

การหาค่าตัวประกอบแก้ไขความถี่ของการทดสอบแรงดันวาทไฟตามผิวรูปคลื่นฟ้าผ่าและการทดสอบ
แรงดันสูงกระแสสลับของลูกถ้วยไฟฟ้าที่ค่า h/δ เกินกว่า 15 g/m^3



นายอุดม คลอดกลาง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

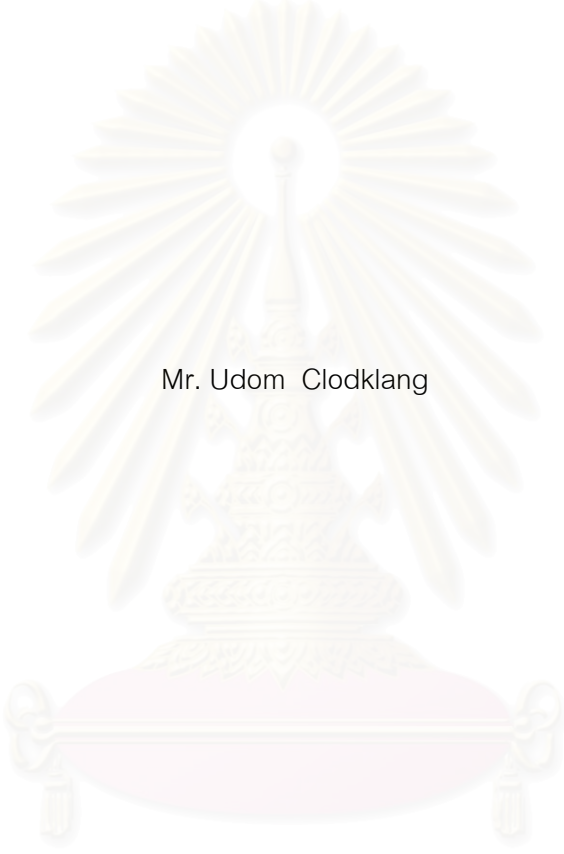
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-1172-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DETERMINATION OF HUMIDITY CORRECTION FACTOR OF LIGHTNING IMPULSE AND
AC FLASHOVER VOLTAGE TEST OF INSULATOR AT h/δ GREATER THAN 15 g/m^3



Mr. Udom Clodklang

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2005

ISBN 974-53-1172-3

อุดม คลอดกลาง : การหาค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นของการทดสอบแรงดันวาทไฟตามผิว
 รูปคลื่นฟ้าผ่าและการทดสอบแรงดันสูงกระแสสลับของลูกถ้วยไฟฟ้าที่ค่า h/δ เกินกว่า 15
 g/m^3 (DETERMINATION OF HUMIDITY CORRECTION FACTOR OF LIGHTNING
 IMPULSE AND AC FLASHOVER VOLTAGE TEST OF INSULATOR AT h/δ GREATER
 THAN 15 g/m^3) อ.ที่ปรึกษา: ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์, 108 หน้า.
 ISBN 974-53-1172-3

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของความชื้นในอากาศที่มีต่อแรงดันวาทไฟตาม
 ผิวอิมพัลส์ฟ้าผ่ามาตรฐาน 1.2/50 μs และกระแสสลับของลูกถ้วยไฟฟ้าชนิดต่างๆ โดยอ้างอิงการ
 ทดสอบและการติดตั้งตามมาตรฐาน IEC 60060-1, IEC 60383-1 และ IEC 60168 ผลการทดสอบหา
 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันวาทไฟตามผิวกับความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (h/δ)
 ที่ได้ จะนำไปเป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นในช่วงที่ค่า (h/δ) สูงกว่า 15
 g/m^3 ซึ่งเป็นสภาพอากาศโดยทั่วไปในประเทศไทย

จากการทดลองพบว่า ในช่วงที่ค่า h/δ สูงกว่า 15 g/m^3 อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันวาท
 ไฟตามผิวมีค่าน้อยลง เมื่อค่า h/δ มีค่าสูงขึ้นตัวประกอบแก้ไขความชื้นตามสมการที่มาตรฐาน IEC
 กำหนดไม่สามารถใช้กับช่วง h/δ ที่สูงกว่า 15 g/m^3 ดังนั้นจึงควรปรับปรุงตัวประกอบแก้ไขความชื้น
 ในช่วง h/δ สูงกว่า 15 g/m^3 ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอค่าดังกล่าวที่ได้จากการทดลองในช่วงหนึ่งปี
 ระหว่าง มกราคม 2547 ถึง มกราคม 2548

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าลายมือชื่อนิสิต.....อุดม คลอดกลาง.....
 สาขาวิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้าลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....ชวติ เวียงนาค.....
 ปีการศึกษา2548.....

4570657421 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : HUMIDITY CORRECTION FACTOR / INSULATOR

UDOM CLODKLANG : DETERMINATION OF HUMIDITY CORRECTION FACTOR OF LIGHTNING IMPULSE AND AC FLASHOVER VOLTAGE TEST OF INSULATOR AT h/δ GREATER THAN 15 g/m^3 . THESIS ADVISOR : KOMSON PETCHARAKS, Dr.Sc.Techn. 108 pp. ISBN 974-53-1172-3

This thesis presents the preliminary study of the effect of humidity in the air on the standard lightning impulse $1.2/50 \mu\text{s}$ and AC flashover voltage of insulators. The international standards IEC 60060-1, IEC 60383-1 and IEC 60168 were used as a guideline in this study. The relationship between flashover voltage and absolute humidity reduced relative air density (h/δ) from test may be used to determine the humidity correction factor in a case where h/δ is high than 15 g/m^3 .

The test result show that at h/δ higher than 15 g/m^3 the increasing rate of flashover voltage is lower than the expected value. The humidity correction factor that given in IEC standard is not suitable in this range of h/δ . Thus, the humidity correction factor for h/δ higher than 15 g/m^3 should be modified. This thesis proposes a new humidity correction factor from the test that was performed between January 2004 to January 2005.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Electrical Engineering..... Student's signature.....*U. Clodklang.*
Field of study.....Electrical Engineering.....Advisor's signature.....*K. Petcharak.*
Academic year2005.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรวิเศษ ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำแนวทางสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อาจารย์ ดร. บุญชัย เตชะอำนาจ และอาจารย์ ดร. สมบูรณ์ จงชัยกิจ ที่ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คุณถาวร เอื้อดี และคุณเกรียงไกร ไชยธัญ ที่ให้คำแนะนำวิธีการใช้อุปกรณ์การทดสอบแรงสูงภายในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง จุฬาลงกรณ์ ผู้เขียนหวังว่า ถ้าสิ่งใดที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ นั่นก็เพราะบุคคลดังกล่าวทุกท่าน ที่ได้กล่าวถึง แต่ในส่วนของความผิดพลาดประการใดๆ ก็ตามที่เกิดขึ้นภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอรับไว้แต่เพียงผู้เดียวและ ขออภัยล่วงหน้าไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดา ที่ให้การสนับสนุนทุกๆ เรื่องและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา จนทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	3
1.3 งานวิจัยในอดีต.....	3
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2. ทฤษฎีและหลักการ.....	5
2.1 พารามิเตอร์ในงานวิจัยนี้	5
2.1.1 อุณหภูมิ.....	5
2.1.2 ความดันบรรยากาศ	5
2.1.3 สถานะของไอน้ำ.....	6
2.1.4 ความดันไอน้ำ.....	8
2.1.5 ความชื้น.....	10
2.2 ลักษณะสมบัติของก๊าซ.....	12
2.2.1 กฎทั่วไปของก๊าซ.....	12
2.2.2 ทฤษฎีจลน์เบื้องต้น	13
2.2.3 กลไกการสูญเสียสภาพจับพลาสมา.....	13
2.2.4 การแตกประจุ.....	14
2.2.5 ผลของประจุค้างมีต่อแรงดันสูญเสียสภาพจับพลาสมา.....	14
2.3 ผลกระทบของอากาศต่อการทดสอบ.....	14

บทที่	หน้า
2.3.1 ผลของความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์.....	14
2.3.2 ผลของความชื้นที่มีต่อการทดสอบไฟฟ้าแรงสูง	15
2.4 มาตรฐานการทดสอบไฟฟ้าแรงสูง	15
2.4.1 การหาค่าแรงดันสูงมาตรฐาน ANSI C29-1:1988	16
2.4.2 การหาค่าแรงดันสูงมาตรฐาน IEC 60060-1:1976 และ IEEE Std. 4:1978	18
2.4.3 การหาค่าแรงดันสูงมาตรฐาน IEC 60060-1:1989 และ IEEE Std. 4:1995	21
2.2.4 การหาค่าแรงดันสูงมาตรฐาน IEEE Std. 4a:2001	22
2.5 ความต้านทานของฉนวน	23
2.6 ลูกถ้วย.....	23
2.6.1 ประเภทลูกถ้วยฉนวน	24
2.6.2 ลักษณะสมบัติที่สำคัญของลูกถ้วยฉนวนที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้า.....	25
2.6.3 มิติของลูกถ้วยฉนวน	26
3 การทดสอบ.....	27
3.1 วิธีการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า.....	27
3.1.1 รูปคลื่นอิมพัลส์ที่ใช้ในการทดสอบ	28
3.1.2 การเก็บข้อมูลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า	28
3.2 วิธีการทดสอบแรงดันสูงกระแสสลับ	29
3.2.1 การเก็บข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงกระแสสลับ	30
3.3 อุปกรณ์วัดแรงสูงสำหรับงานวิจัยนี้.....	31
3.3.1 ภาคแรงสูงของอุปกรณ์วัดแรงดัน.....	31
3.3.2 ภาคแรงต่ำของอุปกรณ์วัดแรงดัน.....	32
3.4 อุปกรณ์ทดสอบ.....	33
3.5 การติดตั้งลูกถ้วยมาตรฐาน IEC 60383-1:1983 และ IEC 60168:1994.....	35
3.5.1 การติดตั้งลูกถ้วยก้านตรง.....	35
3.5.2 การติดตั้งลูกถ้วยแขนรับแรงดึง	35
3.5.3 การติดตั้งลูกถ้วยหลัก.....	35
4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์	36
4.1 ผลของความชื้นที่มีต่อแรงดันอิมพัลส์และแรงดันสูงกระแสสลับ	36
4.2 การแก้ไขค่าตัวประกอบมาตรฐาน ANSI C 29-1:1988	38

บทที่	หน้า
4.3 การแก้ไขค่าตัวประกอบมาตรฐาน IEC 60060-1:1976 และ IEEE Std.4:1978	40
4.4 การแก้ไขค่าตัวประกอบมาตรฐาน IEC 60060-1:1989 และ IEEE Std.4:1995	42
4.5 ค่าตัวประกอบแก้ไขความถี่ใหม่ที่เสนอ	44
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	52
5.1 สรุปผลการทดลองงานวิจัยนี้	52
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
รายการอ้างอิง	54
ภาคผนวก	55
ภาคผนวก ก ข้อมูลสภาพอากาศในกรุงเทพฯระยะเวลา 5 ปีจากกรมอุตุนิยมวิทยา	56
ภาคผนวก ข กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สัมพัทธ์, อุณหภูมิ และความดันไอน้ำ	61
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าและแรงดันสูงกระแสลับ..	62
ภาคผนวก ง ข้อมูลการปรับแก้ไขตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988 แรงดันสูงอิมพัลส์ ฟ้าผ่าและแรงดันสูงกระแสลับ	77
ภาคผนวก จ ข้อมูลการปรับแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973 แรงดันสูงอิมพัลส์ ฟ้าผ่าและแรงดันสูงกระแสลับ	84
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลการปรับแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989 แรงดันสูงอิมพัลส์ ฟ้าผ่าและแรงดันสูงกระแสลับ	93
ภาคผนวก ช ข้อมูลการปรับแก้ไขด้วยค่าตัวประกอบใหม่อ้างอิง IEC 60060-1:1989 แรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าและแรงดันสูงกระแสลับ	101
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	108

สารบัญตาราง

ญ

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าตัวประกอบแก้ไขของสนามไฟฟ้าลักษณะต่างๆ ตาม IEC 60060-1:1989.....	20
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง k กับ h/d ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989	21
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง g กับค่า m และ w มาตรฐาน IEC 60060-1:1989.....	22
3.1 ลักษณะมิติลูกถ้วยที่ใช้ทดสอบในงานวิจัย.....	34
4.1 ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นของลูกถ้วยแต่ละชนิด	45
ก.1 ค่าความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ทุกวันในปี พ.ศ. 2544.....	56
ก.2 ค่าความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ทุกวันในปี พ.ศ. 2545.....	57
ก.3 ค่าความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ทุกวันในปี พ.ศ. 2546.....	58
ก.4 ค่าความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ทุกวันในปี พ.ศ. 2547.....	59
ก.5 ค่าความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ทุกวันในปี พ.ศ. 2548.....	60
ค.1 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่ววอกของลูกถ้วยหลัก.....	62
ค.2 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วลบของลูกถ้วยหลัก.....	64
ค.3 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่ววอกของลูกถ้วยคอตันยาว.....	65
ค.4 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วลบของลูกถ้วยคอตันยาว.....	67
ค.5 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่ววอกของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์	68
ค.6 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วลบของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์	68
ค.7 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่ววอกของลูกถ้วยก้านตรง	69
ค.8 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วลบของลูกถ้วยก้านตรง	70
ค.9 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงกระแสลับของลูกถ้วยก้านตรง	71
ค.10 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่ววอกของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน	73
ค.11 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วลบของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน	74
ค.12 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงกระแสลับของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน	75
ง.1 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่ววอกของลูกถ้วยหลัก ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988	77
ง.2 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วลบของลูกถ้วยหลัก ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988	78
ง.3 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่ววอกของลูกถ้วยคอตันยาว ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988	79

ตารางที่

ง.4 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยคอตันยาว ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988.....	80
ง.5 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์ ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988.....	80
ง.6 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์ ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988.....	81
ง.7 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยก้านตรง ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988.....	81
ง.8 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยก้านตรง ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988.....	81
ง.9 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงกระแสลับของลูกถ้วยก้านตรง ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988.....	82
ง.10 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988.....	83
ง. 11 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988.....	83
ง. 12 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงกระแสลับของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988.....	84
จ.1 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973.....	85
จ.2 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973.....	86
จ.3 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยคอตันยาว ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973.....	87
จ.4 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยคอตันยาว ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973.....	88
จ.5 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์ ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973.....	88

ตารางที่

๑.6 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์ ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973.....	89
๑.7 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยก้านตรง ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973.....	89
๑.8 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยก้านตรง ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973.....	89
๑.9 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงกระแสลับของลูกถ้วยก้านตรง ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973.....	90
๑.10 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973.....	91
๑. 11 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973.....	91
๑. 12 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงกระแสลับของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973.....	92
๑.1 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989.....	93
๑.2 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989.....	94
๑.3 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยคอต้นยาว ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989.....	95
๑.4 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยคอต้นยาว ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989.....	96
๑.5 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์ ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989.....	96
๑.6 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์ ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989.....	97
๑.7 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยก้านตรง ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989.....	97

ตารางที่

๑.8 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยก้านตรง ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989.....	97
๑.9 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงกระแสลับของลูกถ้วยก้านตรง ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989.....	98
๑.10 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ชเลน ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989.....	99
๑.11 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ชเลน ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989.....	99
๑.12 ข้อมูลการปรับแก้ไขแรงดันสูงกระแสลับของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ชเลน ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989.....	100
๒.1 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก	101
๒.2 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก	102
๒.3 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยคอดตัวยาว	103
๒.4 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยคอดตัวยาว	104
๒.5 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์	104
๒.6 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์.....	104
๒.7 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยก้านตรง	105
๒.8 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยก้านตรง	105
๒.9 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงกระแสลับของลูกถ้วยก้านตรง	106
๒.10 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ชเลน.....	106
๒.11 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ชเลน.....	107
๒.12 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงกระแสลับของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ชเลน.....	107

สารบัญภาพ

ฉ
หน้า

ภาพประกอบที่	
1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า k กับ h/δ อ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989.....	2
1.2 ข้อมูล h/δ เฉลี่ยในกรุงเทพฯ ในปี 2544-2548 จากกรมอุตุนิยมวิทยา.....	2
2.1 เครื่องวัดสภาพอากาศ.....	6
2.2 การเปลี่ยนสถานะของน้ำ.....	6
2.3 โมเลกุลน้ำในภาชนะ.....	7
2.4 ปริมาณไอน้ำที่ทำให้อากาศ 1 กิโลกรัม เกิดการอิ่มตัว.....	8
2.5 โมเลกุลของก๊าซต่างๆ ในกลุ่มอากาศ.....	8
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำอิ่มตัวกับอุณหภูมิ.....	9
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์, อุณหภูมิ และความดันไอน้ำ.....	10
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์, อุณหภูมิ และความชื้นสัมบูรณ์.....	12
2.9 ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นมาตรฐาน ANSI C29-1:1988.....	17
2.10 ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นของแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าตามมาตรฐาน ANSI C29-1:1988.....	17
2.11 ตัวประกอบแก้ไขความชื้นของแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1976.....	19
2.12 ค่าตัวเลขยกกำลัง m และ n สำหรับค่าตัวประกอบแก้ไขความหนาแน่นอากาศและค่า w สำหรับ ตัวประกอบแก้ไขความชื้น.....	19
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง g กับค่า m และ w มาตรฐาน IEC 60060-1:1989.....	21
2.14 ประเภทลูกถ้วยตามมาตรฐาน IEC 60383-1.....	24
3.1 วงจรเครื่องกำเนิดอิมพัลส์ฟ้าผ่า 4 ชั้น.....	27
3.2 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ามาตรฐาน.....	28
3.3 ปฏิกิริยาการเกิดแรงดันวาบไฟตามผิวของการทดสอบแรงดันอิมพัลส์.....	29
3.4 การเพิ่มแรงดันแบบต่อเนื่อง.....	30
3.5 ปฏิกิริยาการเกิดแรงดันวาบไฟตามผิวของการทดสอบแรงดันสูงกระแสสลับ.....	31
3.6 อุปกรณ์แบ่งแรงดันสูง.....	32
3.7 อุปกรณ์วัดไฟฟ้าแรงสูงภาคแรงต่ำ.....	32
3.8 มิติลูกถ้วย.....	34
4.1 ผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก.....	36
4.2 ผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วคราวของลูกถ้วยคอดันยาว.....	36
4.3 ผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์.....	37
4.4 ผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวชั่วคราวและแรงดันสูงกระแสสลับของลูกถ้วยก้านตรง.....	37

ภาพประกอบที่

4.5 ผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวชั่วเวลาและแรงดันสูงกระแสลับของลูกถ้วยแขวนพอร์ซเลน .37

4.6 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน ANSI แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วเวลาของลูกถ้วยหลัก38

4.7 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน ANSI แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วเวลาของลูกถ้วยคอตันยาว38

4.8 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน ANSI แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วเวลา
ของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์39

4.9 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน ANSI แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวชั่วเวลาและกระแสลับ
ของลูกถ้วยก้านตรง39

4.10 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน ANSI แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวชั่วเวลาและกระแสลับ
ของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน39

4.11 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1976 แรงดันอิมพัลส์
ชั่วคราวและชั่วเวลาของลูกถ้วยหลัก40

4.12 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1976 แรงดันอิมพัลส์
ชั่วคราวและชั่วเวลาของลูกถ้วยคอตันยาว41

4.13 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1976แรงดันอิมพัลส์
ชั่วคราวและชั่วเวลาของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์41

4.14 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1976 แรงดันอิมพัลส์
ชั่วคราวชั่วเวลาและกระแสลับของลูกถ้วยก้านตรง.....41

4.15 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1976 แรงดันอิมพัลส์
ชั่วคราวชั่วเวลาและกระแสลับของลูกถ้วยแขวนพอร์ซเลน.....42

4.16 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989 แรงดันอิมพัลส์
ชั่วคราวและชั่วเวลาของลูกถ้วยหลัก43

4.17 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989 แรงดันอิมพัลส์
ชั่วคราวและชั่วเวลาของลูกถ้วยคอตันยาว43

4.18 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989แรงดันอิมพัลส์
ชั่วคราวและชั่วเวลาของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์43

4.19 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989 แรงดันอิมพัลส์
ชั่วคราวชั่วเวลาและกระแสลับของลูกถ้วยก้านตรง.....44

4.20 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989 แรงดันอิมพัลส์
ชั่วคราวชั่วเวลาและกระแสลับของลูกถ้วยแขวนพอร์ซเลน.....44

ภาพประกอบที่	หน้า
4.21 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก	46
4.22 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั่วพลบของลูกถ้วยหลัก	46
4.23 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยคอต้นยาว	47
4.24 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั่วพลบของลูกถ้วยคอต้นยาว	47
4.25 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขนชนิดพอลิเมอร์	48
4.26 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั่วพลบของลูกถ้วยแขนชนิดพอลิเมอร์	48
4.27 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยก้านตรง	49
4.28 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั่วพลบของลูกถ้วยก้านตรง	49
4.29 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันสูงกระแสลับของลูกถ้วยก้านตรง	50
4.30 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขนชนิดพอร์ซเลน	50
4.31 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั่วพลบของลูกถ้วยแขนชนิดพอร์ซเลน	51
4.32 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันสูงกระแสลับของลูกถ้วยแขนชนิดพอร์ซเลน	51

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

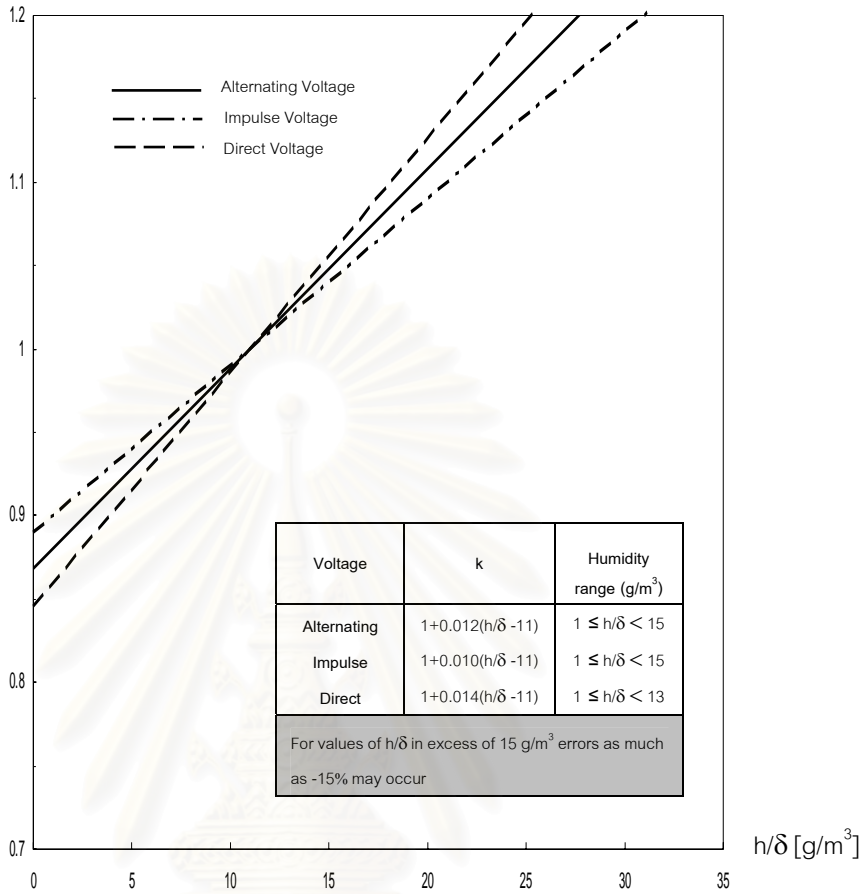
บทนำ

การทดสอบหาค่าแรงดันสูญเสียสภาพฉนวนหรือแรงดันวาบไฟตามผิว มักทำในสภาวะที่ต่างไปจากสภาวะอากาศมาตรฐาน (ความดันอากาศ = 760 mmHg, ความชื้นสัมบูรณ์ = 11 g/m³, อุณหภูมิ = 20 °C) ดังนั้นจึงต้องปรับแก้ผลการทดสอบที่สภาวะห้องทดสอบไปที่สภาวะอากาศมาตรฐานด้วยค่าตัวประกอบแก้ไขสภาพอากาศ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างสภาวะห้องทดลองและสภาวะมาตรฐานได้ ซึ่งแต่ละมาตรฐานการทดสอบจะมีความแตกต่างของการคำนวณแรงดันวาบไฟตามผิว ในงานวิจัยได้อ้างอิงถึงการแปลงค่าแรงดันวาบไฟตามผิวตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน IEC 60060-1 : 1989 [1] และ IEEE std.4 : 1995 [2] ซึ่งใช้เมื่อความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (h/δ) ไม่เกิน 15 g/m³ แต่ในกรณีของการทดสอบที่สภาพอากาศเกินกว่ามาตรฐานกำหนดไว้แล้ว ค่าที่แปลงได้นั้นอาจไม่ถูกต้อง ซึ่งตลอดทั้งปีค่า h/δ ในประเทศไทยมักมีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน ดังนั้นการวิจัยนี้จึงทดสอบหาแรงดันวาบไฟตามผิวในสภาวะ h/δ ของประเทศไทย เพื่อศึกษาผลของการใช้ตัวประกอบแก้ไขสภาพอากาศที่มาตรฐานกำหนด และหาความสัมพันธ์ของแรงดันสูงกับตัวประกอบแก้ไขสภาพอากาศที่เหมาะสมกับช่วงสภาวะอากาศของประเทศไทย ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการทดสอบหาแรงดันวาบไฟตามผิวในประเทศไทย

