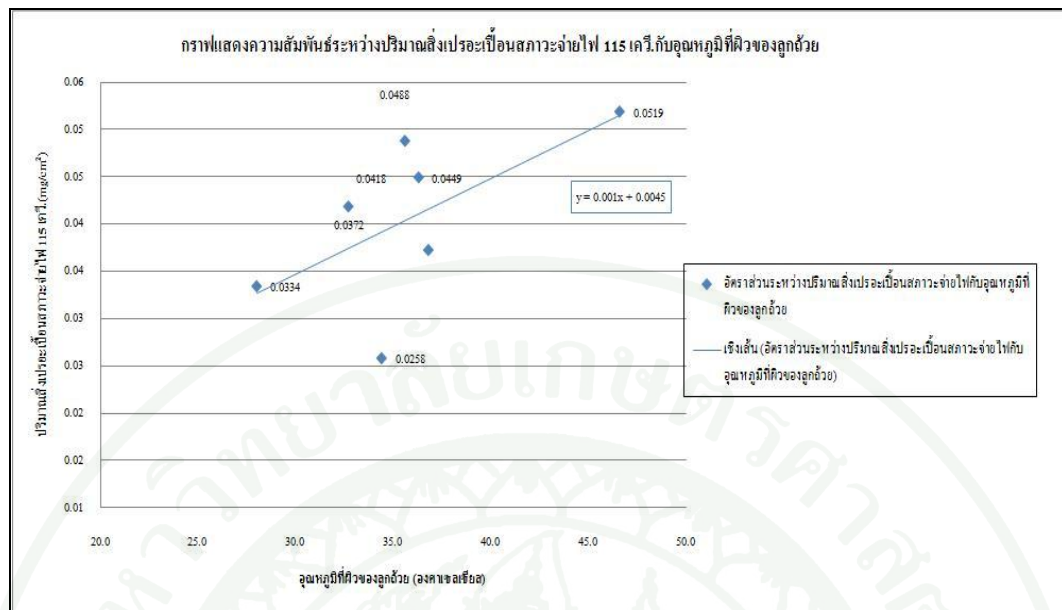
ภาพที่ 66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะไม่จําหน่ายของ ถ.เพชรเกษม และ ถ.กาญจนภิเษก



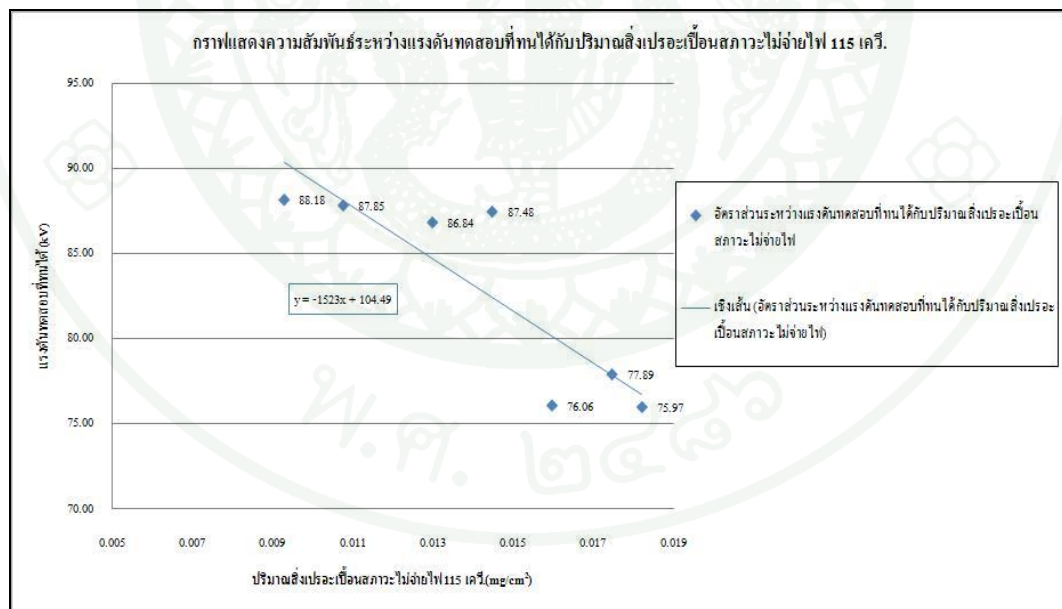
ภาพที่ 67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งปรุอะเปื้อนสภาวะไม่จ่ายไฟกับปริมาณสิ่งปรุอะเปื้อนสภาวะจ่ายไฟ 115 เควี.



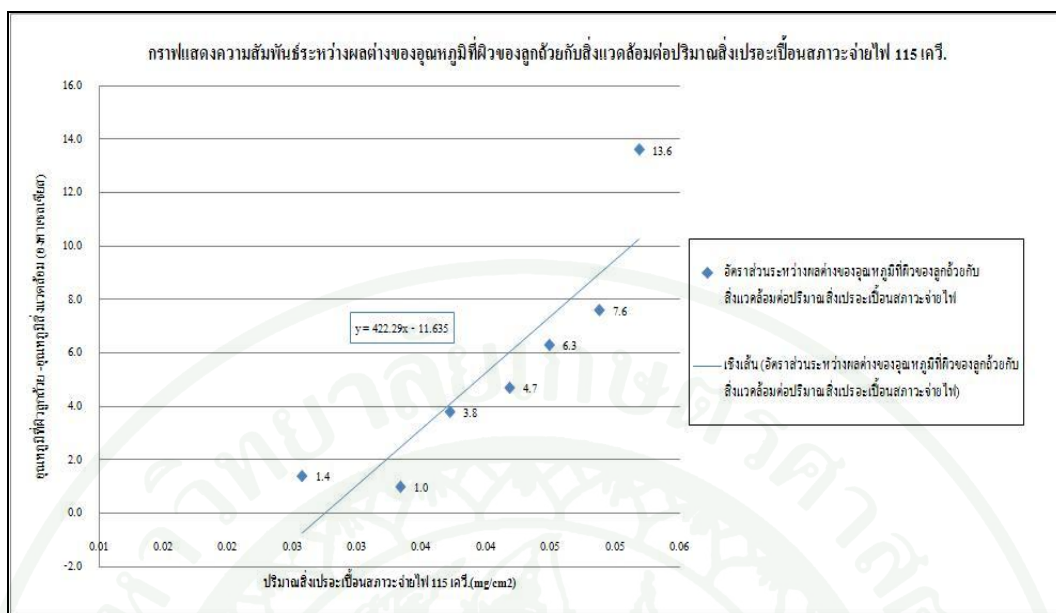
ภาพที่ 68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสิ่งปรุอะเปื้อนสภาวะจ่ายไฟ 115 เควี.ที่บริเวณ ด.เพชรเกษม และ ด.กาญจนาภิเษก



ภาพที่ 69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะจ่ายไฟ 115 เควี. กับอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย



ภาพที่ 70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทดสอบที่ทนได้กับปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะไม่จ่ายไฟ 115 เควี.



ภาพที่ 71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิของลูกถ้วยกับสิ่งแวดล้อมต่อปริมาณสิ่งปรองะเปื้อนสภาวะจ่ายไฟ 115 เควี.

ตารางที่ 10 สรุปการวิเคราะห์ระหว่างระยะเวลา, ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบริเวณผิวลูกถ้วย 115 เควี.

		ผลการทดลอง(ถ.กาญจนานิก)						ผลการคำนวณ(ถ.กาญจนานิก)					ผลการคำนวณ(ถ.เพชรเกษม)				
ระยะเวลา		สภาวะไม่จ่ายไฟ		สภาวะจ่ายไฟ				สภาวะไม่จ่ายไฟ		สภาวะจ่ายไฟ			%Error	สภาวะไม่จ่ายไฟ		สภาวะจ่ายไฟ	
ลำดับ	เฉลี่ย/ เดือน	ปริมาณสิ่ง เปราะเปื้อน 1	ปริมาณ สิ่ง เปราะ เปื้อน 2	อุณหภูมิ ที่ผิวลูก ถ้วย	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม	อุณหภูมิที่ผิว ลูกถ้วย- อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม	ผลทดสอบ แรงดัน	ปริมาณสิ่ง เปราะเปื้อน 1	ปริมาณ สิ่ง เปราะ เปื้อน 2	ผลทดสอบ แรงดัน (สมการ เส้นตรง)	ผลทดสอบ แรงดัน (สมการ เส้นตรง)	(สมการ เส้นตรง)	ปริมาณสิ่ง เปราะเปื้อน 1	ปริมาณ สิ่ง เปราะ เปื้อน 2	ผลทดสอบ อุณหภูมิ แรงดัน (สมการ เส้นตรง)	ผลทดสอบ แรงดัน (สมการ เส้นตรง)	
1	1	0.0093	0.0258	34.4	33.0	1.4	88.18	0.0136	0.0389	34.4	83.74	0.05	0.0145	0.0413	36.75	82.43	
2	2	0.0108	0.0334	28.0	27.0	1.0	87.85	0.0113	0.0325	28.0	87.30	0.01	0.0167	0.0474	42.89	79.01	
3	3	0.0130	0.0372	36.8	33.0	3.8	86.84	0.0145	0.0413	36.8	82.40	0.05	0.0190	0.0535	49.05	75.58	
4	4	0.0145	0.0418	32.7	28.0	4.7	87.48	0.0130	0.0372	32.7	84.68	0.03	0.0220	0.0618	57.29	70.99	
5	5	0.0160	0.0449	36.3	30.0	6.3	76.06	0.0143	0.0408	36.3	82.68	0.09	0.0243	0.0680	63.49	67.53	
6	6	0.0175	0.0488	35.6	28.0	7.6	77.89	0.0141	0.0401	35.6	83.07	0.07	0.0265	0.0742	69.71	64.07	
7	7	0.0182	0.0519	46.6	33.0	13.6	75.97	0.0181	0.0511	46.6	76.94	0.01	0.0288	0.0805	75.95	60.60	
													0.0187	0.0519	47.37	75.97	
													ระยะเวลา	3	5	เดือน	

จากภาพที่ 64 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงระหว่างปริมาณอุณหภูมิที่เกิดขึ้น บริเวณผิว ลูกถ้วยจากกล้องถ่ายภาพความร้อน (เนื่องจากสิ่งเปราะเปื้อน) กับระยะเวลา จากการเก็บข้อมูลของ ลูกถ้วยแรงดัน 115 เควี. ที่บริเวณ ถ.กาญจนภิเษก (ถนนวงแหวนตะวันตก)

จากภาพที่ 65 – 71 ได้มาจากการทดลองตามภาคผนวก ก นำมาแสดงความสัมพันธ์ ต่างๆ ในรูปแบบกราฟ

จากภาพที่ 65 เป็นผลการทดลองแสดงความความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งเปราะเปื้อน บริเวณที่ผิวของลูกถ้วยต่อระยะเวลา ในสภาวะจ่ายไฟและสภาวะไม่จ่ายไฟ บริเวณ ถ .เพชรเกษม และ ถ .กาญจนภิเษก เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนที่เพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นใน ระยะเวลาสั้นๆ

จากภาพที่ 66 แสดงค่าอัตราส่วนของปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสภาพแวดล้อมปกติ (สภาวะไม่จ่ายไฟ) บริเวณ ถ .เพชรเกษม กับ ถ .กาญจนภิเษก โดยจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า บริเวณ ถ .เพชรเกษม จะมีปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนมากกว่าบริเวณ ถ .กาญจนภิเษก ที่ 1.5 เท่า โดยประมาณ

จากภาพที่ 67 และ 70 เป็นผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้า 115 เควี. กับปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนที่เกิดขึ้นบริเวณ ถ .เพชรเกษม และ ถ .กาญจนภิเษก โดยแสดงให้เห็นว่า ปริมาณของสิ่งเปราะเปื้อนที่ผิวของลูกถ้วย ขึ้นอยู่กับปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในอากาศด้วย จากภาพ ยังสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อหาข้อมูลสำหรับระยะเวลาในสถานที่อื่นๆ เพื่อการบำรุงรักษาอีกด้วย

จากตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาพที่ 65 – 71 โดยที่บริเวณ ถ.เพชรเกษม สายส่ง 115 เควี. จะต้องใช้ระยะเวลาในการบำรุงรักษาสายส่ง ประมาณ 3-5 เดือนต่อครั้ง (มี ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อน 0.0519 mg/cm^2) และที่บริเวณ ถ.กาญจนภิเษก สายส่ง 115 เควี.จะต้องใช้ ระยะเวลาในการบำรุงรักษาสายส่ง ประมาณ 7 เดือนต่อครั้ง (มีปริมาณสิ่งเปราะเปื้อน 0.0519 mg/cm^2 ใช้การคำนวณจากตารางที่ 10) ซึ่งค่าของปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้ค่ามาจากการทดลองและการทดสอบลูกถ้วยที่ไม่ผ่านตามมาตรฐาน ANSI C29.1-1988(R2002)

การวิเคราะห์ข้อมูล

กรณีที่ 1 ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลของตารางที่ 9 ที่แรงดัน 69 เควี. สายส่ง BOT695 ช่วงเสา #1 - #20 บริเวณตรงข้ามซอยเพชรเกษมที่ 69 – 81 ถ.เพชรเกษม(ขาเข้า)

ค่าที่ได้จากการทดลองของเดือนที่ 1 (การทดลอง)

- ปริมาณสิ่งเปื้อนในสภาวะไม่จ่ายไฟ	0.0145 mg/cm ²
- ปริมาณสิ่งเปื้อนในสภาวะจ่ายไฟ	0.0243 mg/cm ²
- อุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย	34.7 °C
- ผลการทดสอบแรงดันตามมาตรฐาน	83 kV.

ใช้อุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วยที่วัดได้สำหรับการหาค่าต่างๆ ของเดือนที่ 1 (การคำนวณ)

จากสมการความสัมพันธ์ของสิ่งเปื้อนในสภาวะจ่ายไฟกับอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย

(ภาพที่ 59)

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณสิ่งเปื้อนในสภาวะจ่ายไฟ} &= (0.0019 \times \text{อุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย}) - 0.0296 \\
 &= (0.0019 \times 34.7) - 0.0296 \\
 &= 0.0363 \quad \text{mg/cm}^2
 \end{aligned}$$

จากสมการความสัมพันธ์ของสิ่งเปื้อนในสภาวะไม่จ่ายไฟกับปริมาณสิ่งเปื้อนในสภาวะจ่ายไฟ (ภาพที่ 57)

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณสิ่งเปื้อนในสภาวะไม่จ่ายไฟ} &= (0.3546 \times \text{ปริมาณสิ่งเปื้อนในสภาวะจ่ายไฟ}) + 0.0051 \\
 &= (0.3546 \times 0.0363) + 0.0051 \\
 &= 0.0180 \quad \text{mg/cm}^2
 \end{aligned}$$

จากสมการความสัมพันธ์ของผลการทดสอบแรงดันตามมาตรฐานกับปริมาณสิ่งเปื้อนในสภาวะไม่จ่ายไฟ (ภาพที่ 60)

$$\begin{aligned}
 \text{ผลการทดสอบแรงดันตามมาตรฐาน} &= (-339.23 \times \text{ปริมาณสิ่งเปื้อนในสภาวะไม่จ่ายไฟ}) + 84.873 \\
 &= (-339.23 \times 0.0180) + 84.873 \\
 &= 78.77 \quad \text{kV.}
 \end{aligned}$$

จากความสัมพันธ์ของปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะจ่ายไฟ 69 เควี.ที่บริเวณ ถ.เพชรเกษม (ภาพที่ 57) สามารถวิเคราะห์ผลค่าต่างๆ ของแรงดันขนาด 69 เควี.ที่บริเวณ ถ.กาญจนาภิเษก ได้ ดังนี้

ใช้ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสภาวะไม่จ่ายไฟที่วัดได้จาก ถ.กาญจนาภิเษก สำหรับการหาค่าต่างๆ ของเดือนที่ 1 (การคำนวณ)

จากสมการความสัมพันธ์ของสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะจ่ายไฟกับปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสภาวะไม่จ่ายไฟ (ภาพที่ 57)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสภาวะจ่ายไฟ} &= (\text{ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสภาวะไม่จ่ายไฟ} - 0.0051)/0.3546 \\ &= (0.0093 - 0.0051)/0.3546 \\ &= 0.0118 \quad \text{mg/cm}^2 \end{aligned}$$

จากสมการความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วยกับสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะจ่ายไฟ (ภาพที่ 59)

$$\begin{aligned} \text{อุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย} &= (\text{ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสภาวะจ่ายไฟ} + 0.0296)/0.0019 \\ &= (0.0118 + 0.0296)/0.0019 \\ &= 21.81 \quad ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

จากสมการความสัมพันธ์ของผลการทดสอบแรงดันตามมาตรฐานกับปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสภาวะไม่จ่ายไฟ (ภาพที่ 60)

$$\begin{aligned} \text{ผลการทดสอบแรงดันตามมาตรฐาน} &= (-339.23 \times \text{ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสภาวะไม่จ่ายไฟ}) + 84.873 \\ &= (-339.23 \times 0.0093) + 84.873 \\ &= 81.72 \quad \text{kV.} \end{aligned}$$

จากความสัมพันธ์ของระยะเวลากับปริมาณสิ่งเปื้อนสถานะต่างๆ ของ ด.กาญจนาภิเษก (ภาพที่ 55) สามารถวิเคราะห์ระยะเวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษาสายส่งแรงดัน 69 เควี.ที่บริเวณ ด.กาญจนาภิเษก ได้ดังนี้

จากตารางที่ 9 จากปริมาณสิ่งเปื้อนสถานะจ่ายไฟ 69 เควี.เท่ากับ 0.0589 mg/cm^2 ที่ทำให้ลูกถ้วยไม่ผ่านการทดสอบตามมาตรฐานที่แรงดัน เท่ากับ 75.99 kV.

จากสมการความสัมพันธ์ของปริมาณสิ่งเปื้อนในสถานะไม่จ่ายไฟกับผลการทดสอบแรงดันตามมาตรฐาน (ภาพที่ 60)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณสิ่งเปื้อนในสถานะไม่จ่ายไฟ} &= (\text{ผลการทดสอบแรงดันตามมาตรฐาน} \\ &\quad - 84.873)/-339.23 \\ &= (75.99 - 84.873)/-339.23 \\ &= 0.0262 \quad \text{mg/cm}^2 \end{aligned}$$

จากความสัมพันธ์ของระยะเวลากับปริมาณสิ่งเปื้อนสถานะต่างๆ ของ ด.กาญจนาภิเษก (ภาพที่ 55)

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลา} &= (\text{ปริมาณสิ่งเปื้อนในสถานะจ่ายไฟ} - 0.0239)/0.0042 \\ &= (0.0589 - 0.0239)/0.0042 \\ &= 8 \quad \text{เดือน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลา} &= (\text{ปริมาณสิ่งเปื้อนในสถานะไม่จ่ายไฟ} - 0.008)/0.0015 \\ &= (0.0262 - 0.008)/0.0015 \\ &= 12 \quad \text{เดือน} \end{aligned}$$

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษาสายส่งแรงดัน 69 เควี.ที่บริเวณ ด.กาญจนาภิเษก ใช้ระยะเวลา ประมาณ 8 - 12 เดือน

กรณีที่ 2 ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลของตารางที่ 10 ที่แรงดัน 115 เควี. สายส่ง BOT791

ช่วงเสา #1 - #20 บริเวณใกล้แยกครัวสมร ถ.กาญจนาภิเษก

ค่าที่ได้จากการทดลองของเดือนที่ 1 (การทดลอง)

- ปริมาณสิ่งเปื้อนในสถานะไม่จ่ายไฟ 0.0093 mg/cm^2
- ปริมาณสิ่งเปื้อนในสถานะจ่ายไฟ 0.0258 mg/cm^2
- อุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย $34.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- ผลการทดสอบแรงดันตามมาตรฐาน 88.18 kV.

ใช้อุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วยที่วัดได้สำหรับการหาค่าต่างๆ ของเดือนที่ 1 (การคำนวณ)

จากสมการความสัมพันธ์ของสิ่งเปื้อนในสถานะจ่ายไฟกับอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย

(ภาพที่ 69)

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณสิ่งเปื้อนในสถานะจ่ายไฟ} &= (0.001 \times \text{อุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย}) + 0.0045 \\
 &= (0.001 \times 34.4) + 0.0045 \\
 &= 0.0389 \text{ mg/cm}^2
 \end{aligned}$$

จากสมการความสัมพันธ์ของสิ่งเปื้อนในสถานะไม่จ่ายไฟกับปริมาณสิ่งเปื้อนในสถานะจ่ายไฟ (ภาพที่ 67)

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณสิ่งเปื้อนในสถานะไม่จ่ายไฟ} &= (0.3657 \times \text{ปริมาณสิ่งเปื้อนในสถานะจ่ายไฟ}) - 0.0006 \\
 &= (0.3657 \times 0.0389) - 0.0006 \\
 &= 0.0136 \text{ mg/cm}^2
 \end{aligned}$$

จากสมการความสัมพันธ์ของผลการทดสอบแรงดันตามมาตรฐานกับปริมาณสิ่งเปื้อนในสถานะไม่จ่ายไฟ (ภาพที่ 70)

$$\begin{aligned}
 \text{ผลการทดสอบแรงดันตามมาตรฐาน} &= (-1,523 \times \text{ปริมาณสิ่งเปื้อนในสถานะไม่จ่ายไฟ}) + 104.49 \\
 &= (-1,523 \times 0.0136) + 104.49 \\
 &= 83.74 \text{ kV.}
 \end{aligned}$$

จากความสัมพันธ์ของปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะจ่ายไฟ 115 เควี.ที่บริเวณ ถ.กาญจนาภิเษก (ภาพที่ 67) สามารถวิเคราะห์ผลค่าต่างๆ ของแรงดันขนาด 115 เควี.ที่บริเวณ ถ.เพชรเกษม ได้ดังนี้

ใช้ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสภาวะไม่จ่ายไฟที่วัดได้จาก ถ.เพชรเกษม สำหรับการหาค่าต่างๆ ของเดือนที่ 1 (การคำนวณ)

จากสมการความสัมพันธ์ของสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะจ่ายไฟกับปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสภาวะไม่จ่ายไฟ (ภาพที่ 67)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสภาวะจ่ายไฟ} &= (\text{ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสภาวะไม่จ่ายไฟ} + 0.0006)/0.3657 \\ &= (0.0145 + 0.0006)/0.3657 \\ &= 0.0413 \quad \text{mg/cm}^2 \end{aligned}$$

จากสมการความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วยกับสิ่งเปราะเปื้อนสภาวะจ่ายไฟ (ภาพที่ 69)

$$\begin{aligned} \text{อุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย} &= (\text{ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสภาวะจ่ายไฟ} - 0.0045)/0.001 \\ &= (0.0413 - 0.0045)/0.001 \\ &= 36.75 \quad ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

จากสมการความสัมพันธ์ของผลการทดสอบแรงดันตามมาตรฐานกับปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสภาวะไม่จ่ายไฟ (ภาพที่ 70)

$$\begin{aligned} \text{ผลการทดสอบแรงดันตามมาตรฐาน} &= (-1,523 \times \text{ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสภาวะไม่จ่ายไฟ}) + 104.49 \\ &= (-1,523 \times 0.0145) + 104.49 \\ &= 82.43 \quad \text{kV.} \end{aligned}$$

จากความสัมพันธ์ของระยะเวลากับปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสถานะต่างๆ ของ ถ.เพชรเกษม (ภาพที่ 65) สามารถวิเคราะห์ระยะเวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษาสายส่งแรงดัน 115 เควี.ที่บริเวณ ถ.เพชรเกษม ได้ดังนี้

จากตารางที่ 10 จากปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสถานะจ่ายไฟ 115 เควี.เท่ากับ 0.0519 mg/cm^2 ที่ทำให้ลูกถ้วยไม่ผ่านการทดสอบตามมาตรฐานที่แรงดัน เท่ากับ 75.97 kV.

จากสมการความสัมพันธ์ของปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสถานะไม่จ่ายไฟกับผลการทดสอบแรงดันตามมาตรฐาน (ภาพที่ 70)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสถานะไม่จ่ายไฟ} &= (\text{ผลการทดสอบแรงดันตามมาตรฐาน} \\ &\quad - 104.49)/-1,523 \\ &= (75.97 - 104.49)/-1,523 \\ &= 0.0187 \quad \text{mg/cm}^2 \end{aligned}$$

จากความสัมพันธ์ของระยะเวลากับปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนสถานะต่างๆ ของ ถ.เพชรเกษม (ภาพที่ 65)

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลา} &= (\text{ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสถานะไม่จ่ายไฟ} - 0.0119)/0.0025 \\ &= (0.0187 - 0.0119)/0.0025 \\ &= 3 \quad \text{เดือน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลา} &= (\text{ปริมาณสิ่งเปราะเปื้อนในสถานะจ่ายไฟ} - 0.0199)/0.0067 \\ &= (0.0519 - 0.0199)/0.0067 \\ &= 5 \quad \text{เดือน} \end{aligned}$$

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษาสายส่งแรงดัน 115 เควี.ที่บริเวณ ถ.เพชรเกษม ใช้ระยะเวลา ประมาณ 3 - 5 เดือน

จากความสัมพันธ์ของปริมาณสิ่งเปื้อนสถานะไม่จำเพาะของ ด.เพชรเกษม และ ด.กาญจนาภิเษก (ภาพที่ 56 และ ภาพที่ 66) สามารถหาค่าอัตราส่วนการเพิ่มของปริมาณสิ่งเปื้อนที่ ด.เพชรเกษม และ ด.กาญจนาภิเษก ได้ดังนี้

$$\text{สิ่งเปื้อนที่ } \text{ด.เพชรเกษม} = (1.4726 \times \text{สิ่งเปื้อนที่ } \text{ด.กาญจนาภิเษก}) + 0.0006$$

สมมุติค่าปริมาณสิ่งเปื้อนสถานะไม่จำเพาะ ด.กาญจนาภิเษก เท่ากับ 1 mg/cm^2

$$\begin{aligned} \text{สิ่งเปื้อนที่ } \text{ด.เพชรเกษม} &= (1.4726 \times 1) + 0.0006 \\ &= 1.4732 \text{ mg/cm}^2 \end{aligned}$$

ปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวของลูกถ้วยในสภาพสิ่งแวดล้อมปกติ(สถานะไม่จำเพาะ) ของบริเวณ ด.เพชรเกษม จะมีค่าการเกิดสิ่งเปื้อนมากกว่า บริเวณ ด.กาญจนาภิเษก ที่ประมาณ 1.5 เท่า

จากความสัมพันธ์ของปริมาณสิ่งเปื้อนสถานะไม่จำเพาะและปริมาณสิ่งเปื้อนสถานะจำเพาะ 69 เควี.กับระยะเวลา ที่บริเวณ ด.เพชรเกษม (ภาพที่ 55)

สมมุติค่าระยะเวลาสถานะจำเพาะและไม่จำเพาะ 69 เควี. ด.เพชรเกษม เท่ากับ 1 เดือน

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณสิ่งเปื้อนสถานะจำเพาะ} &= (0.0067 \times \text{ระยะเวลา}) + 0.0199 \\ &= (0.0067 \times 1) + 0.0199 \\ &= 0.0266 \text{ mg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณสิ่งเปื้อนสถานะไม่จำเพาะ} &= (0.0025 \times \text{ระยะเวลา}) + 0.0119 \\ &= (0.0025 \times 1) + 0.0119 \\ &= 0.0144 \text{ mg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{\text{ปริมาณสิ่งเปื้อนบนสภาวะจ่ายไฟ}}{\text{ปริมาณสิ่งเปื้อนบนสภาวะไม่จ่ายไฟ}} = \frac{0.0266}{0.0144}$$

$$= 1.85$$

ปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวของลูกถ้วยในสภาวะจ่ายไฟ 69 เควี. ถ.เพชรเกษม จะมีค่าประมาณ 2 เท่าของสภาวะไม่จ่ายไฟ

จากความสัมพันธ์ของปริมาณสิ่งเปื้อนบนสภาวะไม่จ่ายไฟกับปริมาณสิ่งเปื้อนบนสภาวะจ่ายไฟ 115 เควี.ที่บริเวณ ถ.กาญจนภิเษก (ภาพที่ 65)

สมมุติค่าระยะเวลาสภาวะจ่ายไฟและไม่จ่ายไฟ 115 เควี. ถ.กาญจนภิเษก เท่ากับ 1 เดือน

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณสิ่งเปื้อนบนสภาวะจ่ายไฟ} &= (0.0042 \times \text{ระยะเวลา}) + 0.0239 \\ &= (0.0042 \times 1) + 0.0239 \\ &= 0.0281 \text{ mg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณสิ่งเปื้อนบนสภาวะไม่จ่ายไฟ} &= (0.0015 \times \text{ระยะเวลา}) + 0.0080 \\ &= (0.0015 \times 1) + 0.0080 \\ &= 0.0095 \text{ mg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{\text{ปริมาณสิ่งเปื้อนบนสภาวะจ่ายไฟ}}{\text{ปริมาณสิ่งเปื้อนบนสภาวะไม่จ่ายไฟ}} = \frac{0.0281}{0.0095}$$

$$= 2.96$$

ปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวของลูกถ้วยในสภาวะจ่ายไฟ 115 เควี. ถ.กาญจนภิเษก จะมีค่าประมาณ 3 เท่าของสภาวะไม่จ่ายไฟ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากผลการทดสอบลูกถ้วยแบบแขวน (พอร์ซเลน) ในระบบสายส่ง 69 และ 115 เควี. ของสายส่ง BOT695 และ BOT791 บริเวณ ถ.เพชรเกษม และ ถ.กาญจนาภิเษก ของการไฟฟ้านครหลวงพบว่า

ค่าการเกิดปริมาณสิ่งเปรอะเปื้อนที่บริเวณผิวของลูกถ้วยในสภาพสิ่งแวดล้อมปกติ (สภาวะไม่จ่ายไฟ) ของบริเวณ ถ.เพชรเกษม จะมีค่าการเกิดสิ่งเปรอะเปื้อนมากกว่า บริเวณ ถ.กาญจนาภิเษก ที่ประมาณ 1.5 เท่า

ค่าปริมาณสิ่งเปรอะเปื้อนที่บริเวณผิวของลูกถ้วยในสภาวะจ่ายไฟ 69 เควี.จะมีค่าประมาณ 2 เท่าของสภาวะไม่จ่ายไฟ

ค่าปริมาณสิ่งเปรอะเปื้อนที่บริเวณผิวของลูกถ้วยในสภาวะจ่ายไฟ 115 เควี.จะมีค่าประมาณ 3 เท่า ของสภาวะไม่จ่ายไฟ

ที่บริเวณ ถ .เพชรเกษม สายส่ง 69 เควี.จะต้องใช้ระยะเวลาในการบำรุงรักษาสายส่งประมาณ 6 เดือนต่อครั้ง (มีปริมาณสิ่งเปรอะเปื้อน 0.0589 mg/cm^2) ในขณะที่สายส่ง 115 เควี. จะต้องใช้ระยะเวลาในการบำรุงรักษาสายส่ง ประมาณ 3 - 5 เดือนต่อครั้ง (มีปริมาณสิ่งเปรอะเปื้อน 0.0519 mg/cm^2 ใช้ในการคำนวณตารางที่ 10) ซึ่งค่าของปริมาณสิ่งเปรอะเปื้อนที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้ค่ามาจากการทดลองและการทดสอบลูกถ้วยที่ไม่ผ่านตามมาตรฐาน ANSI C29.1-1988(R2002))

ที่บริเวณ ถ .กาญจนาภิเษก สายส่ง 69 เควี.จะต้องใช้ระยะเวลาในการบำรุงรักษาสายส่งประมาณ 8 - 12 เดือนต่อครั้ง(มีปริมาณสิ่งเปรอะเปื้อน 0.0589 mg/cm^2 ใช้ในการคำนวณตารางที่ 9) ในขณะที่สายส่ง 115 เควี. จะต้องใช้ระยะเวลาในการบำรุงรักษาสายส่ง ประมาณ 7 เดือนต่อครั้ง (มีปริมาณสิ่งเปรอะเปื้อน 0.0519 mg/cm^2) ซึ่งค่าของปริมาณสิ่งเปรอะเปื้อนที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้ค่ามาจากการทดลองและการทดสอบลูกถ้วยที่ไม่ผ่านตามมาตรฐาน ANSI C29.1-1988(R2002)

จากการศึกษาปัญหาการเกิดไฟฟ้าดับ พบว่าการเกิดการรวบไฟตามผิวของลูกถ้วย เป็นอันดับต้นๆ ของสาเหตุการเกิดไฟฟ้าดับ โดยอ้างอิงจากข้อมูลสถิติสายส่งขัดข้องประจำปี พ.ศ. 2549 – 50 ของการไฟฟ้านครหลวง และจากกรณีศึกษาทั้ง 2 กรณี ทำให้ทราบถึงระยะเวลาในการบำรุงรักษาของสายส่งในข้างต้น ณ สถานที่นั้นๆ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการเกิดการรวบไฟตามผิวของลูกถ้วยได้ ทำให้การไฟฟ้านครหลวงประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการแก้ไข (การเปลี่ยนลูกถ้วยใหม่) และยังทำให้ระบบการจ่ายไฟมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยหากมีการเกิดการรวบไฟตามผิวการไฟฟ้านครหลวง จะต้องมีค่าใช้จ่าย เป็นเงินประมาณ 30,000.00 บาทต่อครั้ง (โดยคิดค่าใช้จ่ายจาก : ค่าแรงงาน + ค่าวัสดุ + ค่ายานพาหนะและเครื่องมือกล)

ข้อเสนอแนะ

จากการวัดอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วยด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน สามารถทำให้เราได้รู้ถึงอุณหภูมิของลูกถ้วยที่จะไม่ผ่านการทดสอบได้ (ค่าต่ำกว่าพิกัดมาตรฐาน) โดยนำค่าของอุณหภูมิที่ทดสอบลูกถ้วยไม่ผ่านมาตรฐานจากสายส่ง 69 และ 115 เควี. มาใช้ในการหาค่าระยะเวลาในการบำรุงรักษาของสายส่ง 69 และ 115 เควี. ในสถานที่ต่างๆ ได้ แต่ในความเป็นจริงแล้ว หากลูกถ้วยมีค่าความเป็นฉนวนต่ำกว่ามาตรฐานเพียง 1 ลูก นั้น ก็ยังสามารถที่จะจ่ายไฟได้ตามปกติ ซึ่งต้องขึ้นอยู่กับสภาพสิ่งแวดล้อมนั้นๆ จากผลที่ได้นั้น จะเป็นระยะเวลาที่จะทำให้เกิดความเสี่ยงน้อยที่สุด ที่จะทำให้เกิดไฟฟ้าดับ (เนื่องจากลูกถ้วยมีค่าการทดสอบต่ำกว่ามาตรฐานเพียง 1 ลูก เท่านั้น)

จากการทดลองยังมีตัวแปรที่มีผลกับการทดลองอยู่ และยังไม่สามารถกำหนดค่าที่แน่นอนได้ เช่น ฤดูกาลในการทดสอบ , แรงลมที่ทำให้เกิดปริมาณสิ่งเปื้อนและสภาพสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไปในแต่ละปี ซึ่งอาจทำให้ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิม

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ANSI C29.1-1988(R2002). 1988. **Test Methods for Electrical Power Insulators**. American National Standards Institute, Inc.