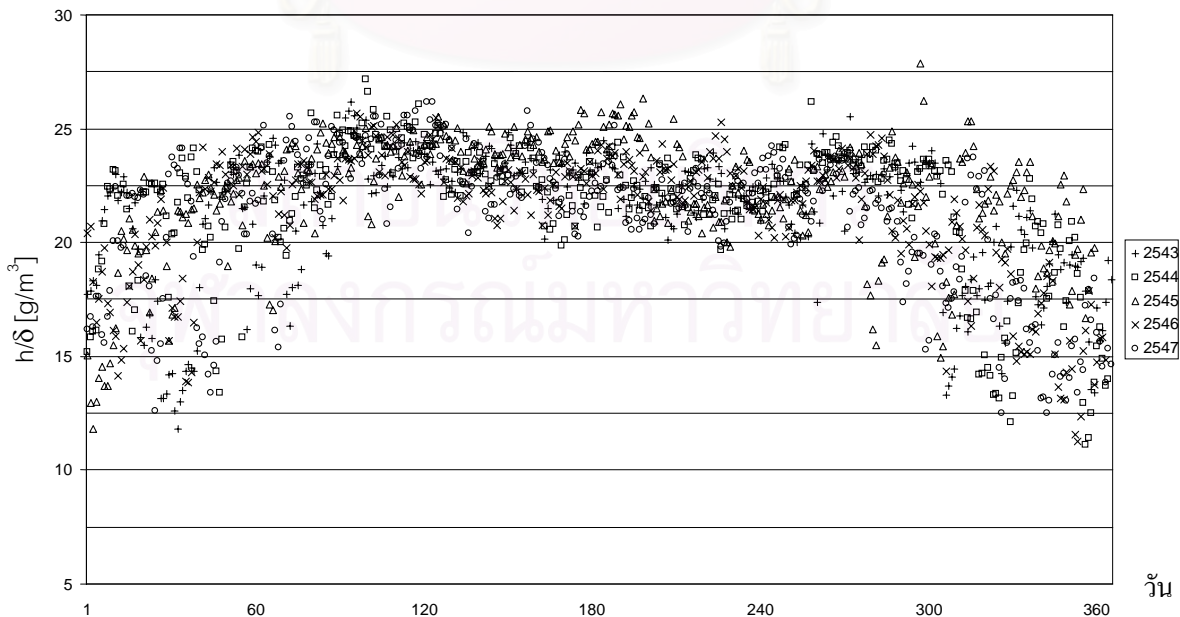
1.1 ที่มาของปัญหา

มาตรฐาน IEC 60060-1 :1989 กำหนดค่าตัวประกอบแก้ไข สำหรับการแปลงผลการทดสอบแรงดันสูงกระแสลับ, แรงดันกระแสตรง และแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า แต่ค่าตัวประกอบแก้ไขข้างต้นได้กำหนดไว้สำหรับช่วง h/δ ไม่เกิน 15 g/m³ ดังแสดงรูปที่ 1.1 ถ้าการทดสอบทำในสภาพอากาศที่ h/δ สูงเกินกว่าขอบเขตดังกล่าว การแปลงค่าอาจมีความผิดพลาดสูงถึงร้อยละ 15 และสภาพอากาศที่วัดได้ในห้องปฏิบัติไฟฟ้าแรงสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยปกติค่า h/δ ก็สูงกว่าช่วงที่มาตรฐานกำหนด ดังจะเห็นได้จากข้อมูลสภาพอากาศเฉลี่ยในกรุงเทพฯระหว่างปี 2543 -2547 ที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา ในรูปที่ 1.2 (ข้อมูลโดยละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก)

k of IEC 60060-1:1989



รูปที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า k และค่า h/δ ตามที่มาตรฐาน IEC 60060-1:1989 กำหนด



รูปที่ 1.2 ข้อมูล h/δ เฉลี่ยในกรุงเทพในปี 2543-2547 จากกรมอุตุนิยมวิทยา

ดังนั้น วิทยานิพนธ์นี้จึงศึกษาผลของ h/δ ในช่วงที่สูงกว่า 15 g/m^3 ที่มีต่อการทดสอบหาแรงดันวาบไฟตามผิว ด้วยแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ารูปคลื่นมาตรฐาน $1.2/50 \text{ } \mu\text{s}$ และแรงดันสูงกระแสลับ ข้อมูลแรงดันไฟวาบตามผิวกับค่า h/δ ที่ได้จะนำไปหาค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นที่เหมาะสมสำหรับ h/δ ที่สูงกว่า 15 g/m^3

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อหาค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบหาแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยไฟฟ้าในช่วงที่ h/δ สูงกว่า 15 g/m^3 เมื่อทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าและแรงดันสูงกระแสลับ

1.3 งานวิจัยในอดีต

งานวิจัยที่ศึกษาผลกระทบของความชื้นที่มีต่อการทดสอบด้วยแรงดันสูงที่เสนอนี้ จะศึกษาเฉพาะการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าและแรงดันสูงกระแสลับ คือ

การทดลองวัดแรงดันสูญเสียสภาพฉนวนอิมพัลส์ฟ้าผ่า $1.2/50 \text{ } \mu\text{s}$ ของช่องว่างอากาศระหว่างแท่งและระนาบ (Rod-plane Gap) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความชื้น ของ P.A. Calva [3] ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันสูญเสียสภาพฉนวน 50% กับ h/δ และแสดงให้เห็นผลของความชื้นที่มีต่อแรงดันสูญเสียสภาพฉนวนว่าเป็นไปตามทฤษฎี คือ เมื่อ h/δ มีค่าสูง แรงดันสูญเสียสภาพฉนวนมีค่าสูงขึ้นด้วย

ในปี 2546 C.de Salles และ M.L.B. Martinez [4] รายงานผลการทดลองหาแรงดันสูญเสียสภาพฉนวน 50% ของแถบทรงกลมและช่องว่างระหว่างแท่ง-แท่ง (Rod-rod Gap) ที่ขึ้นกับค่า h/δ ข้อสรุปที่น่าสนใจ คือ การทดสอบที่สภาวะ h/δ สูงกว่า 15 g/m^3 ความชื้นในอากาศจะมีผลต่อแรงดันสูญเสียสภาพฉนวน 50%

1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

ทดสอบหาแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยไฟฟ้าในสภาพอากาศจริงของห้องทดลองไฟฟ้าแรงสูง ลูกถ้วยที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้ คือ

- 1) ลูกถ้วยหลัก (Station Post Insulator) จำนวน 2 ลูก
- 2) ลูกถ้วยคอตันยาว (Long Rod Insulator) จำนวน 2 ลูก
- 3) ลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์ (Polymer Insulator) จำนวน 1 ลูก
- 4) ลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน (Suspension Insulator) จำนวน 2 ลูก
- 5) ลูกถ้วยก้านตรง (Pin post Insulator) จำนวน 2 ลูก

แรงดันที่ใช้ในการทดสอบ คือ แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ามาตรฐาน 1.2/50 μ s และแรงดันสูงกระแสลับ จากนั้นสร้างค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้น สำหรับแปลงค่าแรงดันทดสอบวาบไฟตามผิว ในสภาวะที่ h/δ สูงกว่า 15 g/m³ ไปยังค่าที่สภาวะมาตรฐาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นในช่วงที่ h/δ สูงกว่า 15 g/m³ สำหรับการทดสอบแรงดันวาบไฟตามผิวของลูกถ้วยไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยให้การแปลงค่าแรงดันวาบไฟตามผิวมีความเชื่อถือได้มากขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

อากาศเป็นฉนวนชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญในด้านเทคนิคการฉนวนไฟฟ้าแรงสูง เพราะสามารถใช้เป็นฉนวนหลัก ฉนวนแทรกซึ่งระบายความร้อน และเป็นฉนวนที่ประหยัดต้นทุนมากที่สุด แต่อากาศก็สามารถเสียสภาพการเป็นฉนวนได้เช่นกัน เมื่อมีการปล่อยประจุ (discharge) การปล่อยประจุในอากาศนี้ เป็นปรากฏการณ์การไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านอากาศ เมื่อมีการเคลื่อนที่ของอนุภาค คือ อิเล็กตรอนและไอออน ที่เกิดเพิ่มทวีคูณจากกระบวนการไอออไนเซชัน ไอออไนเซชันจะเกิดขึ้นได้ต้องมีสนามไฟฟ้า แต่ก่อนที่จะกล่าวถึงการปล่อยประจุ หรือประกายข้าม (spark) ในอากาศเกิดขึ้นได้อย่างไร เราควรทราบถึงลักษณะธรรมชาติของอากาศก่อน เพราะการปล่อยประจุหรือการเสียสภาพฉนวนในอากาศจะเกี่ยวข้องกับโมเลกุล ความดันอากาศ อุณหภูมิ การเคลื่อนที่การชนของโมเลกุล และการถ่ายเทพลังงาน เป็นต้น

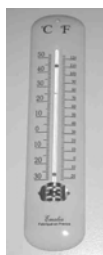
2.1 พารามิเตอร์ในงานวิจัย

2.1.1 อุณหภูมิ (T, Temperature)

อุณหภูมิ คือระดับความร้อนและเป็นค่าทางอุณหพลศาสตร์ที่สำคัญอย่างหนึ่ง อุณหภูมิมีความสำคัญเกี่ยวกับการหมุนเวียนของอากาศ เพราะอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะสามารถรับจำนวนไอน้ำในอากาศไว้ได้มากกว่าอากาศเย็น เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิเรียกว่า "เทอร์โมมิเตอร์" ดังรูปที่ 2.1 ก ซึ่งทำด้วยหลอดแก้วและบรรจุของเหลว เช่นปรอท อยู่ในในหน่วยวัดอุณหภูมิเรียกว่า "องศาเซลเซียส" หรือ "องศาฟาเรนไฮต์"

2.1.2 ความกดบรรยากาศ (P, Air pressure)

ความดันบรรยากาศ คือ ค่าของแรงกดของอากาศต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่รองรับแรงกดนั้น อุปกรณ์ที่ใช้วัด เรียกว่า "บารอมิเตอร์" (Barometer) ดังรูปที่ 2.1 ค มีหน่วยวัดเป็น ปาสคาล (Pa), มิลลิเมตรปรอท (mm.Hg), นิ้วปรอท (inch.Hg) และมิลลิบาร์ (mbar) โดยความดันอากาศที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง มีค่าเท่ากับ 760 mm.Hg (29.92 inch.Hg) หรือ 1013.25 mbar (ในปัจจุบันนักอุตุนิยมวิทยานิยมใช้ mbar เป็นหน่วยมาตรฐานในการวัดความกดอากาศ โดย 1 mbar เท่ากับ แรงกด 100 N/m^2)



ก) เทอร์โมมิเตอร์



ข) ไฮโกรมิเตอร์



ค) บารอมิเตอร์

รูปที่ 2.1 เครื่องวัดสภาพอากาศ

2.1.3 สถานะของไอน้ำ

ไอน้ำเป็น น้ำที่อยู่ในสถานะก๊าซ ไอน้ำไม่มีสี ไม่มีกลิ่น น้ำในอากาศสามารถเปลี่ยนจากสถานะหนึ่งไปสู่อีกสถานะหนึ่งหรือแปรเปลี่ยนกลับไปมาได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันอากาศ การเปลี่ยนสถานะของน้ำมีการดูดกลืนหรือการคายความร้อน โดยที่ไม่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เราเรียกว่า “ความร้อนแฝง” (Latent heat) มีหน่วยวัดเป็น แคลอรี (1 แคลอรี = ปริมาณความร้อนซึ่งทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1°C ดังนั้นหากเราเพิ่มความร้อน 10 แคลอรีให้กับน้ำ 1 กรัม น้ำจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น 10°C)



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนสถานะของน้ำ

ก) การหลอมเหลว (Melting) คือ การทำให้น้ำแข็งเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว โดยเพิ่มความร้อนให้แก่ซึ่งบรรจุน้ำแข็ง น้ำแข็งดูดกลืนความร้อนนี้ไว้ โดยยังคงรักษาอุณหภูมิ 0°C คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงจนกว่าน้ำแข็งจะละลายหมดก่อน ความร้อนที่ถูกดูดกลืนเข้าไป จะทำลายโครงสร้างผลึกน้ำแข็ง ทำให้น้ำแข็งเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว ซึ่งต้องการการดูดกลืนความร้อน

แฝง 80 แคลอรี/กรัม ดังรูปที่ 2.2 ในทางกลับกัน เมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นน้ำแข็ง เราเรียกว่า การแข็งตัว (Freezing) น้ำจะคายความร้อนแฝงออกมา 80 แคลอรี/กรัม

ข) การระเหย (Evaporation) คือ น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำ จะต้องดูดกลืนความร้อนแฝง 600 แคลอรี เพื่อที่จะเปลี่ยนน้ำ 1 กรัมให้กลายเป็นไอน้ำ ในทางกลับกัน เมื่อไอน้ำกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำ เรียกว่า การควบแน่น (Condensation) น้ำจะคายความร้อนแฝงออกมา 600 แคลอรี/กรัม เช่นกัน ดังรูปที่ 2.2

ค) การระเหิด (Sublimation) คือ น้ำแข็งเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำได้โดยตรง โดยที่ไม่จำเป็นต้องละลายเป็นของเหลว แล้วระเหยเป็นก๊าซ การเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นก๊าซโดยตรงนี้ ต้องการดูดกลืนความร้อนแฝง 680 แคลอรี เพื่อที่จะเปลี่ยน น้ำแข็ง 1 กรัมให้กลายเป็นไอน้ำ ในทางกลับกัน เมื่อไอน้ำจะเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง โดยตรง เราเรียกว่า การระเหิดกลับ (Deposition) ไอน้ำจะคายความร้อนแฝงออกมา 680 แคลอรี/กรัม เช่นกัน ดังรูปที่ 2.2

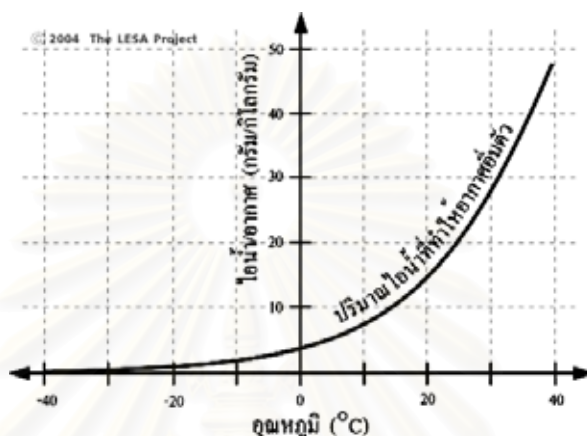


รูปที่ 2.3 โมเลกุลน้ำในสถานะ

หากพิจารณาน้ำในสถานะที่แสดงใน รูปที่ 2.3 เราจะเห็นโมเลกุลของน้ำอยู่เบียดเสียดวิ่งไปวิ่งมา โดยที่โมเลกุลแต่ละโมเลกุลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแตกต่างกัน ช้าบ้าง เร็วบ้าง ซึ่งค่าเฉลี่ยของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก็คือ อุณหภูมิ ของน้ำ (พลังงานจลน์) ถ้าโมเลกุลที่อยู่ในบริเวณผิวน้ำมีความเร็วมากพอ ที่จะทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่หลุดออกไปสู่อากาศ โมเลกุลเหล่านี้จะเปลี่ยนสถานะจากน้ำเป็นไอน้ำ ซึ่งก็คือ “การระเหย” นั่นเอง

เมื่อเราปิดฝาถังและดันเข้าไปดังเช่นในภาพขวามือน้ำที่เคยระเหยเป็นไอน้ำจะถูกควบแน่นกลับเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง หาก “จำนวนโมเลกุลของน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอน้ำ เท่ากับจำนวนโมเลกุลของไอน้ำที่ควบแน่นกลับเป็นน้ำพอดี” เราจะเรียกว่า “อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ” ในทางกลับกันหากเราดึงฝาเปิดออก ไอน้ำในอากาศซึ่งเคยอยู่ในถังจะหนีออกมา ทำให้จำนวนโมเลกุลของไอน้ำที่มีอยู่ในน้อยกว่าจำนวนโมเลกุลของไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว อากาศจึงไม่เกิดการอิ่มตัว (ปัจจัยในธรรมชาติที่ช่วยให้อากาศไม่เกิดการอิ่มตัวคือ กระแสลม)

นอกจากความดันแล้ว ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการระเหยของน้ำคือ อุณหภูมิ น้ำร้อนระเหยได้ง่ายกว่าน้ำเย็น เนื่องจากความร้อนทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่เร็วขึ้น และหลุดหนีจากสถานะของเหลวไปเป็นก๊าซ ในทำนองกลับกัน อากาศเย็นทำให้เกิดการควบแน่นได้ดีกว่าอากาศร้อน เนื่องจากโมเลกุลของไอน้ำเย็นมีพลังงานน้อยกว่า จึงสูญเสียความเร็วและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวได้ง่าย



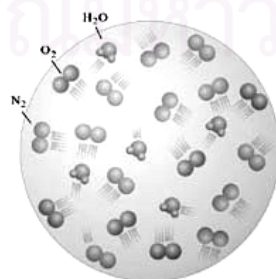
รูปที่ 2.4 ปริมาณไอน้ำที่ทำให้อากาศ 1 กิโลกรัม เกิดการอิ่มตัว

รูปที่ 2.4 แสดง ปริมาณไอน้ำที่จะทำให้เกิดอากาศอิ่มตัวภายใต้อุณหภูมิต่างๆ เราจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นทุกๆ 10°C อากาศจะต้องการปริมาณไอน้ำเพิ่มขึ้น 2 เท่า เพื่อทำให้เกิดการอิ่มตัว

- ณ อุณหภูมิ 10°C อากาศ 1 กิโลกรัม ต้องการไอน้ำ 7 กรัม
- ณ อุณหภูมิ 20°C อากาศ 1 กิโลกรัม ต้องการไอน้ำ 14 กรัม
- ณ อุณหภูมิ 30°C อากาศ 1 กิโลกรัม ต้องการไอน้ำ 28 กรัม

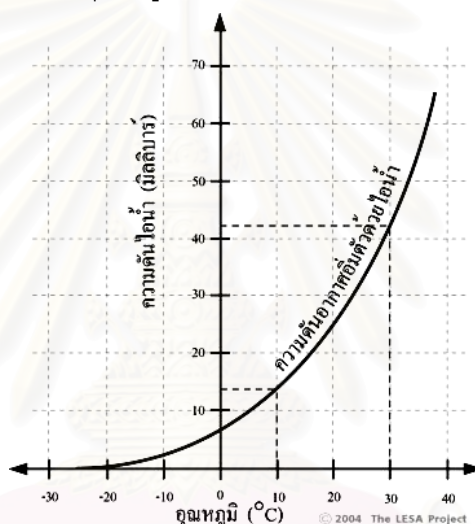
จึงสรุปได้ว่า“อากาศร้อนมีความสามารถในการเก็บจำนวนโมเลกุลของไอน้ำได้มากกว่าอากาศเย็น”

2.1.4 ความดันไอน้ำ



รูปที่ 2.5 โมเลกุลของก๊าซต่างๆ ในกลุ่มอากาศ

อากาศมีแรงดันออกทุกทิศทุกทาง ความดันนี้เกิดขึ้นจากการพุ่งชนกันของโมเลกุลของก๊าซ ถ้าสมมติให้กลุ่มอากาศ (Air parcel) ในรูปที่ 2.5 มีความกดอากาศ 1,000 mbar (มิลลิบาร์) มีองค์ประกอบเป็นก๊าซไนโตรเจน 78% ก๊าซออกซิเจน 21% และไอน้ำประมาณ 1% ด้วยสัดส่วนนี้ ก๊าซไนโตรเจนทำให้เกิดแรงดัน 780 mbar ก๊าซไนโตรเจนทำให้เกิดแรงดัน 210 mbar และไอน้ำทำให้เกิดแรงดัน 10 mbar จะเห็นได้ว่า “ความดันไอน้ำ” (Vapor pressure) มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความดันก๊าซทั้งหมด อย่างไรก็ตามหากเราเพิ่มความดันให้กับกลุ่มอากาศ โดยการเพิ่มปริมาณอากาศในลักษณะเดียวกับการเป่าลูกโป่ง “จำนวนโมเลกุลของไอน้ำที่มากขึ้น จะทำให้ความดันไอน้ำมากขึ้นตามไปด้วย” นอกจากนั้นตามกฎของก๊าซ “อุณหภูมิจะแปรผันตามความดัน” กล่าวคือเมื่อความดันเพิ่มขึ้น อุณหภูมิก็จะเพิ่มตามไปด้วย



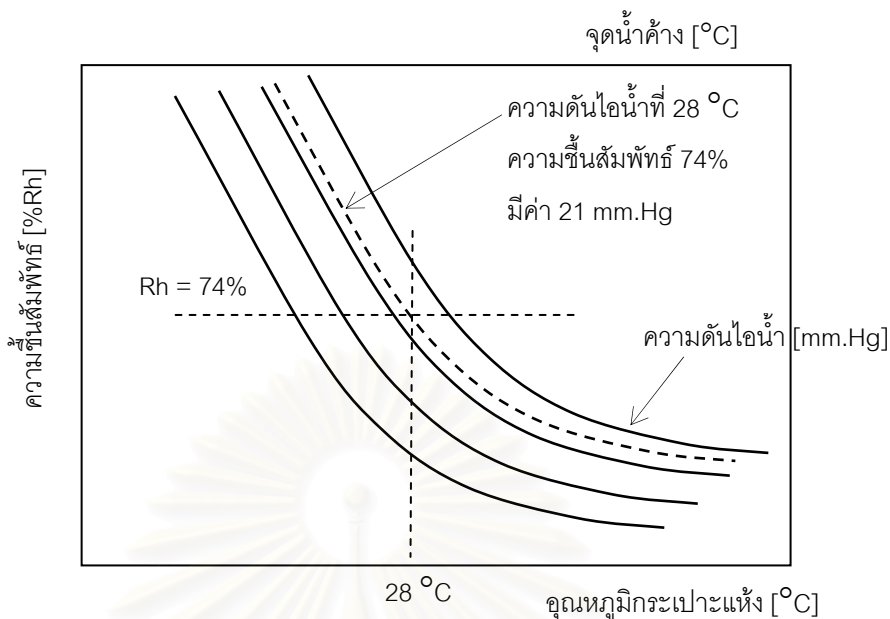
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำสัมพันธ์กับอุณหภูมิ

จากรูปที่ 2.6 เส้นประที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำสัมพันธ์กับอุณหภูมิของอากาศ จะได้ว่า

- ความดันไอน้ำสัมพันธ์ 12 มิลลิบาร์ ทำให้อากาศมีอุณหภูมิ 10°C
- ความดันไอน้ำสัมพันธ์ 42 มิลลิบาร์ ทำให้อากาศมีอุณหภูมิ 30°C

ดังนั้น จำนวนไอน้ำในอากาศมากขึ้น ความดันไอน้ำจะเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิของอากาศก็จะสูงตามไปด้วย สรุปได้ว่า อุณหภูมิของอากาศแปรผันตามความดันไอน้ำ (ปริมาณของไอน้ำในอากาศ) และ อากาศที่เย็นจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศแห้ง

วิธีการในการหาค่าความดันไอน้ำ จะใช้ความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพันธ์กับอุณหภูมิ กระเพาะแห่งดังตัวอย่าง ในรูปที่ 2.7 และหาค่าได้จากกราฟใน ผนวก ข



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์, อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

2.1.5 ความชื้น (Humidity)

ความชื้นในงานวิจัยนี้หมายถึง จำนวนไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ความชื้นของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความดัน และอุณหภูมิ และจะแบ่งการแสดงความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศได้ 2 แบบ คือ

2.1.5.1 ความชื้นสัมพัทธ์ (R, Relative Humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) หมายถึง “อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ ต่อ ปริมาณไอน้ำที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน” หรือ “อัตราส่วนของความดันไอน้ำที่มีอยู่จริง ต่อ ความดันไอน้ำอิ่มตัว” ค่าความชื้นสัมพัทธ์แสดงในรูปของร้อยละ (%) และเครื่องมือที่ใช้วัดความชื้นสัมพัทธ์ เรียกว่า “ไฮโกรมิเตอร์” (Hygrometer) ดังรูปที่ 2.1 ข

ความชื้นสัมพัทธ์ = $(\text{ปริมาณไอน้ำที่อยู่ในอากาศ} / \text{ปริมาณไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว}) \times 100\%$

หรือ

ความชื้นสัมพัทธ์ = $(\text{ความดันไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ} / \text{ความดันไอน้ำของอากาศอิ่มตัว}) \times 100\%$

ปริมาณของไอน้ำในอากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ อากาศร้อนสามารถเก็บไอน้ำได้มากกว่าอากาศเย็น ดังนั้นหากเราลดอุณหภูมิของอากาศจนถึงจุดๆ หนึ่ง จะเกิด “อากาศอิ่มตัว” (Saturated air) อากาศไม่สามารถเก็บกักไอน้ำไว้ได้มากกว่านี้ หรือกล่าวได้ว่า อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ 100% ดังนั้นหากอุณหภูมียังคงลดต่ำลงอีก ไอน้ำจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการควบแน่นนี้เรียกว่า “จุน้ำค้าง” (Dew point)

จากที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น เราสามารถสรุปได้ว่า “จุดน้ำค้างของอากาศขึ้นมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดน้ำค้างของอากาศแห้ง” การควบแน่นของไอน้ำในอากาศ ทำให้เกิดการคายความร้อนแฝง ส่งผลให้อากาศโดยรอบมีอุณหภูมิสูงขึ้น เราเรียกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยที่ไม่ต้องมีการเพิ่มพลังงานความร้อนจากภายนอกกระบวนการเช่นนี้ว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบอะเดียแบติก (Adiabatic temperature change) ตัวอย่างเช่น

ก) เมื่อใส่ น้ำแข็งไว้ในแก้ว จะเกิดละอองน้ำเล็กๆ เกาะอยู่รอบๆ แก้ว ละอองน้ำเหล่านี้เกิดจากอากาศรอบๆ แก้ว มีอุณหภูมิลดต่ำลงจนเกิดการอิ่มตัว และไม่สามารถเก็บไอน้ำได้มากกว่านี้ ไอน้ำจึงควบแน่นเปลี่ยนสถานะเป็นหยดน้ำ

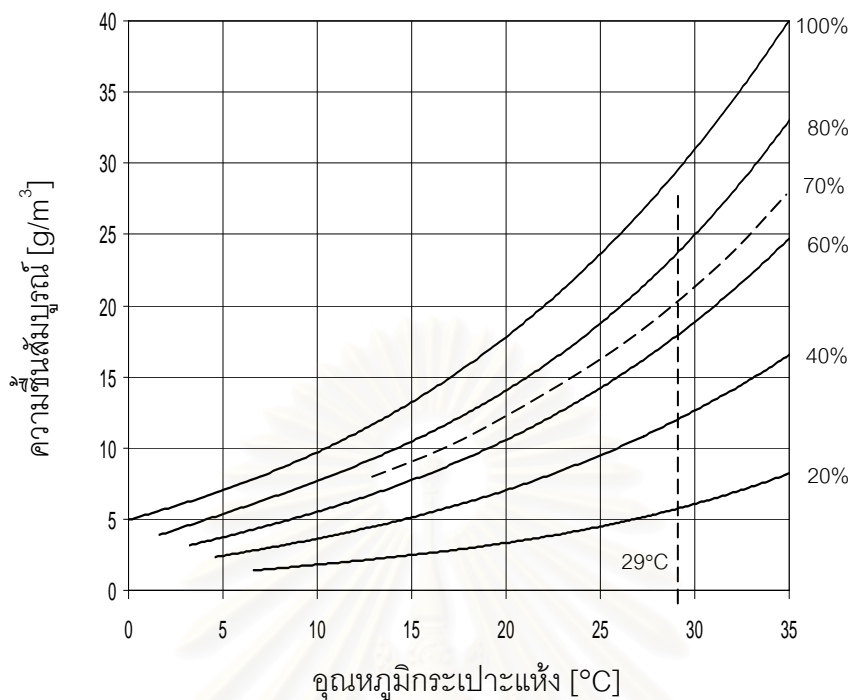
ข) ในวันที่มีอากาศหนาว เมื่อหายใจออกจะมีควันสีขาว ซึ่งเป็นละอองน้ำเล็กๆ เกิดจากอากาศอบอุ่นภายในร่างกายปะทะกับอากาศเย็นภายนอกทำให้ไอน้ำซึ่งออกมาจากอากาศภายในร่างกาย ควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำเล็กๆ มองเห็นเป็นควันสีขาว

ค) กាต้มน้ำเดือดพ่นควันสีขาวออกจากพวยกา ควันสีขาวนั้นที่จริงเป็นหยดน้ำเล็กๆ ซึ่งเกิดจาก อากาศร้อนภายในกาพุ่งออกมาปะทะอากาศเย็นภายนอก แล้วเกิดการอิ่มตัว ควบแน่นเป็นละอองน้ำเล็กๆ ทำให้มองเห็น (ไอน้ำในสถานะของก๊าซนั้น ไม่มีสี ไม่สามารถมองเห็นได้)

2.1.5.2 ค่าความชื้นสัมบูรณ์ (h, Absolute Humidity)

ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศกับปริมาตรของอากาศนั้น ที่อุณหภูมิเดียวกันมีหน่วยเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (g/m^3) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมบูรณ์กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ กับอุณหภูมิ ได้แสดงไว้ใน รูปที่ 2.2 ตัวอย่าง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% และอุณหภูมิ 29°C ความชื้นสัมบูรณ์มีค่าเท่ากับ $20.1 \text{ g}/\text{m}^3$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความความชื้นสัมบูรณ์

2.2 ลักษณะสมบัติของก๊าซ

ก๊าซที่สมบูรณ์ประกอบด้วยอนุภาคทรงกลมที่ยึดหยุ่นได้จำนวนมาก คือ โมเลกุล (molecules) มีการเคลื่อนที่แบบยถากรรมอย่างต่อเนื่อง และชนกันเอง ในก๊าซใดๆ ที่สถานะปกติ โมเลกุลจะมีขนาดและน้ำหนักเท่ากันหมด โดยที่โมเลกุลมีขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับระยะเคลื่อนที่ระหว่างที่ชนครั้งหนึ่งกับครั้งถัดไป ซึ่งระยะดังกล่าวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดันก๊าซและเป็นไปตามกฎธรรมชาติของก๊าซที่ควรนำมากล่าวในที่นี้

2.2.1 กฎทั่วไปของก๊าซ

กฎเบื้องต้นของก๊าซที่ควรกล่าวถึงอันดับแรกก็คือ ข้อสมมติฐานของอาโวกาโดร (Avogadro) ที่กล่าวว่า ก๊าซทั้งหลายในสถานะเดียวกัน (อุณหภูมิ และความดันเดียวกัน) จะมีจำนวนโมเลกุลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรเท่ากัน ซึ่งจะช่วยให้สามารถหาค่าอื่นๆ เกี่ยวกับก๊าซได้

กฎของก๊าซ ที่ได้จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์สามท่าน คือ บอยล์ ชาร์ล และเกย์-ลูสแซก [5] คือ

$$PV = nRT \quad (2.1)$$

เมื่อปริมาตรของก๊าซ V คงที่ จะพบว่า

$$P_0V = n_0RT_0 \quad (2.2)$$

ดังนั้น

$$n/n_0 = (P/T) \cdot (T_0/P_0) \quad (2.3)$$

โดยที่ P คือ ความดันก๊าซ

R คือ ค่าคงตัวของก๊าซทั่วไป = 8.3143 J/K mole

T คือ อุณหภูมิสมบูรณ์ K

n คือ จำนวนโมเลกุลของก๊าซ

สมการที่ 2.3 ทำให้เราทราบถึงจำนวนโมเลกุลของก๊าซที่สภาวะใดๆ เมื่อเทียบกับสภาวะอากาศมาตรฐานได้

2.2.2 ทฤษฎีจลน์เบื้องต้น

การสูญเสียสภาพฉับพลันในก๊าซ อาจอธิบายได้ด้วยทฤษฎีการเกิดเบรกดาวนซ์ของทาวน์เซนต์ หรือสตรีมเมอร์ กลไกทั้งสองอาศัยทฤษฎีจลน์ (kinetic theory) เป็นพื้นฐาน ที่เกี่ยวข้องกับระยะอิสระ การถ่ายเทพลังงาน การเกิดอิเล็กตรอนอิสระโดยการแตกประจุ (ionization) หรือการปล่อยประจุ การเพิ่มทวิคูณของประจุ ที่นำไปสู่การสูญเสียสภาพฉับพลันของก๊าซ

2.2.3 กลไกการสูญเสียสภาพฉับพลัน (Breakdown mechanisms)

การสูญเสียสภาพฉับพลันในก๊าซ หมายถึงการเปลี่ยนสภาพการเป็นฉนวนไปสู่สภาพนำไฟฟ้า คือ เป็นช่วงต่อ ระหว่างสถานะที่กระแสไหลประทั้งตัวเองไม่ได้ (nonself – sustained) ไปสู่สถานะภาพที่กระแสไหลประทั้งตัวเองได้ (self – sustained) ช่วงต่อดังกล่าวจะเกิดเมื่อในช่องว่างอากาศมีจำนวนอิเล็กตรอนหรือไอออนในอะวาลานซ์มากพอ จนทำให้ช่องว่างอากาศมีสภาพนำไฟฟ้า โดยทฤษฎีแล้วกระแสไฟฟ้าที่ไหลจะมีค่าเป็นค่าอนันต์ (ในทางปฏิบัติกระแสที่ไหลถูกจำกัดด้วยค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรภายนอก) และกระแสที่ไหลในช่องว่างอากาศนี้จะไหลต่อไปได้ถึงแม้ว่าจะตัดต้นกำเนิดรังสีสองคะโถด (เช่น รังสีอุลตราไวโอเลต) เพื่อสร้างจำนวนอิเล็กตรอนเริ่มต้น (N_0) และ กระแสเริ่มต้น (I_0) ออก หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ แรงดันที่ทำให้เกิดการสูญเสียสภาพฉับพลันมีค่าคงเดิมแม้ว่า N_0 หรือ I_0 จะต่างกันก็ตาม ค่ากระแสอิมิตัว I_0 ขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีสองคะโถดที่ระดับกระแสอิมิตัวของ I_0 ค่าหนึ่ง ขนาดแรงดันที่ป้อนไม่มีผลต่อค่ากระแสที่ไหลในช่องว่างอากาศ จนถึงค่าแรงดันหนึ่งกระแสจะเริ่มเพิ่มขึ้นเป็นเอกซ์โปเนนเชียลในย่านนี้เรียกว่า ทาวน์เซนต์ดีสซาร์จ ถ้าเพิ่มแรงดันต่อไปอีกกระแสเพิ่มขึ้นเกินเอกซ์โปเนนเชียล จนแรงดันถึงค่า

หนึ่งเรียกว่า การสูญเสียสภาพฉนวน เกิดขึ้นที่แรงดันเดียวกันไม่ว่า I_0 จะเป็นเท่าใด และกระแสไหลในช่องว่างอากาศประดังตัวเองได้

2.2.4 การแตกประจุ (Ionization)

เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซได้รับพลังงานเพียงพอ จนทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไป อะตอมหรือโมเลกุลนั้นก็จะมีประจุเป็นบวก ปรากฏการณ์นี้มักเรียกว่า เกิดไอออนไนซ์ กระบวนการที่อิเล็กตรอนแยกออกจากอนุภาคของก๊าซและมีไอออนบวกเพิ่มขึ้น เรียกว่า ไอออนไนเซชัน หรือการแตกตัวของอิเล็กตรอนจากโมเลกุล ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้ก๊าซมีสภาพนำไฟฟ้าขึ้นได้ ส่วนกระบวนการที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากของแข็ง (solid) เรียกว่า การปล่อยอิเล็กตรอน (electron emission)

อาจกล่าวได้ว่า ก๊าซจะมีสภาพนำไฟฟ้าได้เมื่อมีประจุอิสระจำนวนมากๆ โดยกระบวนการที่คูณเพิ่มขึ้นของอิเล็กตรอนและไอออนในช่องว่างอากาศนั้นแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ คือ กระบวนการแตกตัวของอิเล็กตรอนออกจากโมเลกุลของก๊าซ จากการชนของอนุภาคกับโมเลกุล (อิเล็กตรอน, ไอออน และโฟตอนชนกับโมเลกุล) และกระบวนการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวอิเล็กโทรดเมื่อได้รับความเครียดสนามไฟฟ้าสูงหรือได้รับพลังงานความร้อน รังสี หรือไอออนวิ่งมากระทบผิวอิเล็กโทรด

2.2.5 ผลของประจุค้างมีต่อแรงดันสูญเสียสภาพฉนวน

ประจุค้าง (space charge) ที่เกิดขึ้นในสนามไฟฟ้า ทำให้แรงดันสูญเสียสภาพฉนวน V_0 มีค่าสูงกว่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด (V_c) และผลของประจุค้างทำให้แรงดันสูญเสียสภาพฉนวน ขั้วบวกและขั้วลบต่างกัน ในทางตรงข้ามกับแรงดันสูญเสียสภาพฉนวนโดยตรง (direct breakdown) กล่าวคือ แรงดันสูญเสียสภาพฉนวนโดยตรงหรือแรงดันเริ่มต้น (threshold voltage, or inception voltage) ของแรงดันขั้วลบจะต่ำกว่าของขั้วบวกเสมอ แต่ผลของประจุค้างทำให้แรงดันสูญเสียสภาพฉนวนขั้วลบสูงกว่าขั้วบวกปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นกับแรงดันทุกรูปแบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงของอิเล็กโทรดแบบไม่สมมาตร

2.3 ผลกระทบของสภาพอากาศที่มีต่อการทดสอบ

2.3.1 ผลของความหนาแน่นสัมพัทธ์อากาศ

ในทางปฏิบัติความหนาแน่นสัมพัทธ์ของอากาศมีความสำคัญต่อการชดเชยกลางแจ้ง (สายส่งไฟฟ้ากำลัง สวิตช์เกียร์ในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย) แต่เนื่องจากบรรยากาศโดยปกติเปลี่ยนแปลงไม่มากนักจึงถือได้ว่าค่าแรงดันสูญเสียสภาพฉนวน เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า P/T (ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของอากาศ $(\delta) = 1$ ที่ความดันบรรยากาศ $P = 760$ mmHg อุณหภูมิ $T = 20^\circ\text{C} = 293$ K ตามมาตรฐาน IEC)

เมื่อพิจารณาเพียงผลของความหนาแน่นสัมพัทธ์อากาศที่มีต่อการทดสอบด้วยแรงดันสูง พบว่า

$$V_b(\delta) = \delta V_o \quad (2.4)$$

โดยที่ V_b คือ ค่าแรงดันสูญเสียสภาพฉนวนที่สภาวะอากาศ ขณะทำการทดสอบ

V_o คือ ค่าแรงดันเบรกดาวนที่สภาวะมาตรฐาน

ค่าความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์คำนวณได้จาก

$$\delta = \left(\frac{P}{P_o} \right) \left(\frac{273 + T_o}{273 + T} \right) \quad (2.5)$$

เมื่อ δ คือ ความหนาแน่นสัมพัทธ์อากาศ (Relative air density)

P คือ ความดันอากาศในขณะทดสอบ

P_o คือ ความดันอากาศที่สภาวะมาตรฐานมีค่าในหน่วยต่างๆ ได้แก่ 760 mmHg, 29.92 inch Hg 101.3 kPa, 1.013×10^5 N/m² และ 1013 mbar

T คือ อุณหภูมิในขณะทดสอบ

T_o คือ อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐานมีค่า 20 °C

2.3.2 ผลของความชื้นที่มีต่อการทดสอบไฟฟ้าแรงสูง

โมเลกุลของน้ำในอากาศมีลักษณะคล้ายก๊าซที่มีค่าประจุไฟฟ้าเป็นลบอ่อนๆ เพราะมีอะตอมของออกซิเจนประกอบอยู่ ทำให้อากาศที่มีความชื้นมีความคงทนต่อแรงดันสูงขึ้นตรงเท่ากับที่ความชื้นยังไม่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำหรือยังไม่ถึงจุดน้ำค้าง ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอที่ไม่มีการปล่อยประจุก่อน หรือในช่องว่างอากาศของทรงกลมที่มีระยะช่องว่างสั้นเมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลาง ความชื้นมีผลต่อแรงดันสูญเสียสภาพฉนวนน้อยจนอาจจะละเลยได้ แต่ในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอที่เกิดการปล่อยประจุก่อน ความชื้นจะมีผลต่อค่าแรงดันสูญเสียสภาพฉนวน [5]

สำหรับงานวิจัยนี้จะพิจารณาให้ผลของความชื้นที่มีต่อแรงดันสูงเป็นตัวแปรผันค่าหนึ่งตามสมการที่ 2.6

$$V_b(k) = kV_o \quad (2.6)$$

โดยที่ k คือ ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นซึ่งกำหนดไว้ในมาตรฐานต่างๆ

2.4 มาตรฐานการทดสอบไฟฟ้าแรงสูง

มาตรฐานการทดสอบไฟฟ้าแรงสูง ที่อ้างอิงถึงในงานวิจัยนี้จะมีอยู่ 3 มาตรฐาน ได้แก่ ANSI, IEC และ IEEE สำหรับหัวข้อนี้จะอธิบายถึงการคำนวณหาค่าแรงดันสูงที่สภาวะทั่วไปตามมาตรฐานดังกล่าว ซึ่งจะให้เห็นถึงความแตกต่างของมาตรฐานดังกล่าว

2.4.1 การหาค่าแรงดันสูงมาตรฐาน ANSI C29-1:1988 [6]

มาตรฐาน ANSI เป็นมาตรฐานของประเทศอเมริกา ย่อมาจาก American National Standards Institute ได้กำหนด มาตรฐาน ANSI C29-1 ขึ้นเพื่อการทดสอบแรงดันสูงสำหรับลูกถ้วยไฟฟ้า ตั้งแต่ปี 1944 และมีการปรับปรุงจนถึงปี 1988 นั้น จะมีการคำนวณหาค่าแรงดันทดสอบมาตรฐานที่เหมือนกัน ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงวิธีการคำนวณหาค่าแรงดันทดสอบที่สภาวะมาตรฐานตาม ANSI C29-1:1988 สภาวะมาตรฐานอ้างอิงจะต่างจาก IEC และ IEEE คือ

อุณหภูมิ	25	องศาเซลเซียส
ความดันบรรยากาศ	29.92	นิ้วปรอท หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท
ความดันไอน้ำ	0.6085	นิ้วปรอท หรือ 15.45 มิลลิเมตรปรอท

ค่าตัวประกอบแก้ไขตามมาตรฐาน ANSI ที่สภาวะแห้งทั้งแรงดันสูงกระแสสลับและแรงดันสูงอิมพัลส์ จะมีสมการสำหรับการแก้ไขคือ

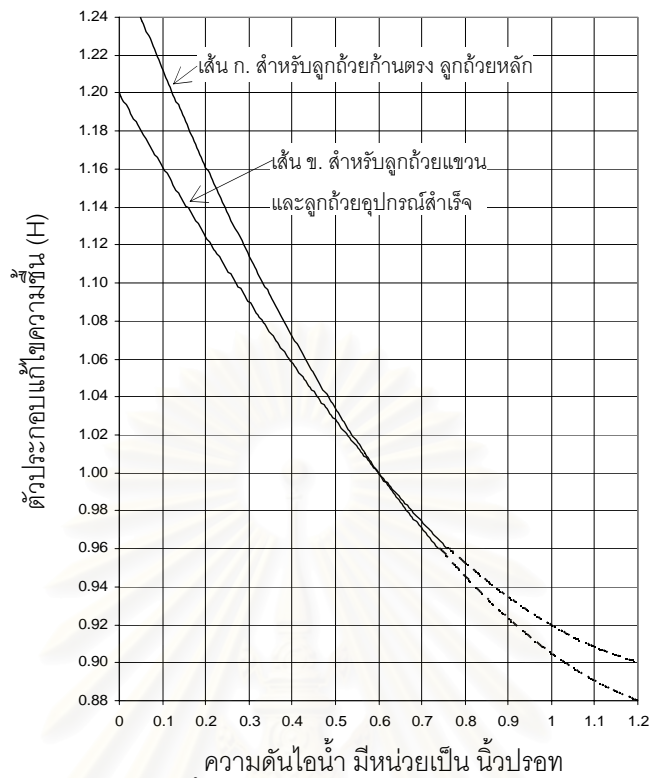
$$V = V_0 \times \frac{\delta}{H} \quad (2.6)$$

V คือ แรงดันทดสอบมีหน่วยเป็น kV

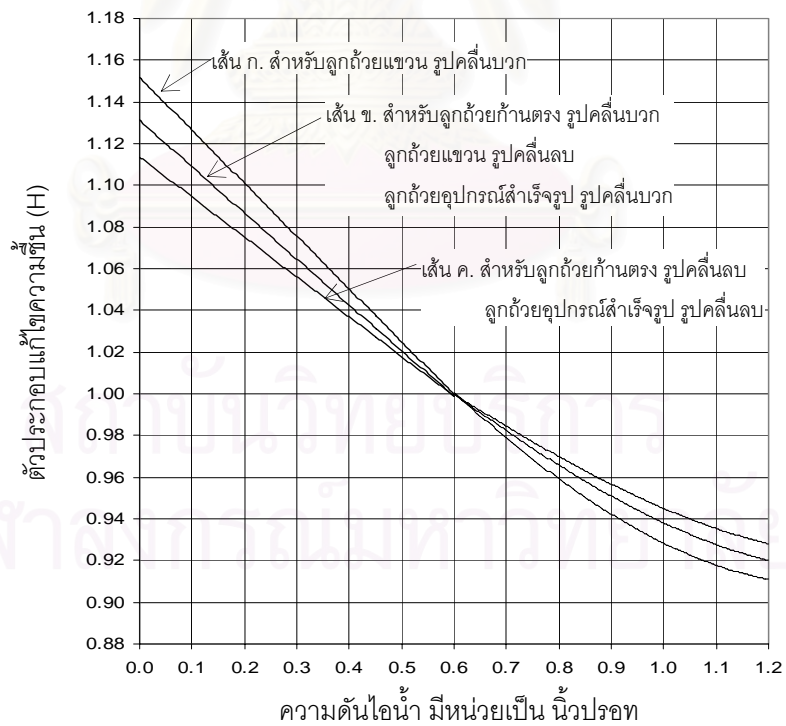
V_0 คือ แรงดันทดสอบมาตรฐาน มีหน่วยเป็น kV

δ คือ ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์

H คือ ตัวประกอบแก้ไขความชื้นหาได้จากกราฟรูป 2.3



รูป 2.9 ค่าตัวประกอบแก้ไขความชันของแรงดันสูงกระแสลับตามมาตรฐาน ANSI C29-1:1988



รูปที่ 2.10 ค่าตัวประกอบแก้ไขความชันของแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าตามมาตรฐาน ANSI C29-1:1988

2.4.2 การหาค่าแรงดันสูงมาตรฐาน IEC 60060-1:1976 และ IEEE std. 4:1978

มาตรฐาน IEC 60060-1:1976 [7] และ IEEE std. 4:1978 [8] ได้กำหนดวิธีการปรับค่ามาเป็นค่ามาตรฐานโดยขึ้นอยู่กับตัวประกอบสองค่า คือ ตัวประกอบแก้ไขความหนาแน่นอากาศ (k_d) และตัวประกอบแก้ไขความชื้น (k_h)

สภาพอากาศมาตรฐานได้กำหนดไว้ดังนี้

อุณหภูมิ	20	องศาเซลเซียส
ความดันบรรยากาศ	1.013×10^5	N/m ² (1013 mbar)
ความชื้นสัมบูรณ์	11	g/m ³

ค่าตัวประกอบแก้ไขความหนาแน่นอากาศ (k_d) จะมีค่าขึ้นอยู่กับความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิ ดังสมการ 2.9

$$k_d = \left(\frac{b}{b_0} \right)^m \times \left(\frac{273+t_0}{273+t} \right)^n \quad (2.9)$$

ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้น (k_h) ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ k ในกราฟ รูปที่ 2.5

$$k_h = (k)^w \quad (2.10)$$

ค่าคงที่ k จะแปรผันตามความชื้นสัมบูรณ์ กราฟ a และ b จะเป็นประเภทของแรงดันที่ใช้ในการทดสอบ และค่า m , n และ w คือเลขยกกำลังที่ขึ้นอยู่กับประเภทและขั้วของแรงดันทดสอบและระยะห่างวาบไฟตามผิว (d) ดังตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.6

ความหมายของสัญลักษณ์ที่แสดงในตารางที่ 2.1



คือ ช่องว่างอากาศ ทรงกลม-ทรงกลม ลักษณะสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ และกระจายแรงดันสมมาตร



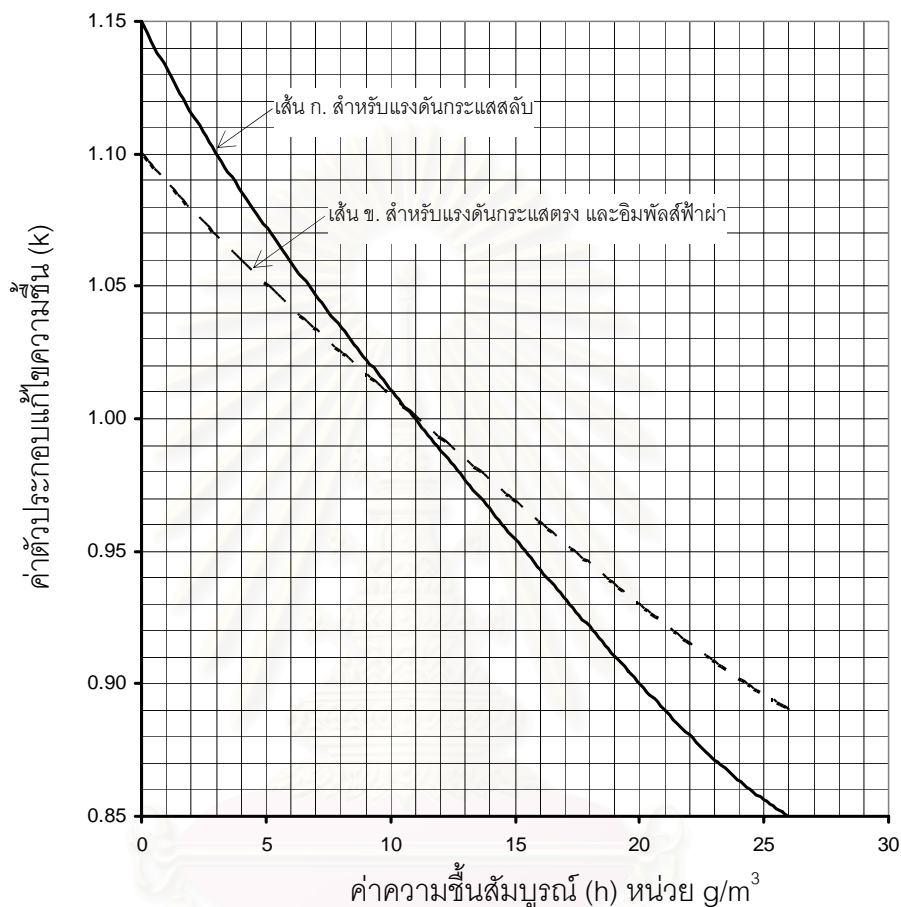
คือ ช่องว่างอากาศ แท่ง-แท่ง ลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ และกระจายแรงดันสมมาตร คุณลักษณะนี้จะเหมือนกับลูกถ้วยแขวน



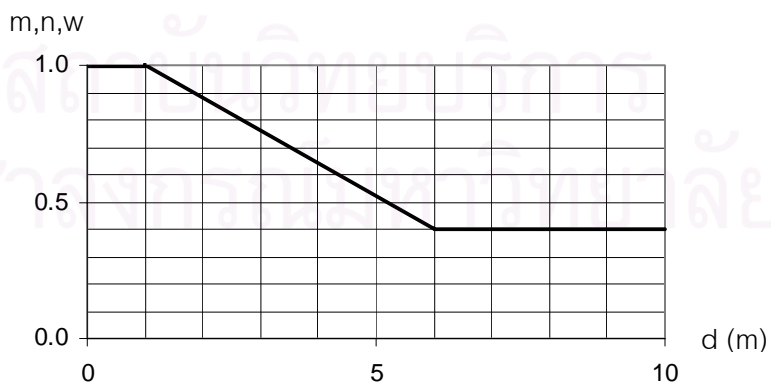
คือ ช่องว่างอากาศ แท่ง-ระนาบ ลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ และกระจายแรงดันไม่สมมาตร คุณลักษณะนี้จะเหมือนกับลูกถ้วยหลัก