FLIR Systems. 1999. **AGEMA™ Report 5.4 Operating Manual**. FLIR Systems.

FLIR Systems. 1999. **ThermaCAM™ PM595 Operator's Manual**. FLIR Systems.

IEEE Std 957 – 1995. 1995. **IEEE Guide for Cleaning Insulators**. IEEE Standards Board.

Looms, J.S.T. 1990. **Insulator for High Voltages**. Peter Peregrinus Ltd. London.

NGK INSULATORS, LTD. 1991. **NGK Technical Guide**. NGK INSULATORS, LTD.

กรมควบคุมมลพิษ. 2550. **คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ**. แหล่งที่มา:
http://www.pcd.go.th/public/Publications/print_air.cfm, 25 สิงหาคม 2552.

กรมควบคุมมลพิษ. 2552. **รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2551**. แหล่งที่มา:
<http://www.pcd.go.th/download/pollution.cfm>, 25 สิงหาคม 2552.

กองทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า ฝ่ายวิจัยและพัฒนา. 2550. **โครงการวิจัยการก่อสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง (Tesla Transformer)**. การไฟฟ้านครหลวง, กรุงเทพฯ.

กองทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า ฝ่ายวิจัยและพัฒนา. 2551. **คู่มือการใช้งานชุดควบคุมหม้อแปลงทดสอบแรงดันกระแสลับ 150 kV**. การไฟฟ้านครหลวง, กรุงเทพฯ.

กองบำรุงรักษาสายส่ง ฝ่ายบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า. 2550. **รายงานผลการตรวจสอบสายส่งด้วย Thermal Image Camera**. การไฟฟ้านครหลวง, กรุงเทพฯ.

กองบำรุงรักษาสายส่ง ฝ่ายบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า. 2552. สถิติสายส่งขัดข้อง. การไฟฟ้านครหลวง, กรุงเทพฯ.

กองบำรุงรักษาสายส่ง ฝ่ายบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า. 2550. เทคนิคการใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนมาใช้งานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน. บทความวิชาการของการไฟฟ้านครหลวง, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 167 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคัมและลูกถ้วยรับสายไฟฟ้า. 2523. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 493 (พ.ศ. 2523) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมลูกถ้วยแขวน : ปอร์ชเลน.

นรเศรษฐ พัฒนเดช. 2545. ลักษณะสมบัติของลูกถ้วยคอตันยาวปกสลับในระบบจำหน่าย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

นรินาม. 2536. การจับเกาะของสิ่งเปราะเปื้อนบนลูกถ้วยในเขต 3. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

บุญเรือง มะรังศรี. 2541. ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของลูกถ้วยฉนวนเปราะเปื้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ประจักษ์ พูลสวัสดิ์. 2545. การศึกษาการแก้ปัญหาลูกถ้วยที่เปราะเปื้อนในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าภูมิภาค. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. เกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สำรวย สังขสะอาด. 2541. เทคโนโลยีการฉนวนในระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแรงสูง. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

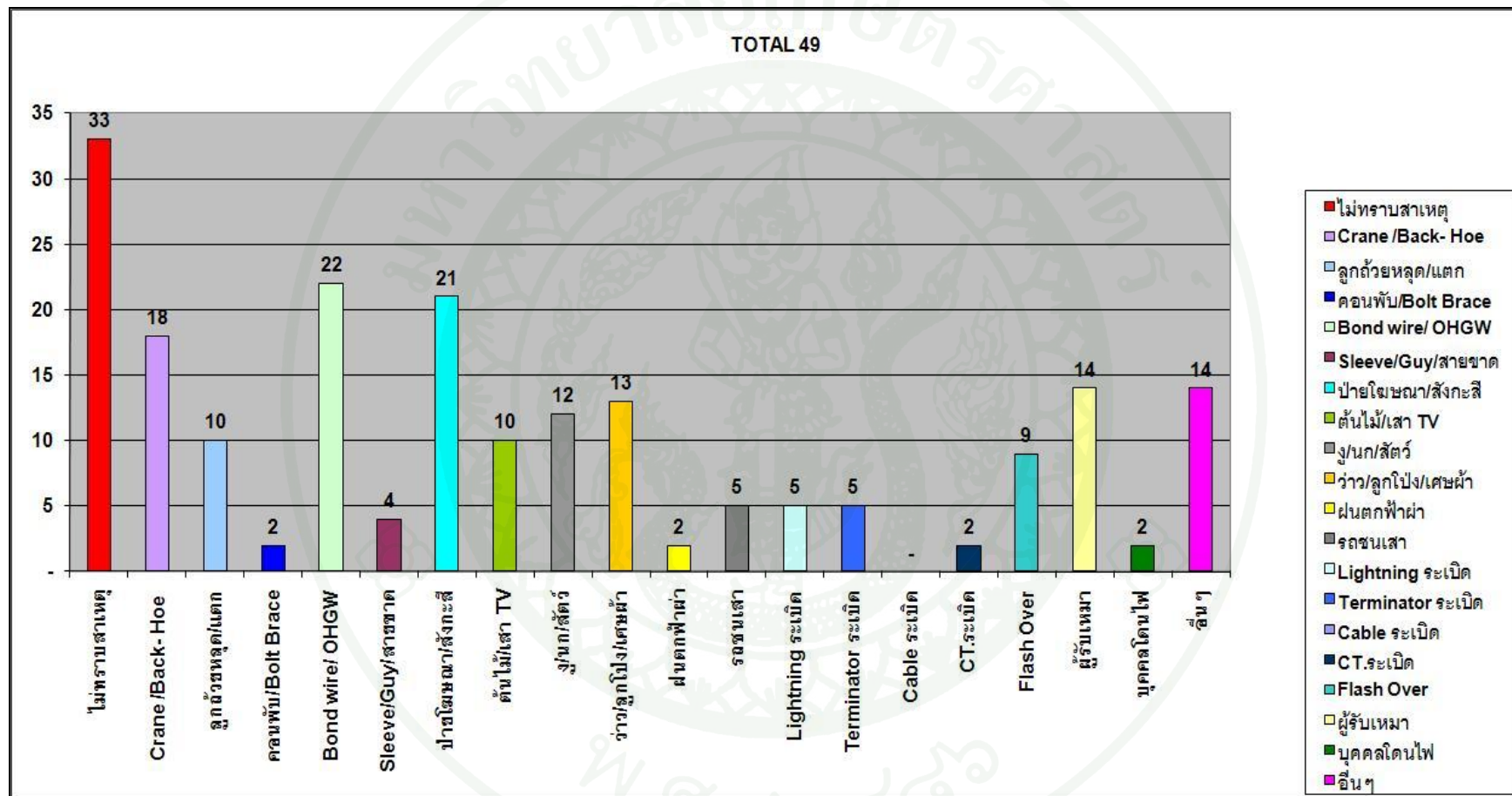
สำรวย สังขสะอาด. 2549. วิสวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.



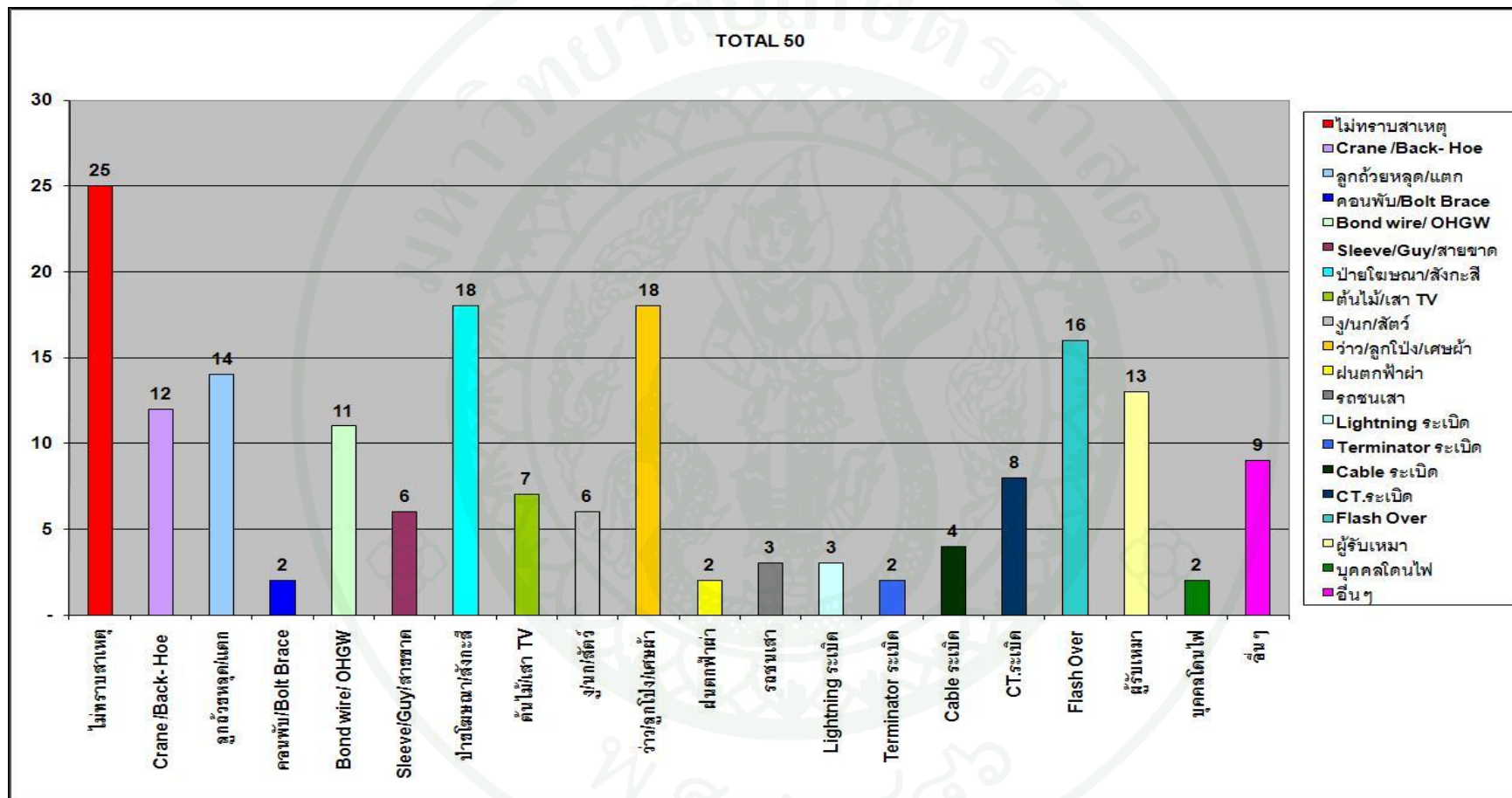


ภาคผนวก ก

สถิติสายส่งจัดซื้อประจำปี พ.ศ. 2549 – 50 ของการไฟฟ้านครหลวง



ภาพผนวกที่ ก1 สถิติสายส่งชำรุดประจำปี พ.ศ. 2549 ของการไฟฟ้านครหลวง



ภาพผนวกที่ ก2 สถิติสายส่งชำรุดประจำปี พ.ศ. 2550 ของการไฟฟ้านครหลวง



ลำดับ	เบอร์เสา	วัน/เดือน/ปี	เวลา	แรงดัน(kV.)	กระแส(A)			Emissivity	Distance(m)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิลูกถ้วย(°C)			สถานที่	หมายเหตุ
					R	Y	B					R	Y	B		
1	#1	21/8/2008	10.00	69	432	448	436	0.75	20	32	31	34.5	32.8	34.7	ถ.เพชรเกษม(ขาเข้า)	
2	#2	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	30.6	32.4	30.7	"	
3	#3	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	31.6	30.7	31.1	"	
4	#4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	33.3	32.9	34.7	"	
5	#5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	31.3	33.8	32.9	"	
6	#6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	35.0	35.8	35.4	"	
7	#7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	29.9	31.0	31.1	"	
8	#8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32.5	31.5	32.1	"	
9	#9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	33.6	33.6	34.2	"	
10	#10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	36.2	37.1	35.8	"	

ภาพผนวกที่ ข1 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 1 ของสายส่ง BOT695 ช่วง
เสา #1 - #10

ลำดับ	เบอร์เสา	วัน/เดือน/ปี	เวลา	แรงดัน(kV.)	กระแส(A)			Emissivity	Distance(m)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิลูกถ้วย(°C)			สถานที่	หมายเหตุ
					R	Y	B					R	Y	B		
1	#2	8/10/2008	9.00	69	355	365	360	0.75	20	18	30	31.8	34.5	35.2	ถ.เพชรเกษม(ขาเข้า)	
2	#3	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	35.3	35.8	35.2	"	
3	#4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	28.4	30.0	33.3	"	
4	#5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32.5	32.3	31.6	"	
5	#6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	33.9	33.5	33.6	"	
6	#7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32.4	33.8	33.2	"	
7	#8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32.8	33.5	34.9	"	
8	#9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	36.1	36.1	35.5	"	
9	#10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	41.5	42.9	43.6	"	
10	#11	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	40.1	40.4	43.8	"	

ภาพผนวกที่ ข2 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 2 ของสายส่ง BOT695 ช่วง
เสา #2 - #11

ลำดับ	เบอร์เสา	วัน/เดือน/ปี	เวลา	แรงดัน(kV.)	กระแส(A)			Emissivity	Distance(m)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิลูกถ้วย(°C)			สถานที่	หมายเหตุ
					R	Y	B					R	Y	B		
1	#3	13/11/2008	9.30	69	408	428	412	0.75	20	18	28	31.5	32.8	33.3	ถ.เพชรเกษม(ขาเข้า)	
2	#4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	35.6	35.4	34.4	"	
3	#5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	35.4	26.3	32.2	"	
4	#6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32.5	30.4	32.7	"	
5	#7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32.6	29.7	34.9	"	
6	#8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	35.6	37.5	41.4	"	
7	#9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32.3	33.6	33.0	"	
8	#10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	37.0	42.2	44.3	"	
9	#11	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	33.7	36.7	39.5	"	
10	#12	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32.8	29.0	31.6	"	

ภาพผนวกที่ ข3 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 3 ของสายส่ง BOT695 ช่วง
เสา #3 - #12

ลำดับ	เบอร์เสา	วัน/เดือน/ปี	เวลา	แรงดัน(kV.)	กระแส(A)			Emissivity	Distance(m)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิลูกถ้วย(°C)			สถานที่	หมายเหตุ
					R	Y	B					R	Y	B		
1	#4	22/1/2009	13.00	69	400	390	400	0.75	20	21	28	32.6	32.9	34.9	ถ.เพชรเกษม(ขาเข้า)	
2	#5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	35.0	31.5	34.6	"	
3	#6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	36.5	38.1	38.0	"	
4	#7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	36.4	37.2	37.5	"	
5	#8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	39.0	36.4	35.9	"	
6	#9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	37.5	39.3	42.3	"	
7	#10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	34.0	38.9	37.9	"	
8	#11	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	37.4	38.1	41.4	"	
9	#12	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	34.5	36.2	38.0	"	
10	#13	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	35.5	37.0	40.0	"	

ภาพผนวกที่ ข4 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 4 ของสายส่ง BOT695 ช่วง
เสา #4 - #13

ลำดับ	เบอร์เสา	วัน/เดือน/ปี	เวลา	แรงดัน(kV.)	กระแส(A)			Emissivity	Distance(m)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิลูกถ้วย(°C)			สถานที่	หมายเหตุ
					R	Y	B					R	Y	B		
1	#5	20/2/2009	10.45	69	612	636	624	0.75	20	18	30	40.2	41.7	43.7	ถ.เพชรเกษม(ขาเข้า)	
2	#6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	40.7	41.8	42.2	"	
3	#7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	42.1	42.7	42.2	"	
4	#8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	43.0	43.7	42.9	"	
5	#9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	36.9	37.9	37.7	"	
6	#10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32.9	33.1	33.2	"	
7	#11	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	31.8	36.3	36.5	"	
8	#12	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	38.6	40.8	40.0	"	
9	#13	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	38.5	39.9	40.1	"	
10	#14	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	39.4	40.7	41.2	"	

ภาพผนวกที่ ข5 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 5 ของสายส่ง BOT695 ช่วง
เสา #5 - #14

ลำดับ	เบอร์เสา	วัน/เดือน/ปี	เวลา	แรงดัน(kV.)	กระแส(A)			Emissivity	Distance(m)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิลูกถ้วย(°C)			สถานที่	หมายเหตุ
					R	Y	B					R	Y	B		
1	#6	24/3/2009	0.15	69	402	415	405	0.75	20	18	29	41.0	42.0	43.0	ถ.เพชรเกษม(ขาเข้า)	
2	#7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	41.3	41.5	42.5	"	
3	#8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	42.0	42.5	43.0	"	
4	#9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	44.0	44.0	43.8	"	
5	#10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	38.4	38.1	39.2	"	
6	#11	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	35.9	35.5	37.6	"	
7	#12	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	33.8	39.7	37.3	"	
8	#13	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	40.7	42.2	43.7	"	
9	#14	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	42.9	42.7	42.8	"	
10	#15	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	42.5	44.6	45.2	"	

ภาพผนวกที่ ข6 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 6 ของสายส่ง BOT695 ช่วง
เสา #6 - #15

ลำดับ	วัน/เดือน/ปี	เบอร์เสา															
		อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)															
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16
1	21/8/2008	34.5	30.6	31.6	33.3	31.3	35.0	29.9	32.5	33.6	36.2						
2	8/10/2008		31.8	35.3	28.4	32.5	33.9	32.4	32.8	36.1	41.5	40.1					
3	13/11/2008			31.5	35.6	35.4	32.5	32.6	35.6	32.3	37.0	33.7	32.8				
4	22/1/2009				32.6	34.6	36.5	36.4	39.0	37.5	34.0	37.4	34.5	35.5			
5	20/2/2009					40.2	40.7	42.1	43.0	36.9	32.9	31.8	38.6	38.5	39.4		
6	24/3/2009						41.0	41.3	42.0	44.0	38.4	35.9	33.8	40.7	42.9	42.5	
7	30/4/2009							41.2	45.5	43.0	36.2	30.2	31.5	43.2	34.6	37.1	37.8

ภาพผนวกที่ ข7 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 1 – 7 ของสายส่ง BOT695
เฟส R

ลำดับ	วัน/เดือน/ปี	เบอร์เสา															
		อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)															
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16
1	21/8/2008	32.8	32.4	30.7	32.9	33.8	35.8	31.0	31.5	33.6	37.1						
2	8/10/2008		34.5	35.8	30.0	32.3	33.5	33.8	33.5	36.1	42.9	40.4					
3	13/11/2008			32.8	35.4	26.3	30.4	29.7	37.5	33.6	42.2	36.7	29.0				
4	22/1/2009				32.9	31.5	38.1	37.2	36.4	39.3	38.9	38.1	36.2	37.0			
5	20/2/2009					41.7	41.8	42.7	43.7	37.9	33.1	36.3	40.8	39.9	40.7		
6	24/3/2009						42.0	41.5	42.5	44.0	38.1	35.5	39.7	42.2	42.7	44.6	
7	30/4/2009							42.5	37.1	40.4	34.5	36.0	30.7	46.7	49.8	33.4	40.2

ภาพผนวกที่ ข8 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 1 – 7 ของสายส่ง BOT695
เฟส Y

ลำดับ	วัน/เดือน/ปี	เบอร์เสา															
		อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)															
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16
1	21/8/2008	34.7	30.7	31.1	34.7	32.9	35.4	31.1	32.1	34.2	35.8						
2	8/10/2008		35.2	35.2	33.3	31.6	33.6	33.2	34.9	35.5	43.6	43.8					
3	13/11/2008			33.3	34.4	32.2	32.7	34.9	41.4	33.0	44.3	39.5	31.6				
4	22/1/2009				34.9	34.6	38.0	37.5	35.9	42.3	37.9	41.4	38.0	40.0			
5	20/2/2009					43.7	42.2	42.2	42.9	37.7	33.2	36.5	40.0	40.1	41.2		
6	24/3/2009						43.0	42.5	43.0	43.8	39.2	37.6	37.3	43.7	42.8	45.2	
7	30/4/2009							44.5	40.9	42.8	39.8	43.1	37.5	45.5	48.8	35.8	42.3

ภาพผนวกที่ ข9 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 69 เควี.เดือนที่ 1 – 7 ของสายส่ง BOT695 เฟส B

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_a	σ_b	$D_a(\%)$	$D_b(\%)$	พื้นที่ผิว(S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#1	R1	25	18	200	0	230	207.21	0.00	0.0139	0.0000	1,656.97	0.0167
2	#1	R2	25	18	200	0	250	225.23	0.00	0.0151	0.0000	1,656.97	0.0182
3	#1	R3	25	18	200	0	290	261.26	0.00	0.0176	0.0000	1,656.97	0.0212
4	#1	R4	25	18	200	0	320	288.29	0.00	0.0195	0.0000	1,656.97	0.0235
5	#1	Y1	25	18	200	0	210	189.19	0.00	0.0126	0.0000	1,656.97	0.0152
6	#1	Y2	25	18	200	0	230	207.21	0.00	0.0139	0.0000	1,656.97	0.0167
7	#1	Y3	25	18	200	0	240	216.22	0.00	0.0145	0.0000	1,656.97	0.0175
8	#1	Y4	25	18	200	0	260	234.23	0.00	0.0157	0.0000	1,656.97	0.0190
9	#1	B1	25	18	200	0	230	207.21	0.00	0.0139	0.0000	1,656.97	0.0167
10	#1	B2	25	18	200	0	250	225.23	0.00	0.0151	0.0000	1,656.97	0.0182
11	#1	B3	25	18	200	0	290	261.26	0.00	0.0176	0.0000	1,656.97	0.0212
12	#1	B4	25	18	200	0	330	297.30	0.00	0.0201	0.0000	1,656.97	0.0243

ภาพผนวกที่ ข10 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปรอะเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 69 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 1 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #1

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำน้ำ($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว(S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#2	R1	25	18	200	0	250	225.23	0.00	0.0151	0.0000	1,656.97	0.0182
2	#2	R2	25	18	200	0	320	288.29	0.00	0.0195	0.0000	1,656.97	0.0235
3	#2	R3	25	18	200	0	340	306.31	0.00	0.0207	0.0000	1,656.97	0.0250
4	#2	R4	25	18	200	0	400	360.36	0.00	0.0245	0.0000	1,656.97	0.0296
5	#2	Y1	25	18	200	0	230	207.21	0.00	0.0139	0.0000	1,656.97	0.0167
6	#2	Y2	25	18	200	0	260	234.23	0.00	0.0157	0.0000	1,656.97	0.0190
7	#2	Y3	25	18	200	0	270	243.24	0.00	0.0163	0.0000	1,656.97	0.0197
8	#2	Y4	25	18	200	0	300	270.27	0.00	0.0182	0.0000	1,656.97	0.0220
9	#2	B1	25	18	200	0	290	261.26	0.00	0.0176	0.0000	1,656.97	0.0212
10	#2	B2	25	18	200	0	300	270.27	0.00	0.0182	0.0000	1,656.97	0.0220
11	#2	B3	25	18	200	0	350	315.32	0.00	0.0214	0.0000	1,656.97	0.0258
12	#2	B4	25	18	200	0	450	405.41	0.00	0.0277	0.0000	1,656.97	0.0334

ภาพผนวกที่ ข11 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 69 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 2 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #2

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำน้ำ($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว(S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#3	R1	25	18	200	0	310	279.28	0.00	0.0188	0.0000	1,656.97	0.0228
2	#3	R2	25	18	200	0	390	351.35	0.00	0.0239	0.0000	1,656.97	0.0288
3	#3	R3	25	18	200	0	400	360.36	0.00	0.0245	0.0000	1,656.97	0.0296
4	#3	R4	25	18	200	0	500	450.45	0.00	0.0308	0.0000	1,656.97	0.0372
5	#3	Y1	25	18	200	0	260	234.23	0.00	0.0157	0.0000	1,656.97	0.0190
6	#3	Y2	25	18	200	0	300	270.27	0.00	0.0182	0.0000	1,656.97	0.0220
7	#3	Y3	25	18	200	0	300	270.27	0.00	0.0182	0.0000	1,656.97	0.0220
8	#3	Y4	25	18	200	0	350	315.32	0.00	0.0214	0.0000	1,656.97	0.0258
9	#3	B1	25	18	200	0	350	315.32	0.00	0.0214	0.0000	1,656.97	0.0258
10	#3	B2	25	18	200	0	350	315.32	0.00	0.0214	0.0000	1,656.97	0.0258
11	#3	B3	25	18	200	0	390	351.35	0.00	0.0239	0.0000	1,656.97	0.0288
12	#3	B4	25	18	200	0	580	522.52	0.00	0.0359	0.0000	1,656.97	0.0434

ภาพผนวกที่ ข12 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 69 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 3 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #3

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำน้ำ($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว($S(\text{cm}^2)$)	ESDD(mg/cm^2)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#4	R1	25	18	200	0	400	360.36	0.00	0.0245	0.0000	1,656.97	0.0296
2	#4	R2	25	18	200	0	450	405.41	0.00	0.0277	0.0000	1,656.97	0.0334
3	#4	R3	25	18	200	0	530	477.48	0.00	0.0327	0.0000	1,656.97	0.0395
4	#4	R4	25	18	200	0	570	513.51	0.00	0.0353	0.0000	1,656.97	0.0426
5	#4	Y1	25	18	200	0	320	288.29	0.00	0.0195	0.0000	1,656.97	0.0235
6	#4	Y2	25	18	200	0	350	315.32	0.00	0.0214	0.0000	1,656.97	0.0258
7	#4	Y3	25	18	200	0	360	324.32	0.00	0.0220	0.0000	1,656.97	0.0265
8	#4	Y4	25	18	200	0	400	360.36	0.00	0.0245	0.0000	1,656.97	0.0296
9	#4	B1	25	18	200	0	400	360.36	0.00	0.0245	0.0000	1,656.97	0.0296
10	#4	B2	25	18	200	0	390	351.35	0.00	0.0239	0.0000	1,656.97	0.0288
11	#4	B3	25	18	200	0	450	405.41	0.00	0.0277	0.0000	1,656.97	0.0334
12	#4	B4	25	18	200	0	640	576.58	0.00	0.0398	0.0000	1,656.97	0.0480

ภาพผนวกที่ ข13 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 69 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 4 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #4

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำน้ำ($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว($S(\text{cm}^2)$)	ESDD(mg/cm^2)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#5	R1	25	18	200	0	480	432.43	0.00	0.0296	0.0000	1,656.97	0.0357
2	#5	R2	25	18	200	0	540	486.49	0.00	0.0334	0.0000	1,656.97	0.0403
3	#5	R3	25	18	200	0	600	540.54	0.00	0.0372	0.0000	1,656.97	0.0449
4	#5	R4	25	18	200	0	620	558.56	0.00	0.0385	0.0000	1,656.97	0.0465
5	#5	Y1	25	18	200	0	360	324.32	0.00	0.0220	0.0000	1,656.97	0.0265
6	#5	Y2	25	18	200	0	400	360.36	0.00	0.0245	0.0000	1,656.97	0.0296
7	#5	Y3	25	18	200	0	400	360.36	0.00	0.0245	0.0000	1,656.97	0.0296
8	#5	Y4	25	18	200	0	590	531.53	0.00	0.0366	0.0000	1,656.97	0.0441
9	#5	B1	25	18	200	0	430	387.39	0.00	0.0264	0.0000	1,656.97	0.0319
10	#5	B2	25	18	200	0	380	342.34	0.00	0.0232	0.0000	1,656.97	0.0281
11	#5	B3	25	18	200	0	470	423.42	0.00	0.0289	0.0000	1,656.97	0.0349
12	#5	B4	25	18	200	0	700	630.63	0.00	0.0436	0.0000	1,656.97	0.0526

ภาพผนวกที่ ข14 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 69 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 5 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #5

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ³)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#6	R1	25	18	200	0	540	486.49	0.00	0.0334	0.0000	1,656.97	0.0403
2	#6	R2	25	18	200	0	580	522.52	0.00	0.0359	0.0000	1,656.97	0.0434
3	#6	R3	25	18	200	0	650	585.59	0.00	0.0404	0.0000	1,656.97	0.0488
4	#6	R4	25	18	200	0	680	612.61	0.00	0.0423	0.0000	1,656.97	0.0511
5	#6	Y1	25	18	200	0	400	360.36	0.00	0.0245	0.0000	1,656.97	0.0296
6	#6	Y2	25	18	200	0	420	378.38	0.00	0.0258	0.0000	1,656.97	0.0311
7	#6	Y3	25	18	200	0	450	405.41	0.00	0.0277	0.0000	1,656.97	0.0334
8	#6	Y4	25	18	200	0	640	576.58	0.00	0.0398	0.0000	1,656.97	0.0480
9	#6	B1	25	18	200	0	480	432.43	0.00	0.0296	0.0000	1,656.97	0.0357
10	#6	B2	25	18	200	0	400	360.36	0.00	0.0245	0.0000	1,656.97	0.0296
11	#6	B3	25	18	200	0	500	450.45	0.00	0.0308	0.0000	1,656.97	0.0372
12	#6	B4	25	18	200	0	780	702.70	0.00	0.0488	0.0000	1,656.97	0.0589

ภาพผนวกที่ ข15 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 69 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 6
ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #6

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ความดันอากาศ (mm.Hg)	Rated AC Dry Flashover(kV.)	Ub(kV.)	Kh	Kd	Ubn(kV.)	Report	ESDD(mg/cm ³)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย										
1	#1	R1	30.5	61	760	80	86.25	0.945	0.982	83.03	Passed	0.0167
2	#1	R2	30.5	61	760	80	84.90	0.945	0.982	81.73	Passed	0.0182
3	#1	R3	30.5	61	760	80	85.07	0.945	0.982	81.90	Passed	0.0212
4	#1	R4	30.5	61	760	80	94.98	0.945	0.982	91.44	Passed	0.0235
5	#1	Y1	30.5	61	760	80	85.70	0.945	0.982	82.50	Passed	0.0152
6	#1	Y2	30.5	61	760	80	83.45	0.945	0.982	80.34	Passed	0.0167
7	#1	Y3	30.5	61	760	80	85.97	0.945	0.982	82.76	Passed	0.0175
8	#1	Y4	30.5	61	760	80	89.27	0.945	0.982	85.94	Passed	0.0190
9	#1	B1	30.5	61	760	80	87.67	0.945	0.982	84.40	Passed	0.0167
10	#1	B2	30.5	61	760	80	82.23	0.945	0.982	79.16	Passed	0.0182
11	#1	B3	30.5	61	760	80	83.43	0.945	0.982	80.32	Passed	0.0212
12	#1	B4	30.5	61	760	80	86.22	0.945	0.982	83.00	Passed	0.0243

ตารางผนวกที่ ข16 ผลการทดสอบลูกถ้วย 69 เควี. เดือนที่ 1 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #1

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ความดันอากาศ (mm.Hg)	Rated AC Dry Flashover(kV.)	Ub(kV.)	Kh	Kd	Ubn(kV.)	Report	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย										
1	#2	R1	32	60	761	80	87.75	0.930	0.978	83.44	Passed	0.0182
2	#2	R2	32	60	761	80	84.28	0.930	0.978	80.14	Passed	0.0235
3	#2	R3	32	60	761	80	87.07	0.930	0.978	82.79	Passed	0.0250
4	#2	R4	32	60	761	80	86.33	0.930	0.978	82.09	Passed	0.0296
5	#2	Y1	32	60	761	80	82.98	0.930	0.978	78.90	Passed	0.0167
6	#2	Y2	32	60	761	80	85.82	0.930	0.978	81.60	Passed	0.0190
7	#2	Y3	32	60	761	80	84.68	0.930	0.978	80.52	Passed	0.0197
8	#2	Y4	32	60	761	80	84.23	0.930	0.978	80.09	Passed	0.0220
9	#2	B1	32	60	761	80	86.90	0.930	0.978	82.63	Passed	0.0212
10	#2	B2	32	60	761	80	87.43	0.930	0.978	83.13	Passed	0.0220
11	#2	B3	32	60	761	80	87.35	0.930	0.978	83.06	Passed	0.0258
12	#2	B4	32	60	761	80	80.90	0.930	0.978	76.92	Passed	0.0334