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่สภาวะทดสอบกับแรงดันมาตรฐาน IEC 60060-1:1976 จะ
เป็นไปตามสมการ 2.11

$$V_o = V \times \frac{k_h}{k_d} \tag{2.11}$$










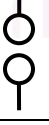




รูป 2.11 ตัวประกอบแก้ไขความชื้นของแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1976



รูปที่ 2.12 ค่าเลขยกกำลัง m และ n สำหรับค่าตัวประกอบแก้ไขความหนาแน่นอากาศ
และค่า w สำหรับตัวประกอบแก้ไขความชื้น มาตรฐาน IEC 60060-1:1976

ตารางที่ 2.1 ค่าตัวประกอบแก้ไขของสนามไฟฟ้าลักษณะต่างๆ ตาม IEC 60060-1:1976

ชนิดของแรงดันที่ใช้ทดสอบ	ลักษณะการกระจายของสนามไฟฟ้า	ขั้ว	ตัวประกอบความหนาแน่นอากาศ	ตัวประกอบแก้ไขความชื้น	
			เลขยกกำลัง m และ n	ตัวประกอบ k	เลขยกกำลัง w
แรงดันสูงกระแสตรง		+	1.0	ตามรูป 2.5	0
		-			0
		+			1.0
		-			1.0
		+			1.0
		-			0
แรงดันสูงกระแสสลับ		~	1.0	ตามรูป 2.5	0
		~	ตามรูป 2.6		ตามรูป 2.6
		~	ตามรูป 2.6		ตามรูป 2.6
แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า		+	1.0	ตามรูป 2.5	0
		-			0
		+			1.0
		-			0.8
		+			1.0
		-			0
แรงดันอิมพัลส์สวิตชิง		+	1.0	ตามรูป 2.5	0
		-			0
		+			ตามรูป 2.6
		-			ตามรูป 2.6
		+			ตามรูป 2.6
		-			ตามรูป 2.6

2.4.3 การหาค่าแรงดันสูงมาตรฐาน IEC 60060-1:1989 และ IEEE std. 4:1995

มาตรฐานการทดสอบไฟฟ้าแรงสูงตาม IEC 60060-1:1989 และ IEEE std.4:1995 ได้กำหนดวิธีการแปลงแรงดันทดสอบที่สภาวะห้องทดสอบใดๆ ไปเป็นแรงดันทดสอบที่สภาวะมาตรฐานไว้ดังนี้

ค่าที่ต้องบันทึกขณะทำการทดลอง คือ อุณหภูมิ, ความดันบรรยากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ หลังจากนั้นหาค่าความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ได้ตามสมการที่ 2.5 และค่าความชื้นสัมบูรณ์จากรูปที่ 2.2 เมื่อได้ค่า h/δ ก็สามารถหาค่า k ได้ตามตารางที่ 2.2 มาตรฐาน IEC 60060-1:1989

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง k กับ h/δ ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989

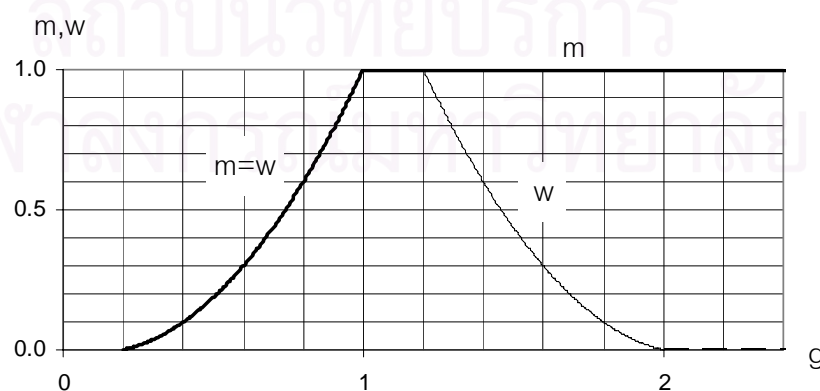
รูปคลื่นแรงดัน	ค่า k	ช่วงความชื้น (g/m^3)
กระแสดับ	$1+0.012(h/\delta - 11)$	$1 \leq h/\delta < 15$
อิมพัลส์ฟ้าผ่า	$1+0.010(h/\delta - 11)$	$1 \leq h/\delta < 15$
กระแสดรง	$1+0.014(h/\delta - 11)$	$1 \leq h/\delta < 13$

ขั้นตอนต่อไปนำค่า k และ δ คำนวณหาค่า g ตามสมการที่ 2.6

$$g = \frac{V_B}{500Lk\delta} \quad (2.6)$$

เมื่อ V_B คือ ค่าแรงดันสูญเสียสภาพฉนวนที่สภาวะการทดสอบ มีหน่วยเป็นกิโลโวลต์ (kV)
 L คือ ระยะของการดิสชาร์จที่สั้นที่สุด มีหน่วยเป็น เมตร (m)

มาตรฐาน IEC 60060-1:1989 ได้กำหนดการหาค่า m , w จากค่า g ด้วยการใช้อกราฟที่แสดงในรูปที่ 2.12 หรือจะเป็นการคำนวณค่าได้โดยตรงจากสมการในตารางที่ 2.3 [9]



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง g กับค่า m และ w มาตรฐาน IEC 60060-1:1989

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง g กับค่า m และ w มาตรฐาน IEC 60060-1:1989

G	m	w
$g < 0.2$	0	0
$0.2 < g < 1.0$	$m = w = 1.25g(g - 0.2)$	
$1.0 < g < 1.2$	1	1
$1.2 < g < 2.0$	1	$w = 1.25(2.2 - g)(2 - g)$
$g > 2.0$	1	0

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989 ได้กำหนดค่า m และ w เพื่อใช้คำนวณค่า k_1 คือ ค่าตัวประกอบแก้ไขความหนาแน่นอากาศ (Air density correction factor) และ k_2 คือ ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้น (Humidity correction factor) ในสมการ 2.7 และ 2.8

$$k_1 = \delta^m \quad (2.7)$$

$$k_2 = k^w \quad (2.8)$$

มาตรฐานการทดสอบไฟฟ้าแรงสูง IEC 60060-1:1989 และ IEEE std.4:1995 ได้มีการกำหนดวิธีการคำนวณหาค่าแรงดันมาตรฐานที่สภาวะการทดสอบใดๆ ไว้ โดยมีค่าแปรผันตรงกับตัวประกอบแก้ไขอากาศและตัวประกอบแก้ไขความชื้น ดังแสดงไว้ตามสมการที่ 2.9

$$V = V_0 K \quad (2.9)$$

$$K = k_1 k_2 \quad (2.10)$$

เมื่อ V_0 คือ แรงดันที่สภาวะอากาศมาตรฐาน

V คือ แรงดันที่สภาวะอากาศของห้องทดสอบ

2.4.4 ค่าแรงดันสูงมาตรฐาน IEEE Std. 4a:2001(Amendment IEEE Std.4:1995)

มาตรฐาน IEEE Std.4a:2001 [10] ได้แก้ไขใหม่ โดยแก้ไขจากมาตรฐาน IEEE Std.4:1995 กลับไปใช้การแก้ไขตามมาตรฐาน IEEE Std. 4:1978 ซึ่งตัวประกอบแก้ไขคือค่า k_d และ k_h ดังที่กล่าวมาแล้ว ตามหัวข้อ 2.4.2

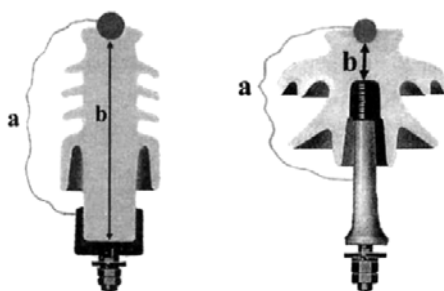
2.5 ความต้านทานของฉนวน

ฉนวนไฟฟ้าที่สมบูรณ์จะต้องไม่นำกระแสเลย เมื่อรับแรงดันกระแสตรง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ฉนวนนั้นมีค่าความต้านทานสูงเป็นอนันต์ แต่ฉนวนไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในทางปฏิบัตินั้นมักจะนำกระแสค่าน้อยๆ เมื่อป้อนแรงดันกระแสตรง นั้นแสดงว่าสารฉนวนไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไม่สูงเป็นอนันต์ หากแต่มีค่าสูงที่วัดได้ ค่าความต้านทานยิ่งสูงก็แสดงว่าฉนวนนี้มีคุณภาพการฉนวนยิ่งดี

เมื่อนำฉนวนไปคั่นระหว่างอิเล็กโทรดที่ป้อนแรงดันกระแสตรงเป็นเวลานาน จนกระทั่งอยู่ตัว จะมีกระแสไหลค่าต่างๆ ผ่านฉนวน เรียกว่า กระแสรั่ว หรือกระแสค้ำง กระแสรั่วที่ไหลผ่านฉนวนนี้แบ่งออกเป็นสองทาง คือ ทางหนึ่งไหลผ่านเนื้อฉนวนและไหลผ่านสิ่งเปราะอะเปื้อนและความชื้นที่ผิว ด้วยเหตุนี้เองการทดสอบแรงดันสูงทุกครั้งในงานวิจัยนี้ต้องมีการทำความสะอาดผิวฉนวนทุกครั้งที่ทำกรทดสอบ เพื่อกระแสที่รั่วไหลมีค่าคงที่

2.6 ลูกถ้วย (Insulator)

ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ฉนวนที่ใช้สำหรับยึดหรือรองรับตัวนำไฟฟ้า ที่มีแรงดันหรือศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าดิน หรือยึดตัวนำไฟฟ้าให้อยู่ห่างกันอย่างมั่นคงพอที่จะไม่ทำให้แกว่ง หรือเคลื่อนไหวเข้าใกล้กันจนทำให้เกิดการสูญเสียสภาพฉนวน และเกิดลัดวงจรระหว่างตัวนำที่มีศักย์ไฟฟ้าต่างกัน ถ้าพิจารณาจากเนื้อสารที่ใช้ทำลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า ลูกถ้วยฉนวนอาจจะแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ พอร์ซเลน (Porcelain) แก้วเหนียว (Toughened glass) และสารสังเคราะห์ ลูกถ้วยฉนวนประเภทสารสังเคราะห์นิยมใช้ภายในอาคารที่ไม่เปียกชื้น ส่วนที่ใช้กลางแจ้งอาคารมักจะเป็นลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน หรือแก้วเหนียว เพราะมีความคงทนต่อสภาวะดินฟ้าอากาศได้ดีและในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน ตาม IEC 60383-1:1983 [11] ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าแรงสูงอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือประเภท A จะเป็นลูกถ้วยมีแนวเจาะทะลุเนื้อฉนวนยาวกว่าครึ่งหนึ่งของระยะวาบไฟตามผิวที่เป็นอากาศรอบนอกลูกถ้วย ตัวอย่างเช่น ลูกถ้วยแท่ง ลูกถ้วยแท่งก้านตรง และลูกถ้วยคอตันยาว และประเภท B ซึ่งเป็นลูกถ้วยมีแนวเจาะทะลุเนื้อฉนวนสั้นกว่าครึ่งหนึ่งของระยะวาบไฟตามผิวที่เป็นอากาศรอบนอกลูกถ้วย ได้แก่ ลูกถ้วยก้านตรง ลูกถ้วยแขน ตัวอย่างของลูกถ้วยฉนวนประเภท A และ B แสดงในรูป 2.3 ก และ ข [12]



ก) ประเภท A $b > a/2$

ข) ประเภท B $b < a/2$

รูปที่ 2.14 ประเภทลูกถ้วยตามมาตรฐาน IEC 60383-1

2.6.1 ประเภทลูกถ้วยฉนวน

รูปลักษณะและขนาดของลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าที่ใช้ในการยึดสายตัวนำไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีอยู่หลายแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับแรงดันของระบบ หน้าที่การใช้งานและสภาวะแวดล้อมของการทำงาน ภายในหรือภายนอกอาคาร สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำตัวอย่างลูกถ้วยแบบต่างๆ จำนวน 5 แบบมาทำการทดสอบ ดังนี้

1) ลูกถ้วยก้านตรง (Pin post insulator) จะมีก้านเหล็กที่ใช้ยึดกับคอนกรีต โดยจะเชื่อมติดกับพอร์ซเลนด้วยปูนซีเมนต์ การออกแบบสำหรับใช้ในบริเวณที่มีความเปราะเปื้อนสูง จะออกแบบให้มีลักษณะเหมือนกระโปรงเพื่อเพิ่มระยะรั้วป้องกันให้มีความมากขึ้น

2) ลูกถ้วยหลัก (Post insulator) มีลักษณะเป็นคอตัน ยอดบนและฐานล่างจะเป็นหัวครอบโลหะซึ่งเป็นที่ยึดตัวเอง หรือยึดต่อตัวที่นำมาเชื่อมต่อ มีปีกครีบทำนองเดียวกับลูกถ้วยคอตันยาว ใช้สำหรับตรึงยึดตัวนำไฟฟ้าให้มั่นคงทำนองเดียวกับลูกถ้วยก้านตรงฝาครอบ โดยทั่วไปใช้สำหรับยึด บัสบาร์หรือสวิตช์ตัดตอน

3) ลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน (Suspension insulator) ลูกถ้วยแขวนเป็นลูกถ้วยแรงสูง สามารถห้อยแขวนต่อกันเป็นพวงได้ ส่วนบนของลูกถ้วยจะมีฝาครอบโลหะ มีรูหรือช่องที่จะไปห้อยเกี่ยวกับก้านที่อยู่ด้านล่างของลูกถ้วยลูกบนได้ ในกรณีที่จะยึดสายไฟแรงสูงมากขึ้น จำนวนลูกถ้วยในพวงก็จะมีมากขึ้น เพื่อให้สามารถทนแรงดันได้สูงขึ้น

4) ลูกถ้วยคอตันยาว (Long rod insulator) ใช้เป็นลูกถ้วยแขวนหรือลูกถ้วยรับแรงดึง รูปร่างจะเป็นแบบทรงกระบอกที่มีปีกทั้ง 2 ด้าน เป็นลูกถ้วยเดี่ยวที่มีลักษณะผสมระหว่างลูกถ้วยแท่งกับลูกถ้วยแขวนตัวลูกถ้วยเป็นคอตันสามารถแขวนห้อยต่อกันได้ ความยาวแต่ละท่อนอาจถึง 100 เซนติเมตร ทนแรงดันได้ถึง 300 kV ต่อท่อน ลูกถ้วยคอตันยาวเป็นลูกถ้วยประเภท A ทำให้ไม่มีโอกาสที่จะเจาะทะลุเนื้อฉนวน ลูกถ้วยแบบนี้จะมีหัวครอบโลหะอยู่ที่ส่วนปลายของท่อน

ลูกถ้วย เพื่อใช้ต่อกับลูกถ้วยแบบเดียวกันเท่านั้น หัวครอบโลหะจะมีทั้งด้านบนและด้านล่าง IEC 60433 ได้แบ่งลูกถ้วยคอตันยาวออกเป็น 2 แบบ ตามลักษณะหัวครอบโลหะได้แก่ แบบ B หัวครอบโลหะจะเป็นแบบ socket ลูกถ้วยคอตันยาวผลิตขึ้นมาในครั้งแรกเพื่อแก้ปัญหาของลูกถ้วยแขวนพอร์ชเลน ที่มีปัญหาการเกิดการแตกเนื่องจากการขยายตัวของซีเมนต์หลังจากใช้งานไประยะหนึ่ง เพราะว่าลูกถ้วยคอตันยาวเป็นลูกถ้วยฉนวนประเภท A เป็นแบบเนื้อตันจึงไม่มีโอกาสเจาะทะลุ เมื่อทำการออกแบบลักษณะมิติของลูกถ้วยคอตันยาวให้มีความถูกต้องเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในสภาวะเปราะเปื้อน ลูกถ้วยคอตันยาวเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาการเกิดวาบไฟตามผิวและการเจาะทะลุได้

5) ลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์ (Polymer insulator) เป็นลูกถ้วยที่ออกแบบมาให้มีน้ำหนักเบา ลักษณะการติดตั้งใช้สำหรับยึดโยงสายส่งแรงสูง แต่ความคงทนต่อแสงแดดยังถือว่าต่ำกว่าเนื้อผิวพอร์ชเลนมาก

2.6.2 ลักษณะสมบัติที่สำคัญของลูกถ้วยฉนวนที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้า

ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าถือเป็นส่วนประกอบสำคัญยิ่งต่อเสถียรภาพ และความเชื่อถือได้ของระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ความบกพร่องหรือความล้มเหลวของลูกถ้วยฉนวนย่อมทำให้การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าหยุดชะงัก และเป็นผลทำให้เกิดความยุ่งยากและเสียหายต่อเศรษฐกิจ ฉะนั้นลูกถ้วยฉนวนที่ดีจะต้องไม่เป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดผิดพร่องในระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ลูกถ้วยฉนวนในสภาวะใช้งานจะต้องทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้ทุกรูปแบบ ต้องมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า แรงกล ความร้อน และปฏิกิริยาเคมี ลักษณะสมบัติที่สำคัญของลูกถ้วยฉนวนที่นำมากล่าวในที่นี้ก็คือ ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า

ลูกถ้วยฉนวนต้องเกิดวาบไฟตามผิวง่ายกว่าการเจาะทะลุ ในการใช้งานลูกถ้วยฉนวนเมื่อยึดหรือรองรับสายไฟ ที่มีศักย์ไฟฟ้าอากาศที่อยู่รอบลูกถ้วยนั้น จะมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าได้ดีกว่าผิวลูกถ้วย ถึงแม้ว่าผิวลูกถ้วยฉนวนจะสะอาดก็ตาม ยิ่งถ้าผิวลูกถ้วยเปราะเปื้อนเพราะฝุ่นละออง หรือน้ำทะเล หรือสารเคมีด้วยแล้ว ยิ่งมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่าอากาศ และถ้ามีความชื้นผิวลูกถ้วยที่เปราะเปื้อนนั้นก็มีสภาพนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เกิดกระแสรั่วตามผิวลูกถ้วยได้ด้วยเหตุนี้เองจึงมีการเพิ่มระยะรั้วของผิวลูกถ้วย โดยการทำให้เป็นปีกยื่นออกมา และแต่ละปีกก็ยังทำเป็นครีบบนเพิ่มระยะรั้วป้องกันมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการทำปีกให้กว้างขึ้นก็มีขีดจำกัด เพราะการออกแบบลักษณะลูกถ้วยจะต้องคำนึงความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นแก่เนื้อฉนวนด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของลูกถ้วยแขวน และลูกถ้วยก้านตรง ซึ่งมีความหนาของเนื้อฉนวนน้อยกว่าระยะอาร์ก ในอากาศหลายเท่า จะต้องให้เกิดวาบไฟตามผิวง่ายกว่าการเกิดเจาะทะลุ

ผ่านเนื้อฉนวนเพราะจะทำให้เสียสภาพการฉนวนอย่างสมบูรณ์ การเกิดวาทไฟตามผิวจะทำให้เสียสภาพการฉนวนชั่วคราวแล้วก็คืนสู่สภาพเดิมได้

คุณสมบัติทางไฟฟ้า ที่จะใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้ คือ

1) แรงดันไฟฟ้าวาทไฟตามผิวแห่งความถี่ต่ำ (Low frequency dry flashover voltage) หมายถึง ค่าเฉลี่ยของแรงดันกระแสสลับ 50 Hz ที่ทำให้เกิดวาทไฟตามผิวบนลูกถ้วยในสภาพแห้ง

2) แรงดันไฟฟ้าวาทไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤต (Critical impulse flashover voltage) หมายถึง ค่าวาทไฟตามผิวบนลูกถ้วย 50% เมื่อป้อนแรงดันอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μ s แบ่งเป็นชั่ววอกและชั่วลบ

2.6.3 มิติของลูกถ้วยฉนวน

ลักษณะที่เกี่ยวข้อง และมีผลต่อลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของลูกถ้วยที่ควรทราบ ความหมายมีดังต่อไปนี้

1) ระยะรั่ว (Leakage distance) คือระยะที่สั้นที่สุดที่วัดตามผิวลูกถ้วยระหว่างอิเล็กโทรด โดยส่วนหนึ่งของระยะรั่วจะเป็นส่วนกันมิให้ผิวเปียกได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาพฝนตก ซึ่งจะช่วยให้ลูกถ้วยมีความคงทนต่อแรงดันวาทไฟตามผิวได้สูงขึ้น

2) ระยะรั่วป้องกัน (Protective leakage distance) คือระยะที่ไม่เปียกฝนซึ่งปกติจะหมายถึง ระยะในปีกลูกถ้วย

3) ระยะอาร์ก (Arcing distance) คือระยะสั้นที่สุดที่วัดระหว่างอิเล็กโทรดผ่านอากาศ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ระยะที่วัดตามแนวที่เกิดอาร์กนั่นเอง ระยะอาร์กแบ่งเป็นระยะอาร์กแห้ง (Dry arcing distance) และระยะอาร์กเปียก (Wet arcing distance) ระยะอาร์กแห้ง หมายถึง ระยะอาร์กที่วัดในสภาวะลูกถ้วยแห้ง ซึ่งจะมีทั้งลักษณะที่วัดตามผิว และส่วนที่เป็นอากาศ ระยะอาร์กเปียก หมายถึง ระยะอาร์กที่วัดในลักษณะลูกถ้วยเปียก ซึ่งส่วนใหญ่จะมีความเปราะเปื้อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

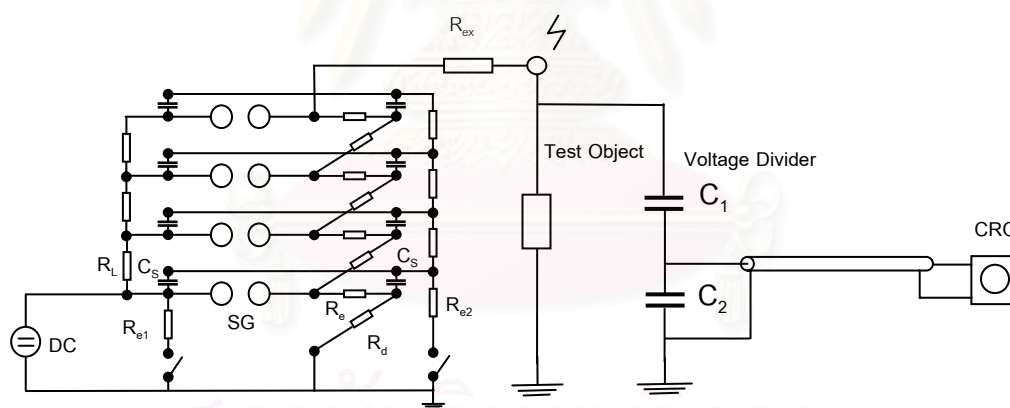
การทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบ, แรงดันที่ใช้ทดสอบ, อุปกรณ์วัดและลูกถ้วย โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การทดสอบไม่หวังให้เกิดการเสียหายของการฉนวน หลังการทดสอบแล้ววัสดุหรืออุปกรณ์นั้นยังสามารถนำไปใช้งานต่อไปได้ การทดสอบในงานวิจัย ใช้แรงดัน 2 ชนิด คือ

- 1) การทดสอบลูกถ้วยด้วยแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ามาตรฐาน
- 2) การทดสอบลูกถ้วยด้วยแรงดันสูงกระแสสลับ

3.1 วิธีการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า

ในการสร้างแรงดันอิมพัลส์สำหรับการทดสอบในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องมีขนาดของแรงดันสูงพอเหมาะกับอุปกรณ์ทดสอบ ดังนั้น จำเป็นต้องใช้วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์แบบหลายขั้น ดังตัวอย่างรูปที่ 3.1 และห้องปฏิบัติการทดสอบไฟฟ้าแรงสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สร้างแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า ด้วยเครื่องกำเนิดอิมพัลส์ฟ้าผ่าขนาด 1400 kV

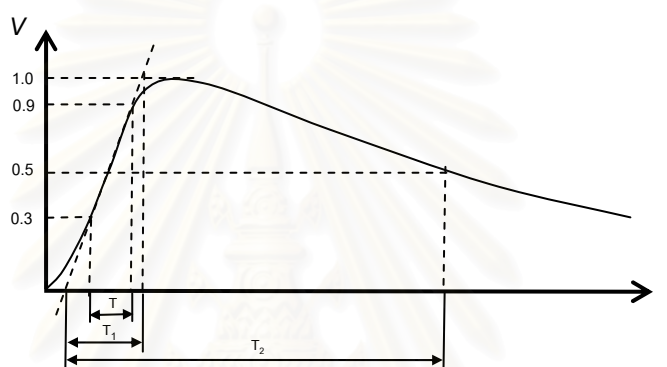


รูปที่ 3.1 วงจรเครื่องกำเนิดอิมพัลส์ฟ้าผ่า 4 ขั้น

- โดยที่ DC คือ แหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง
 C_s คือ ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ
 R_d คือ ความต้านทานปรับหน้าคลื่น
 R_e, R_{e1}, R_{e2} คือ ความต้านทานปรับหลังคลื่น
 R_L คือ ความต้านทานจำกัดกระแสอัดประจุ
SG คือ ช่องว่างอากาศทรงกลมทำหน้าที่เป็นไกสวิตช์

3.1.1 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ที่ใช้ในการทดสอบ

แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าเป็นแรงดันที่เลียนแบบแรงดันเกินเสิร์จทรานเซียนต์ ที่เกิดจากเหตุภายนอก ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ฟ้าผ่า การสร้างรูปคลื่นแรงดันชนิดนี้ขึ้นมาเพื่อการทดสอบอุปกรณ์ต่างๆ ก่อนที่จะนำไปใช้งาน เพื่อจะดูว่าทนต่อแรงดันเกินเหล่านี้ได้หรือไม่ ความคงทนของฉนวนต่อแรงดันหรือความเครียดสนามไฟฟ้าอิมพัลส์ มิใช่ขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันสูงสุดเท่านั้น หากแต่ยังขึ้นอยู่กับการแปรของแรงดันไปตามเวลาอีกด้วย ดังนั้นจึงมีการกำหนดรูปคลื่นอิมพัลส์ฟ้าผ่าให้เป็นมาตรฐานขึ้น