ภาพผนวกที่ ข17 ผลการทดสอบลูกถ้วย 69 เควี. เดือนที่ 2 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #2

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ความดันอากาศ (mm.Hg)	Rated AC Dry Flashover(kV.)	Ub(kV.)	Kh	Kd	Ubn(kV.)	Report	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย										
1	#3	R1	29	56	764	80	88.47	0.975	0.992	86.98	Passed	0.0228
2	#3	R2	29	56	764	80	90.97	0.975	0.992	89.44	Passed	0.0288
3	#3	R3	29	56	764	80	88.75	0.975	0.992	87.26	Passed	0.0296
4	#3	R4	29	56	764	80	85.78	0.975	0.992	84.34	Passed	0.0372
5	#3	Y1	29	56	764	80	87.33	0.975	0.992	85.86	Passed	0.0190
6	#3	Y2	29	56	764	80	87.52	0.975	0.992	86.05	Passed	0.0220
7	#3	Y3	29	56	764	80	87.50	0.975	0.992	86.03	Passed	0.0220
8	#3	Y4	29	56	764	80	84.00	0.975	0.992	82.59	Passed	0.0258
9	#3	B1	29	56	764	80	85.40	0.975	0.992	83.96	Passed	0.0258
10	#3	B2	29	56	764	80	85.40	0.975	0.992	83.96	Passed	0.0258
11	#3	B3	29	56	764	80	83.20	0.975	0.992	81.80	Passed	0.0288
12	#3	B4	29	56	764	80	78.00	0.975	0.992	76.69	Passed	0.0434

ภาพผนวกที่ ข18 ผลการทดสอบลูกถ้วย 69 เควี. เดือนที่ 3 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #3

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ความดันอากาศ (mm.Hg)	Rated AC Dry Flashover(kV.)	Ub(kV.)	Kh	Kd	Ubn(kV.)	Report	ESDD(mg/cm ³)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย										
1	#4	R1	30	56	765	80	87.29	0.965	0.990	85.11	Passed	0.0296
2	#4	R2	30	56	765	80	85.23	0.965	0.990	83.10	Passed	0.0334
3	#4	R3	30	56	765	80	85.05	0.965	0.990	82.93	Passed	0.0395
4	#4	R4	30	56	765	80	84.67	0.965	0.990	82.56	Passed	0.0426
5	#4	Y1	30	56	765	80	87.56	0.965	0.990	85.37	Passed	0.0235
6	#4	Y2	30	56	765	80	87.34	0.965	0.990	85.16	Passed	0.0258
7	#4	Y3	30	56	765	80	87.03	0.965	0.990	84.86	Passed	0.0265
8	#4	Y4	30	56	765	80	86.54	0.965	0.990	84.38	Passed	0.0296
9	#4	B1	30	56	765	80	85.92	0.965	0.990	83.78	Passed	0.0296
10	#4	B2	30	56	765	80	86.02	0.965	0.990	83.87	Passed	0.0288
11	#4	B3	30	56	765	80	83.11	0.965	0.990	81.04	Passed	0.0334
12	#4	B4	30	56	765	80	77.98	0.965	0.990	76.03	Passed	0.0480

ภาพผนวกที่ ข19 ผลการทดสอบลูกถ้วย 69 เควี. เดือนที่ 4 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #4

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ความดันอากาศ (mm.Hg)	Rated AC Dry Flashover(kV.)	Ub(kV.)	Kh	Kd	Ubn(kV.)	Report	ESDD(mg/cm ³)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย										
1	#5	R1	32	60	762	80	86.66	0.930	0.979	82.29	Passed	0.0357
2	#5	R2	32	60	762	80	84.67	0.930	0.979	80.40	Passed	0.0403
3	#5	R3	32	60	762	80	84.78	0.930	0.979	80.51	Passed	0.0449
4	#5	R4	32	60	762	80	84.26	0.930	0.979	80.01	Passed	0.0465
5	#5	Y1	32	60	762	80	86.57	0.930	0.979	82.21	Passed	0.0265
6	#5	Y2	32	60	762	80	86.55	0.930	0.979	82.19	Passed	0.0296
7	#5	Y3	32	60	762	80	86.44	0.930	0.979	82.08	Passed	0.0296
8	#5	Y4	32	60	762	80	85.00	0.930	0.979	80.72	Passed	0.0441
9	#5	B1	32	60	762	80	86.30	0.930	0.979	81.95	Passed	0.0319
10	#5	B2	32	60	762	80	86.88	0.930	0.979	82.50	Passed	0.0281
11	#5	B3	32	60	762	80	85.43	0.930	0.979	81.12	Passed	0.0349
12	#5	B4	32	60	762	80	83.06	0.930	0.979	78.87	Passed	0.0526

ภาพผนวกที่ ข20 ผลการทดสอบลูกถ้วย 69 เควี. เดือนที่ 5 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #5

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ความดันอากาศ (mm.Hg)	Rated AC Dry Flashover(kV.)	Ub(kV.)	Kh	Kd	Ubn(kV.)	Report	ESDD(mg/cm ³)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย										
1	#6	R1	29	57	763	80	83.56	0.970	0.990	81.84	Passed	0.0403
2	#6	R2	29	57	763	80	83.00	0.970	0.990	81.29	Passed	0.0434
3	#6	R3	29	57	763	80	82.79	0.970	0.990	81.09	Passed	0.0488
4	#6	R4	29	57	763	80	79.00	0.970	0.990	77.37	Passed	0.0511
5	#6	Y1	29	57	763	80	83.56	0.970	0.990	81.84	Passed	0.0296
6	#6	Y2	29	57	763	80	82.98	0.970	0.990	81.27	Passed	0.0311
7	#6	Y3	29	57	763	80	82.74	0.970	0.990	81.04	Passed	0.0334
8	#6	Y4	29	57	763	80	81.08	0.970	0.990	79.41	Passed	0.0480
9	#6	B1	29	57	763	80	82.63	0.970	0.990	80.93	Passed	0.0357
10	#6	B2	29	57	763	80	84.37	0.970	0.990	82.63	Passed	0.0296
11	#6	B3	29	57	763	80	82.41	0.970	0.990	80.71	Passed	0.0372
12	#6	B4	29	57	763	80	77.59	0.970	0.990	75.99	Not Passed	0.0589

ภาพผนวกที่ ข21 ผลการทดสอบลูกถ้วย 69 เควี. เดือนที่ 6 ของสายส่ง BOT695 ที่เสา #6

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า(Ω)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ³)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#1	R1	25	18	200	0	70	63.06	0.00	0.0041	0.0000	1,656.97	0.0049
2	#1	R2	25	18	200	0	70	63.06	0.00	0.0041	0.0000	1,656.97	0.0049
3	#1	R3	25	18	200	0	60	54.05	0.00	0.0035	0.0000	1,656.97	0.0042
4	#1	R4	25	18	200	0	160	144.14	0.00	0.0095	0.0000	1,656.97	0.0115
5	#1	Y1	25	18	200	0	90	81.08	0.00	0.0053	0.0000	1,656.97	0.0064
6	#1	Y2	25	18	200	0	60	54.05	0.00	0.0035	0.0000	1,656.97	0.0042
7	#1	Y3	25	18	200	0	80	72.07	0.00	0.0047	0.0000	1,656.97	0.0056
8	#1	Y4	25	18	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
9	#1	B1	25	18	200	0	80	72.07	0.00	0.0047	0.0000	1,656.97	0.0056
10	#1	B2	25	18	200	0	70	63.06	0.00	0.0041	0.0000	1,656.97	0.0049
11	#1	B3	25	18	200	0	90	81.08	0.00	0.0053	0.0000	1,656.97	0.0064
12	#1	B4	25	18	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145

ภาพผนวกที่ ข22 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งประอะเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ
ถ.เพชรเกษม เดือนที่ 1 ที่เสา #1

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#2	R1	25	18	200	0	110	99.10	0.00	0.0065	0.0000	1,656.97	0.0078
2	#2	R2	25	18	200	0	100	90.09	0.00	0.0059	0.0000	1,656.97	0.0071
3	#2	R3	25	18	200	0	120	108.11	0.00	0.0071	0.0000	1,656.97	0.0086
4	#2	R4	25	18	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
5	#2	Y1	25	18	200	0	130	117.12	0.00	0.0077	0.0000	1,656.97	0.0093
6	#2	Y2	25	18	200	0	130	117.12	0.00	0.0077	0.0000	1,656.97	0.0093
7	#2	Y3	25	18	200	0	120	108.11	0.00	0.0071	0.0000	1,656.97	0.0086
8	#2	Y4	25	18	200	0	220	198.20	0.00	0.0132	0.0000	1,656.97	0.0160
9	#2	B1	25	18	200	0	150	135.14	0.00	0.0089	0.0000	1,656.97	0.0108
10	#2	B2	25	18	200	0	140	126.13	0.00	0.0083	0.0000	1,656.97	0.0100
11	#2	B3	25	18	200	0	150	135.14	0.00	0.0089	0.0000	1,656.97	0.0108
12	#2	B4	25	18	200	0	230	207.21	0.00	0.0139	0.0000	1,656.97	0.0167

ภาพผนวกที่ ข23 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปรอะเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ
ถ.เพชรเกษม เดือนที่ 2 ที่เสา #2

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#3	R1	25	18	200	0	150	135.14	0.00	0.0089	0.0000	1,656.97	0.0108
2	#3	R2	25	18	200	0	140	126.13	0.00	0.0083	0.0000	1,656.97	0.0100
3	#3	R3	25	18	200	0	140	126.13	0.00	0.0083	0.0000	1,656.97	0.0100
4	#3	R4	25	18	200	0	220	198.20	0.00	0.0132	0.0000	1,656.97	0.0160
5	#3	Y1	25	18	200	0	170	153.15	0.00	0.0102	0.0000	1,656.97	0.0123
6	#3	Y2	25	18	200	0	160	144.14	0.00	0.0095	0.0000	1,656.97	0.0115
7	#3	Y3	25	18	200	0	160	144.14	0.00	0.0095	0.0000	1,656.97	0.0115
8	#3	Y4	25	18	200	0	240	216.22	0.00	0.0145	0.0000	1,656.97	0.0175
9	#3	B1	25	18	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
10	#3	B2	25	18	200	0	170	153.15	0.00	0.0102	0.0000	1,656.97	0.0123
11	#3	B3	25	18	200	0	170	153.15	0.00	0.0102	0.0000	1,656.97	0.0123
12	#3	B4	25	18	200	0	260	234.23	0.00	0.0157	0.0000	1,656.97	0.0190

ภาพผนวกที่ ข24 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปรอะเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ
ถ.เพชรเกษม เดือนที่ 3 ที่เสา #3

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#4	R1	25	18	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
2	#4	R2	25	18	200	0	170	153.15	0.00	0.0102	0.0000	1,656.97	0.0123
3	#4	R3	25	18	200	0	160	144.14	0.00	0.0095	0.0000	1,656.97	0.0115
4	#4	R4	25	18	200	0	250	225.23	0.00	0.0151	0.0000	1,656.97	0.0182
5	#4	Y1	25	18	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
6	#4	Y2	25	18	200	0	160	144.14	0.00	0.0095	0.0000	1,656.97	0.0115
7	#4	Y3	25	18	200	0	170	153.15	0.00	0.0102	0.0000	1,656.97	0.0123
8	#4	Y4	25	18	200	0	270	243.24	0.00	0.0163	0.0000	1,656.97	0.0197
9	#4	B1	25	18	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
10	#4	B2	25	18	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
11	#4	B3	25	18	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
12	#4	B4	25	18	200	0	300	270.27	0.00	0.0182	0.0000	1,656.97	0.0220

ภาพผนวกที่ ข25 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ
ถ.เพชรเกษม เดือนที่ 4 ที่เสา #4

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#5	R1	25	18	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
2	#5	R2	25	18	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
3	#5	R3	25	18	200	0	160	144.14	0.00	0.0095	0.0000	1,656.97	0.0115
4	#5	R4	25	18	200	0	280	252.25	0.00	0.0170	0.0000	1,656.97	0.0205
5	#5	Y1	25	18	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
6	#5	Y2	25	18	200	0	170	153.15	0.00	0.0102	0.0000	1,656.97	0.0123
7	#5	Y3	25	18	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
8	#5	Y4	25	18	200	0	300	270.27	0.00	0.0182	0.0000	1,656.97	0.0220
9	#5	B1	25	18	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
10	#5	B2	25	18	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
11	#5	B3	25	18	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
12	#5	B4	25	18	200	0	330	297.30	0.00	0.0201	0.0000	1,656.97	0.0243

ภาพผนวกที่ ข26 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ
ถ.เพชรเกษม เดือนที่ 5 ที่เสา #5

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#6	R1	25	18	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
2	#6	R2	25	18	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
3	#6	R3	25	18	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
4	#6	R4	25	18	200	0	300	270.27	0.00	0.0182	0.0000	1,656.97	0.0220
5	#6	Y1	25	18	200	0	210	189.19	0.00	0.0126	0.0000	1,656.97	0.0152
6	#6	Y2	25	18	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
7	#6	Y3	25	18	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
8	#6	Y4	25	18	200	0	330	297.30	0.00	0.0201	0.0000	1,656.97	0.0243
9	#6	B1	25	18	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
10	#6	B2	25	18	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
11	#6	B3	25	18	200	0	220	198.20	0.00	0.0132	0.0000	1,656.97	0.0160
12	#6	B4	25	18	200	0	360	324.32	0.00	0.0220	0.0000	1,656.97	0.0265

ภาพผนวกที่ ข27 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ
ถ.เพชรเกษม เดือนที่ 6 ที่เสา #6



ภาคผนวก ค
ผลการทดลองของสายส่ง BOT791

ลำดับ	เบอร์เสา	วัน/เดือน/ปี	เวลา	แรงดัน(kV.)	กระแส(A)			Emissivity	Distance(m)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิลูกถ้วย(°C)			สถานที่	หมายเหตุ
					R	Y	B					R	Y	B		
1	#1	14/8/2008	10.00	115	312	316	320	0.75	20	20	33	31.4	36.3	34.4	ถ.กาญจนภิเษก	
2	#2	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	37.6	40.1	40.3	"	
3	#3	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	35.9	36.9	41.1	"	
4	#4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32.0	37.3	40.5	"	
5	#5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	40.2	41.1	40.3	"	
6	#6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	39.6	39.3	40.9	"	
7	#7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	38.4	38.0	39.5	"	
8	#8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	38.7	40.7	39.3	"	
9	#9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	37.3	37.6	39.2	"	
10	#10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	36.8	38.0	35.6	"	

ภาพผนวกที่ ค1 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 1 ของสายส่ง BOT791 ช่วง
เสา #1 - #10

ลำดับ	เบอร์เสา	วัน/เดือน/ปี	เวลา	แรงดัน(kV.)	กระแส(A)			Emissivity	Distance(m)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิลูกถ้วย(°C)			สถานที่	หมายเหตุ
					R	Y	B					R	Y	B		
1	#2	1/9/2008	10.00	115	360	352	380	0.75	20	32	27	27.9	27.8	28.0	ถ.กาญจนภิเษก	
2	#3	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	26.8	27.0	27.0	"	
3	#4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	25.9	26.5	26.4	"	
4	#5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	25.6	25.9	26.2	"	
5	#6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	25.7	25.8	25.5	"	
6	#7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	25.4	25.5	25.2	"	
7	#8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	25.0	25.2	25.4	"	
8	#9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	24.8	24.9	24.8	"	
9	#10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	27.0	26.8	27.4	"	
10	#11	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	26.7	26.8	27.0	"	

ภาพผนวกที่ ค2 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 2 ของสายส่ง BOT791 ช่วง
เสา #2 - #11

ลำดับ	เบอร์เสา	วัน/เดือน/ปี	เวลา	แรงดัน(kV.)	กระแส(A)			Emissivity	Distance(m)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิลูกถ้วย(°C)			สถานที่	หมายเหตุ
					R	Y	B					R	Y	B		
1	#3	27/10/2008	9.00	115	296	296	304	0.75	20	20	33	34.8	32.5	36.8	ถ.กาญจนภิเษก	
2	#4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	31.8	33.2	35.4	"	
3	#5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	30.5	30.4	33.9	"	
4	#6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	31.6	30.9	31.5	"	
5	#7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	31.0	30.6	31.4	"	
6	#8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32.1	34.4	31.3	"	
7	#9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	30.1	30.5	34.5	"	
8	#10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	33.5	31.1	33.3	"	
9	#11	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	31.2	30.3	31.9	"	
10	#12	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	31.4	34.0	32.2	"	

ภาพผนวกที่ ค3 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 3 ของสายส่ง BOT791 ช่วง
เสา #3 - #12

ลำดับ	เบอร์เสา	วัน/เดือน/ปี	เวลา	แรงดัน(kV.)	กระแส(A)			Emissivity	Distance(m)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิลูกถ้วย(°C)			สถานที่	หมายเหตุ
					R	Y	B					R	Y	B		
1	#4	26/11/2008	15.00	115	332	336	348	0.75	20	15	28	32.1	32.8	32.7	ถ.กาญจนภิเษก	
2	#5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	25.7	24.0	32.2	"	
3	#6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	24.2	23.3	31.3	"	
4	#7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	24.2	24.5	28.8	"	
5	#8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	24.7	24.5	28.3	"	
6	#9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	28.9	26.1	29.0	"	
7	#10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	29.0	23.8	30.4	"	
8	#11	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	30.0	23.6	31.0	"	
9	#12	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	27.7	21.7	21.7	"	
10	#13	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	26.8	29.9	31.7	"	

ภาพผนวกที่ ค4 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 4 ของสายส่ง BOT791 ช่วง
เสา #4 - #13

ลำดับ	เบอร์เสา	วัน/เดือน/ปี	เวลา	แรงดัน(kV.)	กระแส(A)			Emissivity	Distance(m)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิลูกถ้วย(°C)			สถานที่	หมายเหตุ
					R	Y	B					R	Y	B		
1	#5	29/12/2008	11.30	115	276	284	288	0.75	20	28	30	34.2	33.1	36.3	ถ.กาญจนภิเษก	
2	#6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32.1	30.5	33.8	"	
3	#7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	31.7	30.2	34.0	"	
4	#8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	33.3	34.1	34.2	"	
5	#9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	30.6	34.2	32.2	"	
6	#10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32.4	33.2	34.0	"	
7	#11	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32.8	34.0	34.6	"	
8	#12	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32.9	33.5	34.6	"	
9	#13	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	33.4	34.5	34.6	"	
10	#14	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	33.2	34.6	35.6	"	

ภาพผนวกที่ ค5 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 5 ของสายส่ง BOT791 ช่วง
เสา #5 - #14

ลำดับ	เบอร์เสา	วัน/เดือน/ปี	เวลา	แรงดัน(kV.)	กระแส(A)			Emissivity	Distance(m)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิลูกถ้วย(°C)			สถานที่	หมายเหตุ
					R	Y	B					R	Y	B		
1	#6	28/1/2009	10.00	115	296	286	305	0.75	20	20.8	28	33.8	33.1	35.6	ถ.กาญจนภิเษก	
2	#7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32.8	31.1	35.3	"	
3	#8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	34.5	35.4	35.2	"	
4	#9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	31.2	35.1	33.6	"	
5	#10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	33.6	34.1	34.8	"	
6	#11	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	33.3	34.6	36.0	"	
7	#12	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	33.3	34.7	35.5	"	
8	#13	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	34.6	35.1	35.8	"	
9	#14	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	34.6	35.7	37.0	"	
10	#15	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32.7	33.7	35.2	"	

ภาพผนวกที่ ค6 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 6 ของสายส่ง BOT791 ช่วง
เสา #6 - #15

ลำดับ	เบอร์เสา	วัน/เดือน/ปี	เวลา	แรงดัน(kV.)	กระแส(A)			Emissivity	Distance(m)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิลูกถ้วย(°C)			สถานที่	หมายเหตุ
					R	Y	B					R	Y	B		
1	#7	26/2/2009	0.00	115	468	464	492	0.75	20	20	33	45.5	35.1	46.6	ถ.กาญจนภิเษก	
2	#8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	40.5	40.3	38.9	"	
3	#9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	35.5	38.9	38.7	"	
4	#10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	36.7	37.5	38.2	"	
5	#11	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	45.7	40.7	49.5	"	
6	#12	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	41.1	42.3	46.5	"	
7	#13	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	44.9	42.6	45.6	"	
8	#14	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	46.5	48.5	49.3	"	
9	#15	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	41.2	43.4	47.5	"	
10	#16	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	43.8	46.5	38.4	"	

ภาพผนวกที่ ค7 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 7 ของสายส่ง BOT791 ช่วง
เสา #7 - #16

ลำดับ	วัน/เดือน/ปี	เบอร์เสา																
		อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)																
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17
1	14/8/2008	31.4	37.6	35.9	32	40.2	39.6	38.4	38.7	37.3	36.8							
2	1/9/2008		27.9	26.8	25.9	25.6	25.7	25.4	25	24.8	27	26.7						
3	27/10/2008			34.8	31.8	30.5	31.6	31	32.1	30.1	33.5	31.2	31.4					
4	26/11/2008				32.1	32.2	24.2	24.2	24.7	28.9	29	30	27.7	26.8				
5	29/12/2008					34.2	32.1	31.7	33.3	30.6	32.4	32.8	32.9	33.4	33.2			
6	28/1/2009						33.8	32.8	34.5	31.2	33.6	33.3	33.3	34.6	34.6	32.7		
7	26/2/2009							45.5	40.5	35.5	36.7	45.7	41.1	44.9	46.5	41.2	43.8	
8	24/3/2009								43.1	42.2	43.4	45.7	46.5	42.9	44.8	45.6	44.5	44.6

ภาพผนวกที่ ค8 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 1 – 8 ของสายส่ง BOT791
เฟส R

ลำดับ	วัน/เดือน/ปี	เบอร์เสา																
		อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)																
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17
1	14/8/2008	36.3	40.1	36.9	37.3	41.1	39.3	38	40.7	37.6	38							
2	1/9/2008		27.8	27	26.5	25.9	25.8	25.5	25.2	24.9	26.8	26.8						
3	27/10/2008			32.5	33.2	30.4	30.9	30.6	34.4	30.5	31.1	30.3	34					
4	26/11/2008				32.8	24	23.3	24.5	24.5	26.1	23.8	23.6	21.7	29.9				
5	29/12/2008					33.1	30.5	30.2	34.1	34.2	33.2	34	33.5	34.5	34.6			
6	28/1/2009						33.1	31.1	35.4	35.1	34.1	34.6	34.7	35.1	35.7	33.7		
7	26/2/2009							35.1	40.3	38.9	37.5	40.7	42.3	42.6	48.5	43.4	46.5	
8	24/3/2009								42.4	43.3	44.8	42.3	43.6	43.5	45.2	43	45.7	45.5

ภาพผนวกที่ ค9 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 1 – 8 ของสายส่ง BOT791 เฟส Y

ลำดับ	วัน/เดือน/ปี	เบอร์เสา																
		อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)																
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17
1	14/8/2008	34.4	40.3	41.1	40.5	40.3	40.9	39.5	39.3	39.2	35.6							
2	1/9/2008		28	27	26.4	26.2	25.5	25.2	25.4	24.8	27.4	27						
3	27/10/2008			36.8	35.4	33.9	31.5	31.4	31.3	34.5	33.3	31.9	32.2					
4	26/11/2008				32.7	32.2	31.3	28.8	28.3	29	30.4	31	21.7	31.7				
5	29/12/2008					36.3	33.8	34	34.2	32.2	34	34.6	34.6	34.6	35.6			
6	28/1/2009						35.6	35.3	35.2	33.6	34.8	36	35.5	35.8	37	35.2		
7	26/2/2009							46.6	38.9	38.7	38.2	49.5	46.5	45.6	49.3	47.5	38.4	
8	24/3/2009								47.8	44.7	46.5	43.2	44.4	42.9	45.2	46.9	44.7	43.2

ภาพผนวกที่ ค10 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของลูกถ้วย 115 เควี.เดือนที่ 1 – 8 ของสายส่ง BOT791 เฟส B

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#1	R1	25	18	200	0	150	135.14	0.00	0.0089	0.0000	1,656.97	0.0108
2	#1	R2	"	"	200	0	160	144.14	0.00	0.0095	0.0000	1,656.97	0.0115
3	#1	R3	"	"	200	0	160	144.14	0.00	0.0095	0.0000	1,656.97	0.0115
4	#1	R4	"	"	200	0	170	153.15	0.00	0.0102	0.0000	1,656.97	0.0123
5	#1	R5	"	"	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
6	#1	R6	"	"	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
7	#1	R7	"	"	200	0	300	270.27	0.00	0.0182	0.0000	1,656.97	0.0220
8	#1	Y1	"	"	200	0	140	126.13	0.00	0.0083	0.0000	1,656.97	0.0100
9	#1	Y2	"	"	200	0	150	135.14	0.00	0.0089	0.0000	1,656.97	0.0108
10	#1	Y3	"	"	200	0	150	135.14	0.00	0.0089	0.0000	1,656.97	0.0108
11	#1	Y4	"	"	200	0	160	144.14	0.00	0.0095	0.0000	1,656.97	0.0115
12	#1	Y5	"	"	200	0	170	153.15	0.00	0.0102	0.0000	1,656.97	0.0123
13	#1	Y6	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
14	#1	Y7	"	"	200	0	240	216.22	0.00	0.0145	0.0000	1,656.97	0.0175
15	#1	B1	"	"	200	0	170	153.15	0.00	0.0102	0.0000	1,656.97	0.0123
16	#1	B2	"	"	200	0	170	153.15	0.00	0.0102	0.0000	1,656.97	0.0123
17	#1	B3	"	"	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
18	#1	B4	"	"	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
19	#1	B5	"	"	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
20	#1	B6	"	"	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
21	#1	B7	"	"	200	0	350	315.32	0.00	0.0214	0.0000	1,656.97	0.0258

ภาพผนวกที่ ค11 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 115 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 1 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #1

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว($S(\text{cm}^2)$)	ESDD(mg/cm^2)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#2	R1	25	18	200	0	160	144.14	0.00	0.0095	0.0000	1,656.97	0.0115
2	#2	R2	"	"	200	0	170	153.15	0.00	0.0102	0.0000	1,656.97	0.0123
3	#2	R3	"	"	200	0	170	153.15	0.00	0.0102	0.0000	1,656.97	0.0123
4	#2	R4	"	"	200	0	170	153.15	0.00	0.0102	0.0000	1,656.97	0.0123
5	#2	R5	"	"	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
6	#2	R6	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
7	#2	R7	"	"	200	0	350	315.32	0.00	0.0214	0.0000	1,656.97	0.0258
8	#2	Y1	"	"	200	0	150	135.14	0.00	0.0089	0.0000	1,656.97	0.0108
9	#2	Y2	"	"	200	0	150	135.14	0.00	0.0089	0.0000	1,656.97	0.0108
10	#2	Y3	"	"	200	0	150	135.14	0.00	0.0089	0.0000	1,656.97	0.0108
11	#2	Y4	"	"	200	0	170	153.15	0.00	0.0102	0.0000	1,656.97	0.0123
12	#2	Y5	"	"	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
13	#2	Y6	"	"	200	0	210	189.19	0.00	0.0126	0.0000	1,656.97	0.0152
14	#2	Y7	"	"	200	0	250	225.23	0.00	0.0151	0.0000	1,656.97	0.0182
15	#2	B1	"	"	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
16	#2	B2	"	"	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
17	#2	B3	"	"	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
18	#2	B4	"	"	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
19	#2	B5	"	"	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
20	#2	B6	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
21	#2	B7	"	"	200	0	450	405.41	0.00	0.0277	0.0000	1,656.97	0.0334

ภาพผนวกที่ ค12 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 115 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 2 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #2

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#3	R1	25	18	200	0	170	153.15	0.00	0.0102	0.0000	1,656.97	0.0123
2	#3	R2	"	"	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
3	#3	R3	"	"	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
4	#3	R4	"	"	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
5	#3	R5	"	"	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
6	#3	R6	"	"	200	0	210	189.19	0.00	0.0126	0.0000	1,656.97	0.0152
7	#3	R7	"	"	200	0	430	387.39	0.00	0.0264	0.0000	1,656.97	0.0319
8	#3	Y1	"	"	200	0	150	135.14	0.00	0.0089	0.0000	1,656.97	0.0108
9	#3	Y2	"	"	200	0	160	144.14	0.00	0.0095	0.0000	1,656.97	0.0115
10	#3	Y3	"	"	200	0	150	135.14	0.00	0.0089	0.0000	1,656.97	0.0108
11	#3	Y4	"	"	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
12	#3	Y5	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
13	#3	Y6	"	"	200	0	230	207.21	0.00	0.0139	0.0000	1,656.97	0.0167
14	#3	Y7	"	"	200	0	280	252.25	0.00	0.0170	0.0000	1,656.97	0.0205
15	#3	B1	"	"	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
16	#3	B2	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
17	#3	B3	"	"	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
18	#3	B4	"	"	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
19	#3	B5	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
20	#3	B6	"	"	200	0	210	189.19	0.00	0.0126	0.0000	1,656.97	0.0152

ภาพผนวกที่ ค13 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 115 เครวี.(ESDD,) เดือนที่ 3 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #3

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#4	R1	25	18	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130
2	#4	R2	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
3	#4	R3	"	"	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
4	#4	R4	"	"	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
5	#4	R5	"	"	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
6	#4	R6	"	"	200	0	220	198.20	0.00	0.0132	0.0000	1,656.97	0.0160
7	#4	R7	"	"	200	0	480	432.43	0.00	0.0296	0.0000	1,656.97	0.0357
8	#4	Y1	"	"	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
9	#4	Y2	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
10	#4	Y3	"	"	200	0	160	144.14	0.00	0.0095	0.0000	1,656.97	0.0115
11	#4	Y4	"	"	200	0	210	189.19	0.00	0.0126	0.0000	1,656.97	0.0152
12	#4	Y5	"	"	200	0	230	207.21	0.00	0.0139	0.0000	1,656.97	0.0167
13	#4	Y6	"	"	200	0	250	225.23	0.00	0.0151	0.0000	1,656.97	0.0182
14	#4	Y7	"	"	200	0	300	270.27	0.00	0.0182	0.0000	1,656.97	0.0220
15	#4	B1	"	"	200	0	210	189.19	0.00	0.0126	0.0000	1,656.97	0.0152
16	#4	B2	"	"	200	0	250	225.23	0.00	0.0151	0.0000	1,656.97	0.0182
17	#4	B3	"	"	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
18	#4	B4	"	"	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
19	#4	B5	"	"	200	0	220	198.20	0.00	0.0132	0.0000	1,656.97	0.0160
20	#4	B6	"	"	200	0	230	207.21	0.00	0.0139	0.0000	1,656.97	0.0167
21	#4	B7	"	"	200	0	560	504.50	0.00	0.0347	0.0000	1,656.97	0.0418

ภาพผนวกที่ ค14 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 115 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 4 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #4

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#5	R1	25	18	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
2	#5	R2	"	"	200	0	250	225.23	0.00	0.0151	0.0000	1,656.97	0.0182
3	#5	R3	"	"	200	0	190	171.17	0.00	0.0114	0.0000	1,656.97	0.0137
4	#5	R4	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
5	#5	R5	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
6	#5	R6	"	"	200	0	230	207.21	0.00	0.0139	0.0000	1,656.97	0.0167
7	#5	R7	"	"	200	0	500	450.45	0.00	0.0308	0.0000	1,656.97	0.0372
8	#5	Y1	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
9	#5	Y2	"	"	200	0	220	198.20	0.00	0.0132	0.0000	1,656.97	0.0160
10	#5	Y3	"	"	200	0	160	144.14	0.00	0.0095	0.0000	1,656.97	0.0115
11	#5	Y4	"	"	200	0	220	198.20	0.00	0.0132	0.0000	1,656.97	0.0160
12	#5	Y5	"	"	200	0	250	225.23	0.00	0.0151	0.0000	1,656.97	0.0182
13	#5	Y6	"	"	200	0	250	225.23	0.00	0.0151	0.0000	1,656.97	0.0182
14	#5	Y7	"	"	200	0	320	288.29	0.00	0.0195	0.0000	1,656.97	0.0235
15	#5	B1	"	"	200	0	230	207.21	0.00	0.0139	0.0000	1,656.97	0.0167
16	#5	B2	"	"	200	0	300	270.27	0.00	0.0182	0.0000	1,656.97	0.0220
17	#5	B3	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
18	#5	B4	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
19	#5	B5	"	"	200	0	230	207.21	0.00	0.0139	0.0000	1,656.97	0.0167
20	#5	B6	"	"	200	0	250	225.23	0.00	0.0151	0.0000	1,656.97	0.0182
21	#5	B7	"	"	200	0	600	540.54	0.00	0.0372	0.0000	1,656.97	0.0449

ภาพผนวกที่ ค15 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 115 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 5 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #5