รูปที่ 3.2 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ามาตรฐาน

มาตรฐาน IEC ได้กำหนดแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ามาตรฐาน ไว้ว่า

เวลาช่วงหน้าคลื่น $T_1 = 1.2 \mu\text{s} \pm 30\%$ คือต้องอยู่ในช่วง $0.84 - 1.56 \mu\text{s}$

เวลาช่วงหลังคลื่น $T_2 = 50 \mu\text{s} \pm 20\%$ คือต้องอยู่ในช่วง $40 - 60 \mu\text{s}$

ค่ายอดแรงดัน V_m ยอมให้ผิดพลาดได้ $\pm 3\%$ ของค่าที่ระบุรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า

และจะเรียกแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า ตามค่าเวลาหน้าคลื่น/หลังคลื่นตามมาตรฐานเป็น $1.2/50 \mu\text{s}$

3.1.2 การเก็บข้อมูลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า

แรงดันสูญเสียสภาพ 50% หมายถึง แรงดันที่มีความน่าจะเป็นในการเกิดการพังทลายมีจำนวนครั้งของการเกิดเป็นครึ่งหนึ่งของ จำนวนการบ่อนแรงดันทั้งหมด ลักษณะของข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) และในงานวิจัยนี้ การที่จะหาแรงดัน $V_{50\%}$ จะใช้วิธีปรับขึ้นลง (Up and Down Method) โดยบ่อนแรงดันเริ่มต้นค่าหนึ่งให้มีค่าประมาณ $V_{50\%}$ ถ้าไม่เกิดการสูญเสียสภาพฉบับพลันจะเพิ่มแรงดันขึ้น ΔV แต่ถ้าเกิดการสูญเสียสภาพฉบับพลันจะลดลง ΔV ซึ่งค่า ΔV จะมีค่าประมาณ 3% ของค่าแรงดันเริ่มต้น จำนวนครั้งที่บ่อนแรงดันทั้งหมดควรมีอย่างน้อย 20 ครั้ง ที่ค่าความชื้น, ค่าความดันอากาศและอุณหภูมิ ที่เวลาเดียวกันของการทดสอบ

ซึ่งจะใช้เวลาการทดสอบประมาณ 30 นาที ในช่วงเวลานี้ ค่าความชื้นในอากาศภายในห้องทดสอบ ยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก และค่า $V_{50\%}$ จะหาได้จากสมการที่ 3.1

$$V_{50\%} = \frac{\sum k_i V_i}{\sum k_i} \quad (3.1)$$

k_i คือ จำนวนครั้งที่ป้อนแรงดันค่ายอด V_i

ก่อนการทดสอบลูกถ้วยทุกครั้ง ต้องทำความสะอาดเสมอเพราะเป็นการตัดปัญหาเรื่องสิ่งเปราะเปื้อนบนลูกถ้วยที่จะมีผลต่อการเกิดแรงดันวาบไฟตามผิว นอกจากการทดสอบและตรวจสอบแรงดันสูงรูปคลื่นฟ้าผ่ามาตรฐาน 1.2/50 μ s ให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60060-1



ก) การทดสอบลูกถ้วยหลัก



ข) การทดสอบลูกถ้วยแท่งก้านตรง

รูปที่ 3.3 ปรากฏการณ์การเกิดวาบไฟตามผิวและทำการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์

3.2 วิธีการทดสอบแรงดันสูงกระแสลับ

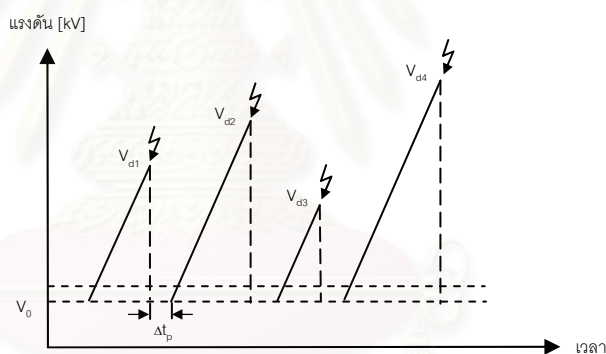
หม้อแปลงทดสอบสร้างแรงดันสูงกระแสลับ สำหรับทดสอบวัสดุฉนวนก่อนจะนำไปใช้ในระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า โดยปกติจะเป็นเฟสเดียวมีกำลังไฟฟ้าเพียงพอสำหรับจ่ายกระแสให้วัสดุทดสอบโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นความจุไฟฟ้า

ห้องปฏิบัติการทดสอบไฟฟ้าแรงสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สร้างแรงดันสูงกระแสลับ 200 kV ด้วยหม้อแปลงขนาด 100 kV จำนวน 2 ลูก ต่อแบบขั้นบันได แต่ในการทดสอบแต่ละครั้งจะทดสอบที่ระดับแรงดันประมาณร้อยละ 80 ของแรงดันพิกัดที่จ่ายออกมาได้ เพื่อความปลอดภัยของหม้อแปลง และข้อจำกัดนี้ทำให้การทดสอบ ใช้แรงดันสูงกระแสลับที่ออกจากหม้อแปลงมีค่า

ได้ไม่เกินประมาณ 160 kV ดังนั้น จึงทำการทดสอบลูกถ้วยได้เพียง ลูกถ้วยแบบก้านตรงและลูกถ้วยแบบแขวนชนิดพอร์ซเลนเท่านั้น

3.2.1 การเก็บข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงกระแสสลับ

การทดลองแรงดันเพิ่มสามารถใช้ได้กับการป้อนแรงดันทุกรูปคลื่นแรงดัน โดยกรณีแรงดันกระแสตรงและกระแสสลับสามารถป้อนแรงดันได้ 2 วิธี คือ วิธีแรกเป็นการป้อนแรงดันแบบต่อเนื่องโดยมีอัตราการเพิ่มแรงดันคงที่ โดยมักมีแรงดันเริ่มต้น (V_0), มีค่าเท่ากับ ศูนย์ และอัตราการเพิ่มแรงดัน อยู่ในช่วง 2-5 kV/s วิธีที่สองที่เป็นการป้อนแรงดันโดยมีการเพิ่มแรงดันเป็นขั้นๆ แต่ละขั้นมีแรงดันเพิ่มขึ้น ΔV และคงค่าแรงดันนั้นไว้เป็นเวลา Δt_s ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการนำผลการทดลองไปใช้ในงาน เช่น 10 วินาที, 1 นาที เป็นต้น โดยเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับแรงดันแต่ละขั้น Δt_z ต้องมีค่าน้อยมากๆ เมื่อเทียบกับ Δt_s สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการป้อนแรงดันแบบต่อเนื่อง ดังรูปที่ 3.4 โดยที่มีอัตราการเพิ่มของแรงดันคงที่ตามมาตรฐาน IEC 60383-1



รูปที่ 3.4 การเพิ่มแรงดันแบบต่อเนื่อง

การทดสอบด้วยวิธีป้อนแรงดันขึ้นแบบต่อเนื่องนั้น ในทางปฏิบัติจะทำได้โดยใช้ผู้ควบคุมการขับมอเตอร์ให้เพิ่มแรงดันขึ้นและลงทางด้านปฐมภูมิ เมื่อถึงระดับแรงดันเริ่มเกิดโคโรน่า แล้วให้สังเกตเสียงที่อุปกรณ์ทดสอบ หลังจากเสียงโคโรน่าจะสังเกตเห็นการเกิดปรากฏการณ์วาบไฟตามผิวที่อุปกรณ์ทดสอบ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.5 ให้ทำการตัดการจ่ายแรงดันทันที และการวัดแรงดันจะใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันเป็นค่าประสิทธิผล (rms) ตั้งให้มัลติมิเตอร์จับค่าแรงดันสูงสุดที่วัด เพราะการสังเกตด้วยสายตาอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้



รูปที่ 3.5 ปฏิกิริยาการเกิดแรงดันวาทไฟตามผิวของการทดสอบแรงดันสูงกระแสสลับ

3.3 อุปกรณ์วัดแรงดันสูงสำหรับงานวิจัยนี้

เนื่องจากการทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้ ได้มีการออกแบบวงจรการทดสอบเพื่อความเหมาะสมของขนาดและประเภทของแรงดันของลูกถ้วยแต่ละชนิด จึงอธิบายเกี่ยวกับอุปกรณ์วัดในส่วนของภาคแรงดันสูง และในส่วนของภาคแรงดันต่ำไว้ดังต่อไปนี้

3.3.1 ภาคแรงสูงของอุปกรณ์วัดแรงดัน

1) ตัวแบ่งแรงดันชนิดตัวเก็บประจุ (C – Divider) ขนาด 400 kV อัตราส่วน 1:278.2 ดังรูปที่ 3.6 ก สำหรับงานวิจัยนี้ อุปกรณ์ชิ้นนี้ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันใช้ในส่วนของภาคแรงดันสูง ก่อนที่จะเข้าเครื่องวัดค่ายอดแรงดัน (Volt peak meter) ที่การต่อวงจรการทดสอบของเครื่องกำเนิดอิมพัลส์ฟ้าผ่า 4 ชั้น และ 8 ชั้น ส่วนรูปที่ 3.6 ข คือ อุปกรณ์แบ่งแรงดันชนิดตัวเก็บประจุ ขนาด 200 kV อัตราส่วนมีค่าเท่ากับ 1: 2638.9 ใช้สำหรับวัดแรงดันสูงกระแสสลับ

2) ตัวแบ่งแรงดันชนิดความต้านทาน (R – Divider) ขนาด 1000 kV ดังรูปที่ 3.6 ค อัตราส่วนมีค่าเท่ากับ 1:1090 สำหรับงานวิจัยนี้ ใช้ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันลงก่อนเข้าเครื่องวัดค่ายอดแรงดัน ที่การต่อวงจรการทดสอบของเครื่องกำเนิดอิมพัลส์ฟ้าผ่า 14 ชั้น และใช้ควบคู่กับความต้านทานแมชชิง (matching resistor) ที่ต่อกับอุปกรณ์วัดด้านแรงต่ำเพื่อกำจัดปัญหาของคลื่นจร (traveling wave)



ก) C divider 400 kV



ข) C divider 200 kV



ค) R divider 1000 kV

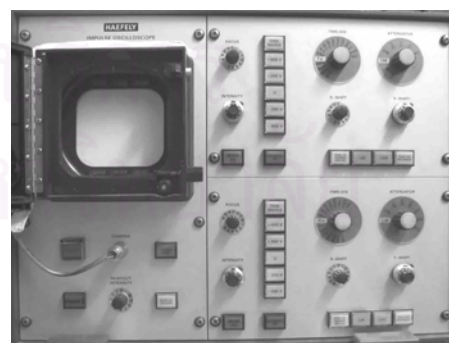
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์แบ่งแรงดันสูง

3.3.2 ภาควัดค่าของอุปกรณ์วัดแรงดัน

1) เครื่องวัดค่ายอดแรงดัน (Volt-peak meter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดค่ายอดของแรงดันอิมพัลส์ไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.7 ก เมื่อเริ่มทำการทดสอบ ต้องตั้งค่าอัตราส่วนตัวคูณของไดโอดิโวลต์ที่ใช้ หลังจากเมื่อมีสัญญาณอิมพัลส์เข้ามา หน้าปัดจะแสดงแรงดันค่ายอดที่คูณกับอัตราส่วนของไดโอดิโวลต์ ส่วนเครื่องวัดของการทดสอบแรงดันสูงกระแสลับจะใช้มัลติมิเตอร์



ก)



ข)

รูปที่ 3.7 อุปกรณ์วัดไฟฟ้าแรงสูงภาคแรงต่ำ

2) ออสซิลโลสโคป ใช้วัดรูปคลื่นอิมพัลส์ฟ้าผ่า เพื่อตรวจสอบให้ได้ตามมาตรฐาน กำหนด ดังรูปที่ 3.7 ข โดยเหตุที่แรงดันอิมพัลส์เป็นแรงดันที่คลื่นไม่ซ้ำเดิม (single non-repetitive wave) มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้นมาก ฉะนั้นออสซิลโลสโคปที่ใช้สำหรับบันทึกภาพจะต้องมีความเร็วสูง (High writing speed) แรงดันอิมพัลส์ที่วัดอาจมีรูปคลื่นเต็ม รูปคลื่นตัดช่วงทางหรือช่วงหน้าเมื่อวิเคราะห์ออกมาเป็นสเปคตรัมจะพบว่ามีความถี่ต่างๆ เป็นช่วงกว้างมาก ฉะนั้นออสซิลโลสโคปที่จะใช้สำหรับบันทึกแรงดันอิมพัลส์จึงต้องมีแบนด์วิดท์กว้างมากพอ และมีเวลาขึ้น (rise time) สูง ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันหรือกระแสอย่างรวดเร็ว ย่อมทำให้เกิดคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวน (Electromagnetic field interferences) ฉะนั้นออสซิลโลสโคปที่ใช้บันทึกแรงดันในบริเวณนั้นจะต้องมีการป้องกันหรือไม่วิต่อคลื่นรบกวนที่เกิดขึ้นในบริเวณใกล้เคียง หรือจากภายนอก และควรจะมีค่าแรงดันป้อนเข้า (input voltage) สูง คือ ไม่ต้องใช้แอมพลิฟายในแกนตั้ง ซึ่งเป็นผลดีในการขจัดคลื่นรบกวน ฉะนั้นออสซิลโลสโคปที่ใช้สำหรับวัดแรงดันอิมพัลส์จึงต้องมีลักษณะสมบัติพิเศษ

3.4 อุปกรณ์ทดสอบ (Test Object)

เนื่องจากลูกถ้วยที่ใช้ในการทดสอบของงานวิจัยนี้ ได้รับลูกถ้วยจาก NGK ประเทศญี่ปุ่น จึงไม่สามารถระบุรุ่นให้ตรงกับขนาดที่ใช้งานอยู่ในประเทศไทยได้ ดังนั้น จากในบทที่ 2 ที่ได้อธิบายถึงความหมายลักษณะทางมิติของลูกถ้วยโดยทั่วไปแล้ว บทนี้จึงแสดงถึงลักษณะทางมิติของลูกถ้วยที่ใช้ในการทดสอบของงานวิจัยนี้ เพื่อระบุให้เป็นลักษณะเฉพาะของลูกถ้วยที่ใช้ในงานวิจัยนี้ อันมีความหมายของตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

ระยะ a_1 คือ ระยะอาร์กแห่งที่วัดตามผิวของลูกถ้วย

ระยะ a_2 คือ ระยะอาร์กแห่งที่วัดส่วนที่เป็นอากาศ

ระยะ b_1 คือ ระยะรั้วที่วัดตามผิวลูกถ้วยในส่วนที่เป็นผิวเปียก

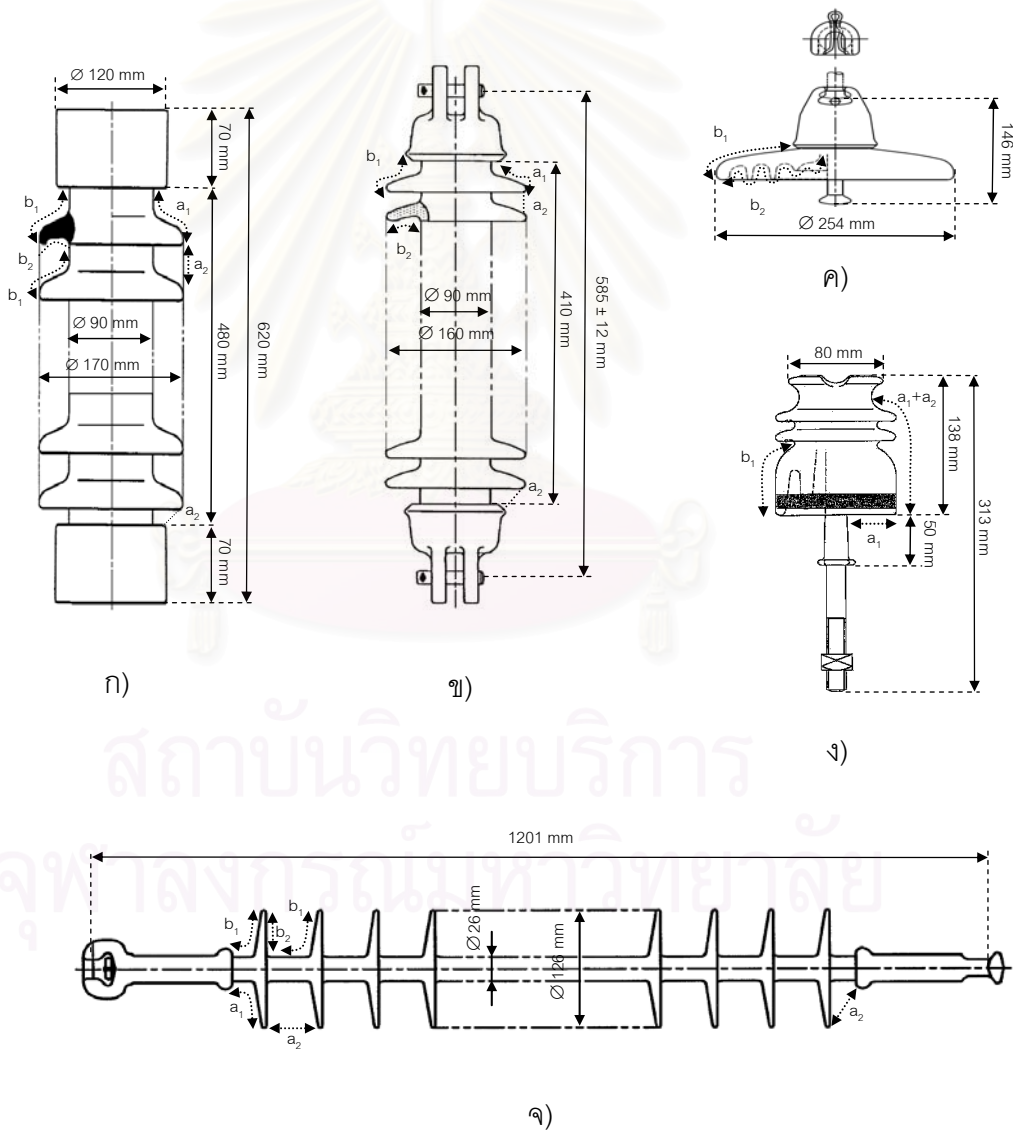
ระยะ b_2 คือ ระยะรั้วที่วัดตามผิวส่วนใต้ปีกลูกถ้วยเป็นส่วนที่ไม่เปียกฝน
หรือเรียกว่า ระยะรั้วป้องกัน

ระยะรั้วทั้งหมด คือ ระยะ $b_1 + b_2$ ทั้งหมดที่วัดได้ตามผิวลูกถ้วย

ระยะอาร์กแห่ง คือ ระยะ $a_1 + a_2$ ทั้งหมดที่วัดได้จากลูกถ้วย

ตารางที่ 3.1 ลักษณะมิติลูกถ้วยที่ใช้ทดสอบในงานวิจัย

	ความคงทนต่อแรงดัน สูงกระแสสลับสภาวะ เปียก (kV)	ความคงทนต่อ แรงดันอิมพัลส์ (kV)	ระยะร้ว ทั้งหมด (mm)	ระยะร้ว ป้องกัน (mm)	ระยะอาร์ กแห้ง (mm)	รูปที่
ลูกถ้วยหลัก	110	250	1,170	350	540	3.8 ก
ลูกถ้วยคอดันยาว	95	245	1,072	350	480	3.8 ข
ลูกถ้วยก้านตรง	37	100	335	240	165	3.8 ค
ลูกถ้วยเขวอนชนิดพอร์ซเลน	40	110	315	195	230	3.8 ง
ลูกถ้วยเขวอนชนิดพอลีเมอ์	376	621	2,660	855	1,030	3.8 ฉ



รูปที่ 3.8 มิติลูกถ้วย

3.5 การติดตั้งลูกถ้วย มาตรฐาน IEC 60383-1:1983 และ IEC 60168:1994

มาตรฐาน IEC 60383-1 มีข้อกำหนดไว้สำหรับลูกถ้วยติดตั้งบนเสา ได้แก่ ลูกถ้วยคอตัน ยาว, ลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ชเลน, ลูกถ้วยก้านตรง, ลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ชลีเมอร์ และส่วน มาตรฐาน 60168 กำหนดไว้สำหรับลูกถ้วยที่ติดตั้งบนพื้น ได้แก่ ลูกถ้วยหลัก

3.5.1 การติดตั้งลูกถ้วยก้านตรง ตามมาตรฐาน 60383-1:1983 ได้กำหนดให้มีการ ติดตั้งบนคอนโลหะ (cross arm) แนวนอนตรง ลักษณะเรียบต่อลงดิน มีความยาวไม่น้อยกว่า 76 มม. และไม่เกินกว่า 152 มม. ยาวพอที่จะไม่ทำให้เกิดการวาบไฟตามผิวที่ปลายทั้งสอง มีความสูง เหนือพื้นอย่างน้อย 1 ม. ติดตั้งลูกถ้วยทดสอบบนกึ่งกลางคอนโลหะ ตัวนำอิเล็กทรอนิกส์โทรดทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 13 มม. ส่วนที่ยื่นของทั้งสองข้างต้องมีความยาวอย่างน้อยเป็น สองเท่าของความสูงของลูกถ้วยทดสอบ โลหะพันตัวนำอิเล็กทรอนิกส์ควรมีเส้นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 2.5 มม. โดยที่พันรอบท่อตัวนำอิเล็กทรอนิกส์ยาวประมาณสองเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ส่วนบนของลูกถ้วย และการเกิดวาบไฟตามผิวต้องไม่เกิดขึ้นที่ปลายของโลหะ การทดสอบไม่ควร ให้มีวัตถุอื่นๆ อยู่ใกล้ในรัศมี 1 ม. หรือ 1.5 เท่าของความสูงของลูกถ้วย

3.5.2 การติดตั้งลูกถ้วยแขวนรับแรงดึง ตามมาตรฐาน 60383-1:1983 ลูกถ้วยทดสอบ ควรติดตั้งแนวตั้ง ด้วยสายโลหะที่ต่อลงดิน ความสูงระหว่างลูกถ้วยทดสอบจนถึงเพดานต้องไม่ น้อยกว่า 1 ม. และไม่ควรที่มีวัตถุอยู่ในบริเวณที่ทดสอบเป็นระยะ 1.5 เท่าของความยาวของลูก ถ้วยลักษณะของตัวนำอิเล็กทรอนิกส์โทรดเป็นท่อโลหะตรงผิวเรียบ ควรจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. มี ความยาว 3 ม. ติดตั้งที่ส่วนต่ำสุดของลูกถ้วยทดสอบ ลักษณะขนานกับพื้นดิน ระยะห่างจากจุด ต่ำสุดของลูกถ้วยทดสอบส่วนที่เป็นพอร์ชเลนถึงผิวของอิเล็กทรอนิกส์โทรดตัวนำควรจะมีสั้นมากเท่าที่เป็นไป ได้ แต่ต้องไม่ต่ำกว่า 0.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนที่เล็กที่สุดของลูกถ้วย

3.5.3 การติดตั้งลูกถ้วยหลัก ตามมาตรฐาน 60168:1994 [13] มาตรฐานทดสอบลูก ถ้วยหลัก ที่ใช้กับระบบแรงดันไม่เกิน 300 kV ควรจะติดตั้งในแนวตั้งบนคอนโลหะแนวนอนผิว เรียบต่อลงดิน ลักษณะพื้นหน้าตัดเป็น U คว่ำ และฐานโลหะที่รองรับควรจะมี ความกว้างเท่ากับ เส้นผ่านศูนย์กลางของ ผิวหน้าติดตั้งของลูกถ้วยหลัก ความยาวของคอนโลหะอย่างน้อยต้อง เท่ากับ สองเท่าของความสูงลูกถ้วยทดสอบ และอยู่สูงจากพื้นดินอย่างน้อย 1 ม. แต่ไม่เกิน 1.8 ม.

ลักษณะตัวนำอิเล็กทรอนิกส์โทรดเป็นท่อทรงกระบอกติดตั้งส่วนบนสุดของลูกถ้วยทดสอบในแนว เดียวกับระนาบแนวนอน วางขวางตั้งฉากกับคอนโลหะ ความยาวอย่างน้อยควรเท่ากับ 1.5 เท่า ของความสูงของลูกถ้วยหรือ ส่วนที่ยาวออกไปด้านข้างควรยาวไม่น้อยกว่า 1 ม. เพื่อไม่ให้เกิดวาบ ไฟที่ปลายท่อทั้งสองข้าง เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำอิเล็กทรอนิกส์โทรดมีค่าประมาณ 1.5 % ของความ สูงของลูกถ้วยทดสอบ แต่ไม่น้อยกว่า 25 มม.

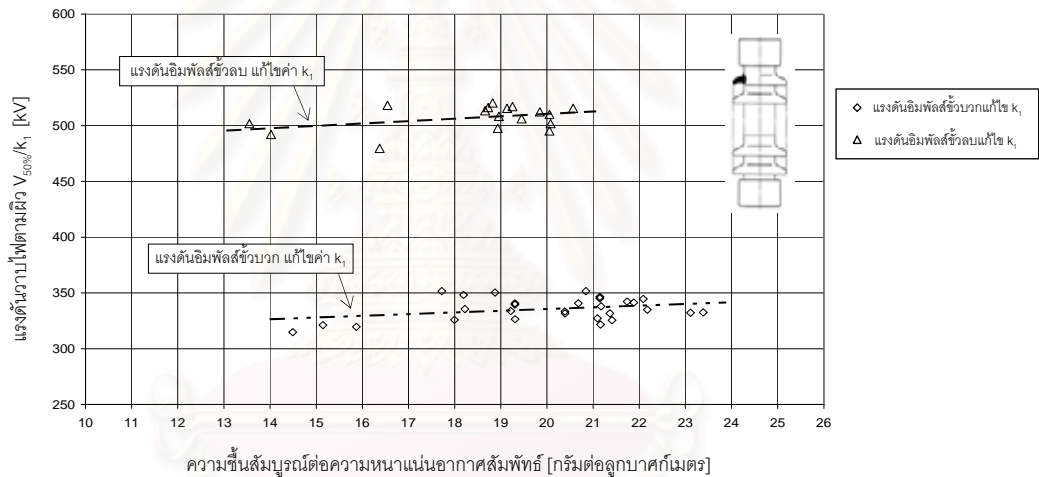
บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์

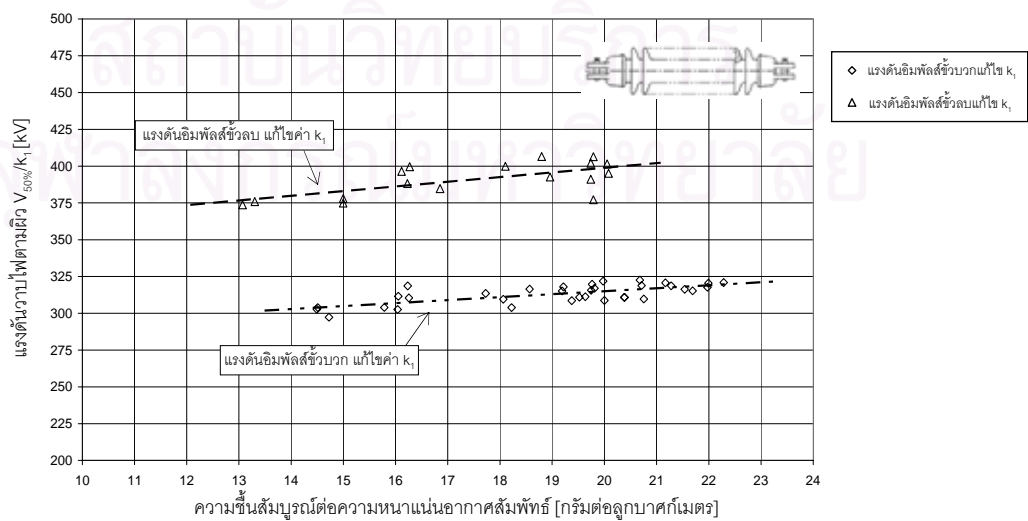
ผลการวิเคราะห์ในบทนี้จะแบ่งออกเป็นสามหัวข้อได้แก่ ผลของความชื้นที่มีต่อแรงดันวาบไฟตามผิว, ผลของการแก้ตัวประกอบแก้ไขตามมาตรฐาน ANSI IEC และ IEEE และผลการแก้ไขตัวประกอบใหม่ที่ได้จากการทดลอง

4.1 ผลของความชื้นที่มีต่อแรงดันอิมพัลส์และแรงดันสูงกระแสสลับ

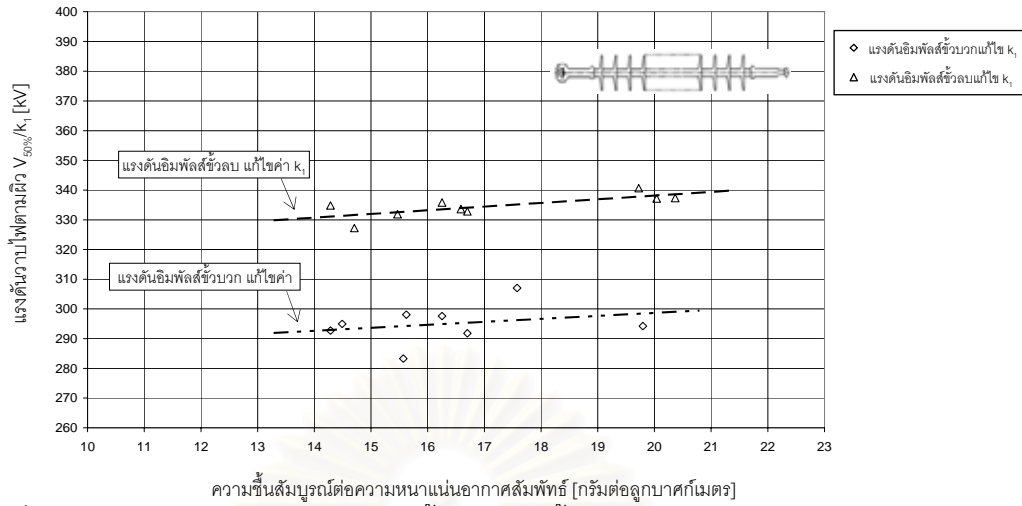
การแสดงผลกระทบของความชื้นที่มีต่อแรงดันวาบไฟตามผิว $V_{50\%}$ นั้น จะแก้ไขค่าตัวประกอบความหนาแน่นอากาศกับแรงดันวาบไฟตามผิว $V_{50\%}$ แล้วจึงเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันวาบไฟตามผิว $V_{50\%}$ กับ h/δ และค่าดังกล่าวแสดงอยู่ใน ผงวน ก.



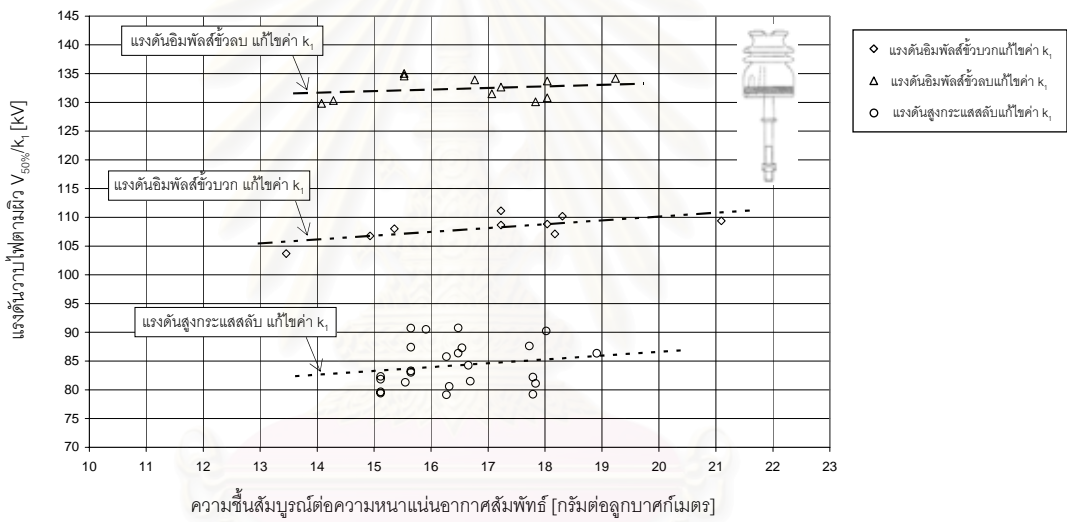
รูปที่ 4.1 ผลทดสอบแรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก



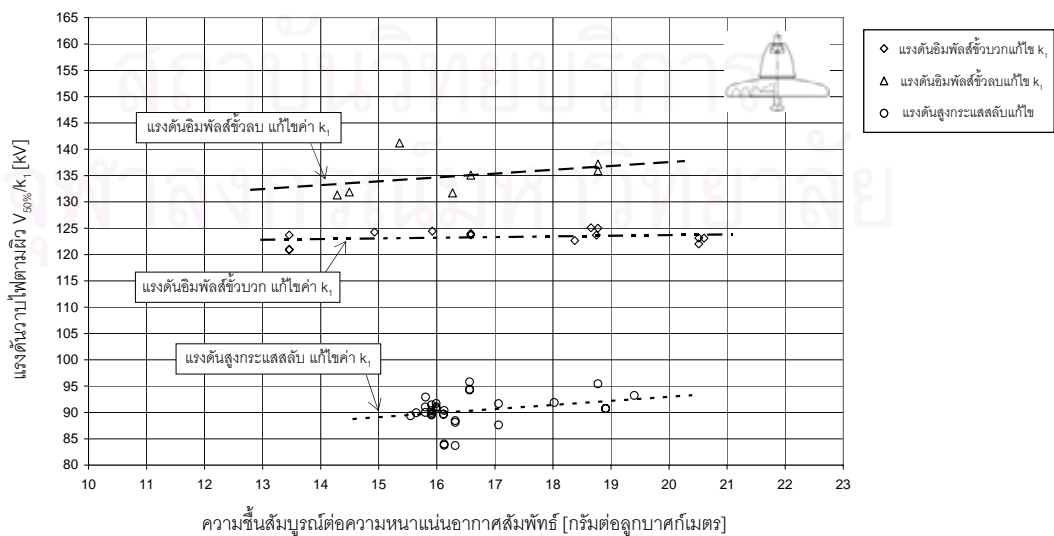
รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วคราวของลูกถ้วยคอตันยาว



รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์



รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ชั่วคราว, ลบและกระแสลัด ของลูกถ้วยก้านตรง



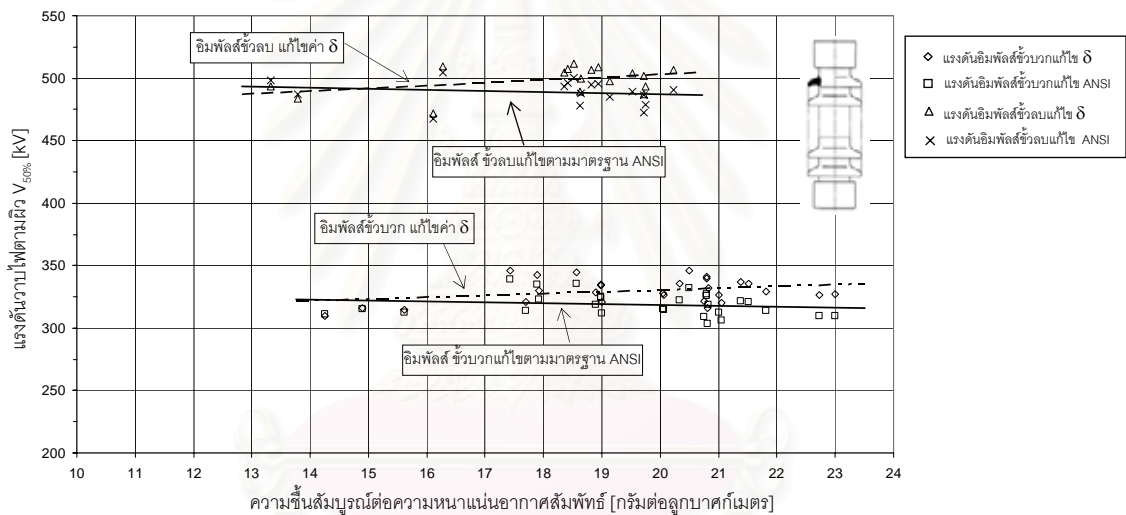
รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ชั่วคราว, ลบและกระแสลัด ของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน

จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.5 เมื่อแก้ไขผลของค่าความหนาแน่นอากาศแล้วสรุปได้ว่า เมื่อค่าความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวของลูกถ้วยเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวไว้ในบทที่ 2

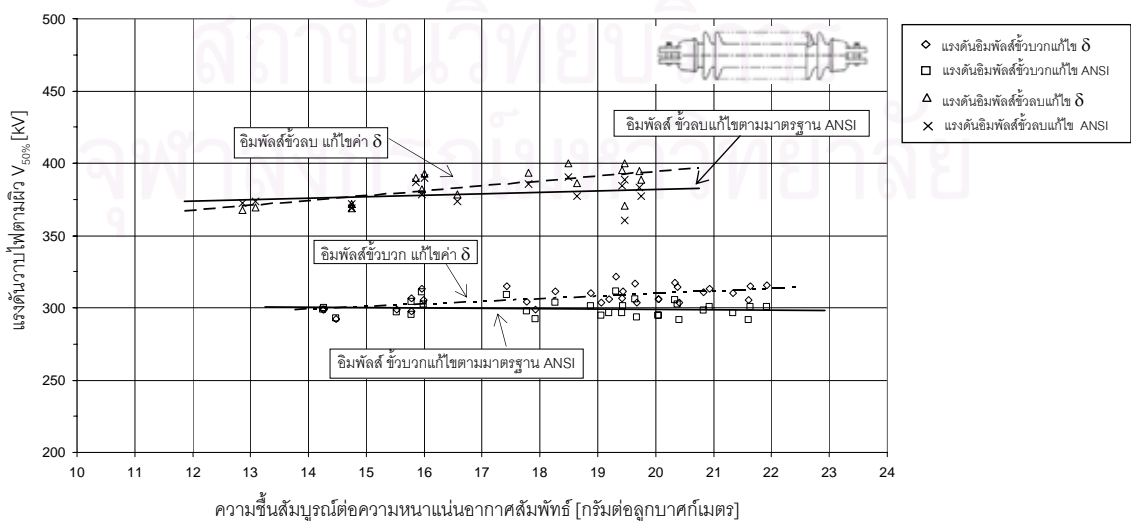
ในหัวข้อต่อไปนั้น จะเพิ่มการแก้ไขด้วยค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นตามมาตรฐาน และเพื่อเป็นการเปรียบเทียบค่าตัวประกอบแก้ไขของแต่ละมาตรฐานอันได้แก่ ANSI, IEEE และ IEC ดังนั้น จึงแสดงผลทั้งก่อนและหลัง การใช้ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นของทั้งสามมาตรฐาน ดังหัวข้อต่อไป

4.2 การแก้ไขค่าตัวประกอบตามมาตรฐาน ANSI C29-1:1988

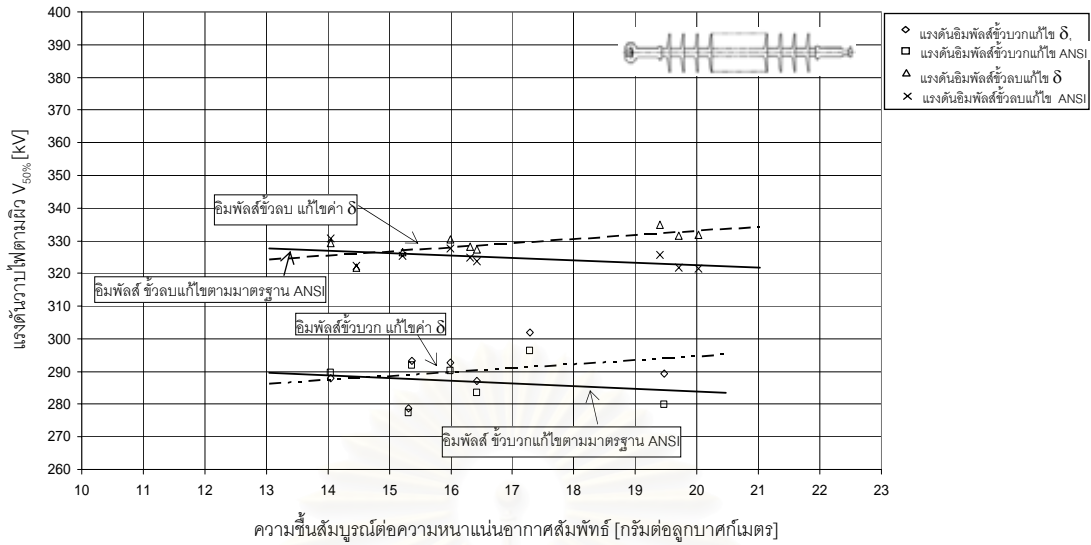
ในการแก้ไขค่าตัวประกอบด้วยมาตรฐาน ANSI C29-1:1988 นั้น จะมีวิธีการคิดหาค่าตัวประกอบและสภาพอากาศมาตรฐานอ้างอิงที่ต่างไปจากมาตรฐาน IEC ดังหัวข้อที่ 2.4.1 ซึ่งค่าการคำนวณจะแสดงที่ ผนวก ง



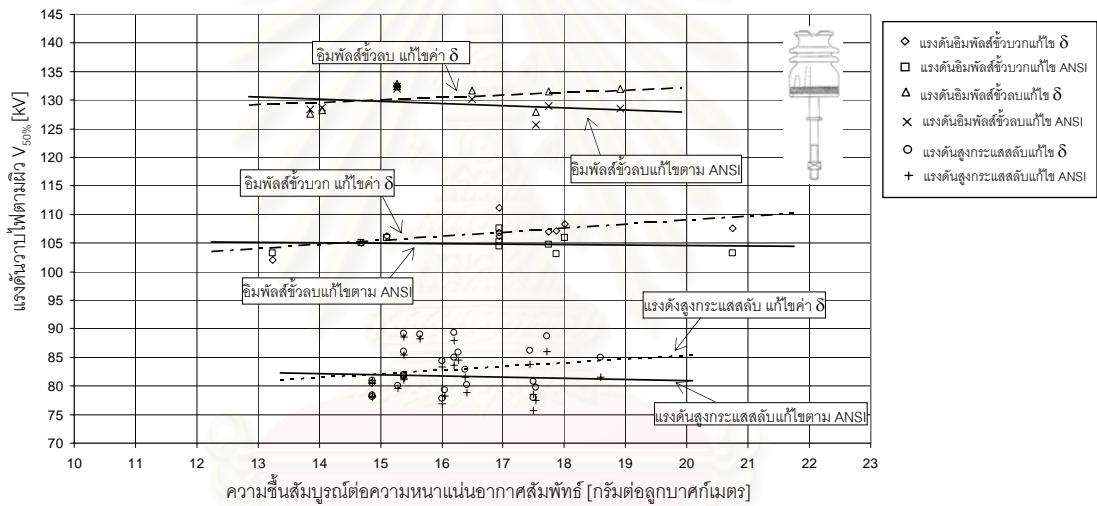
รูปที่ 4.6 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน ANSI แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก



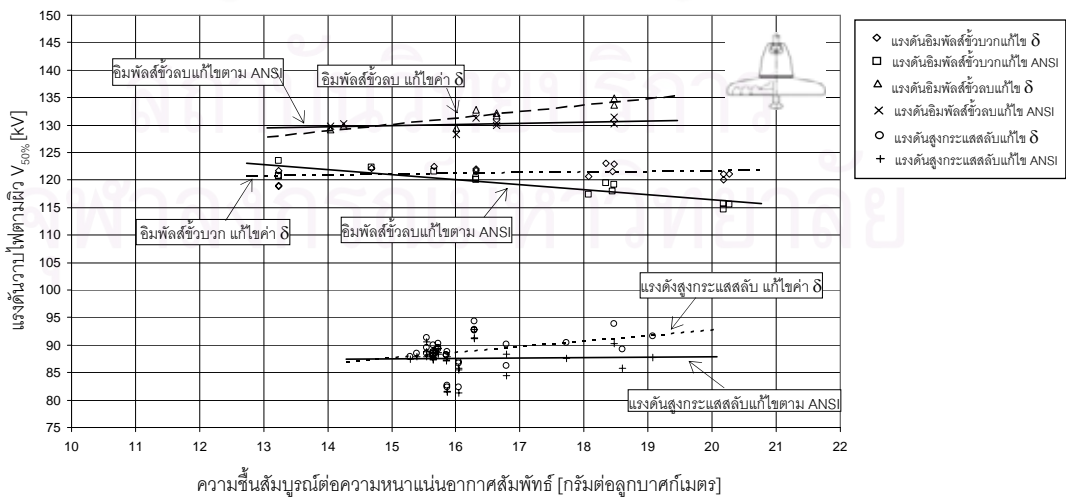
รูปที่ 4.7 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน ANSI แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วคราวของลูกถ้วยคอตันยาว



รูปที่ 4.8 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน ANSI แรงดันอิมพัลส์ชั๊วบวกและลบของลูกถ้วยแขวนพอลิเมอร์



รูปที่ 4.9 ผลการแก้ไขมาตรฐาน ANSI แรงดันอิมพัลส์ชั๊วบวก,ลบ และกระแสดลัดของลูกถ้วยก้านตรง



รูปที่ 4.10 ผลการแก้ไขมาตรฐาน ANSI แรงดันอิมพัลส์ชั๊วบวก,ลบ และกระแสดลัดของลูกถ้วยแขวน

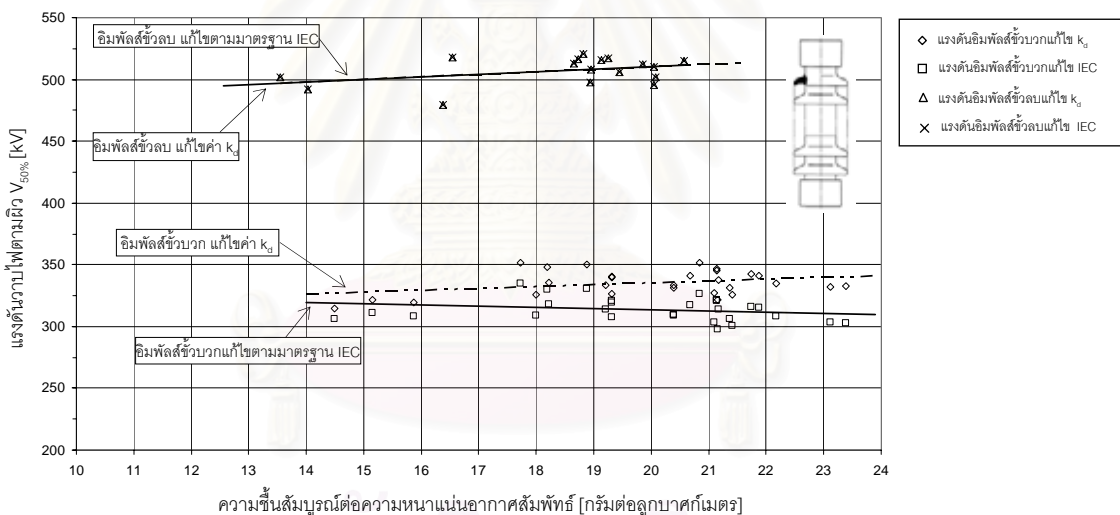
แบบพอร์ซีเลน

จากรูปที่ 4.6 ถึง 4.10 จะเห็นได้ว่า เมื่อค่าความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์เพิ่มมากขึ้น แล้วค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการแก้ไขด้วยมาตรฐาน IEC และในขั้นตอนต่อมาได้หาค่ามาตรฐานที่แก้ไขด้วยค่า δ และ H ตามสมการที่ 2.6 ผลที่ได้คือ ลักษณะแนวโน้มของเส้นมาตรฐานส่วนมากจะมีลักษณะใกล้เคียงกับเส้นตรง ซึ่งมาตรฐาน ANSI นั้น จะสังเกตเห็นได้ว่า ไม่มีกำหนดขอบเขตของค่า h/δ

4.3 การแก้ไขตัวประกอบตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1976 และ IEEE Std.4:1978

ในปัจจุบัน เมื่อมีการอ้างอิงถึงมาตรฐานการทดสอบไฟฟ้าแรงสูง มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงกันอยู่ในปัจจุบัน คือ IEC 60060-1 ปี 1989 แต่ก่อนปี 1989 นั้น ได้ใช้ IEC 60060-1:1976 ซึ่งวิธีการคิดค่าตัวประกอบแก้ไขมีความแตกต่างกับ IEC ที่อ้างอิงกันอยู่ในปัจจุบัน วิธีการคำนวณ ดังหัวข้อ 2.4.2

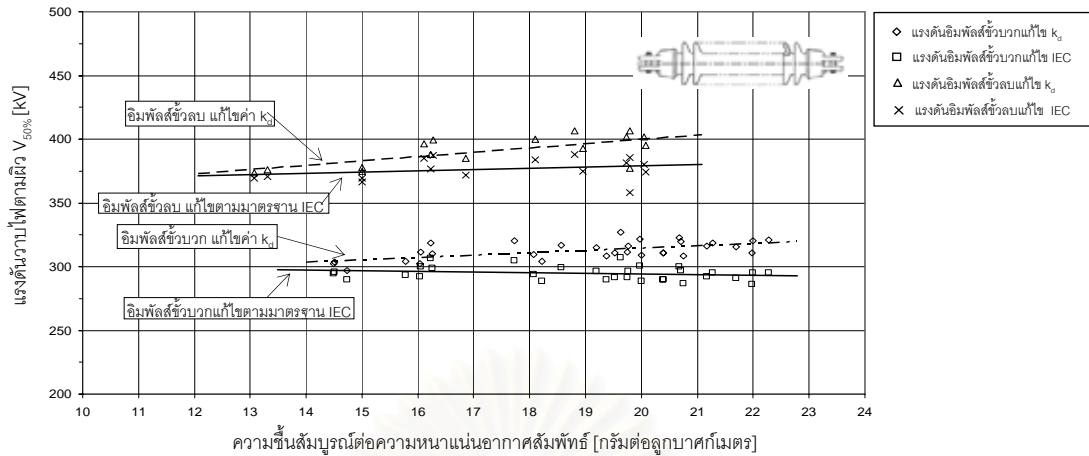
สำหรับหัวข้อนี้ จะนำค่าที่แก้ไขมาตรฐาน IEC 60060-1:1976 หรือ IEEE Std.4:1995 ซึ่งทั้งสองมาตรฐานนี้จะมีวิธีการคำนวณที่เหมือนกัน นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันวาบไฟตามผิวกับค่าความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ ค่าที่คำนวณได้แสดงที่ ผงวก จ



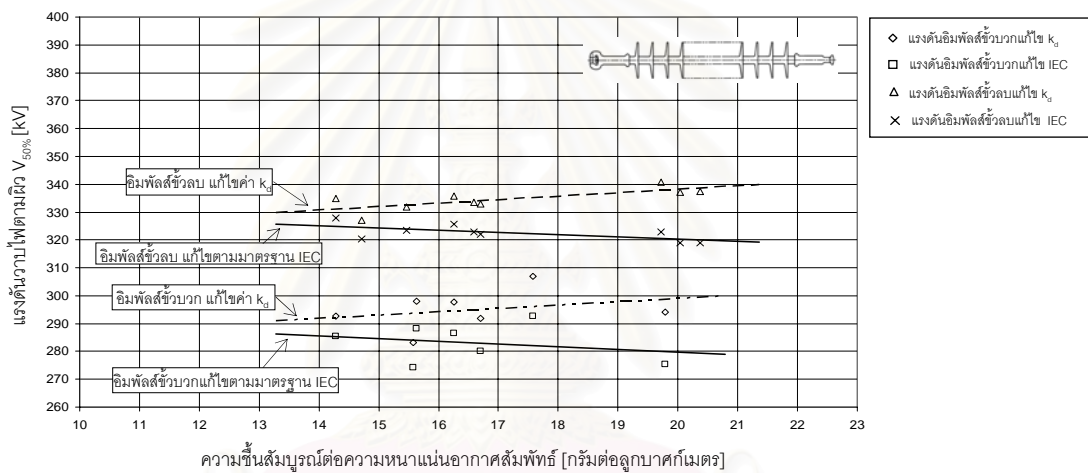
รูปที่ 4.11 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1976

แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วลบ ของลูกถ้วยหลัก

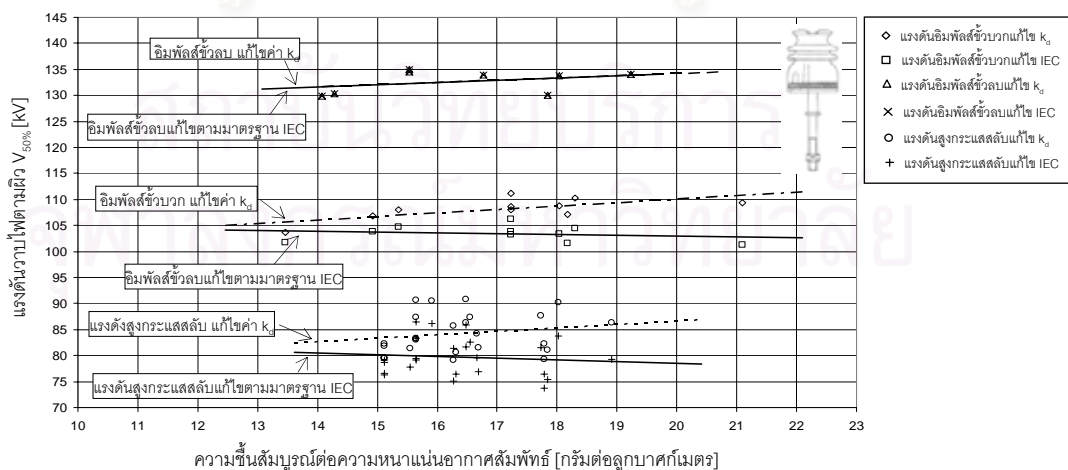
จากรูปที่ 4.11 เส้นกราฟอิมพัลส์ชั่วคราว แก้ไขค่าตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1976 มีค่าเท่ากับเส้นกราฟอิมพัลส์ชั่วคราวที่แก้ไขด้วยค่า k_d นั้น มีคำอธิบายได้ว่า เมื่อดูตามตารางที่ 2.1 แล้ว ลักษณะการกระจายสนามไฟฟ้าของลูกถ้วยหลักเป็นลักษณะการกระจายของสนามไฟฟ้าแบบแท่งกับระนาบ ดังนั้น ค่า w ในสมการที่ 2.10 จึงมีค่าเท่ากับ 0 เป็นผลให้ k_h มีค่าเท่ากับ 1 และสิ่งที่มาตรฐานนี้จะบอกได้ คือ ผลของความชื้นต่อแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวของลูกถ้วยประเภทที่ติดตั้งแบบมีฐานรองนั้น จะมีผลน้อยมากหรือไม่มีผลของความชื้นเลย



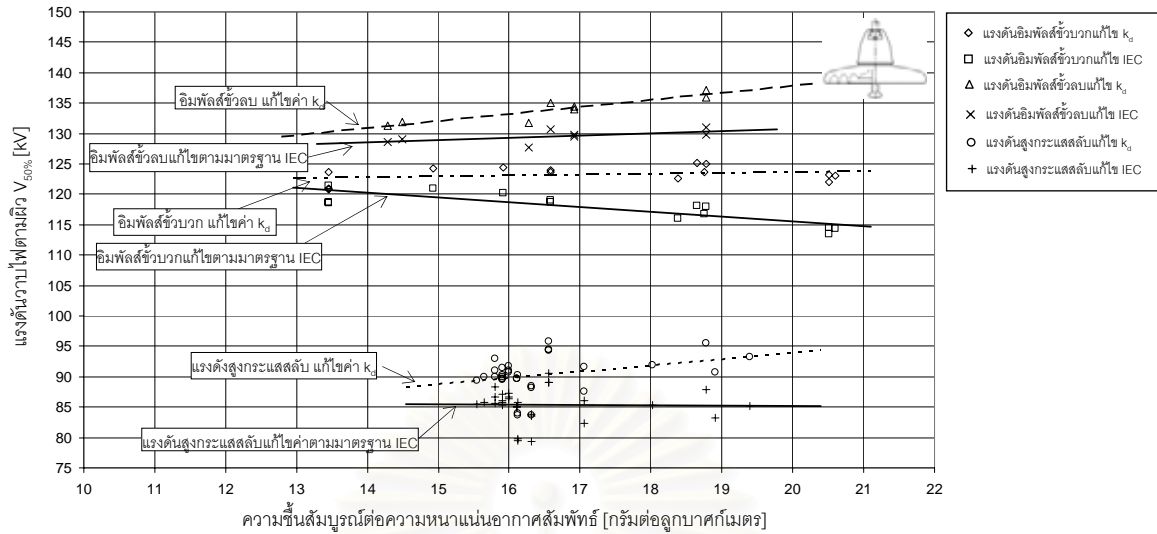
รูปที่ 4.12 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1976
แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วคราว ของลูกถ้วยคอตันยาว



รูปที่ 4.13 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1976
แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วคราว ของลูกถ้วยแวนแบบพอลิเมอร์



รูปที่ 4.14 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1976
แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วคราวและกระแสลับ ของลูกถ้วยแท่งก้านตรง



รูปที่ 4.15 ผลการแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1976

แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วพลและกระแสลับ ของลูกถ้วยแขวนแบบพอร์ซเลน

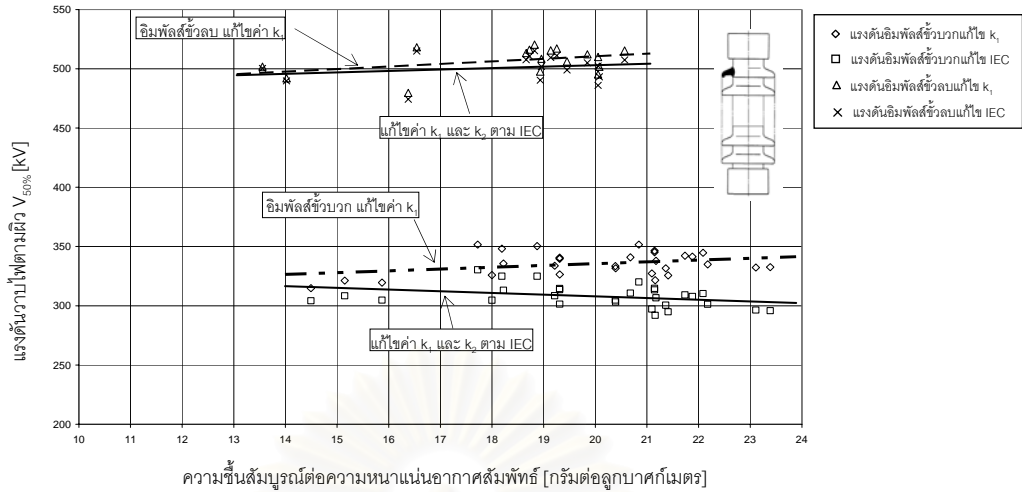
จากรูปที่ 4.11 ถึง 4.15 จะสรุปได้ว่า การคำนวณตาม IEC 60060-1:1976 มีวิธีหาค่าตัวประกอบแก้ไขที่แตกต่างกันออกไป นั่นคือ มาตรฐานนี้ได้แบ่งแยกประเภทชนิดของลูกถ้วยออกไปตามลักษณะการติดตั้งใช้งาน สำหรับหาค่า m และ w เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าตัวประกอบแก้ไข

ค่า m และ w ในมาตรฐานนี้จะเป็นตัวเลขยกกำลังของค่าตัวประกอบแก้ไขอากาศ (k_d) และค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้น (k_n) ตามลำดับ ซึ่งค่า m และ w นี้จะมีการพัฒนาขึ้นมาใหม่ใช้ใน IEC 60060-1:1989 เพื่อใช้กับค่าตัวประกอบแก้ไขความหนาแน่นอากาศ (k_1) และค่าตัวประกอบความชื้น (k_2) ดังหัวข้อที่จะกล่าวต่อไป

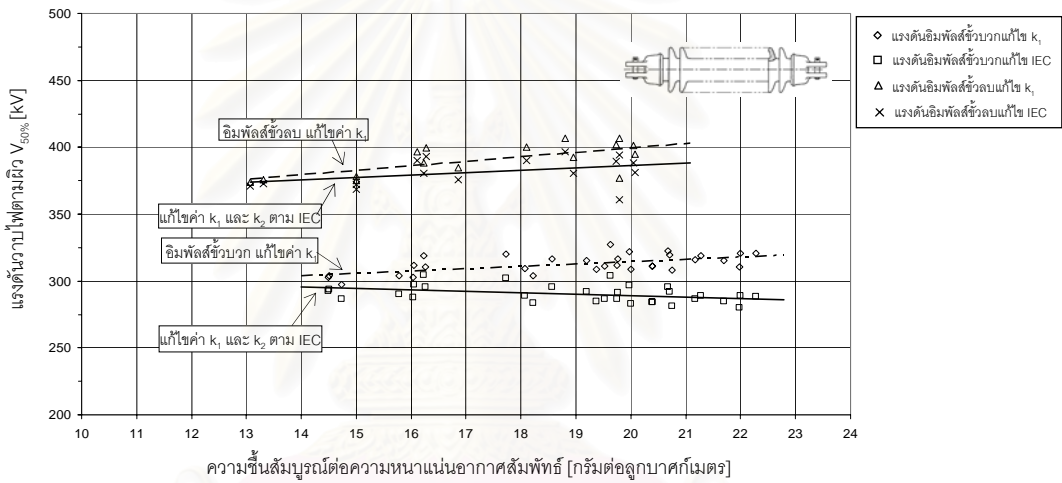
4.4 การแก้ไขความชื้นตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989 และ IEEE Std.4:1995

มาตรฐาน IEC 60060-1:1989 และ IEEE Std.4:1995 นี้เป็นฉบับที่ปรับปรุงล่าสุด ซึ่งวิธีการคำนวณหาค่าตัวประกอบแก้ไขแรงดันสูงที่เหมือนกันดังหัวข้อที่ 2.4.3 ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวจะเป็นมาตรฐานที่งานวิจัยนี้ใช้อ้างอิงปรับแก้ค่าตัวประกอบความชื้นเป็นค่าใหม่

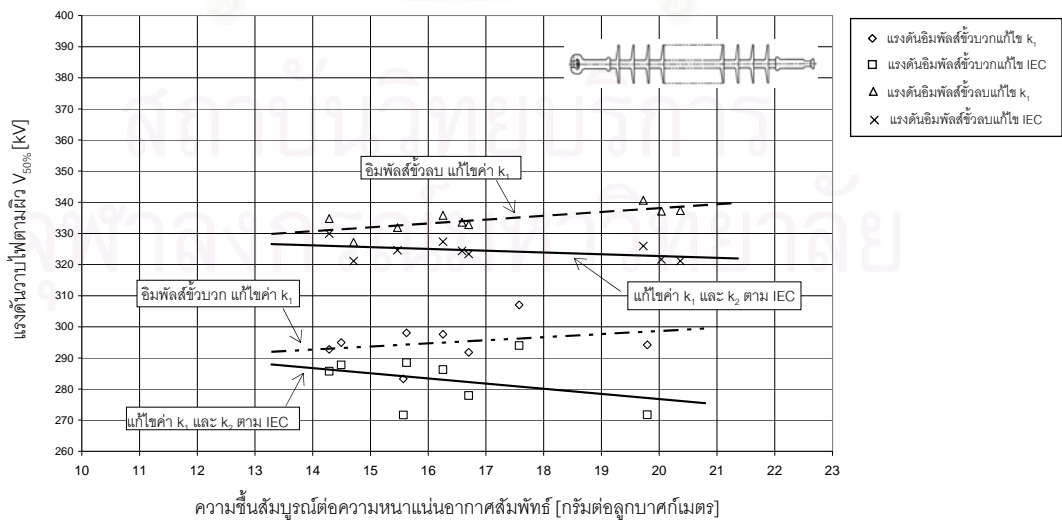
สำหรับในหัวข้อนี้จะเป็นการปรับแก้ด้วยค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989 และ IEEE Std.4:1995 ค่าคำนวณแสดงที่ ผนวก จ เมื่อได้ค่าแรงดันที่แก้ไขแล้วจะนำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ กับแรงดันสูง $V_{50\%}$ ที่แสดงดังต่อไปนี้



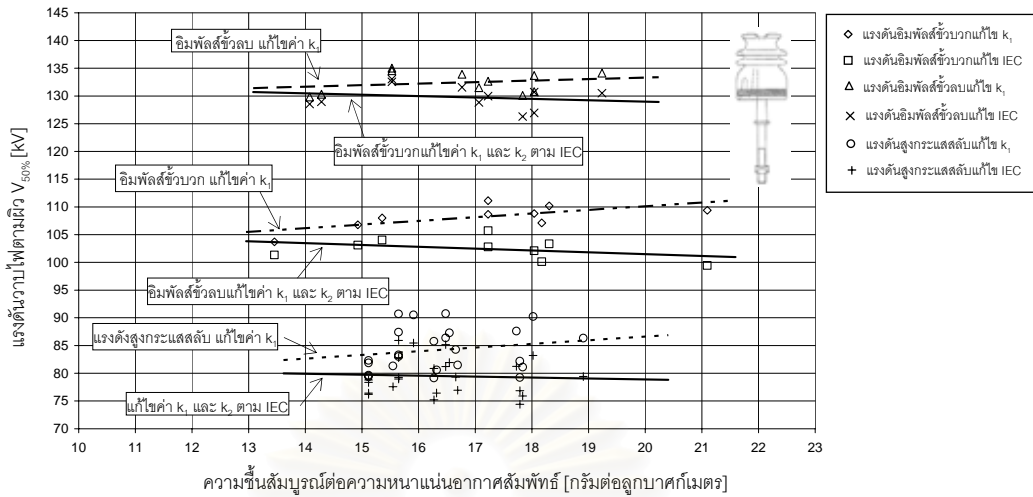
รูปที่ 4.16 ผลการแก้ไขตาม IEC 60060-1:1989 แรงดันอิมพัลส์ชั๊วบวกและชั๊วลบของลูกถ้วยหลัก



รูปที่ 4.17 ผลการแก้ไขตาม IEC 60060-1:1989
แรงดันอิมพัลส์ชั๊วบวกและชั๊วลบของลูกถ้วยคอดันยาว

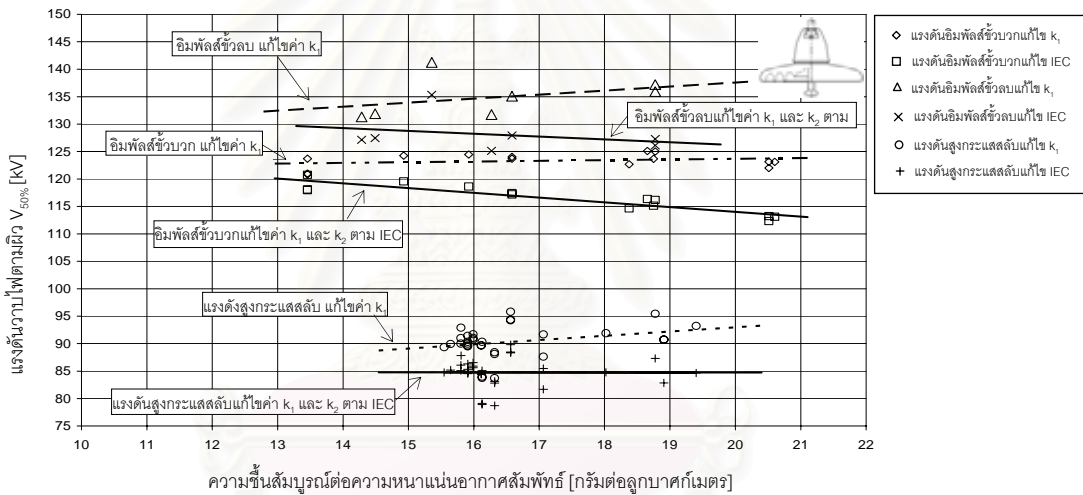


รูปที่ 4.18 ผลการแก้ไขตาม IEC 60060-1:1989
แรงดันอิมพัลส์ชั๊วบวกและชั๊วลบของลูกถ้วยแบรนด์พอลิเมออร์



รูปที่ 4.19 ผลการแก้ไขตาม IEC 60060-1:1989

แรงดันอิมพัลส์ซิวลม, ซิวลมและกระแสลัดของลูกถ้วยก้านตรง



รูปที่ 4.20 ผลการแก้ไขตาม IEC 60060-1:1989

แรงดันอิมพัลส์ซิวลม, ซิวลมและกระแสลัดของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ชเลน

การหาค่าแรงดันมาตรฐานตาม IEC 60060-1:1989 ได้กำหนดช่วงของ h/δ ไว้ไม่เกิน 15 g/m^3 ดังนั้นผลการทดสอบที่ได้ เมื่อปรับแก้ด้วยค่ามาตรฐานแล้วเป็นค่าที่อาจมีความผิดพลาดได้ ดังนั้นแนวคิดที่จะหาค่าตัวประกอบแก้ไขใหม่ ก็คือ เมื่อค่าปรับแก้แล้วค่ามาตรฐานที่ได้จะต้องควรมีค่าเท่ากันทั้งหมด ดังนั้น ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงการหาค่าที่มีความเหมาะสมมาใช้แก้ไข

4.5 ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นใหม่ที่เสนอ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันกับความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์จะเป็นไปตามสมการที่ 4.1 [2]

$$V_h = V_{11} \left[1 + \frac{a}{100} \left(\frac{h}{\delta} - 11 \right) \right] \tag{4.1}$$

เมื่อ V_h คือ แรงดันทดสอบที่ปรับแก้ไขตัวประกอบแก้ไขความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์

V_{11} คือ แรงดันมาตรฐาน

a คือ ค่าความเปลี่ยนแปลงความชื้น (humidity coefficient) [% per g/m^3]

หลักการ คือ นำค่า a ที่ได้จากการทดลองช่วง h/δ ที่เกินกว่า $15 g/m^3$ เป็นค่าใหม่สำหรับสมการ 4.3 และต้องคูณค่าตัวเริ่มต้นให้กับสมการด้วยคือ k ที่ h/δ เท่ากับ $15 g/m^3$

$$V_h = V_{11} k_{h/\delta=15} \left[1 + a_{h/\delta > 15} \left(\frac{h}{\delta} - 15 \right) \right] \quad (4.2)$$

โดยที่ $k_{h/\delta=15}$ มีค่าเท่ากับ 1.04 สำหรับแรงดันดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวและลบ

$k_{h/\delta=15}$ มีค่าเท่ากับ 1.048 สำหรับแรงดันสูงกระแสสลับ

สรุปขั้นตอนการหาค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นใหม่จากการทดลอง

1. หาค่า a จากความชื้นของการทดลองที่แก้ไขค่าตัวประกอบความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์
2. แทนค่า a ในสมการที่ 4.2 แล้วจะได้ค่า k ใหม่ ที่ค่า h/δ เกินกว่า $15 g/m^3$

ค่าตัวประกอบแก้ไขใหม่แก้ไขค่าที่ได้จากการทดลองของงานวิจัยนี้ จะแสดงดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นของลูกถ้วยแต่ละชนิด

ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นที่ได้จากการทดลอง			
ชนิดลูกถ้วย	อิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราว (+)	อิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราว (-)	แรงดันสูงกระแสสลับ
ลูกถ้วยหลัก	$1.04 + 0.004497(h/\delta - 15)$	$1.04 + 0.004491(h/\delta - 15)$	-*
คอตันยาว	$1.04 + 0.006898(h/\delta - 15)$	$1.04 + 0.009148(h/\delta - 15)$	-*
แขนพอลิเมอร์	$1.04 + 0.004250(h/\delta - 15)$	$1.04 + 0.003879(h/\delta - 15)$	-*
แท่งก้านตรง	$1.04 + 0.006442h/\delta - 15)$	$1.04 + 0.003411(h/\delta - 15)$	$1.048 + 0.001438(h/\delta - 15)$
แขนพอร์ซเลน	$1.04 + 0.001065(h/\delta - 15)$	$1.04 + 0.002288(h/\delta - 15)$	$1.048 + 0.001305(h/\delta - 15)$

*หมายเหตุ ระดับแรงดันของลูกถ้วยเกินกว่าระดับแรงดันสูงกระแสสลับในห้องปฏิบัติการ

จากตารางที่ 4.1 เป็นการแก้ไขค่า k เช่นเดียวกับกับตารางของ IEC 60060-1:1989 ผลที่ได้จะเฉลี่ยค่า รวมให้อยู่ในรูปเดียวกันได้ คือ

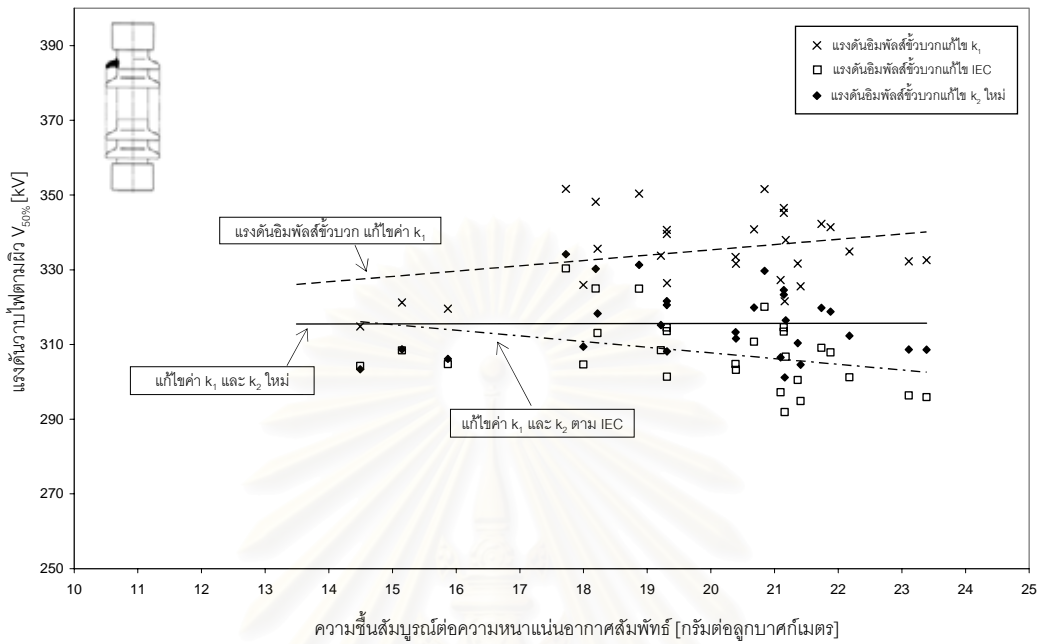
แรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่า (ช่วงของความชื้น $15 < h/\delta < 25$)

$$1.04 + 0.00464(h/\delta - 15) \quad (4.3)$$

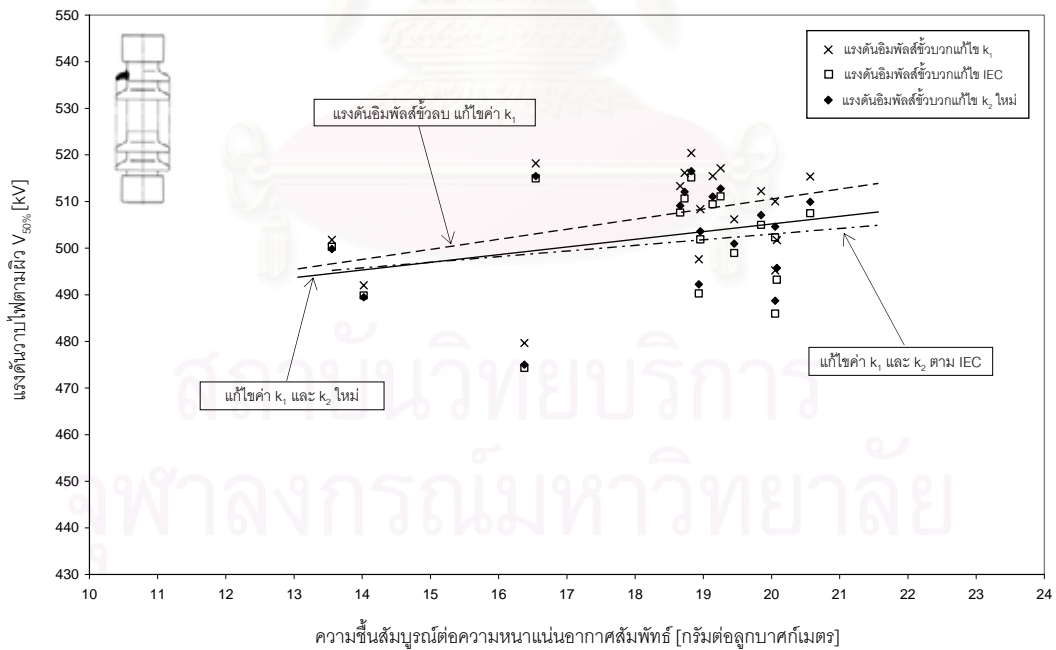
แรงดันสูงกระแสสลับ (ช่วงของความชื้น $15 < h/\delta < 25$)

$$1.048 + 0.00137(h/\delta - 15) \quad (4.4)$$

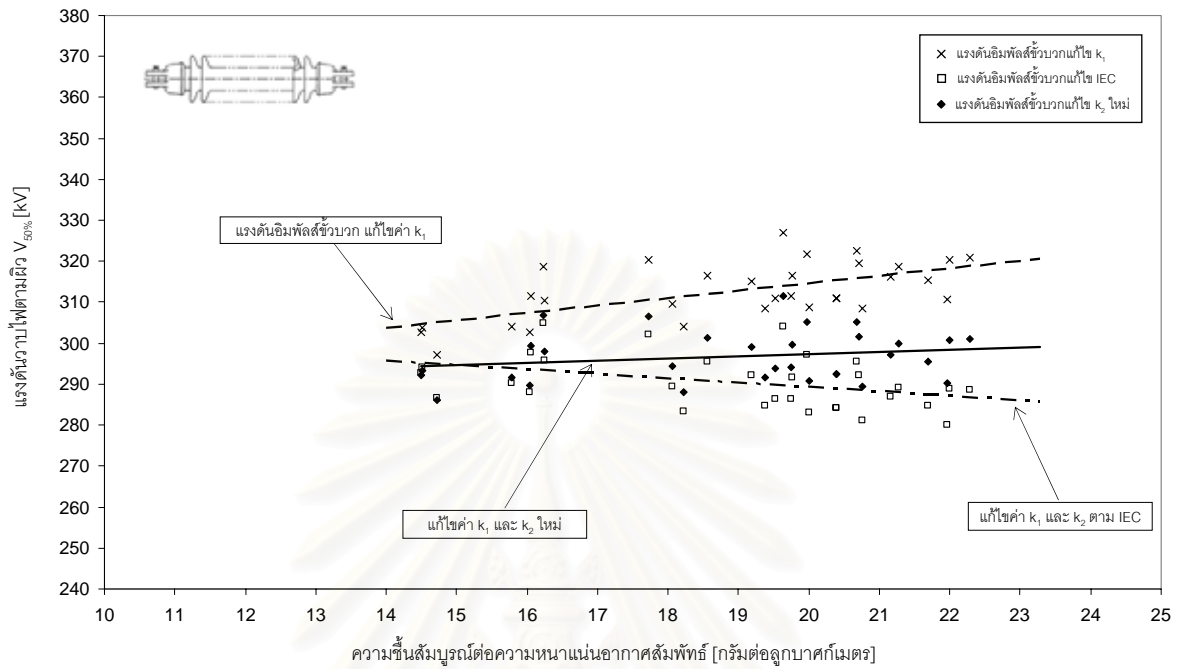
ต่อจากนั้น นำค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นที่ได้ใหม่มาแก้ไขค่าแรงดันทดสอบจะได้ ค่าที่คำนวณได้แสดงที่ ผนวก ข และได้นำมาแสดงในกราฟในต่อไป