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#6	R1	25	18	200	0	220	198.20	0.00	0.0132	0.0000	1,656.97	0.0160
2	#6	R2	"	"	200	0	280	252.25	0.00	0.0170	0.0000	1,656.97	0.0205
3	#6	R3	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
4	#6	R4	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
5	#6	R5	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
6	#6	R6	"	"	200	0	250	225.23	0.00	0.0151	0.0000	1,656.97	0.0182
7	#6	R7	"	"	200	0	550	495.50	0.00	0.0340	0.0000	1,656.97	0.0411
8	#6	Y1	"	"	200	0	250	225.23	0.00	0.0151	0.0000	1,656.97	0.0182
9	#6	Y2	"	"	200	0	240	216.22	0.00	0.0145	0.0000	1,656.97	0.0175
10	#6	Y3	"	"	200	0	160	144.14	0.00	0.0095	0.0000	1,656.97	0.0115
11	#6	Y4	"	"	200	0	230	207.21	0.00	0.0139	0.0000	1,656.97	0.0167
12	#6	Y5	"	"	200	0	260	234.23	0.00	0.0157	0.0000	1,656.97	0.0190
13	#6	Y6	"	"	200	0	260	234.23	0.00	0.0157	0.0000	1,656.97	0.0190
14	#6	Y7	"	"	200	0	330	297.30	0.00	0.0201	0.0000	1,656.97	0.0243
15	#6	B1	"	"	200	0	260	234.23	0.00	0.0157	0.0000	1,656.97	0.0190
16	#6	B2	"	"	200	0	320	288.29	0.00	0.0195	0.0000	1,656.97	0.0235
17	#6	B3	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
18	#6	B4	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145
19	#6	B5	"	"	200	0	250	225.23	0.00	0.0151	0.0000	1,656.97	0.0182
20	#6	B6	"	"	200	0	280	252.25	0.00	0.0170	0.0000	1,656.97	0.0205
21	#6	B7	"	"	200	0	650	585.59	0.00	0.0404	0.0000	1,656.97	0.0488

ภาพผนวกที่ ค16 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 115 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 6 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #6

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#7	R1	25	18	200	0	240	216.22	0.00	0.0145	0.0000	1,656.97	0.0175
2	#7	R2	"	"	200	0	300	270.27	0.00	0.0182	0.0000	1,656.97	0.0220
3	#7	R3	"	"	200	0	230	207.21	0.00	0.0139	0.0000	1,656.97	0.0167
4	#7	R4	"	"	200	0	250	225.23	0.00	0.0151	0.0000	1,656.97	0.0182
5	#7	R5	"	"	200	0	230	207.21	0.00	0.0139	0.0000	1,656.97	0.0167
6	#7	R6	"	"	200	0	260	234.23	0.00	0.0157	0.0000	1,656.97	0.0190
7	#7	R7	"	"	200	0	580	522.52	0.00	0.0359	0.0000	1,656.97	0.0434
8	#7	Y1	"	"	200	0	290	261.26	0.00	0.0176	0.0000	1,656.97	0.0212
9	#7	Y2	"	"	200	0	280	252.25	0.00	0.0170	0.0000	1,656.97	0.0205
10	#7	Y3	"	"	200	0	170	153.15	0.00	0.0102	0.0000	1,656.97	0.0123
11	#7	Y4	"	"	200	0	240	216.22	0.00	0.0145	0.0000	1,656.97	0.0175
12	#7	Y5	"	"	200	0	290	261.26	0.00	0.0176	0.0000	1,656.97	0.0212
13	#7	Y6	"	"	200	0	290	261.26	0.00	0.0176	0.0000	1,656.97	0.0212
14	#7	Y7	"	"	200	0	340	306.31	0.00	0.0207	0.0000	1,656.97	0.0250
15	#7	B1	"	"	200	0	280	252.25	0.00	0.0170	0.0000	1,656.97	0.0205
16	#7	B2	"	"	200	0	330	297.30	0.00	0.0201	0.0000	1,656.97	0.0243
17	#7	B3	"	"	200	0	220	198.20	0.00	0.0132	0.0000	1,656.97	0.0160
18	#7	B4	"	"	200	0	220	198.20	0.00	0.0132	0.0000	1,656.97	0.0160
19	#7	B5	"	"	200	0	280	252.25	0.00	0.0170	0.0000	1,656.97	0.0205
20	#7	B6	"	"	200	0	300	270.27	0.00	0.0182	0.0000	1,656.97	0.0220
21	#7	B7	"	"	200	0	690	621.62	0.00	0.0430	0.0000	1,656.97	0.0519

ภาพผนวกที่ ค17 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย 115 เควี.(ESDD.) เดือนที่ 7 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #7

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ความดันอากาศ (mm.Hg)	Rated AC Dry Flashover(kV.)	Ub(kV.)	Kh	Kd	Ubn(kV.)	Report	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย										
1	#1	R1	33	47	758	80	87.23	0.970	0.971	87.14	Passed	0.0108
2	#1	R2	33	47	758	80	86.98	0.970	0.971	86.89	Passed	0.0115
3	#1	R3	33	47	758	80	86.12	0.970	0.971	86.03	Passed	0.0115
4	#1	R4	33	47	758	80	83.48	0.970	0.971	83.39	Passed	0.0123
5	#1	R5	33	47	758	80	84.38	0.970	0.971	84.29	Passed	0.0130
6	#1	R6	33	47	758	80	83.48	0.970	0.971	83.39	Passed	0.0137
7	#1	R7	33	47	758	80	86.08	0.970	0.971	85.99	Passed	0.0220
8	#1	Y1	33	47	758	80	79.82	0.970	0.971	79.74	Passed	0.0100
9	#1	Y2	33	47	758	80	83.90	0.970	0.971	83.81	Passed	0.0108
10	#1	Y3	33	47	758	80	81.20	0.970	0.971	81.11	Passed	0.0108
11	#1	Y4	33	47	758	80	83.73	0.970	0.971	83.64	Passed	0.0115
12	#1	Y5	33	47	758	80	84.70	0.970	0.971	84.61	Passed	0.0123
13	#1	Y6	33	47	758	80	86.15	0.970	0.971	86.06	Passed	0.0145
14	#1	Y7	33	47	758	80	84.77	0.970	0.971	84.68	Passed	0.0175
15	#1	B1	33	47	758	80	79.82	0.970	0.971	79.74	Passed	0.0123
16	#1	B2	33	47	758	80	85.82	0.970	0.971	85.73	Passed	0.0123
17	#1	B3	33	47	758	80	84.58	0.970	0.971	84.49	Passed	0.0130
18	#1	B4	33	47	758	80	83.67	0.970	0.971	83.58	Passed	0.0130
19	#1	B5	33	47	758	80	83.68	0.970	0.971	83.59	Passed	0.0130
20	#1	B6	33	47	758	80	85.75	0.970	0.971	85.66	Passed	0.0137
21	#1	B7	33	47	758	80	88.27	0.970	0.971	88.18	Passed	0.0258

ภาพผนวกที่ ค18 ผลการทดสอบลูกถ้วย 115 เควี. เดือนที่ 1 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #1

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ความดันอากาศ (mm.Hg)	Rated AC Dry Flashover(kV.)	Ub(kV.)	Kh	Kd	Ubn(kV.)	Report	ESDD(mg/cm ³)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย										
1	#2	R1	28.5	76	762	80	85.28	0.920	0.991	79.19	Passed	0.0115
2	#2	R2	28.5	76	762	80	89.20	0.920	0.991	82.83	Passed	0.0123
3	#2	R3	28.5	76	762	80	90.50	0.920	0.991	84.04	Passed	0.0123
4	#2	R4	28.5	76	762	80	91.80	0.920	0.991	85.25	Passed	0.0123
5	#2	R5	28.5	76	762	80	91.73	0.920	0.991	85.18	Passed	0.0130
6	#2	R6	28.5	76	762	80	94.03	0.920	0.991	87.32	Passed	0.0145
7	#2	R7	28.5	76	762	80	92.55	0.920	0.991	85.94	Passed	0.0258
8	#2	Y1	28.5	76	762	80	84.27	0.920	0.991	78.25	Passed	0.0108
9	#2	Y2	28.5	76	762	80	91.30	0.920	0.991	84.78	Passed	0.0108
10	#2	Y3	28.5	76	762	80	84.53	0.920	0.991	78.50	Passed	0.0108
11	#2	Y4	28.5	76	762	80	93.75	0.920	0.991	87.06	Passed	0.0123
12	#2	Y5	28.5	76	762	80	84.42	0.920	0.991	78.39	Passed	0.0130
13	#2	Y6	28.5	76	762	80	89.93	0.920	0.991	83.51	Passed	0.0152
14	#2	Y7	28.5	76	762	80	85.60	0.920	0.991	79.49	Passed	0.0182
15	#2	B1	28.5	76	762	80	88.70	0.920	0.991	82.37	Passed	0.0130
16	#2	B2	28.5	76	762	80	92.18	0.920	0.991	85.60	Passed	0.0137
17	#2	B3	28.5	76	762	80	94.75	0.920	0.991	87.99	Passed	0.0130
18	#2	B4	28.5	76	762	80	85.62	0.920	0.991	79.51	Passed	0.0130
19	#2	B5	28.5	76	762	80	94.03	0.920	0.991	87.32	Passed	0.0137
20	#2	B6	28.5	76	762	80	94.37	0.920	0.991	87.63	Passed	0.0145
21	#2	B7	28.5	76	762	80	94.60	0.920	0.991	87.85	Passed	0.0334

ภาพผนวกที่ ค19 ผลการทดสอบลูกถ้วย 115 เควี. เดือนที่ 2 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #2

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ความดันอากาศ (mm.Hg)	Rated AC Dry Flashover(kV.)	Ub(kV.)	Kh	Kd	Ubn(kV.)	Report	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย										
1	#3	R1	32	47	760	80	90.13	0.985	0.977	90.89	Passed	0.0123
2	#3	R2	32	47	760	80	90.58	0.985	0.977	91.34	Passed	0.0130
3	#3	R3	32	47	760	80	83.25	0.985	0.977	83.95	Passed	0.0130
4	#3	R4	32	47	760	80	85.32	0.985	0.977	86.04	Passed	0.0130
5	#3	R5	32	47	760	80	86.78	0.985	0.977	87.51	Passed	0.0130
6	#3	R6	32	47	760	80	85.67	0.985	0.977	86.39	Passed	0.0152
7	#3	R7	32	47	760	80	86.30	0.985	0.977	87.03	Passed	0.0319
8	#3	Y1	32	47	760	80	85.77	0.985	0.977	86.49	Passed	0.0108
9	#3	Y2	32	47	760	80	84.10	0.985	0.977	84.81	Passed	0.0115
10	#3	Y3	32	47	760	80	89.80	0.985	0.977	90.56	Passed	0.0108
11	#3	Y4	32	47	760	80	89.45	0.985	0.977	90.20	Passed	0.0137
12	#3	Y5	32	47	760	80	90.05	0.985	0.977	90.81	Passed	0.0145
13	#3	Y6	32	47	760	80	89.25	0.985	0.977	90.00	Passed	0.0167
14	#3	Y7	32	47	760	80	89.40	0.985	0.977	90.15	Passed	0.0205
15	#3	B1	32	47	760	80	87.07	0.985	0.977	87.80	Passed	0.0130
16	#3	B2	32	47	760	80	86.75	0.985	0.977	87.48	Passed	0.0145
17	#3	B3	32	47	760	80	89.93	0.985	0.977	90.69	Passed	0.0137
18	#3	B4	32	47	760	80	89.73	0.985	0.977	90.48	Passed	0.0130
19	#3	B5	32	47	760	80	84.33	0.985	0.977	85.04	Passed	0.0145
20	#3	B6	32	47	760	80	93.43	0.985	0.977	94.22	Passed	0.0152
21	#3	B7	32	47	760	80	86.12	0.985	0.977	86.84	Passed	0.0372

ภาพผนวกที่ ค20 ผลการทดสอบลูกถ้วย 115 เควี. เดือนที่ 3 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #3

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ความดันอากาศ (mm.Hg)	Rated AC Dry Flashover(kV.)	Ub(kV.)	Kh	Kd	Ubn(kV.)	Report	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย										
1	#4	R1	26.5	48	765	80	82.33	1.020	1.001	83.87	Passed	0.0130
2	#4	R2	26.5	48	765	80	79.80	1.020	1.001	81.29	Passed	0.0145
3	#4	R3	26.5	48	765	80	82.38	1.020	1.001	83.92	Passed	0.0137
4	#4	R4	26.5	48	765	80	83.33	1.020	1.001	84.89	Passed	0.0137
5	#4	R5	26.5	48	765	80	79.63	1.020	1.001	81.12	Passed	0.0137
6	#4	R6	26.5	48	765	80	84.25	1.020	1.001	85.83	Passed	0.0160
7	#4	R7	26.5	48	765	80	76.80	1.020	1.001	78.24	Passed	0.0357
8	#4	Y1	26.5	48	765	80	76.55	1.020	1.001	77.98	Passed	0.0137
9	#4	Y2	26.5	48	765	80	82.53	1.020	1.001	84.07	Passed	0.0145
10	#4	Y3	26.5	48	765	80	81.08	1.020	1.001	82.60	Passed	0.0115
11	#4	Y4	26.5	48	765	80	83.45	1.020	1.001	85.01	Passed	0.0152
12	#4	Y5	26.5	48	765	80	83.30	1.020	1.001	84.86	Passed	0.0167
13	#4	Y6	26.5	48	765	80	81.20	1.020	1.001	82.72	Passed	0.0182
14	#4	Y7	26.5	48	765	80	82.22	1.020	1.001	83.76	Passed	0.0220
15	#4	B1	26.5	48	765	80	77.58	1.020	1.001	79.03	Passed	0.0152
16	#4	B2	26.5	48	765	80	78.67	1.020	1.001	80.14	Passed	0.0182
17	#4	B3	26.5	48	765	80	82.00	1.020	1.001	83.53	Passed	0.0137
18	#4	B4	26.5	48	765	80	75.89	1.020	1.001	77.31	Passed	0.0137
19	#4	B5	26.5	48	765	80	76.50	1.020	1.001	77.93	Passed	0.0160
20	#4	B6	26.5	48	765	80	80.55	1.020	1.001	82.06	Passed	0.0167
21	#4	B7	26.5	48	765	80	85.87	1.020	1.001	87.48	Passed	0.0418

ภาพผนวกที่ ค21 ผลการทดสอบลูกถ้วย 115 เควี. เดือนที่ 4 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #4

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ความดันอากาศ (mm.Hg)	Rated AC Dry Flashover(kV.)	Ub(kV.)	Kh	Kd	Ubn(kV.)	Report	ESDD(mg/cm ³)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย										
1	#5	R1	32	60	762	80	86.66	0.930	0.979	82.29	Passed	0.0145
2	#5	R2	32	60	762	80	84.67	0.930	0.979	80.40	Passed	0.0182
3	#5	R3	32	60	762	80	84.78	0.930	0.979	80.51	Passed	0.0137
4	#5	R4	32	60	762	80	84.26	0.930	0.979	80.01	Passed	0.0145
5	#5	R5	32	60	762	80	86.57	0.930	0.979	82.21	Passed	0.0145
6	#5	R6	32	60	762	80	86.55	0.930	0.979	82.19	Passed	0.0167
7	#5	R7	32	60	762	80	86.44	0.930	0.979	82.08	Passed	0.0372
8	#5	Y1	32	60	762	80	85.00	0.930	0.979	80.72	Passed	0.0145
9	#5	Y2	32	60	762	80	86.30	0.930	0.979	81.95	Passed	0.0160
10	#5	Y3	32	60	762	80	86.88	0.930	0.979	82.50	Passed	0.0115
11	#5	Y4	32	60	762	80	85.43	0.930	0.979	81.12	Passed	0.0160
12	#5	Y5	32	60	762	80	85.33	0.930	0.979	81.03	Passed	0.0182
13	#5	Y6	32	60	762	80	81.05	0.930	0.979	76.97	Passed	0.0182
14	#5	Y7	32	60	762	80	80.09	0.930	0.979	76.05	Passed	0.0235
15	#5	B1	32	60	762	80	83.06	0.930	0.979	78.87	Passed	0.0167
16	#5	B2	32	60	762	80	83.00	0.930	0.979	78.82	Passed	0.0220
17	#5	B3	32	60	762	80	82.50	0.930	0.979	78.34	Passed	0.0145
18	#5	B4	32	60	762	80	81.34	0.930	0.979	77.24	Passed	0.0145
19	#5	B5	32	60	762	80	81.57	0.930	0.979	77.46	Passed	0.0167
20	#5	B6	32	60	762	80	80.23	0.930	0.979	76.19	Passed	0.0182
21	#5	B7	32	60	762	80	80.10	0.930	0.979	76.06	Passed	0.0449

ภาพผนวกที่ ค22 ผลการทดสอบลูกถ้วย 115 เควี. เดือนที่ 5 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #5

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ความดันอากาศ (mm.Hg)	Rated AC Dry Flashover(kV.)	Ub(kV.)	Kh	Kd	Ubn(kV.)	Report	ESDD(mg/cm ³)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย										
1	#6	R1	29	57	763	80	83.56	0.970	0.990	81.84	Passed	0.0160
2	#6	R2	29	57	763	80	83.00	0.970	0.990	81.29	Passed	0.0205
3	#6	R3	29	57	763	80	82.79	0.970	0.990	81.09	Passed	0.0145
4	#6	R4	29	57	763	80	79.00	0.970	0.990	77.37	Passed	0.0145
5	#6	R5	29	57	763	80	83.56	0.970	0.990	81.84	Passed	0.0145
6	#6	R6	29	57	763	80	82.98	0.970	0.990	81.27	Passed	0.0182
7	#6	R7	29	57	763	80	82.74	0.970	0.990	81.04	Passed	0.0411
8	#6	Y1	29	57	763	80	81.08	0.970	0.990	79.41	Passed	0.0182
9	#6	Y2	29	57	763	80	82.63	0.970	0.990	80.93	Passed	0.0175
10	#6	Y3	29	57	763	80	84.37	0.970	0.990	82.63	Passed	0.0115
11	#6	Y4	29	57	763	80	82.41	0.970	0.990	80.71	Passed	0.0167
12	#6	Y5	29	57	763	80	81.85	0.970	0.990	80.17	Passed	0.0190
13	#6	Y6	29	57	763	80	81.94	0.970	0.990	80.25	Passed	0.0190
14	#6	Y7	29	57	763	80	80.96	0.970	0.990	79.29	Passed	0.0243
15	#6	B1	29	57	763	80	82.45	0.970	0.990	80.75	Passed	0.0190
16	#6	B2	29	57	763	80	82.35	0.970	0.990	80.66	Passed	0.0235
17	#6	B3	29	57	763	80	81.98	0.970	0.990	80.29	Passed	0.0145
18	#6	B4	29	57	763	80	80.78	0.970	0.990	79.12	Passed	0.0145
19	#6	B5	29	57	763	80	81.27	0.970	0.990	79.60	Passed	0.0182
20	#6	B6	29	57	763	80	80.56	0.970	0.990	78.90	Passed	0.0205
21	#6	B7	29	57	763	80	79.53	0.970	0.990	77.89	Passed	0.0488

ภาพผนวกที่ ค23 ผลการทดสอบลูกถ้วย 115 เควี. เดือนที่ 6 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #6

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ความดันอากาศ (mm.Hg)	Rated AC Dry Flashover(kV.)	Ub(kV.)	Kh	Kd	Ubn(kV.)	Report	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย										
1	#7	R1	32	59	764	80	84.03	0.935	0.982	80.01	Passed	0.0175
2	#7	R2	32	59	764	80	82.39	0.935	0.982	78.45	Passed	0.0220
3	#7	R3	32	59	764	80	81.11	0.935	0.982	77.23	Passed	0.0167
4	#7	R4	32	59	764	80	79.98	0.935	0.982	76.16	Passed	0.0182
5	#7	R5	32	59	764	80	85.38	0.935	0.982	81.30	Passed	0.0167
6	#7	R6	32	59	764	80	85.55	0.935	0.982	81.46	Passed	0.0190
7	#7	R7	32	59	764	80	82.13	0.935	0.982	78.20	Passed	0.0434
8	#7	Y1	32	59	764	80	79.89	0.935	0.982	76.07	Passed	0.0212
9	#7	Y2	32	59	764	80	83.09	0.935	0.982	79.12	Passed	0.0205
10	#7	Y3	32	59	764	80	84.44	0.935	0.982	80.40	Passed	0.0123
11	#7	Y4	32	59	764	80	83.78	0.935	0.982	79.78	Passed	0.0175
12	#7	Y5	32	59	764	80	83.88	0.935	0.982	79.87	Passed	0.0212
13	#7	Y6	32	59	764	80	82.47	0.935	0.982	78.53	Passed	0.0212
14	#7	Y7	32	59	764	80	82.78	0.935	0.982	78.82	Passed	0.0250
15	#7	B1	32	59	764	80	83.91	0.935	0.982	79.90	Passed	0.0205
16	#7	B2	32	59	764	80	82.72	0.935	0.982	78.77	Passed	0.0243
17	#7	B3	32	59	764	80	81.79	0.935	0.982	77.88	Passed	0.0160
18	#7	B4	32	59	764	80	81.57	0.935	0.982	77.67	Passed	0.0160
19	#7	B5	32	59	764	80	80.69	0.935	0.982	76.83	Passed	0.0205
20	#7	B6	32	59	764	80	80.13	0.935	0.982	76.30	Passed	0.0220
21	#7	B7	32	59	764	80	79.78	0.935	0.982	75.97	Not Passed	0.0519

ภาพผนวกที่ ค24 ผลการทดสอบลูกถ้วย 115 เควี. เดือนที่ 7 ของสายส่ง BOT791 ที่เสา #7

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#1	R1	25	18	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
2	#1	R2	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
3	#1	R3	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
4	#1	R4	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
5	#1	R5	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
6	#1	R6	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
7	#1	R7	"	"	200	0	80	72.07	0.00	0.0047	0.0000	1,656.97	0.0056
8	#1	Y1	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
9	#1	Y2	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
10	#1	Y3	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
11	#1	Y4	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
12	#1	Y5	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
13	#1	Y6	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
14	#1	Y7	"	"	200	0	100	90.09	0.00	0.0059	0.0000	1,656.97	0.0071
15	#1	B1	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
16	#1	B2	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
17	#1	B3	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
18	#1	B4	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
19	#1	B5	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
20	#1	B6	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
21	#1	B7	"	"	200	0	130	117.12	0.00	0.0077	0.0000	1,656.97	0.0093

ภาพผนวกที่ ค25 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ
 ถ.กาญจนานิเชก เดือนที่ 1 ที่เสา #1

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#2	R1	25	18	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
2	#2	R2	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
3	#2	R3	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
4	#2	R4	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
5	#2	R5	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
6	#2	R6	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
7	#2	R7	"	"	200	0	100	90.09	0.00	0.0059	0.0000	1,656.97	0.0071
8	#2	Y1	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
9	#2	Y2	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
10	#2	Y3	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
11	#2	Y4	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
12	#2	Y5	"	"	200	0	20	18.02	0.00	0.0011	0.0000	1,656.97	0.0014
13	#2	Y6	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
14	#2	Y7	"	"	200	0	110	99.10	0.00	0.0065	0.0000	1,656.97	0.0078
15	#2	B1	"	"	200	0	50	45.05	0.00	0.0029	0.0000	1,656.97	0.0035
16	#2	B2	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
17	#2	B3	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
18	#2	B4	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
19	#2	B5	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
20	#2	B6	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
21	#2	B7	"	"	200	0	150	135.14	0.00	0.0089	0.0000	1,656.97	0.0108

ภาพผนวกที่ ค26 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ
 ถ.กาญจนานิเชก เดือนที่ 2 ที่เสา #2

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#3	R1	25	18	200	0	50	45.05	0.00	0.0029	0.0000	1,656.97	0.0035
2	#3	R2	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
3	#3	R3	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
4	#3	R4	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
5	#3	R5	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
6	#3	R6	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
7	#3	R7	"	"	200	0	110	99.10	0.00	0.0065	0.0000	1,656.97	0.0078
8	#3	Y1	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
9	#3	Y2	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
10	#3	Y3	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
11	#3	Y4	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
12	#3	Y5	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
13	#3	Y6	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
14	#3	Y7	"	"	200	0	120	108.11	0.00	0.0071	0.0000	1,656.97	0.0086
15	#3	B1	"	"	200	0	60	54.05	0.00	0.0035	0.0000	1,656.97	0.0042
16	#3	B2	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
17	#3	B3	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
18	#3	B4	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
19	#3	B5	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
20	#3	B6	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
21	#3	B7	"	"	200	0	180	162.16	0.00	0.0108	0.0000	1,656.97	0.0130

ภาพผนวกที่ ค27 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ
ถ.กาญจนานิเชก เดือนที่ 3 ที่เสา #3

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำน้ำ($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#4	R1	25	18	200	0	60	54.05	0.00	0.0035	0.0000	1,656.97	0.0042
2	#4	R2	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
3	#4	R3	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
4	#4	R4	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
5	#4	R5	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
6	#4	R6	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
7	#4	R7	"	"	200	0	120	108.11	0.00	0.0071	0.0000	1,656.97	0.0086
8	#4	Y1	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
9	#4	Y2	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
10	#4	Y3	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
11	#4	Y4	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
12	#4	Y5	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
13	#4	Y6	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
14	#4	Y7	"	"	200	0	120	108.11	0.00	0.0071	0.0000	1,656.97	0.0086
15	#4	B1	"	"	200	0	70	63.06	0.00	0.0041	0.0000	1,656.97	0.0049
16	#4	B2	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
17	#4	B3	"	"	200	0	30	27.03	0.00	0.0017	0.0000	1,656.97	0.0021
18	#4	B4	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
19	#4	B5	"	"	200	0	50	45.05	0.00	0.0029	0.0000	1,656.97	0.0035
20	#4	B6	"	"	200	0	50	45.05	0.00	0.0029	0.0000	1,656.97	0.0035
21	#4	B7	"	"	200	0	200	180.18	0.00	0.0120	0.0000	1,656.97	0.0145

ภาพผนวกที่ ค28 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ
 ถ.กาญจนานิเชก เดือนที่ 4 ที่เสา #4

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#5	R1	25	18	200	0	60	54.05	0.00	0.0035	0.0000	1,656.97	0.0042
2	#5	R2	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
3	#5	R3	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
4	#5	R4	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
5	#5	R5	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
6	#5	R6	"	"	200	0	50	45.05	0.00	0.0029	0.0000	1,656.97	0.0035
7	#5	R7	"	"	200	0	130	117.12	0.00	0.0077	0.0000	1,656.97	0.0093
8	#5	Y1	"	"	200	0	50	45.05	0.00	0.0029	0.0000	1,656.97	0.0035
9	#5	Y2	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
10	#5	Y3	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
11	#5	Y4	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
12	#5	Y5	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
13	#5	Y6	"	"	200	0	50	45.05	0.00	0.0029	0.0000	1,656.97	0.0035
14	#5	Y7	"	"	200	0	140	126.13	0.00	0.0083	0.0000	1,656.97	0.0100
15	#5	B1	"	"	200	0	70	63.06	0.00	0.0041	0.0000	1,656.97	0.0049
16	#5	B2	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
17	#5	B3	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
18	#5	B4	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
19	#5	B5	"	"	200	0	50	45.05	0.00	0.0029	0.0000	1,656.97	0.0035
20	#5	B6	"	"	200	0	60	54.05	0.00	0.0035	0.0000	1,656.97	0.0042
21	#5	B7	"	"	200	0	220	198.20	0.00	0.0132	0.0000	1,656.97	0.0160

ภาพผนวกที่ ค29 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ
ถ.กาญจนานิเชก เดือนที่ 5 ที่เสา #5

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#6	R1	25	18	200	0	70	63.06	0.00	0.0041	0.0000	1,656.97	0.0049
2	#6	R2	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
3	#6	R3	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
4	#6	R4	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
5	#6	R5	"	"	200	0	50	45.05	0.00	0.0029	0.0000	1,656.97	0.0035
6	#6	R6	"	"	200	0	60	54.05	0.00	0.0035	0.0000	1,656.97	0.0042
7	#6	R7	"	"	200	0	140	126.13	0.00	0.0083	0.0000	1,656.97	0.0100
8	#6	Y1	"	"	200	0	60	54.05	0.00	0.0035	0.0000	1,656.97	0.0042
9	#6	Y2	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
10	#6	Y3	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
11	#6	Y4	"	"	200	0	50	45.05	0.00	0.0029	0.0000	1,656.97	0.0035
12	#6	Y5	"	"	200	0	60	54.05	0.00	0.0035	0.0000	1,656.97	0.0042
13	#6	Y6	"	"	200	0	60	54.05	0.00	0.0035	0.0000	1,656.97	0.0042
14	#6	Y7	"	"	200	0	150	135.14	0.00	0.0089	0.0000	1,656.97	0.0108
15	#6	B1	"	"	200	0	90	81.08	0.00	0.0053	0.0000	1,656.97	0.0064
16	#6	B2	"	"	200	0	50	45.05	0.00	0.0029	0.0000	1,656.97	0.0035
17	#6	B3	"	"	200	0	50	45.05	0.00	0.0029	0.0000	1,656.97	0.0035
18	#6	B4	"	"	200	0	60	54.05	0.00	0.0035	0.0000	1,656.97	0.0042
19	#6	B5	"	"	200	0	60	54.05	0.00	0.0035	0.0000	1,656.97	0.0042
20	#6	B6	"	"	200	0	70	63.06	0.00	0.0041	0.0000	1,656.97	0.0049
21	#6	B7	"	"	200	0	240	216.22	0.00	0.0145	0.0000	1,656.97	0.0175

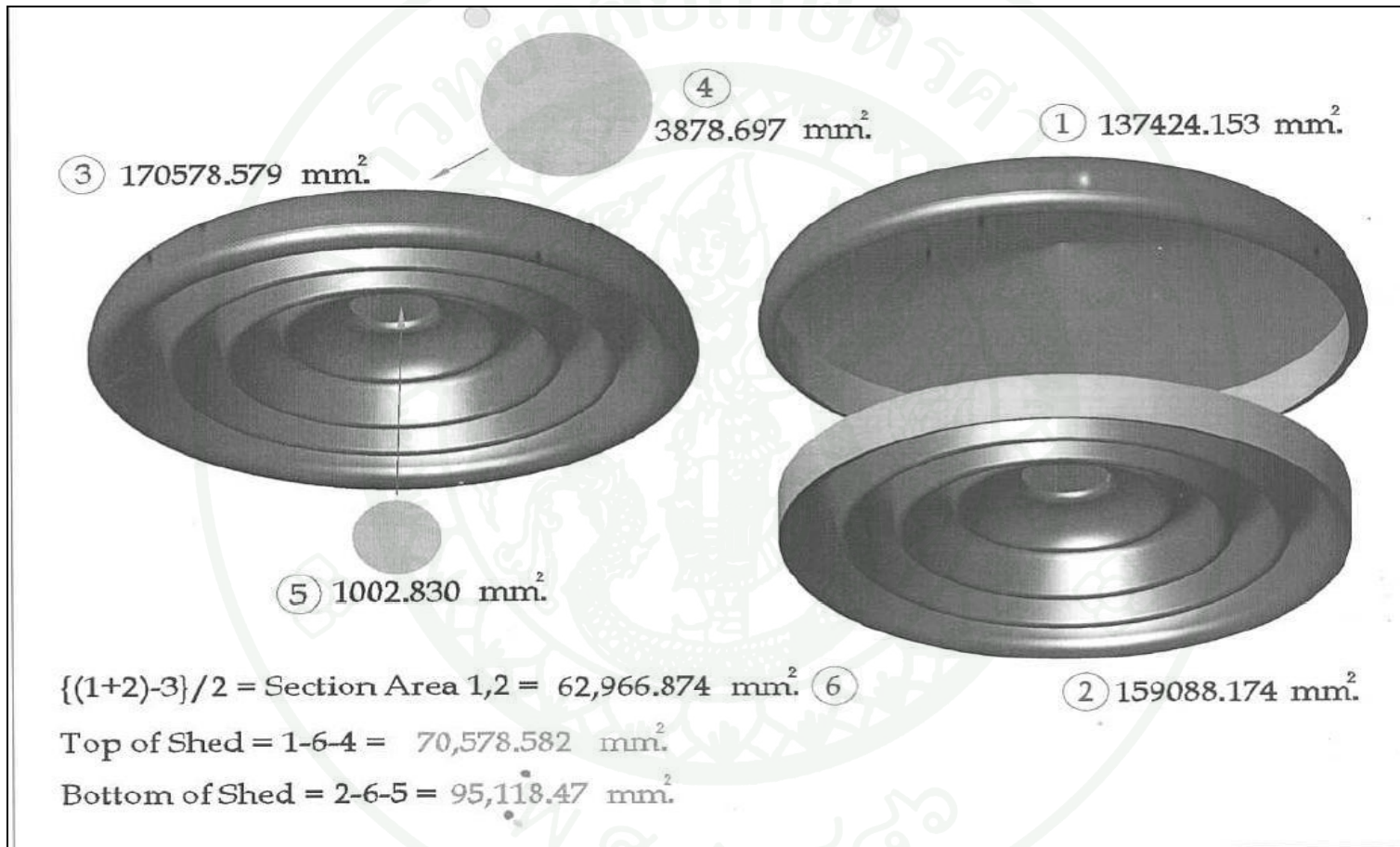
ภาพผนวกที่ ค30 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ
 ถ.กาญจนาภิเษก เดือนที่ 6 ที่เสา #6

ลำดับ	รายละเอียด		อุณหภูมิ(°C)	ความชื้น(%)	ปริมาณน้ำ(ml)	ค่าความนำไฟฟ้า($\mu\Omega$)		σ_A	σ_B	$D_A(\%)$	$D_B(\%)$	พื้นที่ผิว (S)(cm ²)	ESDD(mg/cm ²)
	เบอร์เสา	ลูกถ้วย				ก่อน(B)	หลัง(A)						
1	#7	R1	25	18	200	0	70	63.06	0.00	0.0041	0.0000	1,656.97	0.0049
2	#7	R2	"	"	200	0	50	45.05	0.00	0.0029	0.0000	1,656.97	0.0035
3	#7	R3	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
4	#7	R4	"	"	200	0	50	45.05	0.00	0.0029	0.0000	1,656.97	0.0035
5	#7	R5	"	"	200	0	50	45.05	0.00	0.0029	0.0000	1,656.97	0.0035
6	#7	R6	"	"	200	0	60	54.05	0.00	0.0035	0.0000	1,656.97	0.0042
7	#7	R7	"	"	200	0	140	126.13	0.00	0.0083	0.0000	1,656.97	0.0100
8	#7	Y1	"	"	200	0	60	54.05	0.00	0.0035	0.0000	1,656.97	0.0042
9	#7	Y2	"	"	200	0	40	36.04	0.00	0.0023	0.0000	1,656.97	0.0028
10	#7	Y3	"	"	200	0	50	45.05	0.00	0.0029	0.0000	1,656.97	0.0035
11	#7	Y4	"	"	200	0	50	45.05	0.00	0.0029	0.0000	1,656.97	0.0035
12	#7	Y5	"	"	200	0	60	54.05	0.00	0.0035	0.0000	1,656.97	0.0042
13	#7	Y6	"	"	200	0	70	63.06	0.00	0.0041	0.0000	1,656.97	0.0049
14	#7	Y7	"	"	200	0	160	144.14	0.00	0.0095	0.0000	1,656.97	0.0115
15	#7	B1	"	"	200	0	80	72.07	0.00	0.0047	0.0000	1,656.97	0.0056
16	#7	B2	"	"	200	0	70	63.06	0.00	0.0041	0.0000	1,656.97	0.0049
17	#7	B3	"	"	200	0	70	63.06	0.00	0.0041	0.0000	1,656.97	0.0049
18	#7	B4	"	"	200	0	60	54.05	0.00	0.0035	0.0000	1,656.97	0.0042
19	#7	B5	"	"	200	0	80	72.07	0.00	0.0047	0.0000	1,656.97	0.0056
20	#7	B6	"	"	200	0	70	63.06	0.00	0.0041	0.0000	1,656.97	0.0049
21	#7	B7	"	"	200	0	250	225.23	0.00	0.0151	0.0000	1,656.97	0.0182

ภาพผนวกที่ ค31 ผลการวัดค่าปริมาณสิ่งเปื้อนที่บริเวณผิวลูกถ้วย(ESDD.) สภาวะไม่จ่ายไฟ
ถ.กาญจนภิเษก เดือนที่ 7 ที่เสา #7



ภาคผนวก ง
รูปพื้นที่ผิวลูกถ้วยพอร์ซเลน 52-3



ภาพผนวกที่ ง1 พื้นที่ผิวของลูกถ้วยพอร์ซเลน 52-3



ภาคผนวก จ
คู่มือการใช้งานเครื่องควบคุมหม้อแปลงทดสอบแรงดันกระแสสลับ 150 kV.

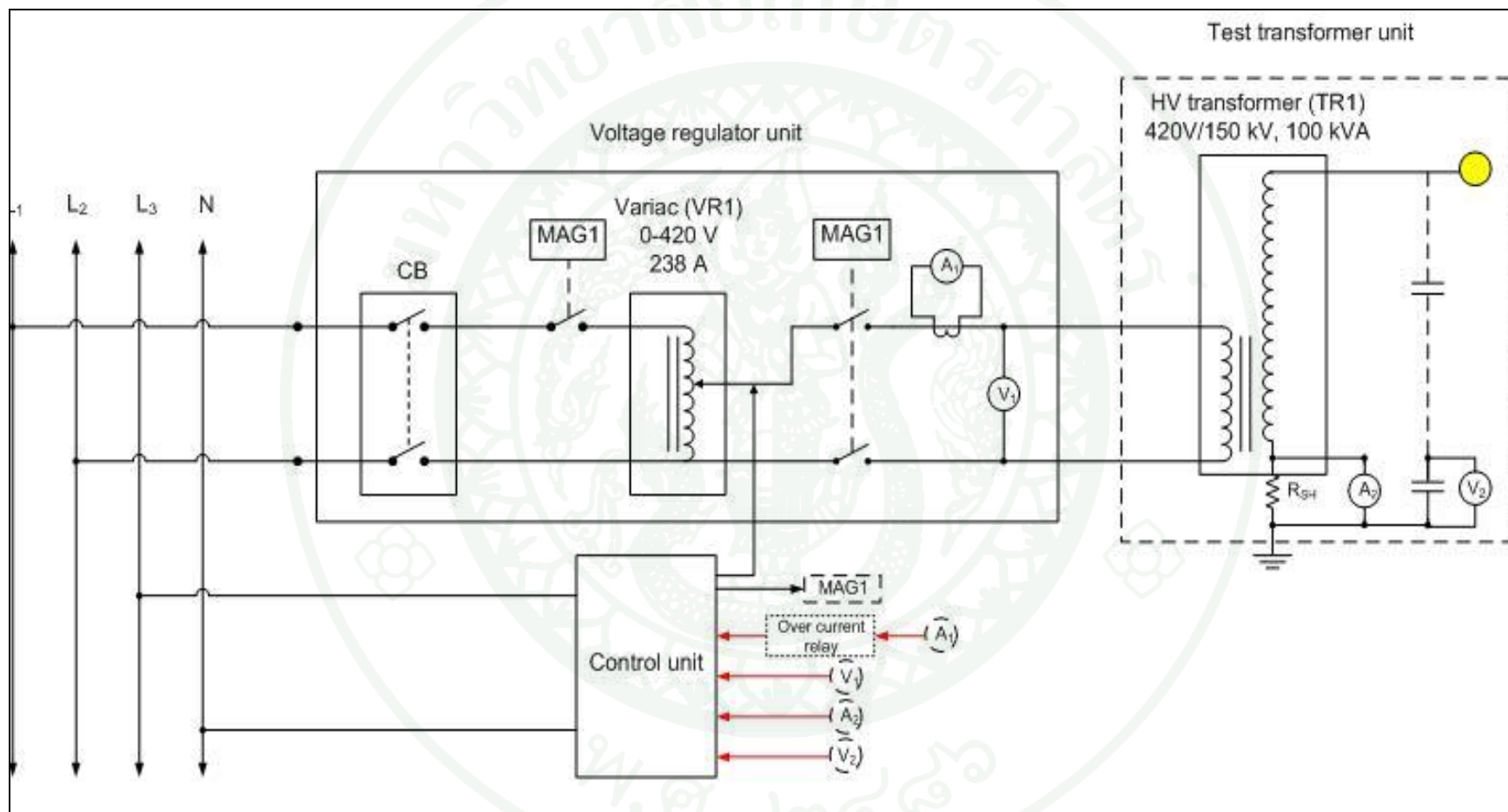
คู่มือการใช้งานเครื่องควบคุมหม้อแปลงทดสอบแรงดันกระแสสลับ 150 kV.

1. หลักการทำงานของวงจรสร้างแรงดันกระแสสลับเป็นไปตามในภาพผนวกที่ จ1 ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังนี้

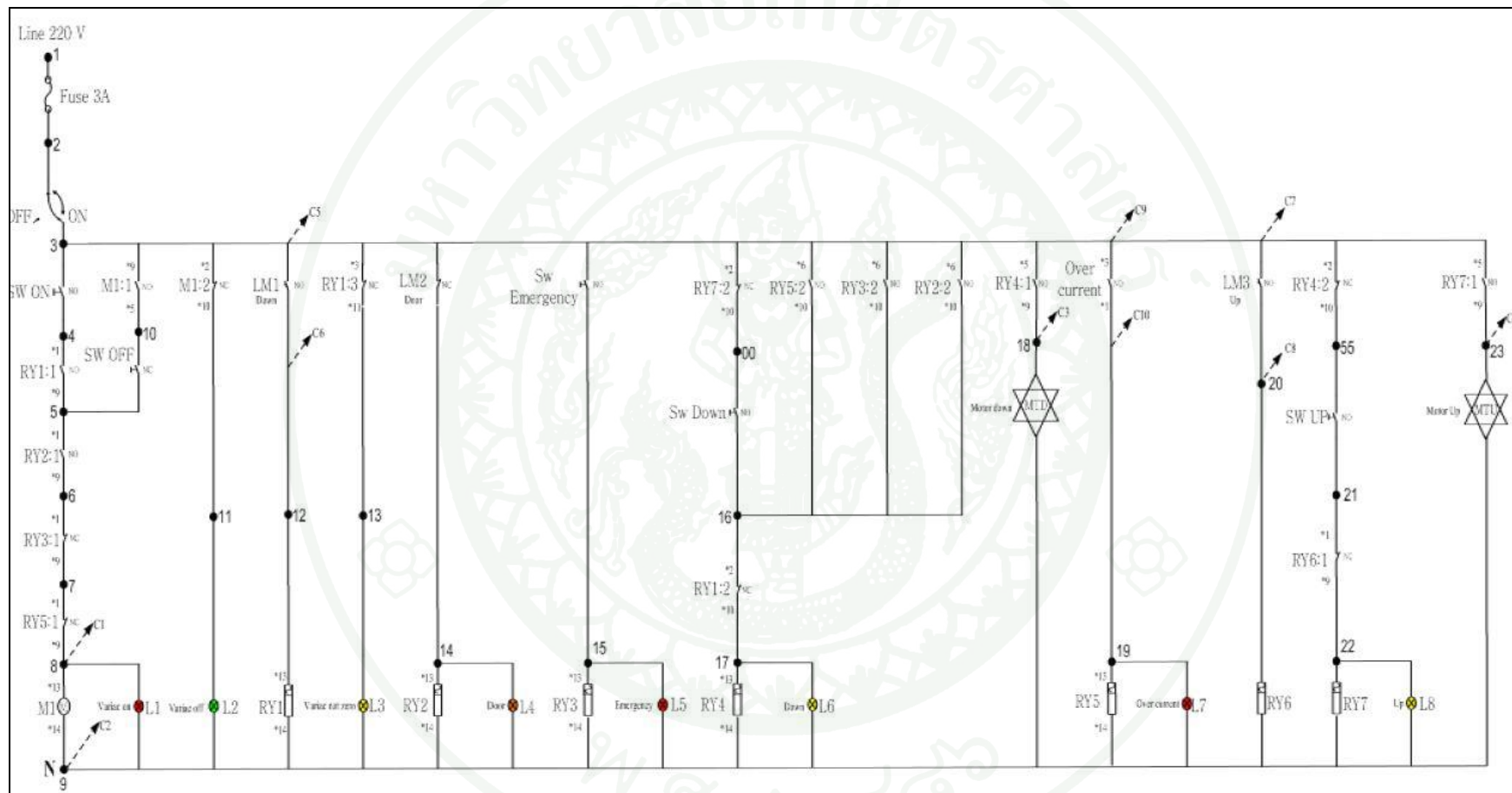
Circuit Breaker (CB) จะรับแรงดันไฟฟ้า 380 V จากตำแหน่ง (L_1, L_2) จากนั้นแรงดันไฟฟ้า 380 V เข้าสู่ Variac (VR1) โดยผ่าน Magnetic contactor (MAG 1) ซึ่งทำหน้าที่ตัดต่อแรงดันก่อนที่จะป้อนเข้าสู่ชุด (VR1) ทางด้านขาเข้า ซึ่งถูกควบคุมด้วยชุดควบคุม (Control unit) แรงดันจะคงยังไม่ตกคร่อม VR1 ในกรณีที่ชุดควบคุมยังไม่ได้ทำงาน จากนั้นจะมีหน้าสัมผัส (MAG 1) ที่ด้านขาออกของ (VR1) ทำหน้าที่ตัดต่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจาก (VR₁) ก่อนที่จะไหลเข้าสู่หม้อแปลงแรงดันสูง (TR1) โดยที่หม้อแปลงแรงดันสูงจะรับแรงดัน (0-420 V) จาก (VR1) เพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนระดับแรงดัน ที่จะสร้างขึ้นจากหม้อแปลงแรงดันสูง โดยแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงจะเป็นแรงดันสูงกระแสสลับ ตั้งแต่ (0-150 kV)

ชุดตรวจวัดแรงดัน (V_1) จะวัดแรงดันขาออกของ (VR1) ซึ่งเป็นแรงดันต่ำ (0-420 V) ชุดตรวจวัดกระแส (A_1) จะวัดกระแสด้านขาออกของ (VR1) จะวัดโดยใช้หม้อแปลงกระแส (CT) ชุดตรวจวัดแรงดัน (V_2) จะวัดจากแรงดันขาออกจากหม้อแปลงแรงดันสูง (TR1) โดยชุดตรวจวัดแรงดัน (V_2) จะใช้โวลต์เตจดีไวเดอร์จากภายนอกมาใช้ในการตรวจวัด ชุดตรวจวัดกระแส (A_2) วัดแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทาน (R_{sh}) โดยชุดตรวจวัดทั้ง V_1, V_2, A_1, A_2 จะถูกแสดงค่าที่ชุดควบคุม (control unit)

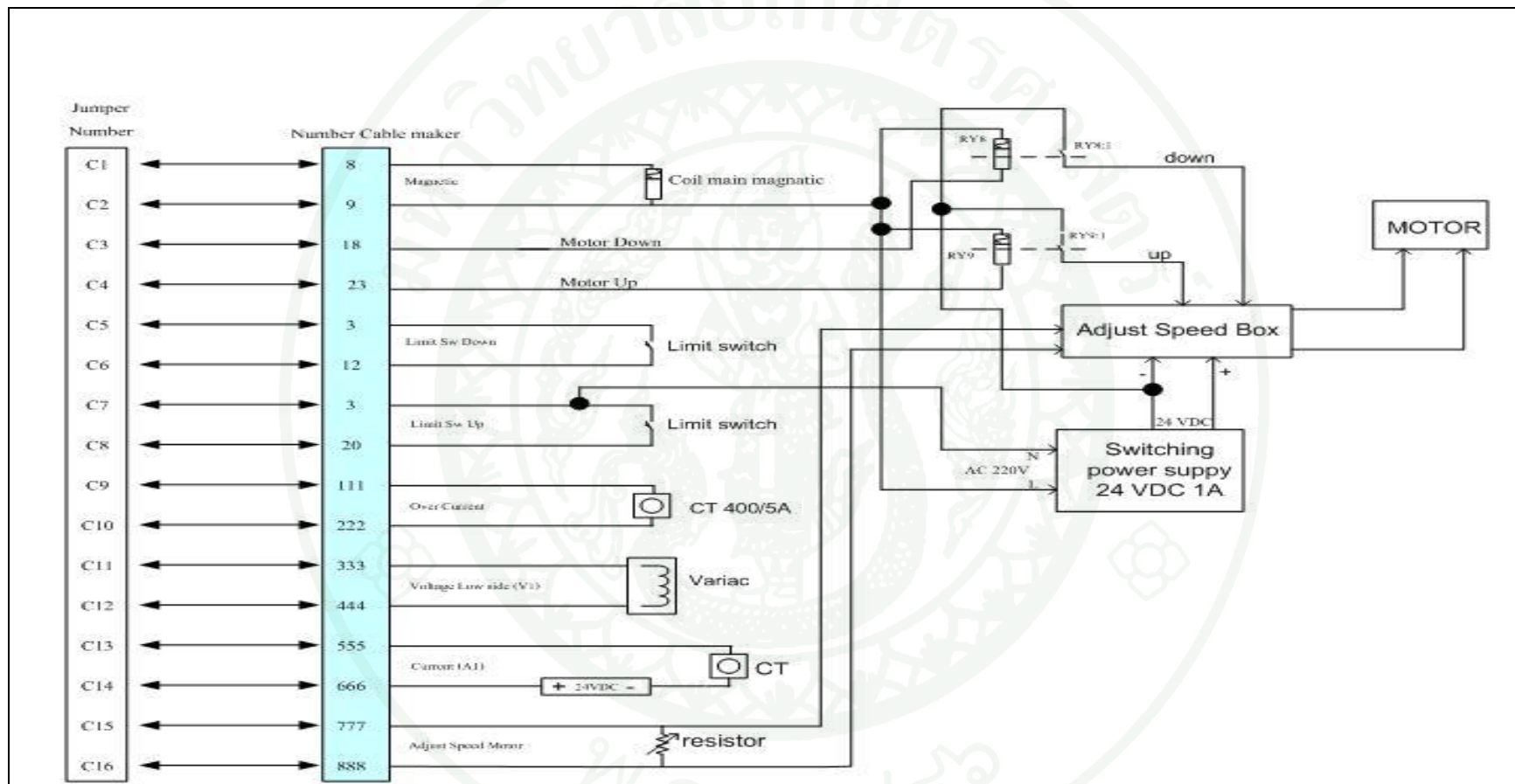
ชุดควบคุม (control unit) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของ การปรับลดแรงดันที่ป้อนเข้าหม้อแปลงแรงดันสูง เพื่อจะเป็นแรงดันขาเข้าของหม้อแปลงแรงดันสูง



ภาพผนวกที่ จ1 วงจรสร้างแรงดันสูงกระแสสลับ พิกัด 150 kV, 100 kVA.



ภาพผนวกที่ ๒ วงจรควบคุม.



ภาพผนวกที่ จ3 วงจรส่วนที่อยู่กับชุดปรับระดับแรงดัน (VR1,Variac)

2. การทำงานของชุดควบคุม

วงจรควบคุมมีวงจรตามภาพผนวกที่ จ2 และการทำงานของชุดควบคุม จะเป็นไปตามนี้

RY1 = ทำหน้าที่ตรวจสอบการลัดระดับของ VR1 หากว่า VR1 ยังไม่อยู่ในตำแหน่งต่ำสุด จะไม่สามารถ ON ได้

RY2 = ทำหน้าที่ควบคุมการปิด-เปิด การเข้าสู่ห้องทดสอบหากยังไม่ปิดประตูจะไม่สามารถ ON เครื่องได้ ถ้าเครื่อง ON อยู่แล้วเกิดเปิดประตูเข้าไปเครื่องจะ OFF และลดระดับแรงดันลงทันที

RY3 = ทำหน้าที่ควบคุมกรณีฉุกเฉิน (Emergency) หากมีการกดเมื่อใดจะ ON เครื่องไม่ได้และ เครื่องจะ OFF และลดระดับแรงดันลงทันที

RY4 = ทำหน้าที่ควบคุมการลดระดับแรงดันลงของ VR1

RY5 = ทำหน้าที่ในส่วนของการป้องกันกระแสเกิน (Over current) ถ้าหากว่ากระแสสูงเกินที่กำหนด เครื่องจะ OFF และลดระดับแรงดันลงทันที

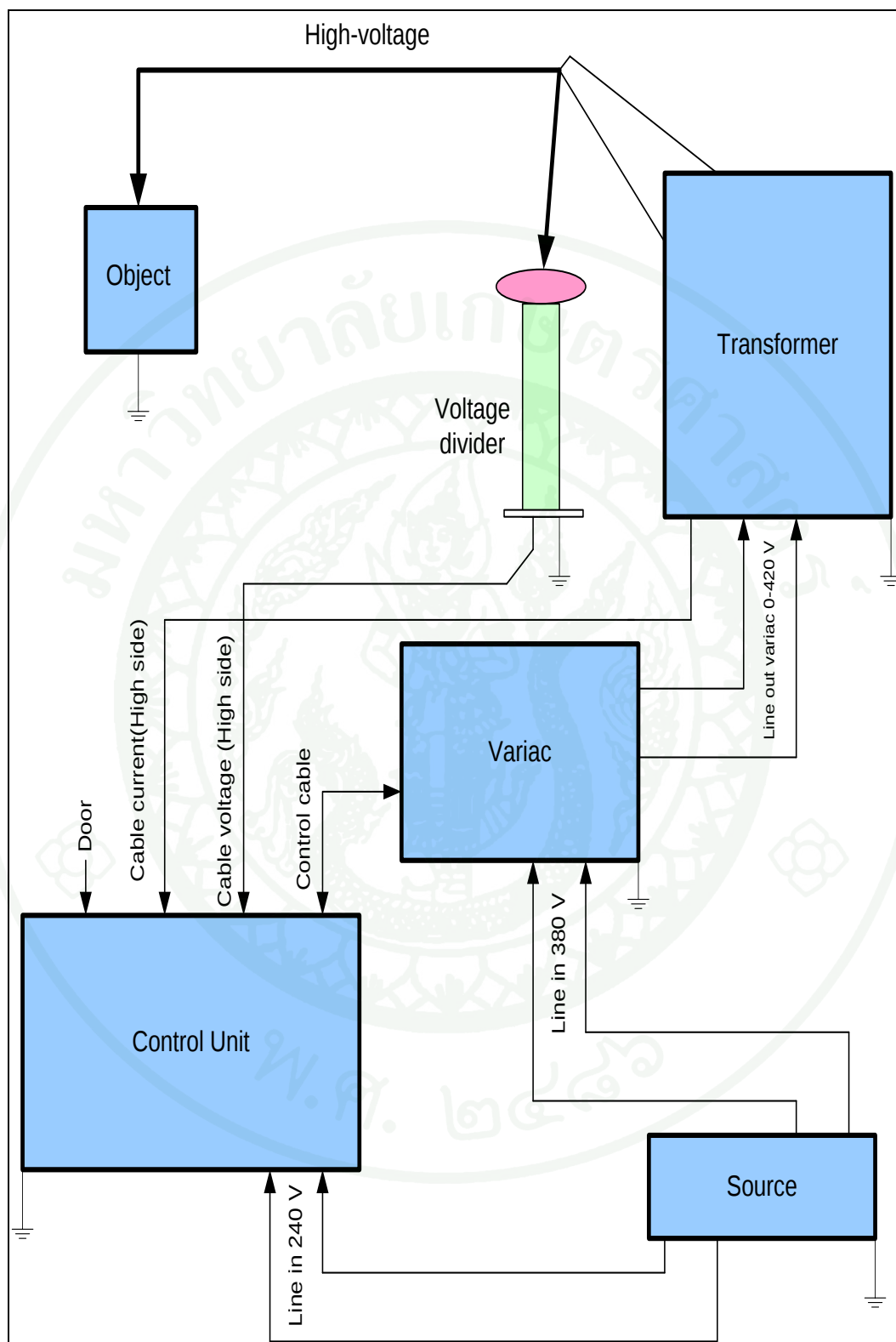
RY6 = ทำหน้าที่ควบคุมการขึ้นแรงดันไม่ให้สูงเกินกว่าที่กำหนด

RY7 = ทำหน้าที่ควบคุมการเพิ่มระดับแรงดันขึ้นของ VR1

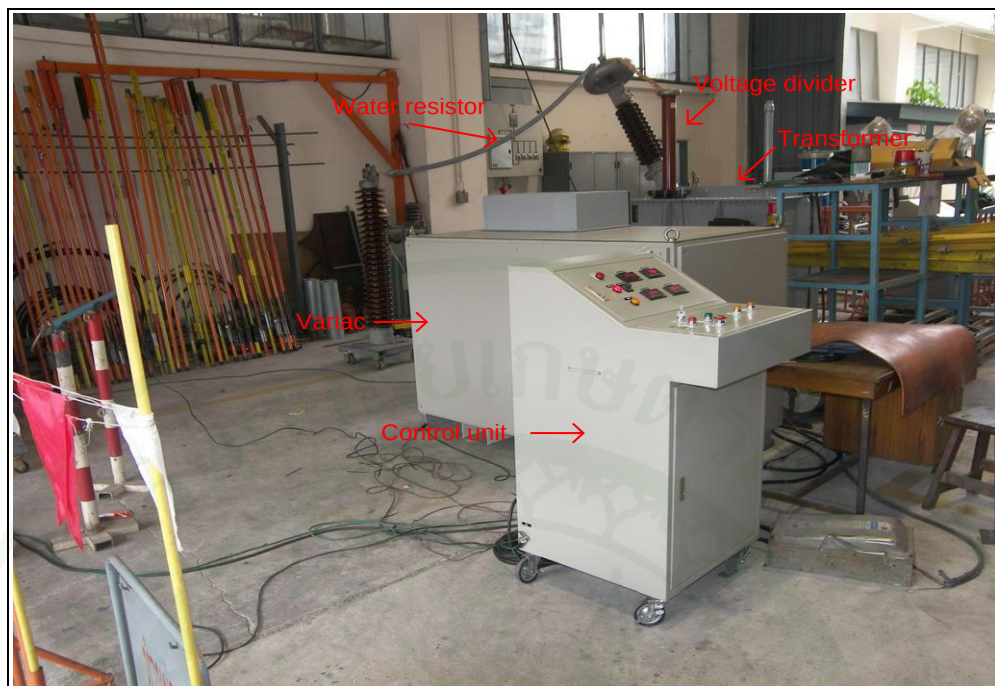
และภาพผนวกที่ จ3 แสดงการต่อเชื่อมวงจรควบคุมระหว่างตู้ชุดควบคุม และตู้ Variac ผ่านทางสายวงจรควบคุม

3. การจัดวางวงจรและรูปแบบการต่อสาย

แผนผังการต่อสายการทดสอบแรงดันสูงกระแสสลับจะเป็นไปตามภาพผนวกที่ จ4 และภาพผนวกที่ จ5 การเริ่มต้นการทดสอบแรงดันสูงกระแสสลับ จะเป็นไปตามขั้นตอนต่อไปนี้



ภาพผนวกที่ จ4 แผนผังภาพแบบการต่อสายของวงจรทดสอบแรงดันสูงกระแสลับ



ภาพผนวกที่ จ5 การจัดวางวงจรและการต่อสาย (รูปจริง)

4. การต่อสายก่อนเริ่มการทดสอบ

4.1 การต่อสายชุดตู้ควบคุม(Control unit)



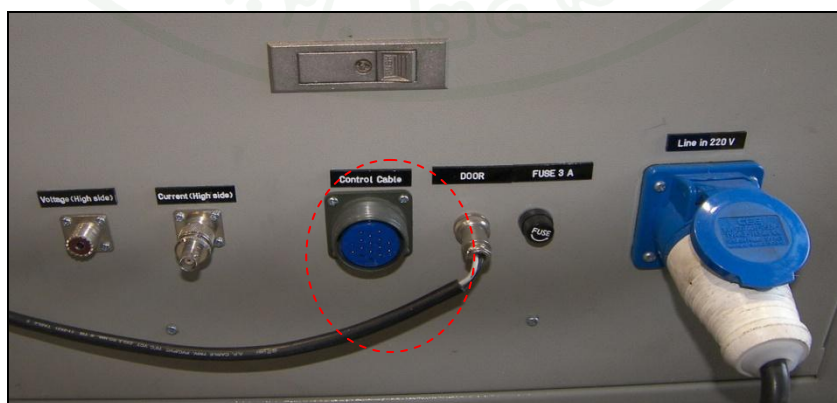
4.1.1 ต่อสายไฟปลั๊ก 220 โวลต์ เข้าที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้ ดังภาพข้างล่าง



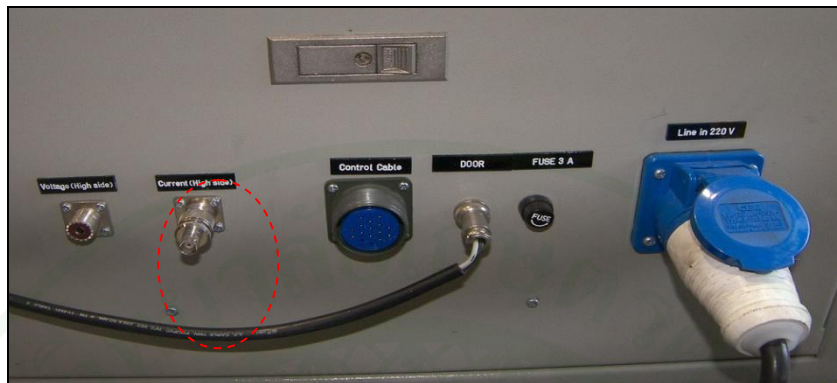
4.1.2 ต่อสายไฟตรวจสอบประตูห้องทดสอบ ตามตำแหน่ง ดังภาพข้างล่าง



4.1.3. ต่อสายเคเบิลควบคุม ตามตำแหน่ง ดังภาพข้างล่าง



4.1.4 ต่อสายวัดกระแสต้านแรงดันสูง ตามตำแหน่ง ดังภาพข้างล่าง



4.1.5 ต่อวัดแรงดันสูง ตามตำแหน่ง ดังภาพข้างล่าง



4.1.6 ต่อสายกราวด์ ตามตำแหน่ง ดังภาพข้างล่าง



4.1.7 เมื่อต่อสายชุดควบคุมครบทุกจุดจะเป็นไปตามภาพที่แสดงไว้ด้านล่าง



4.2 การต่อสายชุดควบคุมแรงดัน (Variac)



4.2.1 ต่อสายเคเบิลควบคุม ตามตำแหน่ง ดังภาพข้างล่าง



4.2.2 ต่อสายป้อนแรงดันขาเข้า VR1 380 V ตามตำแหน่ง ดังภาพข้างล่าง



4.2.3 ต่อสายป้อนแรงดันขาออก VR1 ซึ่งเป็นแรงดันที่ส่งไปด้านขาเข้าหม้อแปลงแรงดันสูง ตามตำแหน่ง ดังภาพข้างล่าง



4.2.4 เมื่อต่อสายชุดควบคุมครบทุกจุดจะเป็นไปตามภาพที่แสดงด้านล่าง



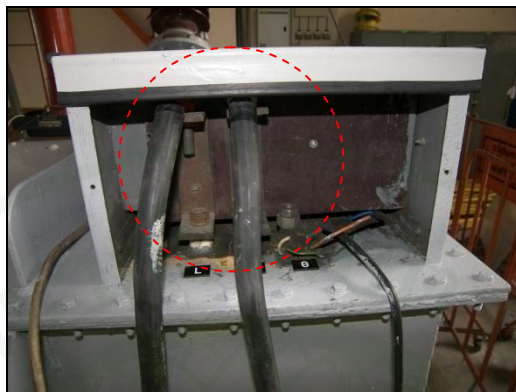
4.2.5 ต่อสายกราวด์ ชุดควบคุมแรงดัน Variac ดังภาพข้างล่าง



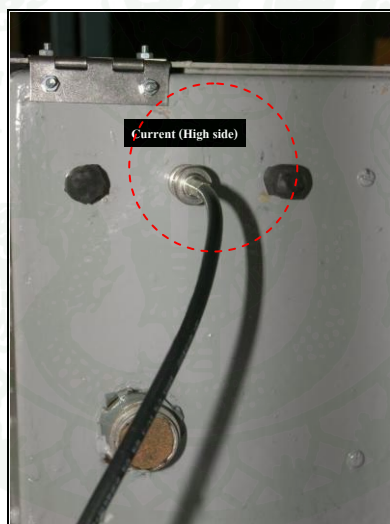
4.3 การต่อสายชุดหม้อแปลง (Transformer)



4.3.1 ต่อสายแรงดันขาเข้าสู่หม้อแปลงแรงดันสูง ตามตำแหน่ง ดังภาพข้างล่าง



4.3.2 ต่อสายวัดกระแสด้านแรงดันสูง ตามตำแหน่ง ดังภาพข้างล่าง

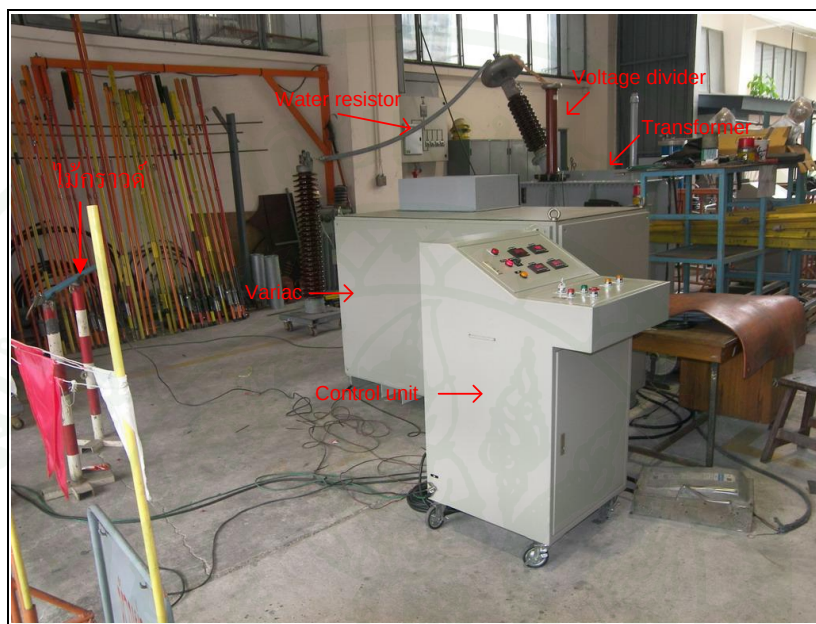


4.3.3 ต่อสายกราวด์หม้อแปลง ตามตำแหน่ง ดังภาพข้างล่าง



5. เริ่มต้นการควบคุมการทำงานของชุดสร้างแรงดันกระแสลับ 0 – 150 kV

5.1 ต่อดังตามภาพที่แสดงไว้จากนั้นเอาไม้ กราวด์ ออกมาวางตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้



5.2 ทำการ ON เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ชุดควบคุมแรงดัน (Variac) ดังภาพข้างล่าง



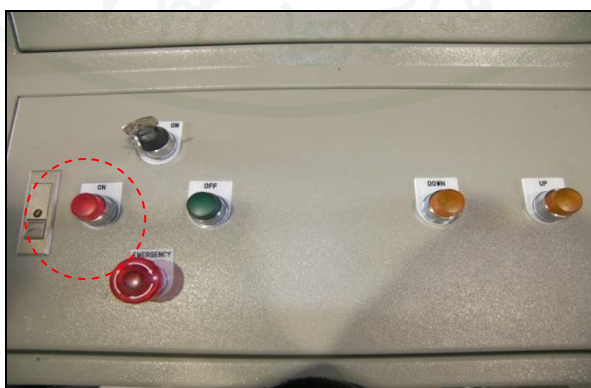
5.3 หมุนสวิทช์กุญแจที่ชุดควบคุมให้อยู่ในตำแหน่ง ON ดังภาพข้างล่าง



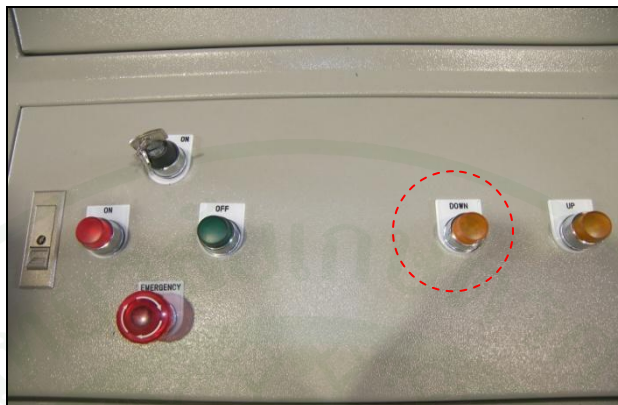
5.4 หมุนสวิทช์ Emergency เพื่อปลดล๊อคปุ่ม ดังภาพข้างล่าง



5.5 กดปุ่ม ON ดังภาพข้างล่าง



5.6 ปรับเพิ่มแรงดันโดยการกดปุ่ม UP ดังภาพข้างล่าง



5.7 สังเกตแรงดันที่เพิ่มขึ้นด้านขาคอกจาก VR1 จากมิเตอร์ ดังภาพข้างล่าง



5.8 สังเกตกระแสที่เพิ่มขึ้นด้านขาคอกจาก VR1 จากมิเตอร์ ดังภาพข้างล่าง



5.9 สังเกตแรงดันที่เพิ่มขึ้นด้านขาคอกจากหม้อแปลงแรงดันสูงจากมิเตอร์ ดังภาพข้างล่าง



5.10 สังเกตกระแสด้านแรงดันสูงที่เพิ่มขึ้นด้านที่ออกจากหม้อแปลงจากมิเตอร์ ดังภาพข้างล่าง



5.11 ปุ่มปรับความเร็วของการปรับขึ้นแรงดัน ในกรณีเริ่มต้นการทดสอบมักปรับให้มีความเร็วต่ำไว้ก่อน ตามมาตรฐานสากลจะปรับแรงดันขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 75% ของแรงดันทดสอบ และค่อยๆ ขึ้นแรงดันไปสู่ค่าแรงดันทดสอบ



6. ข้อแนะนำกรณีไม่สามารถ ON เครื่องได้

ให้สังเกตหลอดไฟดังต่อไปนี้

6.1 ประตู (Door) ว่าเปิดไว้หรือไม่โดยสังเกตจากหลอดไฟถ้าติดแสดงว่าเปิดประตูอยู่ ดังภาพข้างล่าง



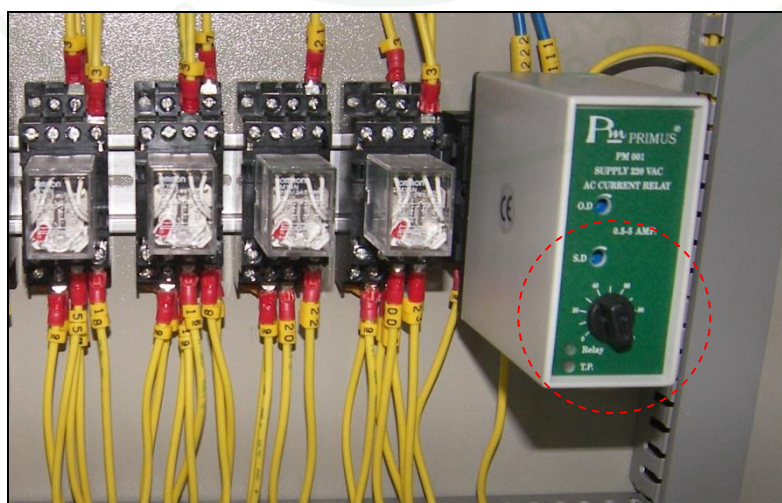
6.2 ตำแหน่งของ variac ไม่อยู่ที่ตำแหน่งต่ำสุดโดยสังเกตจากหลอดไฟถ้าติดแสดงว่าไม่อยู่ในตำแหน่งต่ำสุดให้กดลด variac ลงจนถึงตำแหน่งต่ำสุดโดยสังเกตจากหลอดไฟ ถ้าดังแสดงว่าอยู่ในตำแหน่งต่ำสุด ดังภาพข้างล่าง



6.3 สังเกตว่ากระแสเกินที่กำหนดไว้หรือไม่ (Over current) โดยสังเกตจากหลอดไฟถ้าติด แสดงว่า กระแสเกิน ดังภาพข้างล่าง



6.4 ชุดป้องกันกระแสเกินสามารถที่จะปรับตั้งกระแสได้ในกรณีที่ต้องการจำกัดกระแสก็สามารถทำได้โดยการตั้งปรับเปลี่ยนที่ชุด (Over current) ดังในภาพด้านล่าง โดยมีสเกล 0 - 100%(400 A) หากปรับตั้งที่ 0 ชุด Over current จะเริ่มการทำการตัดวงจรเมื่อกระแสไหลออกจาก Variac ถึง 40 A เหมาะสำหรับการทดสอบ Flashover ลูกถ้วย แต่หากเป็นการทดสอบกระแสสูงเช่น หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ ให้ปรับตั้งไปอยู่ระหว่าง 40% ถึง 50% เพื่อจำกัดกระแสไม่ให้เกิน 200 A และเป็นการป้องกันตัว Variac, VR1 ไม่ให้รับกระแสสูงเกินไป (Rated Current ของ Variac อยู่ที่ 275 A)



7. การปรับตั้งเพื่อจำค่าสูงสุดก่อนเกิด Breakdown

บนตู้ชดควบคุมจะมีมิเตอร์อยู่ 3 ตัวที่สามารถจำค่าสูงสุดก่อนเกิด Breakdown ได้คือ มิเตอร์แรงดันด้านแรงสูง (Voltage (High Side)) มิเตอร์กระแสด้านแรงต่ำและแรงสูง (Current (Low Side) and Current (High Side)) การปรับตั้งเพื่อจำค่าสูงสุดก่อนเกิด Breakdown สามารถทำได้ดังนี้



จะต้องกดปุ่ม DSP ตามรูปด้านบน ให้แผงหน้าปัดบน ตัวมิเตอร์แสดง “Max” ด้านมุมบนซ้ายของตัวมิเตอร์ ตามรูปด้านล่าง มิเตอร์จะแสดงค่า Max ที่เคยได้ทดสอบไว้ขึ้น จะต้องไปทำการลบค่า Max เดิมก่อน โดยการกดปุ่ม F1 ตามรูปด้านล่าง แล้วตัวมิเตอร์จะแสดงค่า RESET แสดงว่าได้ลบค่า Max เดิมแล้ว แล้วจึง กดปุ่ม DSP อีกครั้งเพื่อให้ “Max” ด้านมุมบนซ้ายของตัวมิเตอร์หายไป



ต่อจากนั้นจึงทำการทดสอบจนเกิด Breakdown ตัวมิเตอร์จะจำค่าแรงดันสูงสุดหรือค่ากระแสสูงสุดก่อนเกิด Breakdown ไว้ เพื่อให้มิเตอร์แสดงค่าดังกล่าว ให้กดปุ่ม DSP อีกครั้ง ให้มิเตอร์แสดง “Max” ด้านมุมบนซ้ายของตัวมิเตอร์ และแสดงค่าแรงดันสูงสุด หรือค่ากระแสสูงสุดบนตัวมิเตอร์

เมื่อต้องการทดสอบในครั้งต่อไป จะต้องไปทำการลบค่า Max เดิมก่อน โดยการกดปุ่ม F1 ตามรูปด้านล่าง แล้วตัวมิเตอร์จะแสดงค่า RESET แสดงว่าได้ลบค่า Max เดิมแล้ว แล้วจึงทำการทดสอบในครั้งต่อไป



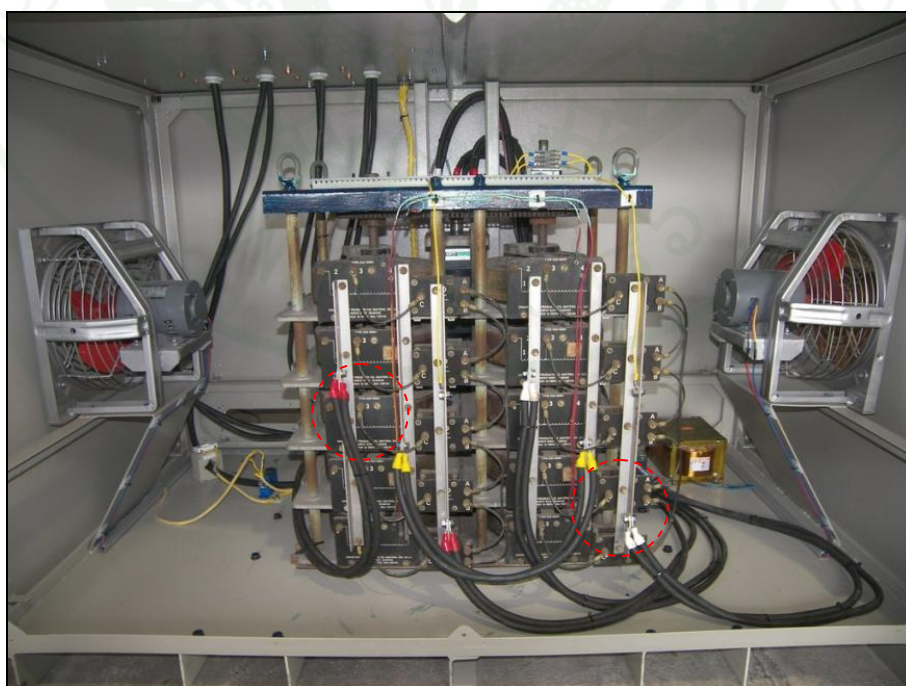
ความแตกต่างระหว่าง ตัวมิเตอร์ที่ไม่แสดง “Max” ด้านมุมบนซ้ายของตัวมิเตอร์ และมิเตอร์ที่แสดง “Max” ด้านมุมบนซ้ายของตัวมิเตอร์ คือ หากไม่แสดง “Max” ด้านมุมบนซ้ายของตัวมิเตอร์ มิเตอร์จะทำการวัดและแสดงค่าแรงดัน หรือ กระแสในขณะที่วัดนั้น หากแสดง “Max” ด้านมุมบนซ้ายของตัวมิเตอร์ มิเตอร์จะแสดงค่าแรงดันสูงสุด หรือ ค่ากระแสสูงสุด ที่ได้เคยทดสอบไปแล้ว หรือ อยู่ระหว่างการทดสอบนั้น

8. การบำรุงรักษา

8.1 เมื่อใช้งานไปจนครบทุก 6 เดือนควรมีการตรวจสอบน็อตที่บริเวณจุดเข้าสายของ Main Magnetic เนื่องจากว่าเมื่อใช้ไปนานๆ น็อตอาจจะคลายออกได้ เนื่องจากการสั่นสะเทือน และความร้อน ซึ่งถ้าไม่มีการบำรุงรักษาจะทำให้เกิดความร้อนบริเวณจุดดังกล่าว ทำให้เกิดความเสียหายได้



8.2 ควรจะมีการตรวจสอบน็อตที่บริเวณจุดเข้าสายของ Variac เนื่องจากว่าเมื่อใช้ไปนานๆ น็อตอาจจะคลายออกได้ เนื่องจากการสั่นสะเทือน และความร้อน ซึ่งถ้าไม่มีการบำรุงรักษาจะทำให้เกิดความร้อนบริเวณจุดดังกล่าว ทำให้เกิดความเสียหายได้



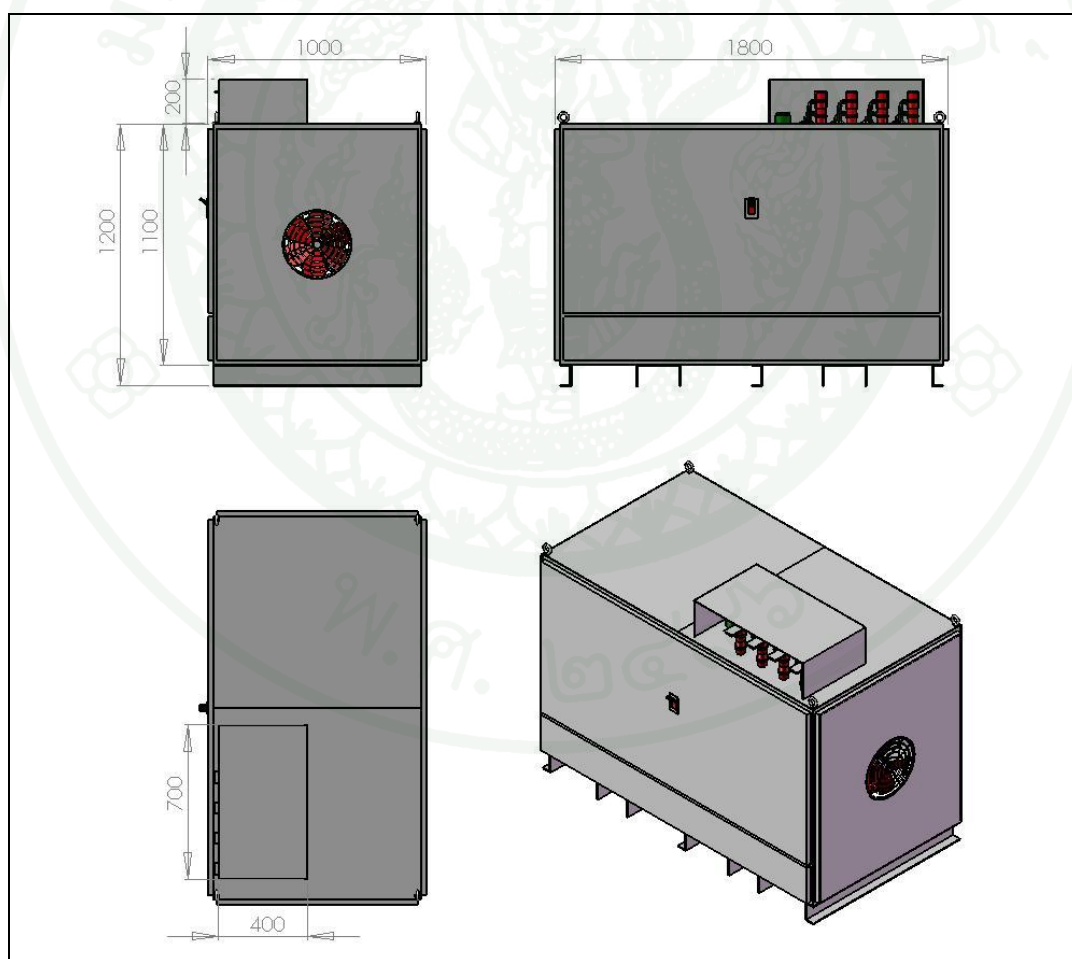
9. ข้อควรปฏิบัติในการทดสอบไฟฟ้าแรงสูง

9.1 เมื่อต้องการหยุดการทำงานให้กดปุ่ม “EMERGENCY” บิดสวิตช์กุญแจไปที่ “OFF” ที่สถานะนี้แมกเนติกซ์คอนแทคเตอร์จะตัดวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไปยังหม้อแปลงปรับแรงดัน VR1 จากนั้นให้นำตะขอกาวดีไปวางไว้ที่ปลายขั้วปลอกฉนวนนำสายไฟของแรงดันสูง TR1

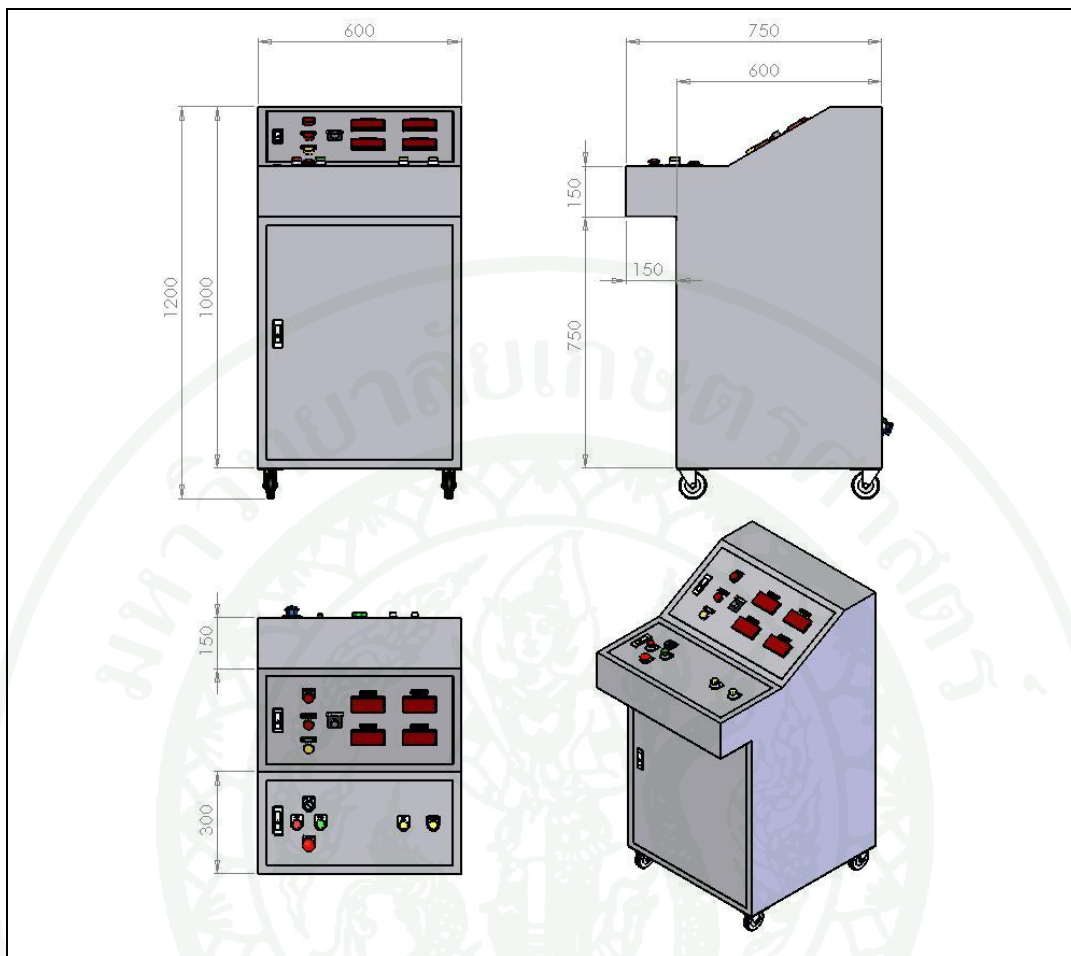
9.2 ขณะทำการทดสอบมือที่ไม่ใช้ในการควบคุมการป้อนแรงดัน ควรอยู่ที่ปุ่ม “EMERGENCY” เสมอ เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินจะสามารถตัดวงจรได้อย่างทันทีทันใด

9.3 กราวด์ด้วยตะขอกาวดีทุกครั้งก่อนการสัมผัสอุปกรณ์ในห้องทดสอบไฟฟ้าแรงสูง !!!

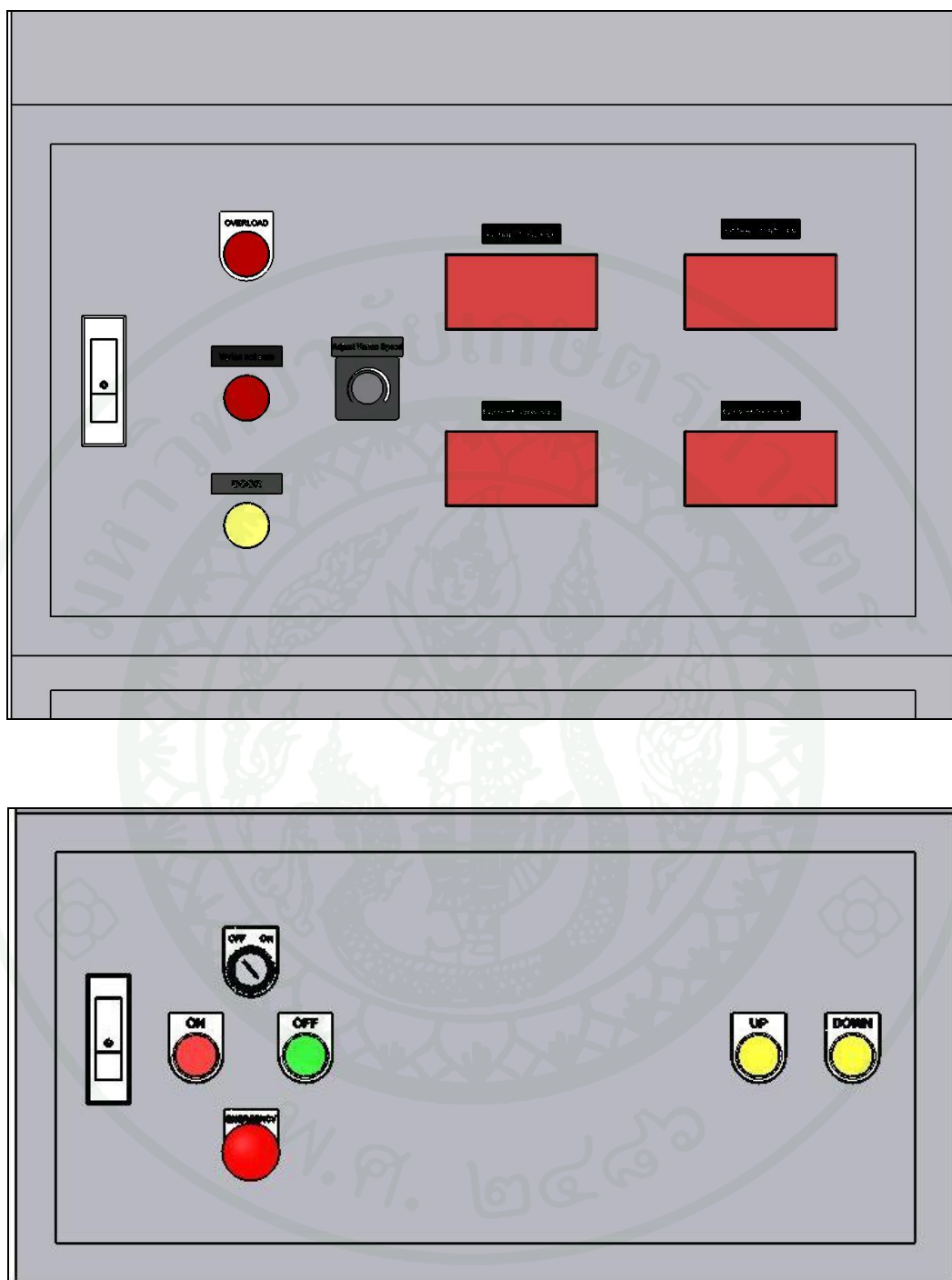
10. แบบอุปกรณ์เครื่องควบคุมหม้อแปลงทดสอบแรงดันกระแสลับ 150 kV



ภาพผนวกที่ จ6 ภาพแบบตู้ Variac



ภาพผนวกที่ ๗ ภาพแบบตู้ควบคุม



ภาพผนวกที่ จ8 แสดงตำแหน่งปุ่มควบคุม ไฟแสดงสถานะการทำงาน และมิเตอร์ต่าง ๆ



ภาคผนวก จ

โครงการวิจัยการจัดสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง (Tesla Transformer)

โครงการวิจัยการจัดสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง (Tesla Transformer)

1. ทฤษฎีพื้นฐานการสร้างแรงดันสูงความถี่สูง

ไฟฟ้าดับสามารถเกิดขึ้นได้จากสาเหตุใหญ่สองประการคือ อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบที่บกพร่องหรือการจัดการระบบไฟฟ้าที่ผิดพลาด แต่การจัดการระบบไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพต้องมีพื้นฐานมาจากการที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบมีความคงทนและเชื่อถือได้ เพราะหากอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบไม่มีความคงทนหรือเชื่อถือไม่ได้ เราจะไม่สามารถทำให้การจัดการระบบไฟฟ้ามีประสิทธิภาพที่ดีได้ ดังนั้นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะนำไปติดตั้งในระบบไฟฟ้าต้องผ่านการทดสอบตามมาตรฐานอย่างเข้มงวด รวมทั้งผู้ที่ทำการทดสอบ (test engineer) หรือผู้ที่สังเกตการทดสอบ (witness) จึงควรมีทักษะและความเข้าใจในการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทต่างๆอย่างพอเพียง

จากการทดสอบประจำ (Routine Test) ของลูกถ้วยแบบต่างๆ ตาม มาตรฐาน มอก . และ ANSI C29.1-1988(R2002) กำหนดให้ลูกถ้วยฉนวนประเภท ลูกถ้วยก้านตรง (56-2, 56-3 และ 56-4), ลูกถ้วยแขวน (52-1, 52-2, 52-3, 52-4 และ 52-8), ลูกถ้วยแท่งก้านตรง (Pin-post insulator) (56/57-2, 56/57-3 และ 56/57-4), ลูกถ้วยแท่ง (57-2, 57-3 และ 57-4) ต้องผ่านการทดสอบด้วยแรงดันสูงความถี่สูง ณ ขณะที่ผลิตเสร็จเป็นการทดสอบประจำมาแล้วก็ตาม แต่การขนส่งหรือขณะติดตั้งอาจทำให้ลูกถ้วยเกิดการกระทบ และทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้ ดังนั้นถ้าหากเป็นไปได้ การตรวจสอบลูกถ้วยฉนวนด้วยแรงดันสูงความถี่สูงก่อนติดตั้งอีกครั้ง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อเป็นการเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าให้มากขึ้นนั่นเอง

การทดสอบประจำทางไฟฟ้าเป็นการทดสอบวาวไฟตามผิวบนลูกถ้วยฉนวนตามมาตรฐาน ANSI C29.1-1988(R2002) อาจทดสอบได้ด้วยความถี่ต่ำหรือทดสอบด้วยความถี่สูงอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

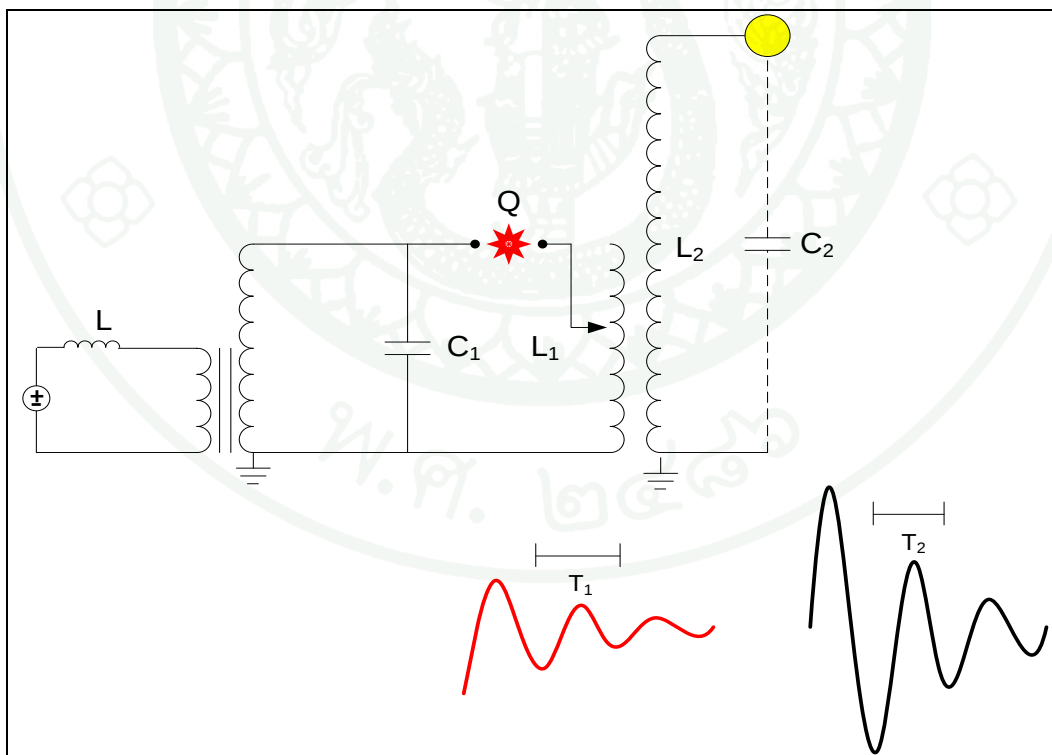
1) การทดสอบด้วยความถี่สูง มี 2 วิธี คือ

1.1) วิธีที่ 1 คือ การป้อนแรงดันสูงความถี่สูงแบบมีการหน่วง (damped high frequency voltage) ที่มีความถี่ประมาณ 200 kHz กับลูกถ้วยฉนวนจนทำให้เกิดการวาวไฟตามผิวอย่างต่อเนื่องบนลูกถ้วยฉนวนเป็นเวลาประมาณ 3 ถึง 5 วินาที

1.2) วิธีที่ 2 คือ การป้อนแรงดันสูงความถี่สูงกว่า 100 kHz ทับซ้อนบนแรงดันความถี่ต่ำกับลูกถ้วยฉนวนจนทำให้เกิดการวาวไฟตามผิวอย่างต่อเนื่องบนลูกถ้วยฉนวนเป็นเวลาประมาณ 3 ถึง 5 วินาที

2) การทดสอบด้วยความถี่ต่ำ คือ การป้อนแรงดันสูงความถี่ต่ำกับลูกถ้วยฉนวนที่สภาวะแห้ง จนทำให้เกิดการวาวไฟตามผิวอย่างต่อเนื่องบนลูกถ้วยฉนวนเป็นเวลาประมาณ 3 ถึง 5 นาที

เครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง อาศัยหลักการเรโซแนนซ์คาบเกี่ยว (coupling resonance) ระหว่างวงจรภาคปฐมภูมิที่ประกอบด้วยขดลวดเหนี่ยวนำปฐมภูมิ L_1 และตัวเก็บประจุแรงสูง C_1 และวงจรภาคทุติยภูมิที่ประกอบด้วยขดลวดเหนี่ยวนำทุติยภูมิ L_2 และตัวเก็บประจุจากวัสดุทดสอบ C_2 โดยวงจรสมมูลแสดงตามภาพผนวกที่ ๑ 1 สภาวะที่จูนกันในค่าความถี่ที่เหมาะสมระหว่างวงจรทั้งสองภาคคือคาบเวลาด้านปฐมภูมิ T_1 เท่ากับคาบเวลาด้านทุติยภูมิ T_2 จะทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และเป็นจุดทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันนี้



ภาพผนวกที่ ๑1 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง โดย L คือ ตัวเหนี่ยวนำจำกัด กระแสด้านแรงดันต่ำ และ Q คือ แกปดับอาร์ค

1.1 หลักการทำงานของวงจรสร้างแรงดันสูงความถี่สูง

การทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูงเริ่มต้นจากการอัดประจุให้ตัวเก็บประจุ C_1 ด้วยแหล่งจ่ายแรงดันสูงไม่ว่าจะเป็น DC หรือ AC เมื่อแรงดันของประจุใน C_1 มีค่ามากพอที่จะเกิดการเบรกดาวน์ข้ามช่องแกปดับอาร์คที่ทำหน้าที่คล้ายไกส วิตช์ ตัดต่อวงจรให้เกิดการถ่ายเทประจุระหว่าง C_1 กับ L_1 อันจะเป็นผลให้เกิดการเหนี่ยวนำไปยังชุดขดลวด L_2

ขดลวดเหนี่ยวนำปฐมภูมิ L_1 และขดเหนี่ยวนำทุติยภูมิ L_2 เป็นขดลวดที่มีลักษณะคล้ายกับหม้อแปลง มีการจัดวางซ้อนกันแน่น แต่จุดที่แตกต่างก็คือขดลวดเตสลาใช้แกนอากาศ ในขณะที่หม้อแปลงทั่วไปใช้แกนเหล็ก เนื่องจากผลของความถี่สูง

ณ จุดทำงานจะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์คาบเกี่ยว คาบเวลาและความถี่ในภาคปฐมภูมิ (f_1) จะมีค่าใกล้เคียงคาบเวลาและความถี่ในภาคทุติยภูมิ (f_2) กล่าวคือ

$$T_1 = T_2$$

$$f_1 = f_2$$

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}}$$

$$L_1C_1 = L_2C_2$$

1.2 การปรับจูนวงจรตามค่าความจุไฟฟ้าของลูกถ้วยฉนวน

ลูกถ้วยฉนวนที่นำมาทดสอบนั้นมีค่าความจุไฟฟ้าเปลี่ยนไปตามลักษณะโครงสร้างแต่ละประเภทของลูกถ้วย ค่าความจุไฟฟ้าของลูกถ้วยฉนวน จะมีค่าสูงสุด และค่าความจุไฟฟ้าของลูกถ้วยอื่นๆ ที่เหลือมีค่าใกล้เคียงกัน กล่าวโดยสรุปค่า C_2 จะมีค่าเปลี่ยนแปลง ในขณะที่ L_2 และ C_1 มีค่าคงที่

จากสมการ

$$L_1 C_1 = L_2 C_2$$

นั่นคือ

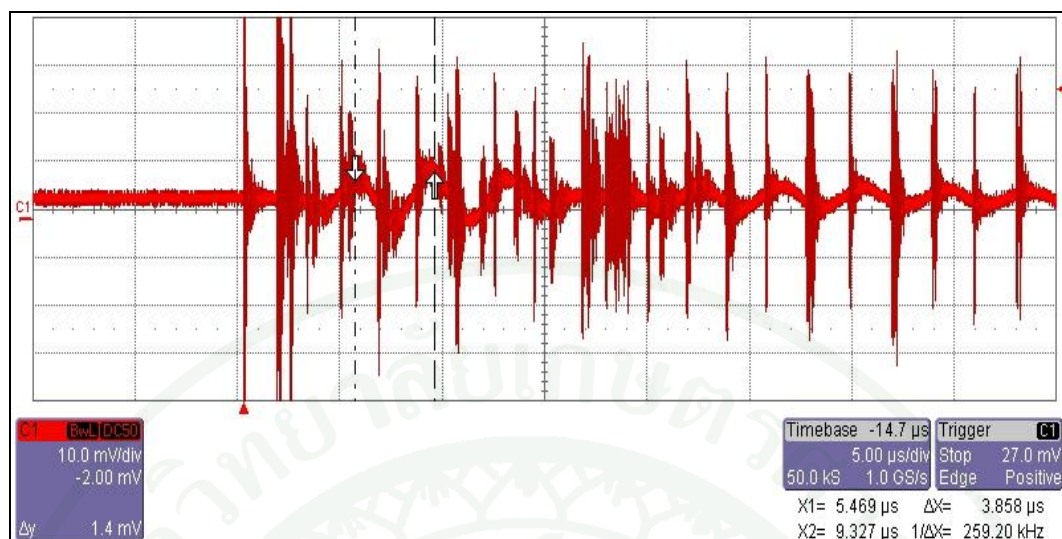
$$C_2 \propto L_1$$

หรือกล่าวอีกนัยว่า เราสามารถปรับจูนตำแหน่งของขดลวด L_1 เพื่อทำให้เกิดสภาวะเรโซแนนซ์คาบเกี่ยวในวงจรทดสอบนั่นเอง

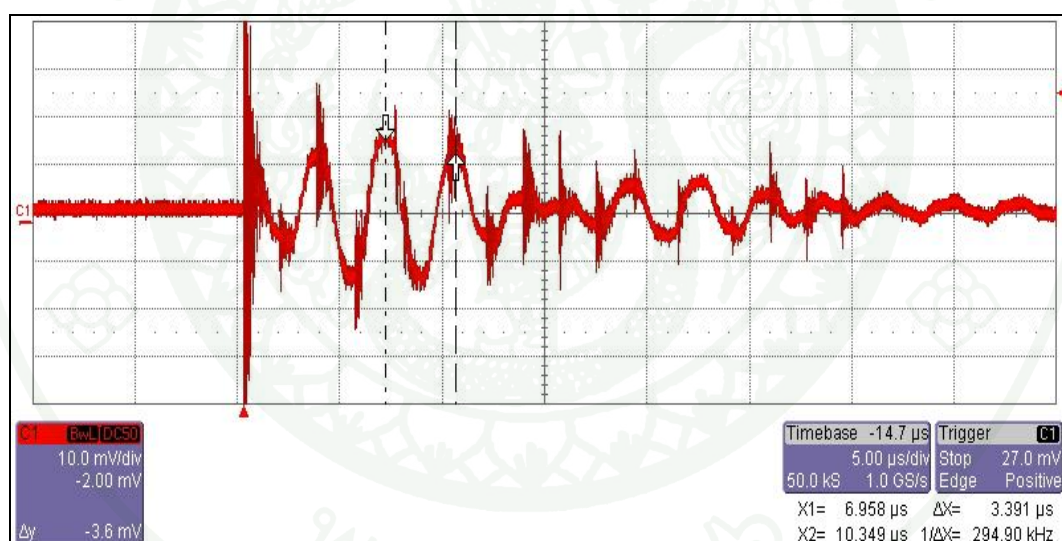
เมื่อนำหลักการดังกล่าวมาประกอบสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง ตามภาพผนวกที่ ๓ ซึ่งจากการทดสอบกับลูกถ้วยหลายๆ แบบได้ความถี่ตามภาพผนวกที่ ๓



ภาพผนวกที่ ๓ เครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง

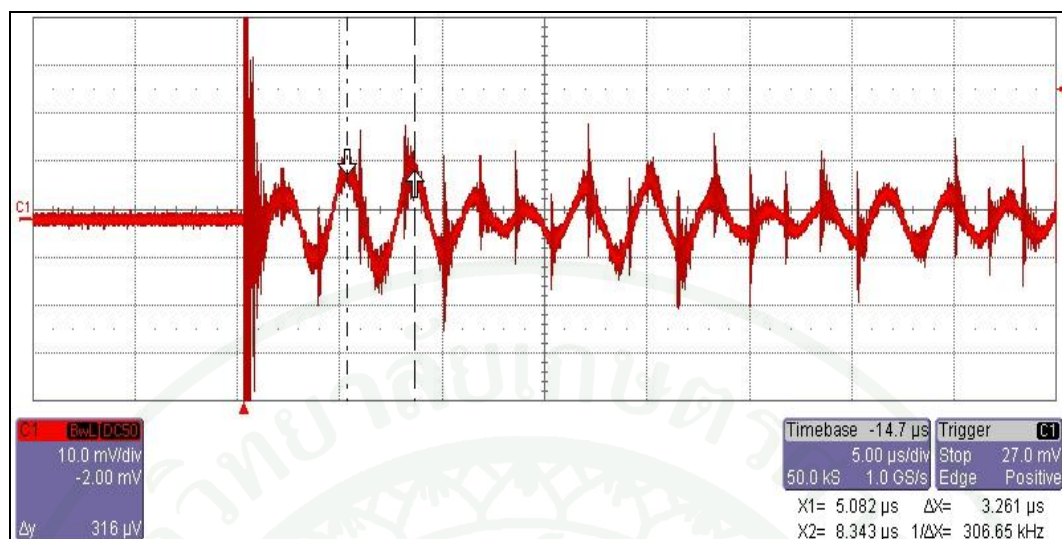


ก) ความถี่จากการทดสอบลูกถ้วย 52-1

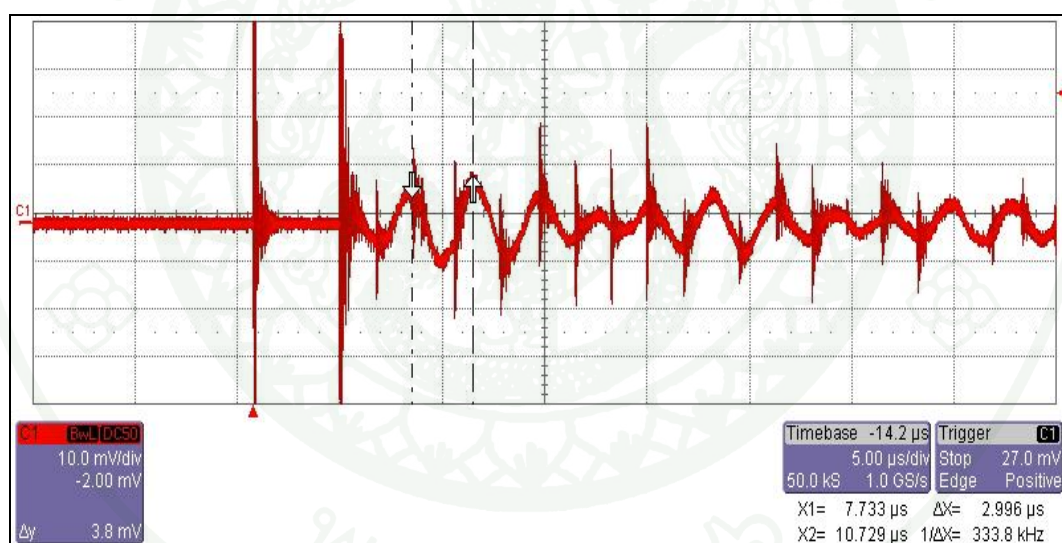


ข) ความถี่จากการทดสอบลูกถ้วย 56-3

ภาพผนวกที่ ๓ ความถี่ของกระแสจากการทดสอบลูกถ้วยหลายๆ แบบ



ค) ความถี่จากการทดสอบลูกถ้วย 57-3



ง) ความถี่จากการทดสอบลูกถ้วย 56/57-2

ภาพผนวกที่ ๓ ความถี่ของกระแสจากการทดสอบลูกถ้วยหลายๆ แบบ (ต่อ)

2. การออกแบบเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง

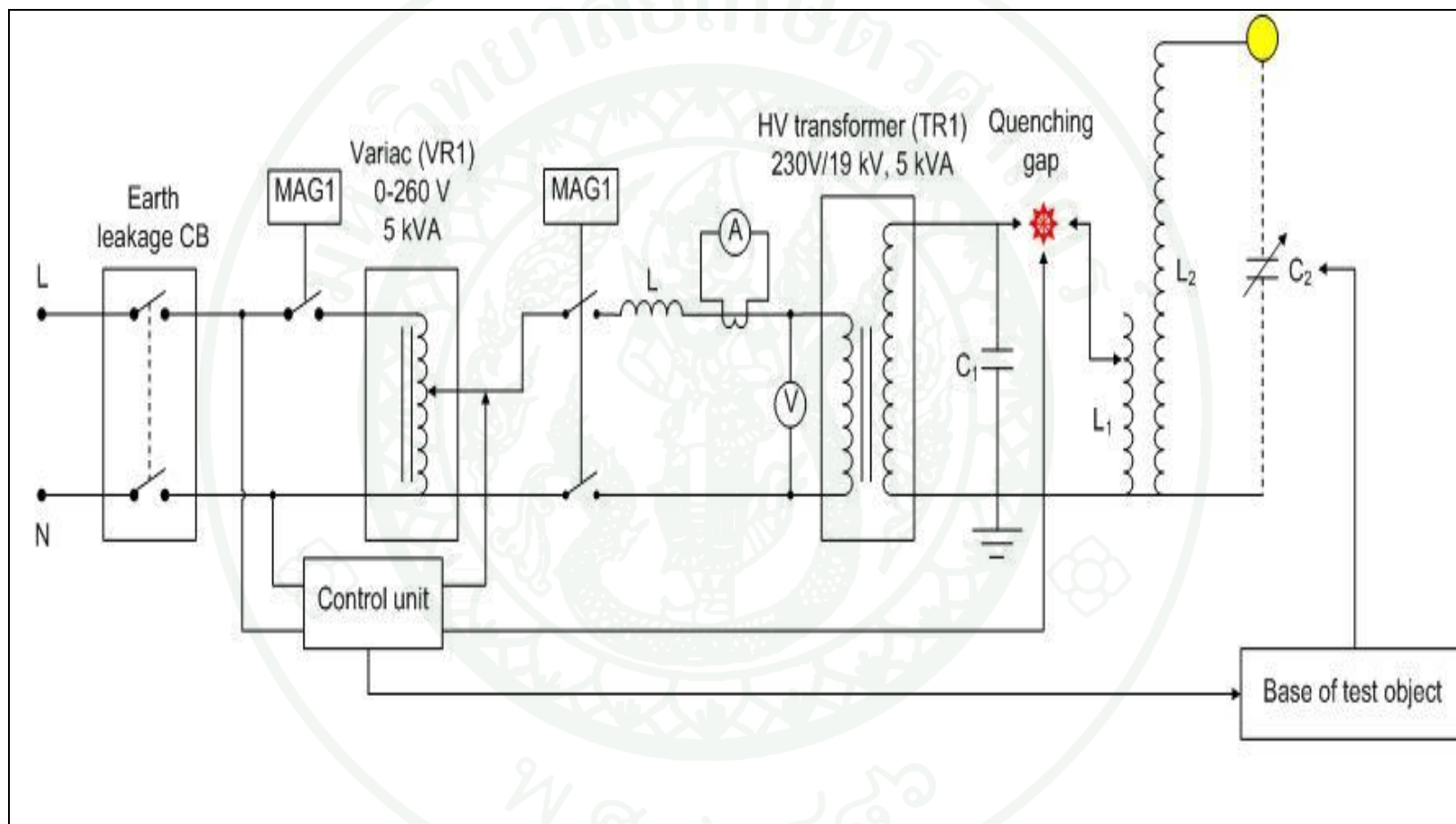
ในการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง ส่วนย่อยที่ทำหน้าที่หลักในการทดสอบ คือ วงจรสร้างแรงดันสูงความถี่สูง ส่วนแสดงผลค่าทางไฟฟ้า วงจรควบคุมการทำงานและแสดงค่าการทำงาน และฐานวางลูกถ้วย โดยทั้งสี่ส่วนจะทำงานร่วมกันเพื่อควบคุม การทดสอบให้เป็นไปตามที่ผู้ใช้งานต้องการ

2.1 วงจรสร้างแรงดันสูงความถี่สูง

วงจรนี้ประกอบด้วย หม้อแปลงปรับแรงดัน (VR1) พิกัด 220/0-260 V 5 kVA หม้อแปลงแรงดันสูง (TR1) พิกัด 220 V/19 kV 5 kVA ตัวเก็บประจุ (C_1) ขนาด 22 nF 48 kV_{dc} ขดลวดเหนี่ยวนำปฐมภูมิ (L_1) ขนาด 1-30 μ H และขดลวดเหนี่ยวนำทุติยภูมิ (L_2) ขนาด 5.5 mH วงจรนี้ทำงานโดยรับแรงดันกระแสสลับ 220 V 50 Hz และแปลงแรงดันไปสู่ระดับแรงดันที่สูงขึ้น (ประมาณ 10 kV ถึง 19 kV) โดยผ่าน VR1 และ TR1 ระดับแรงดันสูงนี้จะใช้สำหรับอัดประจุ C_1 ที่ต่ออยู่กับแกปดับอาร์ค (Quenching gap) ซึ่งทำหน้าที่ต่อวงจรเพื่อส่งพลังงานไปยัง L_1 และตัดวงจรเพื่ออัดประจุ C_1 ที่รอบต่อไป ขณะที่แกปดับอาร์คต่อวงจรส่งพลังงานไปยัง L_1 เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันขึ้นบน L_2 เกิดแรงดันสูงความถี่สูงขึ้นบนวัสดุทดสอบที่มีความจุ (C_2) โดยที่ตัวเหนี่ยวนำจำกัดกระแสต้านแรงดันต่ำ (L) ขนาด 15 mH ทำหน้าที่จำกัดกระแสลัดวงจรของ VR1 และ TR1 ให้มีกระแสขณะที่แกปดับอาร์คทำงานต่อวงจรเกิดกระแสลัดวงจรนั้นใกล้เคียงค่ากระแสพิกัดของหม้อแปลงทดสอบ ตาม ภาพผนวกที่ ๓4 ส่วนความถี่ของแรงดันที่เกิดขึ้นเป็นไปตามหลักการที่กล่าวไว้ใน ข้อที่ 1 โดยวงจรสร้างแรงดันสูงความถี่สูงนี้จะถูกควบคุมด้วยวงจรควบคุมตามภาพผนวกที่ ๓4

2.2 ส่วนแสดงผลค่าทางไฟฟ้า

ส่วนแสดงผลค่าทางไฟฟ้าประกอบด้วยหม้อแปลงกระแส พิกัด 30/5 A และมิเตอร์กระแส และมิเตอร์แรงดัน พิกัด 300 V ต่ออยู่ด้านหลังถัดจากตัวเหนี่ยวนำ L ที่ต่ออยู่ด้านขาออกของหม้อแปลงปรับแรงดัน VR1 ตามภาพผนวกที่ ๓4

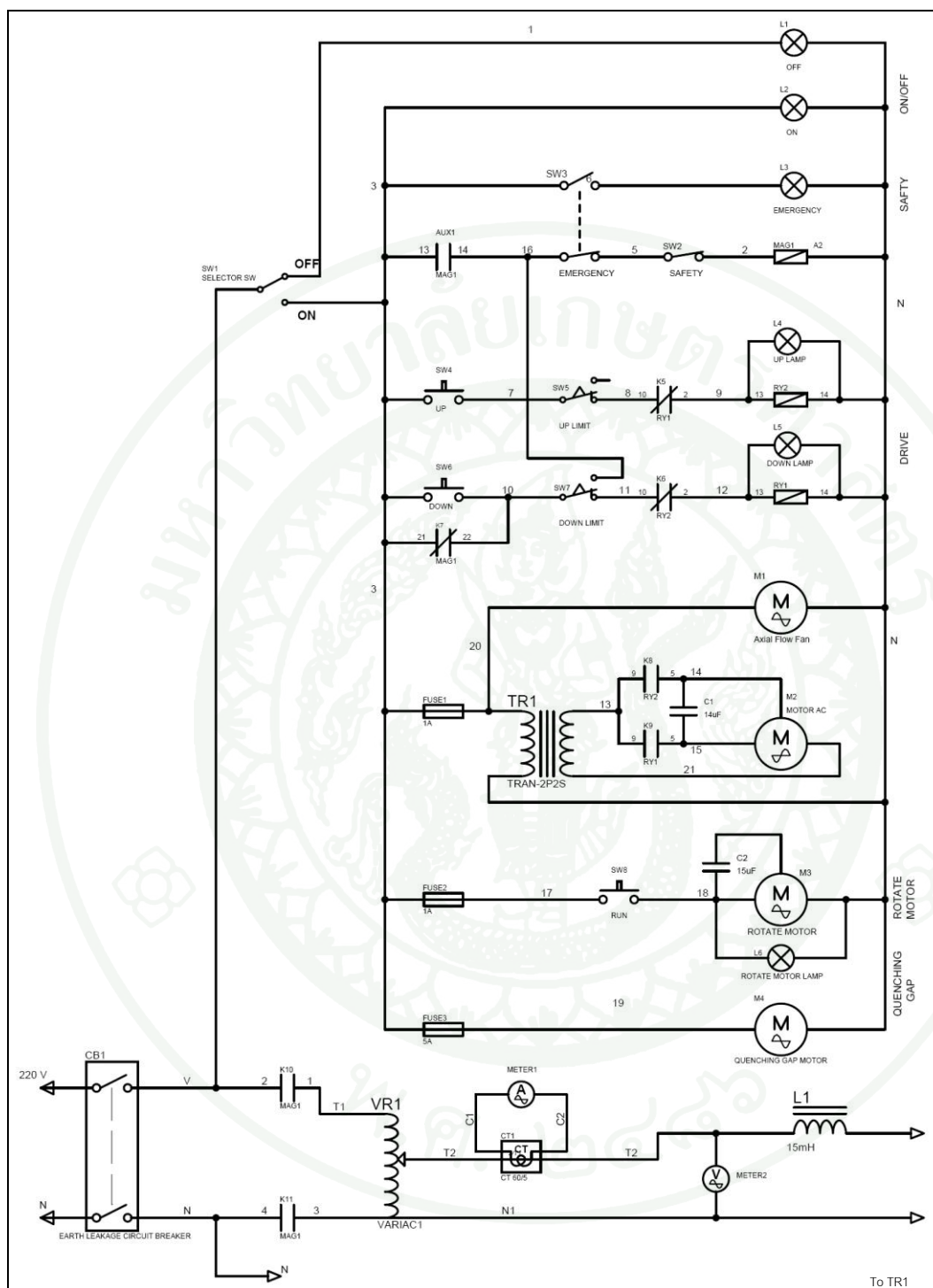


ภาพผนวกที่ ๑4 วงจรสร้างแรงดันสูงความถี่สูง

2.3 วงจรควบคุม

วงจรควบคุมทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง โดยรับคำสั่งการทำงานจากส่วนควบคุมการทำงานเพื่อควบคุมการทำงานของวงจรกำลัง และแสดงสถานะการทำงานผ่านทางส่วนแสดงสถานะการทำงาน โดยวงจรควบคุมสามารถแยกได้เป็น 5 วงจรย่อย ตามภาพผนวกที่ ๓.5 ได้แก่

- 1) วงจรแสดงสถานะเปิดหรือปิด(ON/OFF)
- 2) วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ช่องแก๊ปดับอาร์ค (QUENCHING GAP)
- 3) วงจรควบคุมมอเตอร์ของฐานวางลูกถ้วย (ROTATE MOTOR)
- 4) วงจรควบคุมการทำงานของหม้อแปลงปรับแรงดัน VR1 (DRIVE)
- 5) วงจรความปลอดภัย (SAFETY)



ภาพผนวกที่ ๕ วงจรควบคุม

2.4 ฐานวางลูกถ้วย

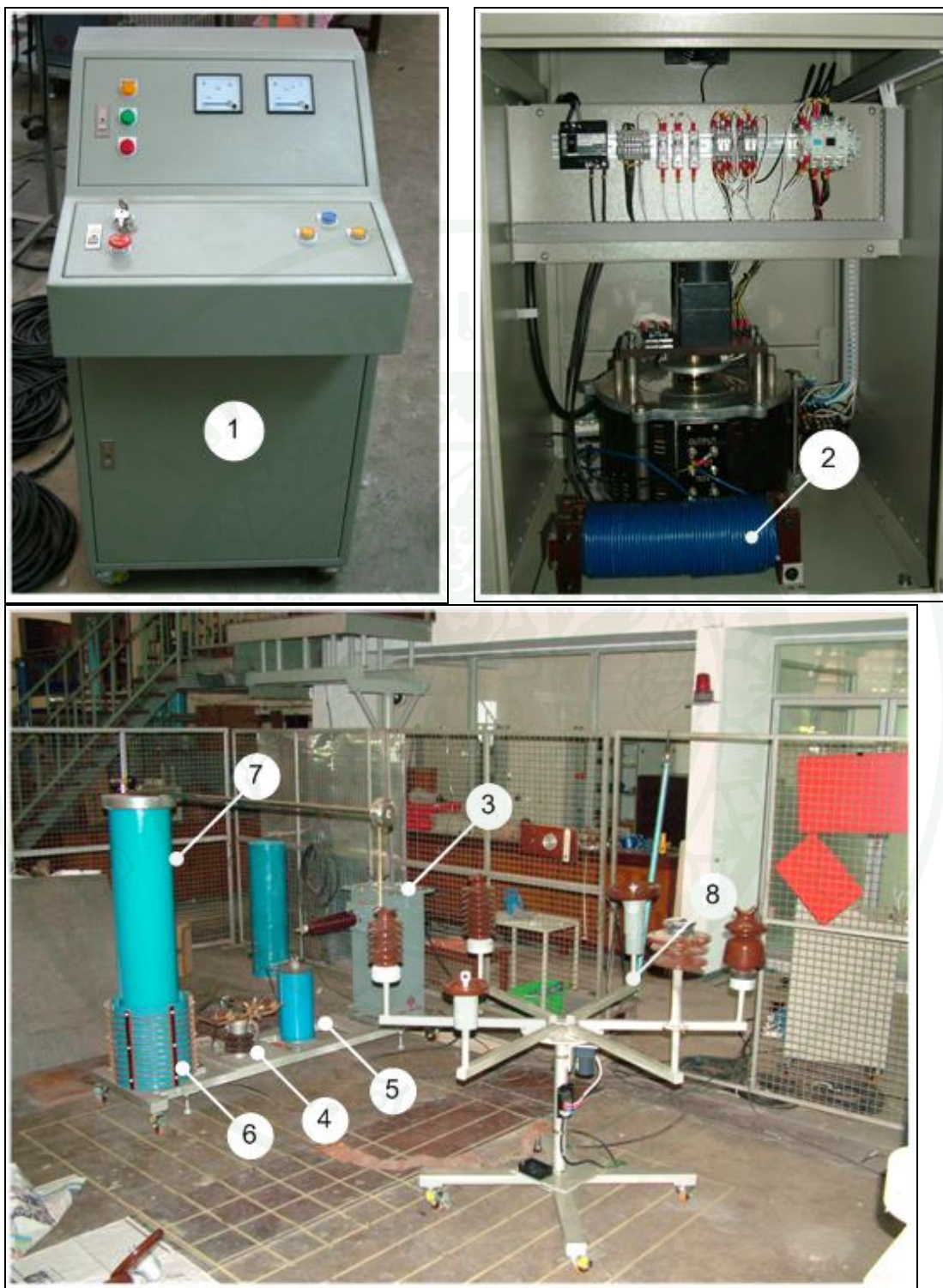
ฐานวางลูกถ้วยทำจากโครงสร้างเหล็กตีเชื่อมเตอร์ที่ถูกควบคุมด้วยวงจรควบคุมตามภาพผนวกที่ ฅ5 และมีที่วางลูกถ้วยได้ทั้งหมด 6 ลูก

3. ข้อกำหนดของอุปกรณ์

เครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูงที่พัฒนาขึ้นมีข้อกำหนดอุปกรณ์โดยสรุปตาม ภาพผนวกที่ ฅ6 และตารางผนวกที่ ฅ1 ดังนี้

ตารางผนวกที่ ฅ1 สรุปข้อกำหนดอุปกรณ์เครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง

รายการอุปกรณ์	พิกัด
1. ชุดปรับปรับแรงดัน	5 kVA 220 V/0-260 V
2. ตัวเหนี่ยวนำจำกัดกระแสต้านแรงดันต่ำ (L)	15 mH 220 V
3. หม้อแปลงแรงดันสูง (TR1)	5 kVA 230 V/19 kV
4. ชุดเก็บประจุแบบกักเก็บ 6 แฉก	1450 รอบต่อนาที
5. ตัวเก็บประจุแรงสูง (C_1)	22 nF 48 kV _{dc}
6. ขดลวดเหนี่ยวนำปฐมภูมิ (L_1)	1-30 μ H (1-11 รอบ)
7. ขดลวดเหนี่ยวนำทุติยภูมิ (L_2)	5.5 mH
8. ฐานวางลูกถ้วยแบบหมุนได้แบบ 6 แฉก	1 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๓6 เครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง

4. การใช้งานเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง

ในการใช้งานเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง ผู้ปฏิบัติงานต้องตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ และต้องปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

1) จัดเรียงอุปกรณ์ต่างๆ ตาม ภาพผนวกที่ น7 ต่อกราวด์ที่ฐานเหล็กชุดเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง ต่อกราวด์ที่ฐานรองรับลูกถ้วย ต่อกราวด์ที่ชุดควบคุม และต่อกราวด์ของตะขอกราวด์พร้อมวางตะขอกราวด์ไว้ที่ปลายข้อปลอกฉนวนนำสายไฟของหม้อแรงดันสูง TR1



ภาพผนวกที่ น7 การจัดเรียงเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูงและฐานรองรับลูกถ้วย

2) ต่อปลั๊กเพาเวอร์ (power plug) ที่ด้านรับแรงดันเข้าที่แหล่งจ่ายแรงดันและที่ชุดควบคุม “AC_IN” ตามภาพผนวกที่ น8 เพื่อรับแรงดันขาเข้าจากแหล่งจ่ายเข้าหม้อแปลงปรับแรงดัน VR1



ภาพผนวกที่ ๓๘ การต่อปลั๊กเพาเวอร์ที่ตู้ชุดควบคุม

3) ต่อปลั๊กเพาเวอร์ที่ด้านแรงดันขาออกที่ตู้ชุดควบคุม “AC_OUT” และต่อสายทางปลาเข้าที่ด้านแรงดันต้นตำของหม้อแปลงทดสอบ ตาม ภาพผนวกที่ ๓๘ เพื่อรับแรงดันจากหม้อแปลงปรับแรงดันและจ่ายแรงดันให้กับหม้อแปลงแรงสูง TR1

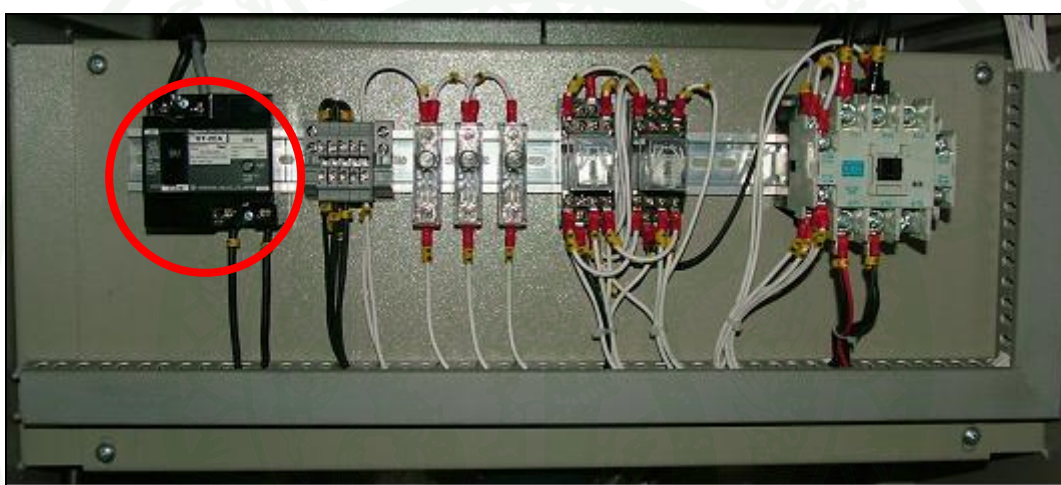
4) ต่อปลั๊กเพาเวอร์ที่ด้านแรงดันขาออกที่ตู้ชุดควบคุม “Q.G.” และต่อสายเข้ากับขั้วต่อที่ฐานหลักของเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง ตาม ภาพผนวกที่ ๓๘ และ ๓๙ เพื่อจ่ายแรงดันให้กับแกปดับอาร์ค



ภาพผนวกที่ ๓๙ ขั้วต่อจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ของแกปดับอาร์ค

5) ต่อปลั๊กเพาเวอร์ที่ด้านแรงดันขาออกที่ตู้ชุดควบคุม “INSULATOR” ตามภาพผนวกที่ ๗8 เพื่อจ่ายแรงดันให้กับมอเตอร์หมุนฐานรองรับลูกถ้วย

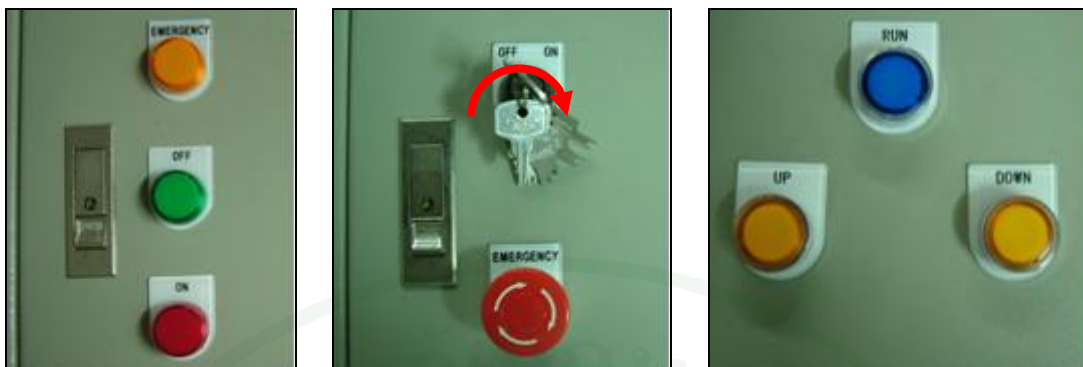
6) นำตะขอกาวดึงออกจากปลายข้อปลอกฉนวนนำสายไฟ จากนั้นเปิดเบรกเกอร์ภายในตู้ชุดควบคุมตาม ภาพผนวกที่ ๗10 และบิดสวิตช์กุญแจบนแผงควบคุมของตู้ชุดควบคุมไปที่ “ON” ตามภาพผนวกที่ ๗11 และ ๗12 ที่สภาวะนี้อุปกรณ์อยู่ที่สภาวะพร้อมใช้งาน



ภาพผนวกที่ ๗10 เบรกเกอร์แบบตัดไฟรั่ว (earth leakage circuit breaker) ที่อยู่ภายในตู้ชุดควบคุม



ภาพผนวกที่ ๗11 แผงชุดควบคุม



ภาพผนวกที่ ๑๒ แผงชุดควบคุม (ขยาย)

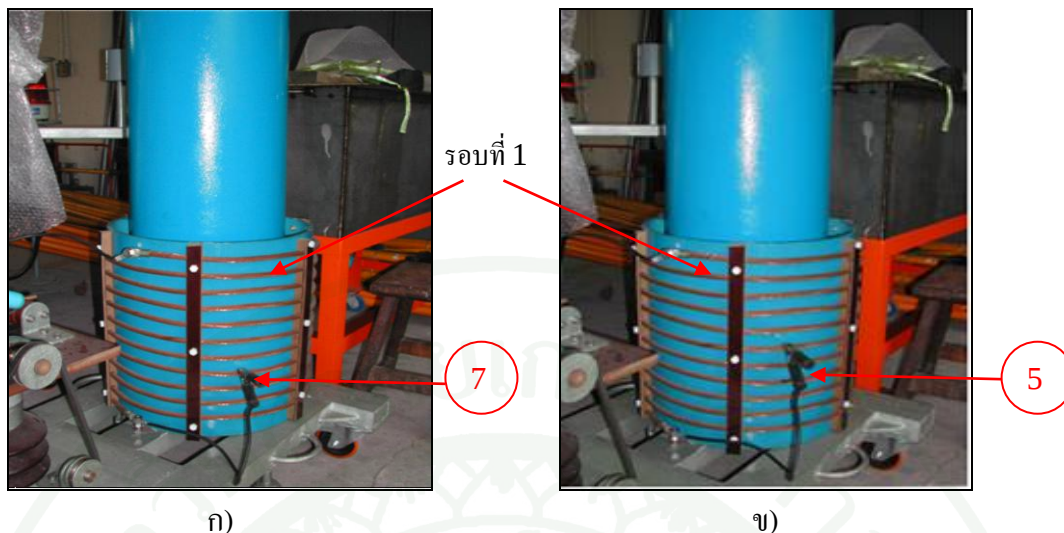
7) บิดสวิตช์ “EMERGENCY” ตามภาพผนวกที่ ๑๒ สัญญาณไฟ “EMERGENCY” จะดับลง และสัญญาณไฟ “ON” จะติด ขณะนี้แมกเนติกส์คอนแทคเตอร์จะต่อวงจรพร้อมต่อวงจร หม้อแปลงปรับแรงดัน VR1 เข้ากับหม้อแปลงแรงดันสูง TR1 พร้อมกับแกปดับอาร์คหมุน

8) กดปุ่ม “UP” เพื่อเพิ่มแรงดันจนเกิดการสปาร์กที่แกปดับอาร์ค พร้อมกับดูค่าแรงดันที่ หน้าปัดแรงดันไม่ให้เกิน 220 V และดูหน้าปัดกระแส (โดยทั่วไปกระแสที่อ่านจะไม่เกิน 10 A)

9) การทดสอบการเกิดวาวไฟตามผิวลูกถ้วยชนิดต่างๆ ให้ทำการปรับจำนวนรอบ ของขดลวดเหนี่ยวนำปฐมภูมิ L_1 ตามตารางผนวกที่ ๑๒ และภาพผนวกที่ ๑๓

ตารางผนวกที่ ๑๒ การปรับจำนวนรอบขดลวดเหนี่ยวนำปฐมภูมิ L_1 เพื่อให้เกิดการวาวไฟตามผิว ลูกถ้วยชนิดต่างๆ

ชนิดลูกถ้วย	จำนวนรอบขดลวด L_1
52-2 52-3 และ 52-8	7 รอบ ตามภาพผนวกที่ ๑๓ ก
56-2 56-3 57-2 57-3 และ 56/57-2	5 รอบ ตามภาพผนวกที่ ๑๓ ข



ภาพผนวกที่ ๑๓ การปรับจำนวนรอบขดลวดเหนี่ยวนำปฐมภูมิ L_1 เพื่อให้เกิดการวาวไฟตามฟิว หลักด้วยชนิดต่างๆ

10) กดปุ่ม “RUN” เพื่อหมุนฐานรองรับลูกถ้วย ลูกถ้วยแต่ละลูกควรปล่อยให้เกิดการวาวไฟตามฟิวเป็นเวลา 3-5 วินาทีแล้วค่อยกดปุ่ม “RUN” หมุนฐานรองรับลูกถ้วยเพื่อทดสอบลูกถ้วยลูกต่อไป

11) เมื่อต้องการหยุดการทำงานให้กดปุ่ม “EMERGENCY” ตามภาพผนวกที่ ๑๑ และ ๑๒ ที่สภาวะนี้จะเป็นการปรับลงแรงดันอัตโนมัติ สัญญาณไฟที่ปุ่ม “DOWN” จะสว่าง รอให้หม้อแปลงปรับแรงดัน VR1 ปรับแรงดันลงเป็นศูนย์และสัญญาณไฟที่ปุ่ม “DOWN” จะดับ ปิดสวิทช์กุญแจไปที่ “OFF” ที่สภาวะนี้แมกเนติกส์คอนแทคเตอร์จะตัดวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไปยังหม้อแปลงปรับแรงดัน VR1 จากนั้นให้นำตะขอกาวดีไปวาง ไว้ที่ปลายขั้วปลอกฉนวนนำสายไฟของแรงดันสูง TR1

12) เมื่อต้องการเริ่มปฏิบัติงานทดสอบใหม่ให้นำตะขอกาวดีออกจากปลายขั้วปลอกฉนวนนำสายไฟ แล้วให้ปฏิบัติเริ่มต้นตามข้อ 7 ไปเรื่อยๆ ตามลำดับอีกครั้ง

หมายเหตุ : แกะปลั๊กอาร์คปรับระยะห่างประมาณ 2.5-3.5 mm เพียงพอแล้วกับการทดสอบวาวไฟตามฟิวลูกถ้วยที่การไฟฟ้าใช้งานในระบบ 24 kV และ 36 kV หากต้องการทดสอบลูกถ้วยชนิดอื่นๆ ควรแจ้งให้ศูนย์เชี่ยวชาญฯ ทราบก่อนการทดสอบทุกครั้งโทรศัพท 02-218-6547

5. การบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง

การบำรุงรักษาและตรวจสอบเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูงแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. การตรวจสอบชุดควบคุม
2. การตรวจสอบเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง
3. การตรวจสอบฐานรองรับมอเตอร์

5.1 การตรวจสอบชุดควบคุม

1) ชุดควบคุมได้รับการออกแบบให้ต่อลงดินด้านข้างตู้ โดยไม่ได้ต่อลงดินผ่านปลั๊กเพาเวอร์ อาจทำการตรวจสอบโดยใช้โอห์มมิเตอร์ทำการตรวจสอบ ณ จุดต่อแท่งกรวดซ์ของอาคารที่เป็นจุดต่อลงดินของเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง กับตัวตู้ชุดควบคุม เพื่อให้เกิดความมั่นใจเรื่องความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

2) เพื่อความปลอดภัยหลอดสัญญาณไฟต่างๆ ควรจะต้องมีการตรวจสอบให้พร้อมก่อนเริ่มต้นใช้งานเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง หลอดสัญญาณไฟทั้งหมดเป็นหลอดไฟที่รับแรงดัน 220 V โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ หลอดสัญญาณไฟแสดงสถานะการทำงาน และหลอดสัญญาณไฟที่ปุ่มกด

2.1) หลอดสัญญาณไฟแสดงสถานะการทำงานประกอบด้วย หลอดสัญญาณไฟ “ON” สีแดง หลอดสัญญาณไฟ “OFF” สีเขียว และหลอดสัญญาณไฟ “EMERGENCY” สีเหลืองแสดงตามภาพผนวกที่ น14

2.2) หลอดสัญญาณไฟที่ปุ่มกดประกอบด้วย ปุ่ม “UP” ปุ่ม “DOWN” และปุ่ม “RUN” เมื่อกดปุ่มเหล่านี้จะต้องมีแสงไฟขึ้นที่ปุ่มด้วยแสดงว่าชุดควบคุมทำงานตามปกติ ซึ่งลักษณะการทำงานเป็นไปตามภาพผนวกที่ น14



ภาพผนวกที่ ๑๑๔ ตำแหน่งหลอดสัญญาณไฟต่างๆ บนชุดควบคุม

5.2 การตรวจสอบเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง

1) เครื่องกำเนิดชุดนี้ได้ออกแบบสำหรับการทดสอบที่สภาพอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย แต่เพื่ออายุการใช้งานที่ยาวนานควรทำความสะอาดปลอกฉนวน นำสายไฟของหม้อแปลง ท่อของขดลวดเหนี่ยวนำ L_1 และ L_2 และท่อของตัวเก็บประจุ C_1 ด้วยแอลกอฮอล์ ทุกครั้งก่อนใช้งาน

2) อุปกรณ์ต่างๆ จะถูกต่อลงดินผ่านฐานเหล็ก ฉะนั้นก่อนเริ่มปฏิบัติงานควรตรวจสอบการว่าอุปกรณ์ทุกตัวได้มีการต่อกับฐานเหล็กอย่างแน่นหนาด้วยน็อตแล้ว รวมทั้งตรวจสอบการต่อลงดินเข้ากับฐานเหล็กด้วย

3) แกปดับอาร์ค บริเวณหัวน็อตทำจากโลหะที่ได้รับการชุบแข็งด้วยทองคำขาว เพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน ก่อนการใช้งานควรทำความสะอาดคราบเขม่าที่เกิดขึ้นจากการอาร์คและตรวจสอบว่ามีการสึกกร่อนจนเสียรูปร่างไปแล้วหรือไม่ หากมีการหลอมละลายจนเสียรูปร่างควรเปลี่ยนหัวน็อตใหม่ เพื่อให้แกปดับอาร์คสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4) หากมีปัญหาเกิดการอาร์คบริเวณก้ามปูสำหรับหนีบเปลี่ยนรอบ L_1 ให้ใช้กระดาษทรายเบอร์ละเอียดขัดทำความสะอาด ผิวทองแดงของ L_1 กับหน้าสัมผัสของก้ามปูเพื่อให้การสัมผัสทางไฟฟ้าดีขึ้น

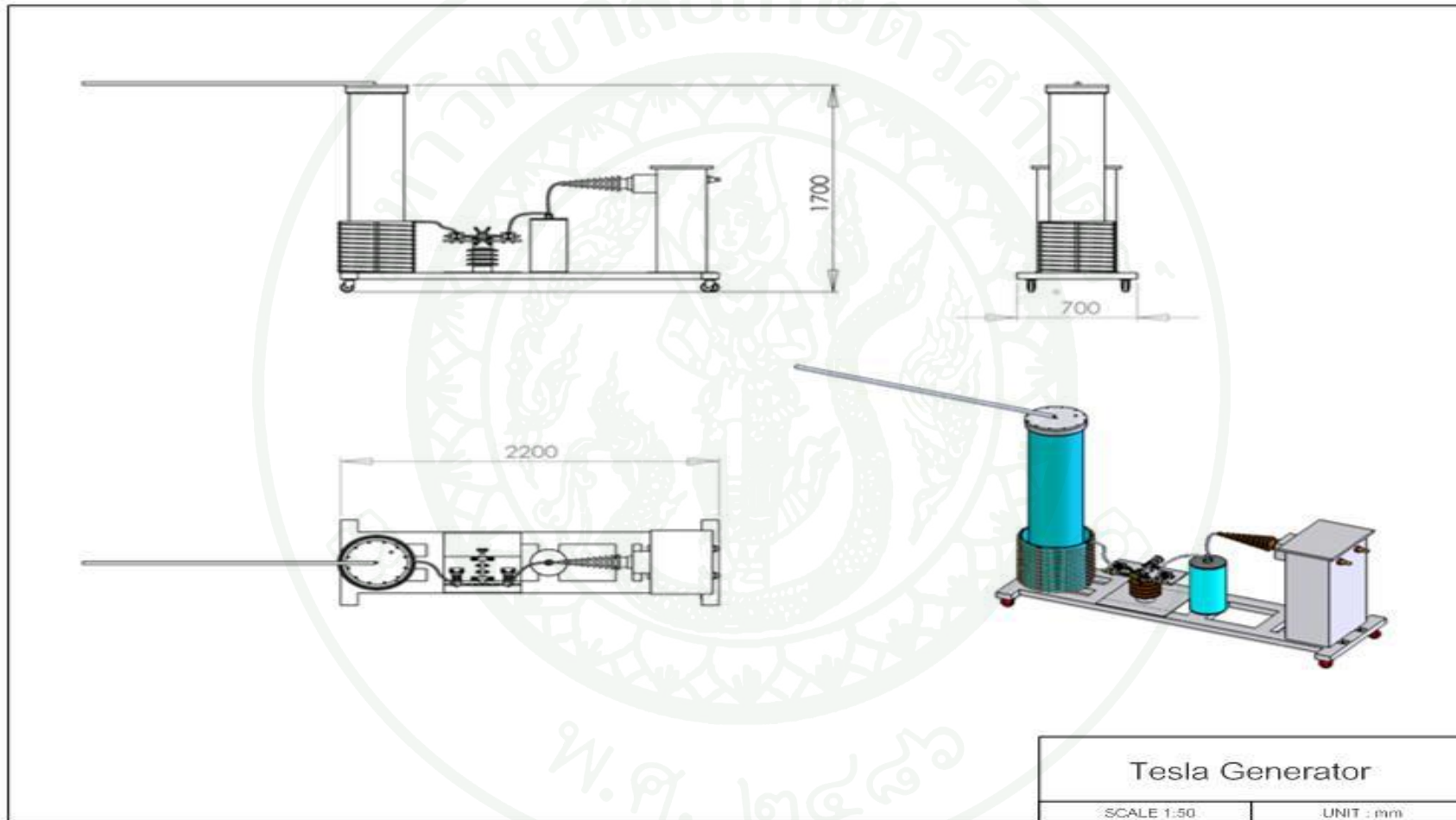
5) ขดลวดเหนียวนำทุติยภูมิ L_2 ถูกบรรจุในท่อ PVC ซึ่งอัดความดันด้วย N_2 ไว้ ควรตรวจสอบให้ที่เกจวัดความดันให้มีค่าไม่น้อยกว่า 1 bar

5.3 การตรวจสอบฐานรองรับมอเตอร์

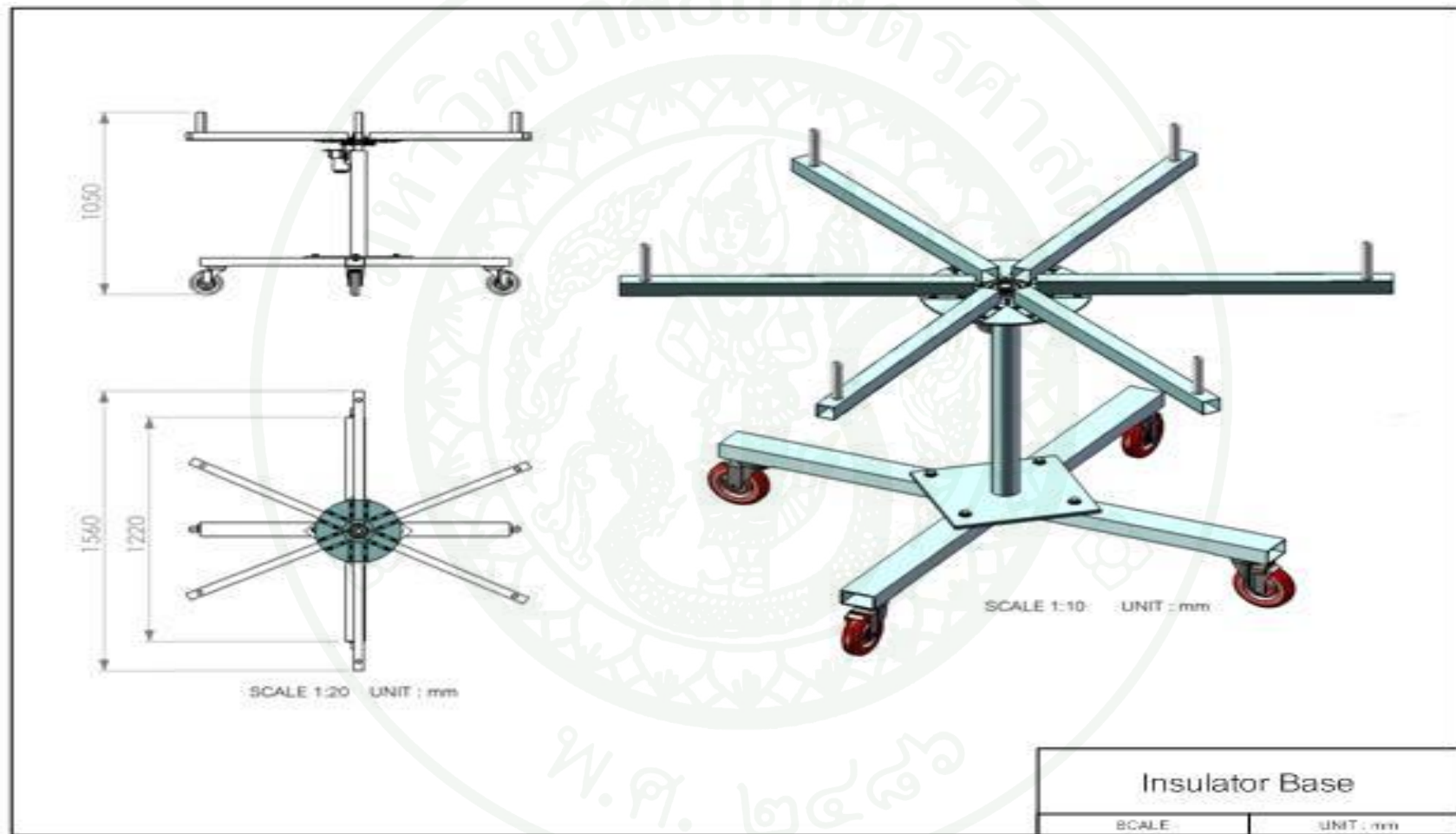
1) ฐานวางลูกถ้วยจะต้องต่อลงดินที่ฐานเหล็กของชุดเครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่ สูงด้วยหรือที่จุดต่อแท่งกราวด์อาคารเสมอ

2) เฟืองขับที่ติดอยู่ที่แกนมอเตอร์และเฟืองที่ติดอยู่กับฐานวางลูกถ้วย โดยฟันเฟืองทั้งสองควรจะประกบกันอยู่อย่างพอดีพร้อมที่จะใช้งาน

3) วงจรมอเตอร์หมุนฐานวางลูกถ้วยจะได้รับการต่อลงดินผ่านทางสายปลั๊กเพาเวอร์ ฉะนั้นการใช้งาน ปลั๊กเพาเวอร์ต้องต่อกับผู้ควบคุมและผู้ควบคุมต้องต่อลงดินเสมอเวลาใช้งาน



ภาพผนวกที่ ๑๑๕ แบบอุปกรณ์เครื่องกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง



ภาพผนวกที่ ๑16 แบบอุปกรณ์ฐานวางลูกถ้วย



จุดตรวจวัด	ช่วงเวลา ที่ตรวจวัด	แสดงผล	สารมลพิษ			
			ฝุ่นรวม (มก./ลบ.ม.)		ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)	
			เฉลี่ย 24 ชั่วโมง	เฉลี่ย 24 ชั่วโมง	เฉลี่ย 1 ชั่วโมง	เฉลี่ย 8 ชั่วโมง
1. ป้อมตำรวจแยกยมราช ถ. พิชญ์โลก	3 - 21 มี.ค.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.11 - 0.28	71.9 - 237.9	0.7 - 9.9	1.2 - 6.7
		n / N	0 / 17	12 / 17	0 / 430	0 / 428
2. ป้อมตำรวจสามแยกปากซอยอ่อนนุช ถ. สุขุมวิท	21 มี.ค. - 7 ก.พ.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.22 - 0.57	99.1 - 263.1	0.6 - 16.4	1.4 - 10.0
		n / N	8 / 13	11 / 13	0 / 406	7 / 403
3. ป้อมตำรวจห้าแยกคลองเตย ถ. อาจณรงค์	7 - 25 ก.พ.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.13 - 0.23	72.6 - 130.0	0.3 - 2.1	0.4 - 1.8
		n / N	0 / 13	1 / 14	0 / 118	0 / 116
4. ป้อมตำรวจสี่แยกศรียาน ถ. สามเสน	25 ก.พ. - 13 มี.ค.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.13 - 0.29	67.2 - 189.0	0.2 - 5.6	0.5 - 3.8
		n / N	0 / 15	8 / 16	0 / 381	0 / 380
5. ป้อมตำรวจแยกเทียนร่วมมิตร ถ. รัชดาภิเษก	13 - 31 มี.ค.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.08 - 0.10	41.6 - 84.6	0.3 - 4.1	0.5 - 1.9
		n / N	0 / 17	0 / 16	0 / 405	0 / 404
6. ป้อมตำรวจสี่แยกบางกะปิ ถ. สุขุมวิท 1	31 มี.ค. - 17 เม.ย.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.13 - 0.29	54.1 - 141.0	0.4 - 5.5	0.9 - 3.2
		n / N	0 / 17	4 / 17	0 / 405	0 / 404
7. ไปรษณีย์ไทยเลขสาขุประดิษฐ์ ถ. สาขุประดิษฐ์	17 เม.ย. - 6 พ.ค.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.12 - 0.37	65.5 - 218.6	0.4 - 3.5	0.6 - 2.2
		n / N	1 / 15	2 / 16	0 / 432	0 / 426
8. ป้อมตำรวจประตูน้ำ ถ. ราชปรารภ	6 - 23 พ.ค.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.27 - 0.86	136.4 - 297.3	-	-
		n / N	14 / 17	16 / 16		
9. ป้อมตำรวจแยกราชวงศ์ ถ. เยาวราช	23 พ.ค. - 9 มิ.ย.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.15 - 0.31	64.9 - 167.9	0.6 - 9.9	1.0 - 6.2
		n / N	0 / 14	8 / 17	0 / 329	0 / 318
10. ป้อมตำรวจหลานหลวง ถ. หลานหลวง	9 - 26 มิ.ย.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.12 - 0.24	58.4 - 147.1	-	-
		n / N	0 / 13	4 / 15		
11. ป้อมตำรวจสี่แยกคันธี ถ. บำรุงเมือง	26 มิ.ย. - 14 ก.ค.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.09 - 0.20	52.3 - 123.2	0.3 - 9.5	0.9 - 6.6
		n / N	0 / 16	1 / 17	0 / 374	0 / 367
12. ป้อมตำรวจสี่แยกสามทางบางลำภู ถ. พระสุเมรุ	14 - 31 ก.ค.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.05 - 0.13	31.8 - 72.0	0.1 - 2.5	0.2 - 2.2
		n / N	0 / 16	0 / 16	0 / 405	0 / 403
13. ป้อมตำรวจสี่พระยา ถ. สีพระยา	31 ก.ค. - 18 ส.ค.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.10 - 0.22	59.4 - 90.4	0.1 - 7.6	0.6 - 3.9
		n / N	0 / 14	0 / 15	0 / 429	0 / 427
14. ป้อมตำรวจวงเวียนใหญ่ ถ. ประชาธิป	18 ส.ค. - 4 ก.ย.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.11 - 0.23	42.0 - 89.2	0.5 - 13.4	1.0 - 6.0
		n / N	0 / 14	0 / 14	0 / 405	0 / 403
15. ป้อมตำรวจสี่แยกวงศ์สว่าง ถ. กรุงเทพฯ - นนทบุรี	4 - 22 ก.ย.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.08 - 0.20	50.8 - 97.7	0.5 - 7.1	0.8 - 5.3
		n / N	0 / 19	0 / 19	0 / 406	0 / 403
16. ป้อมตำรวจสี่แยกถนนตก ถ. พระราม 3	22 ก.ย. - 9 ต.ค.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.10 - 0.22	72.8 - 116.7	0.5 - 8.7	0.9 - 4.5
		n / N	0 / 16	0 / 16	0 / 382	0 / 380
17. รพ.กรุงเทพคริสเตียน ถ. สีลม	9 - 27 ต.ค.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.04 - 0.12	24.7 - 94.8	0.6 - 4.7	0.8 - 2.4
		n / N	0 / 18	0 / 18	0 / 430	0 / 428
18. ป้อมตำรวจสี่แยกมานูญครอง ถ. พระราม 1	27 ต.ค. - 13 พ.ย.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.09 - 0.18	58.2 - 103.3	0.5 - 6.6	1.2 - 5.4
		n / N	0 / 15	0 / 16	0 / 376	0 / 376
19. ป้อมตำรวจแยกรามคำแหง ถ. รามคำแหง	13 พ.ย. - 1 ธ.ค.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.07 - 0.12	43.8 - 87.2	0.9 - 5.8	1.3 - 4.3
		n / N	0 / 16	0 / 17	0 / 429	0 / 427
20. กรมพัฒนาที่ดิน ถ. พหลโยธิน	1 - 19 ธ.ค.	ช่วงค่าที่วัดได้	0.12 - 0.21	70.9 - 127.7	0.4 - 4.5	0.7 - 3.0
		n / N	0 / 16	1 / 16	0 / 406	0 / 403
21. ป้อมตำรวจอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ ถ. ราชวิถี	19 ธ.ค. 51 - 5 มี.ค. 52	ช่วงค่าที่วัดได้	0.09 - 0.21	43.4 - 143.5	0.7 - 4.7	0.8 - 3.3
		n / N	0 / 14	1 / 15	0 / 407	0 / 404
มาตรฐาน			0.33	120	30	9

ภาพผนวกที่ ข1 คุณภาพอากาศบริเวณริมถนนจากจุดตรวจวัดแบบชั่วคราวในกรุงเทพมหานคร ปี 2551

- หมายเหตุ:
- 1 n : จำนวนครั้งที่เกินมาตรฐาน
 - 2 N : จำนวนครั้งที่ตรวจวัด
 - 3 * : ไม่มีการตรวจวัด

สถานี	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂)			ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂)			ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)			ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)			ก๊าซโอโซน (O ₃)			ฝุ่นละอองขนาดเล็กเกิน 10 ไมครอน (PM ₁₀)			ฝุ่นรวม (TSP)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppm)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมง (ppm)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (มก./ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (มก./ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.*		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง

ภาพผนวกที่ ข2 คุณภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณริมถนนในเขตกรุงเทพมหานครแยกตามรายสถานี ปี 2551

หมายเหตุ: 1 * : จำนวนครั้งที่เกินมาตรฐาน/จำนวนครั้งที่ตรวจวัด
2 # : ไม่มีการตรวจวัด

สถานี	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂)				ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂)				ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)				ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)				ก๊าซโอโซน (O ₃)				ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM ₁₀)				ฝุ่นรวม (TSP)									
	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppm)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppm)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (มก/ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (มก/ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี						
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา เขตธนบุรี	24.0	0.0	0/8,106	1.8	98.0	0.0	0/8,187	22.1	4.2	0.0	0/7,587	0.3	2.4	0.0	0/7,816	0.3	90.4	0.0	0/4,555	15.3	180.9	12.1	17/263	68.4	0.33	0.04	0/55	0.10						
ท่าอากาศยานนานาชาติสุวรรณภูมิ เขตตลิ่งชัน	53.0	0.0	0/6,992	3.8	115.0	0.0	0/7,131	24.4	3.6	0.0	0/7,052	0.6	2.6	0.0	0/7,275	0.6	153.0	0.0	32/6,991	18.2	#	#	#	#	0.32	0.02	0/55	0.10						
กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา เขตบางนา	37.0	0.0	0/8,351	4.7	101.0	0.0	0/8,352	16.3	3.4	0.0	0/8,344	0.5	2.6	0.0	0/8,702	0.5	109.0	0.0	2/8,333	17.5	112.3	14.3	0/149	44.8	0.22	0.03	0/58	0.08						
มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม เขตจตุจักร	21.0	0.0	0/8,228	4.0	121.0	0.0	0/8,229	26.1	4.2	0.0	0/8,246	0.7	3.4	0.0	0/8,610	0.7	127.7	0.0	14/8,248	16.3	#	#	#	#	0.22	0.02	0/54	0.08						
การเคหะชุมชนคลองจั่น เขตบางกะปิ	46.0	0.0	0/8,265	4.3	137.0	0.0	0/8,331	22.0	4.8	0.0	0/8,358	0.8	3.4	0.1	0/8,702	0.8	151.0	0.0	41/8,353	19.8	136.1	18.1	3/360	48.9	0.25	0.02	0/55	0.07						
สนามกีฬาการเคหะชุมชนห้วยขวาง เขตห้วยขวาง	32.0	0.0	0/8,143	6.6	128.0	0.0	0/8,233	35.2	6.8	0.0	0/8,217	1.0	4.1	0.2	0/8,530	1.0	136.0	0.0	21/8,169	17.2	101.8	23.7	0/357	42.9	0.22	0.04	0/52	0.10						
โรงเรียนนทรวิทย์ เขตยานนาวา	29.0	0.0	0/8,348	5.4	117.0	5.0	0/8,357	26.0	4.1	0.0	0/8,314	0.6	2.8	0.0	0/8,635	0.6	142.0	0.0	21/8,346	16.4	121.8	19.6	1/363	48.8	0.21	0.04	0/54	0.09						
โรงเรียนมัธยมวัดสิงห์(สิงหราชพิทยาคม) เขตบางขุนเทียน	40.0	0.0	0/8,262	5.7	152.0	0.0	0/8,324	15.5	6.7	0.0	0/8,369	0.8	4.4	0.0	0/8,736	0.8	142.0	0.0	40/8,374	19.7	134.1	22.8	4/355	49.8	0.22	0.01	0/56	0.08						
กรมประชาสัมพันธ์ เขตพญาไท	26.0	0.0	0/8,023	2.0	88.0	0.0	0/8,123	20.7	4.7	0.0	0/7,974	0.4	2.8	0.0	0/8,142	0.4	113.0	0.0	3/7,890	10.9	159.3	12.3	5/334	43.0	0.16	0.02	0/47	0.07						
ร.บ.ดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) เขตวังทองหลาง	36.0	0.0	0/8,263	5.5	112.0	3.0	0/8,267	22.0	6.4	0.0	0/8,267	0.9	4.1	0.0	0/8,610	0.9	129.0	0.0	20/8,282	18.4	108.0	19.1	0/359	39.9	0.23	0.02	0/55	0.07						
มาตรฐาน	300			40	170			-	30			-	9			-	100			-	120			50	0.33			0.1						

ภาพผนวกที่ 3 คุณภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดบริเวณพื้นที่ทั่วไปในกรุงเทพมหานครแยกตามรายสถานี ปี 2551

หมายเหตุ: 1 * : จำนวนครั้งที่เกินมาตรฐาน/จำนวนครั้งที่ตรวจวัด
2 # : ไม่มีการตรวจวัด

จังหวัด	สถานี	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂)				ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂)				ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)				ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)				ก๊าซโอโซน (O ₃)				ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM ₁₀)			
		ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppm)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมง (ppm)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (มกค./ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ย 1 ปี
		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.*		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.*		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.	
สมุทรปราการ	ศูนย์ฟื้นฟูอาชีพคนพิการและทุพพลภาพ อ.พระประแดง	38.0	0.0	0/7,627	3.3	98.0	0.0	0/7,833	21.5	3.2	0.0	0/7,724	0.2	2.1	0.0	0/8,002	0.2	92.0	2.0	0/328	26.7	164.0	16.1	8/334	52.4
	โรงไฟฟ้าพระนครใต้ อ.เมือง	35.0	0.0	0/7,531	4.4	105.0	0.0	0/8,361	18.4	3.4	0.1	0/2,766	0.6	2.2	0.1	0/2,870	0.6	137.0	0.0	31/2,767	22.1	249.5	16.7	40/348	74.4
	บ้านพักกรมทรัพยากรธรณี อ.พระประแดง	28.0	0.0	0/8,265	2.1	97.0	0.0	0/8,446	17.9	#	#	#	#	#	#	#	58.8	0.0	0/3,672	5.8	180.1	17.0	13/328	58.1	
	ศาลากลาง อ.เมือง	38.0	0.0	0/8,491	3.4	109.0	0.0	0/8,104	22.7	2.8	0.1	0/2,099	0.8	1.9	0.2	0/2,177	0.8	95.0	0.0	0/2,098	13.7	125.8	12.2	4/352	42.6
	การเคหะชุมชนบางพลี อ.บางพลี	44.0	0.0	0/8,165	2.4	95.0	0.0	0/7,975	12.7	2.9	0.0	0/8,172	0.4	2.1	0.0	0/8,503	0.4	115.0	0.0	5/8,173	19.9	194.9	17.0	19/353	57.5
ปทุมธานี	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ วิทยาเขตรังสิต อ.คลองหลวง	27.0	0.0	0/8,167	4.7	86.0	0.0	0/8,253	17.5	2.3	0.0	0/8,285	0.6	2.2	0.0	0/8,607	0.6	129.0	0.0	57/8,271	22.0	123.5	17.2	1/359	41.7
สมุทรสาคร	แขวงการทางสมุทรสาคร อ.กระทุ่มแบน	161.0	0.0	0/8,016	11.3	81.0	0.0	0/7,617	19.2	2.5	0.0	0/8,000	0.6	2.1	0.0	0/8,343	0.6	143.0	0.0	45/8,238	15.4	139.5	23.7	2/364	50.9
	องค์การบริหารส่วนจังหวัด อ.เมือง	373.0	0.0	2/8,179	11.2	97.0	0.0	0/8,219	16.6	5.5	0.0	0/8,308	0.7	2.4	0.0	0/8,657	0.7	160.0	0.0	48/8,112	17.5	97.5	9.9	0/338	31.4
นนทบุรี	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตจำกัดมหาชน อ.บางกรวย	27.0	0.0	0/8,361	4.1	125.0	0.0	0/8,379	22.1	7.0	0.0	0/8,394	0.9	3.7	0.0	0/8,768	0.9	150.0	0.0	46/8,323	21.6	111.3	16.6	0/366	47.0
	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช อ.ปากเกร็ด	54.0	0.0	0/7,935	4.7	85.0	0.0	0/8,360	17.6	3.2	0.0	0/8,388	0.6	2.4	0.0	0/8,767	0.6	138.0	0.0	81/8,331	19.7	129.4	19.5	4/366	49.4
ค่ามาตรฐาน		300			40	170			-	30			-	9			-	100			-	120			50

ภาพผนวกที่ ๔4 คุณภาพอากาศในเขตปริมณฑลแยกตามรายสถานี ปี 2551

หมายเหตุ: 1 * : จำนวนครั้งที่เกินมาตรฐาน/จำนวนครั้งที่ตรวจวัด
2 # : ไม่มีการตรวจวัด

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นายกมล พะเทพ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	25 สิงหาคม 2523
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี
ประวัติการศึกษา	ปี พ.ศ.2545 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรไฟฟ้า 5
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	แผนกรักษาสายส่ง 2 กองบำรุงรักษาสายส่ง ฝ่ายบำรุงระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	