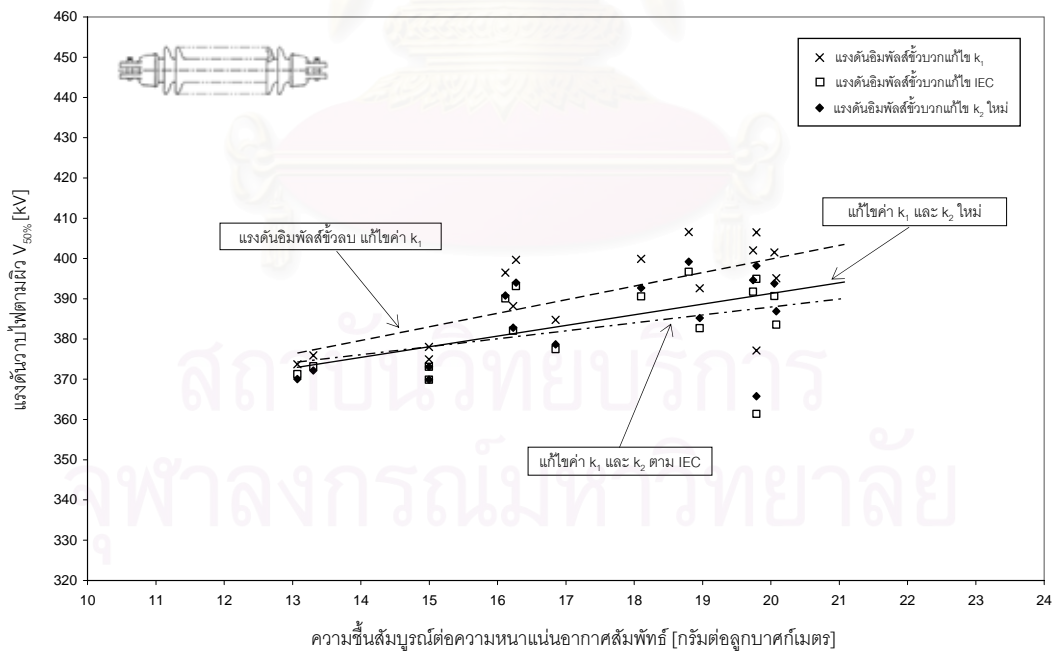
รูปที่ 4.21 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก



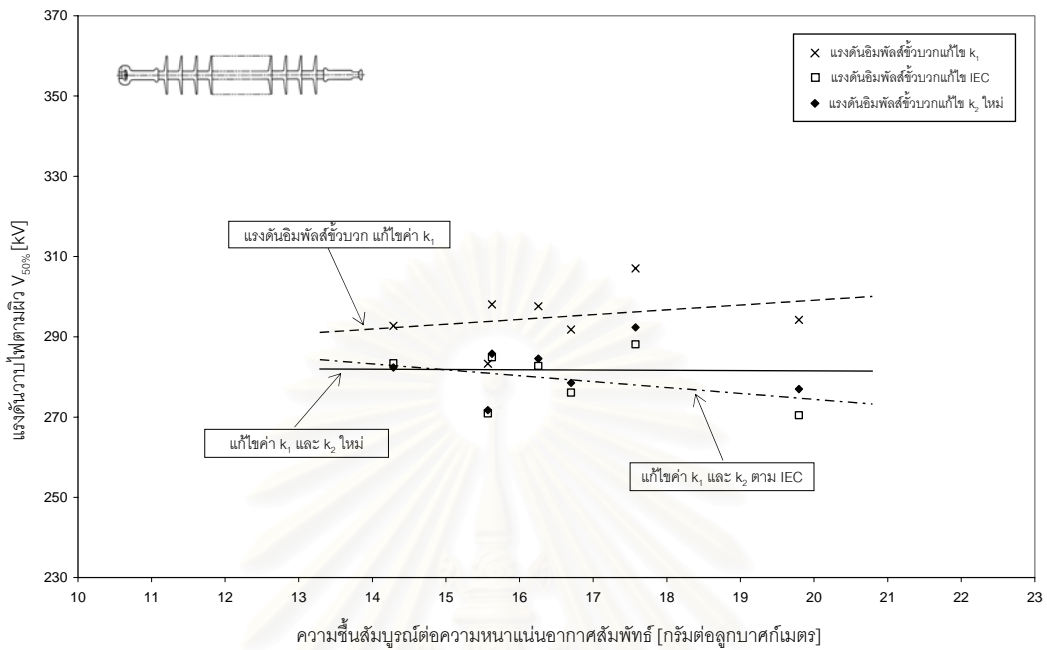
รูปที่ 4.22 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก



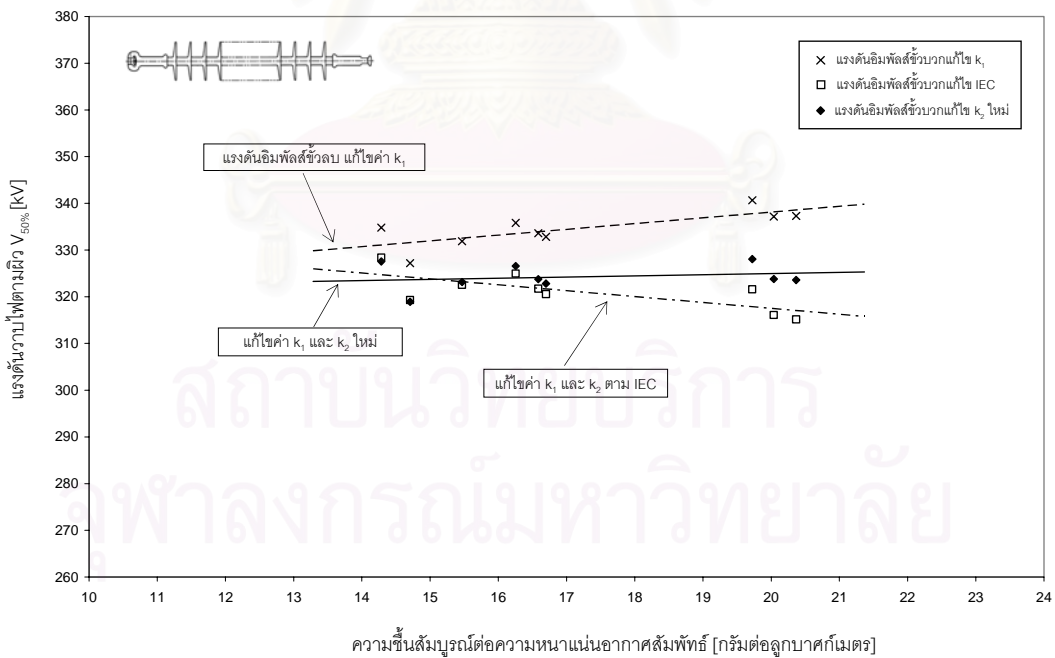
รูปที่ 4.23 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยคอตันยาว



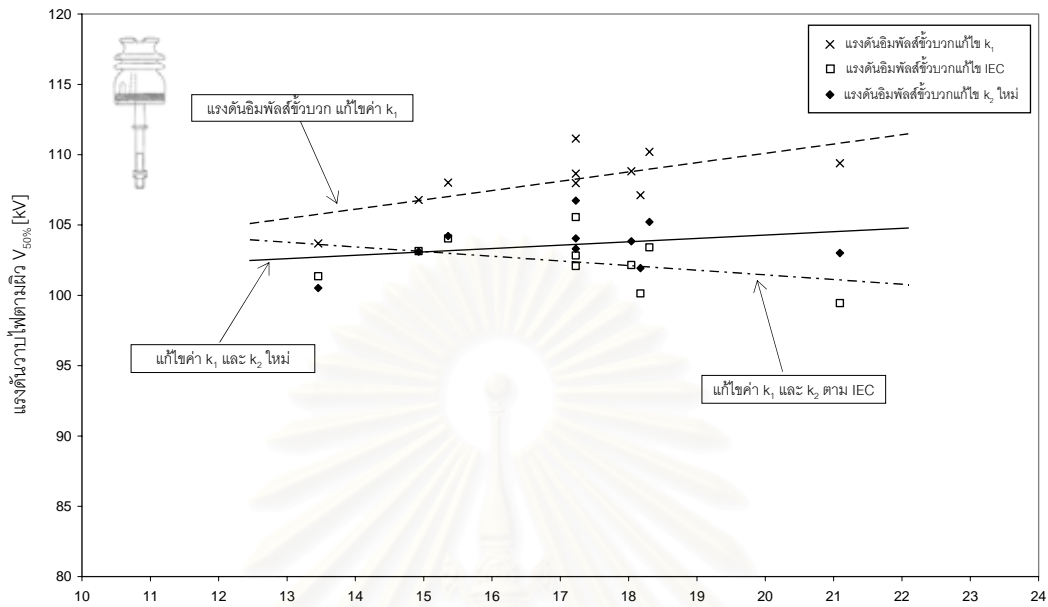
รูปที่ 4.24 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยคอตันยาว



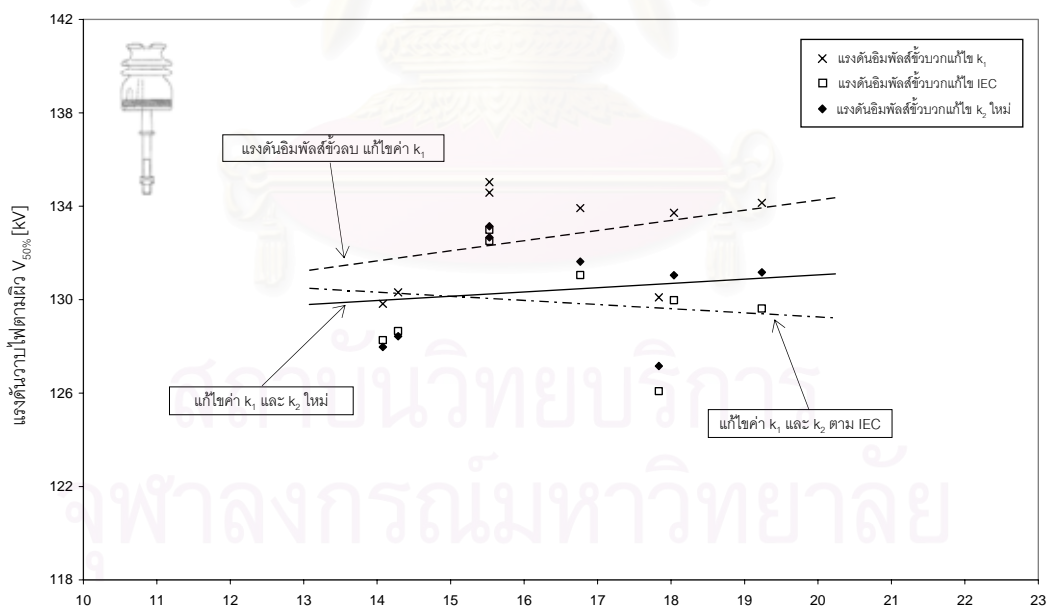
รูปที่ 4.25 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั๊วบวกของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์



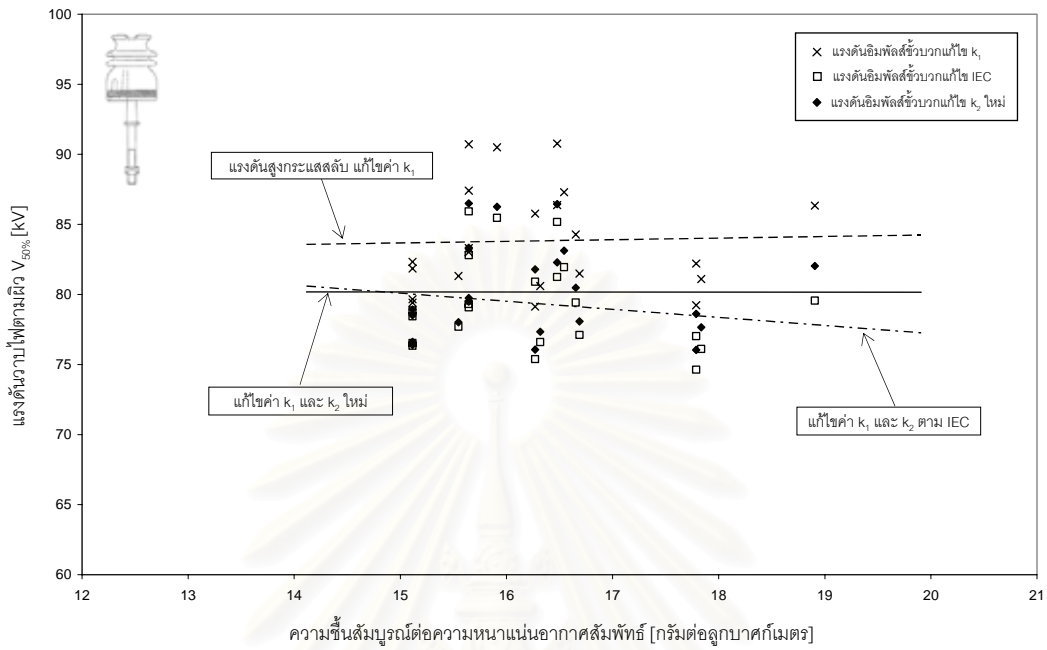
รูปที่ 4.26 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั๊วบวกของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์



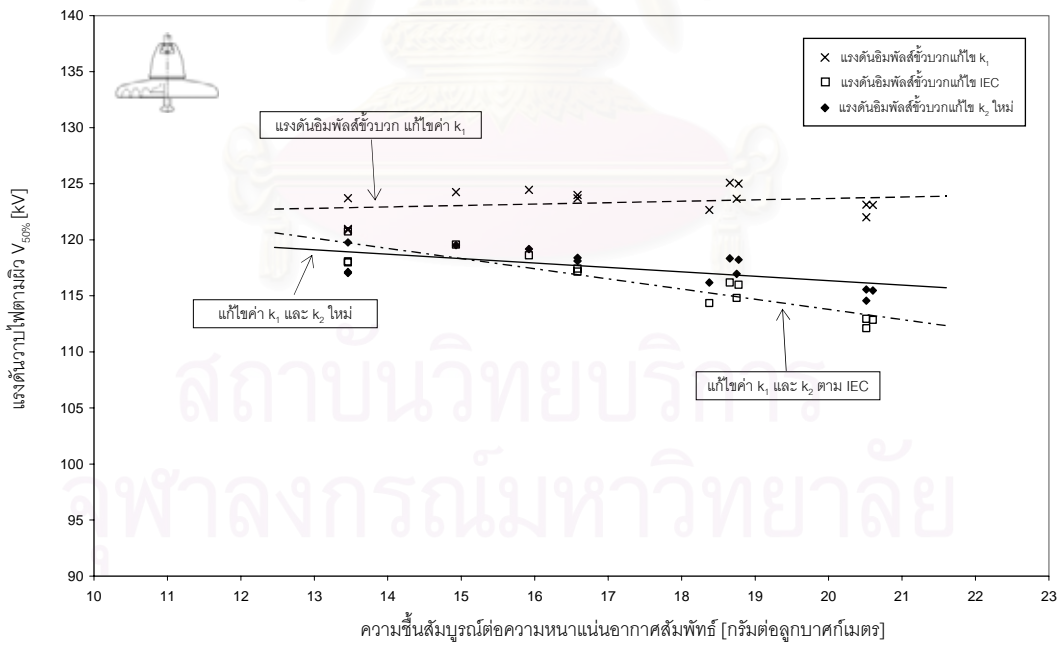
ความขึ้นสัมพันธ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพันธ์ [กรัมต่อลูกบาศก์เมตร]
 รูปที่ 4.27 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั๊วบวกของลูกถ้วยก้านตรง



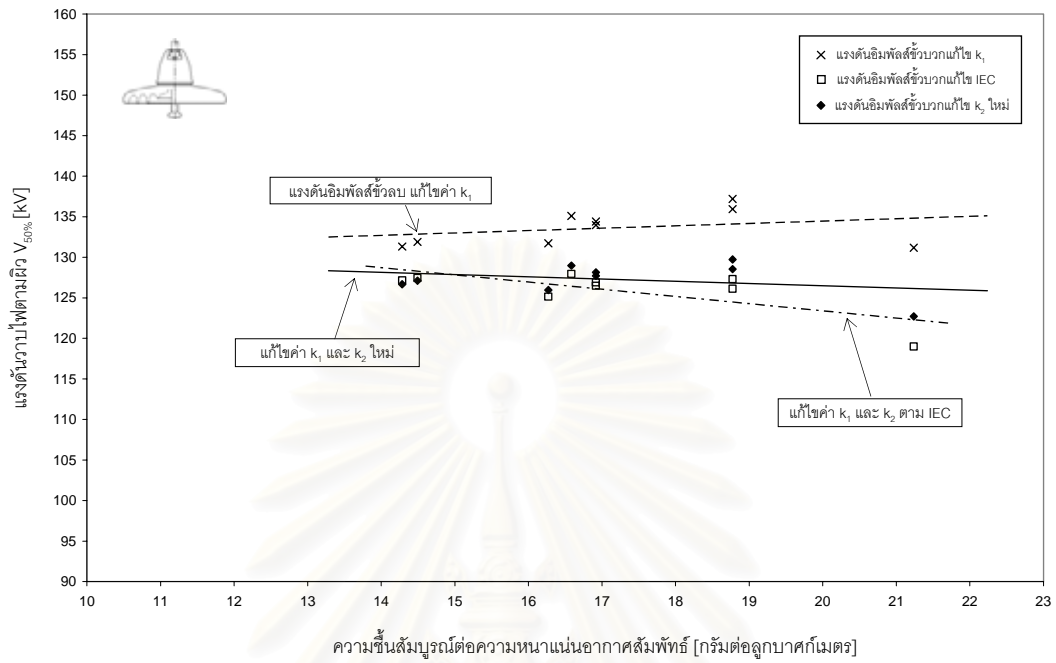
ความขึ้นสัมพันธ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพันธ์ [กรัมต่อลูกบาศก์เมตร]
 รูปที่ 4.28 ผลการแก้ไขใหม่แรงดันอิมพัลส์ชั๊วลบของลูกถ้วยก้านตรง



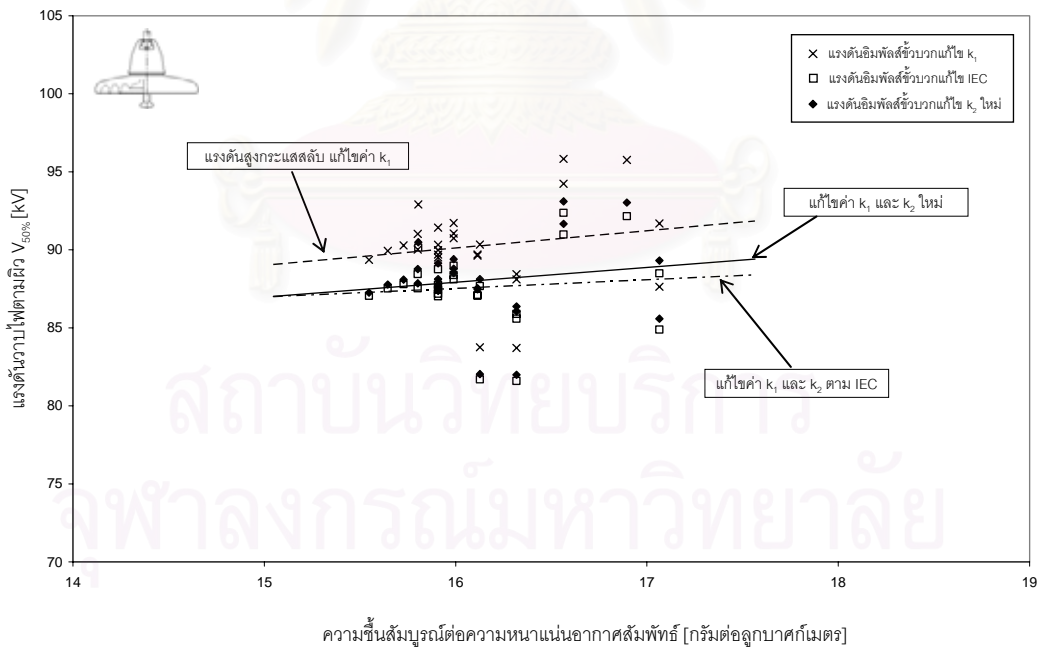
รูปที่ 4.29 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันสูงกระแสสลับของลูกถ้วยก้านตรง



รูปที่ 4.30 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ชเลน



รูปที่ 4.31 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันอิมพัลส์ชั้วลบของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน



รูปที่ 4.32 ผลการแก้ไขใหม่ แรงดันสูงกระแสลับของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองงานวิจัยนี้

การทดลองเราจะพิจารณาแต่ผลของความชื้นเท่านั้น การนำค่าแรงดันวาบไฟตามผิวที่ทดลองได้มาแสดง มีการแก้ไขค่าความหนาแน่นอากาศแล้ว

จากการทดลองในงานวิจัยนี้จะสามารถสรุปได้เป็น 3 ข้อดังนี้

1. ผลของความชื้นที่มีต่อแรงดันสูง ของมาตรฐาน IEC, IEEE และ ANSI คือ เมื่อ h/δ มีค่าเพิ่มมากขึ้น แล้วความคงทนต่อการเกิดแรงดันวาบไฟตามผิวก็จะมีเพิ่มมากขึ้น เป็นไปตามทฤษฎีในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.3.2

2. การแก้ไขด้วยตัวประกอบแก้ไขความชื้นตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989 และ IEEE Std.4:1995 พบว่า เมื่อแก้ไขค่าแล้ว กราฟจะมีลักษณะตกลงนั้นเป็นเพราะว่า ผลของความชื้นที่มีต่อแรงดันสูงที่กล่าวมาในข้อ 1 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงน้อย แต่การชดเชยด้วยตัวประกอบแก้ไขความชื้นตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989 มีค่ามาก จึงทำให้เส้นกราฟที่แก้ไขด้วยมาตรฐานมีลักษณะตกลง

3. การแก้ไขใหม่ที่เสนอภายในงานวิจัยนี้ ได้เสนอในสมการลักษณะเดียวกันกับมาตรฐาน IEC 60060-1:1989 และ IEEE Std.4:1995 โดยค่าตัวประกอบแก้ไขใหม่คำนวณได้จากสมการที่ 4.3 สำหรับแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราว, ชั่วลบ และสมการ 4.4 สำหรับแรงดันสูงกระแสสลับ เมื่อแก้ไขค่าแรงดันด้วยสมการดังกล่าวแล้ว ผลที่ได้คือ ค่าแรงดันมาตรฐานใหม่ที่ได้จะมีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง

จากการทดลอง สรุปได้ว่า ที่ h/δ ที่เกินกว่า 15 g/m^3 นั้นจะมีค่าความชื้น (ค่าแรงดันวาบไฟตามผิว 50% ต่อ ค่า h/δ) จะมีอัตราน้อยลง ดังนั้นจึงควรหาค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นใหม่ที่เหมาะสมกับช่วงที่ h/δ ที่เกินกว่า 15 g/m^3 คือ ต้องคำนวณค่าความชื้นอีกค่าหนึ่งที่ได้จากการทดลองในภาวะที่ h/δ เกินกว่า 15 g/m^3 ซึ่งสมการที่ได้จะมีค่าความชื้นที่ต่างกับสมการในตารางที่ 2.2 มาตรฐาน IEC 60060-1:1989

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรทำการทดสอบเปรียบเทียบผลข้อมูลจากวิทยานิพนธ์นี้ กับการทดสอบที่มีความอิสระต่อกันกับการทดสอบนี้ เช่น การทดสอบในห้องปฏิบัติการห้องอื่นที่ใช้เครื่องกำเนิด, เครื่องวัด, อุปกรณ์ทดสอบที่ต่างๆ กันไป และเมื่อได้ผลการทดสอบมาแล้วควรนำมาเปรียบเทียบกันและคำนวณหาค่าความชื้นต่อแรงดันวาบไฟตามผิวที่เกินกว่า 15 g/m^3 และผู้วิจัยได้ขอเสนอแนะดังนี้ คือ

1. ควรมีการทดสอบเปรียบเทียบผลระหว่างอิเล็กทรอนิกส์ที่มีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง สัมพันธ์กับลูกถ้วยแขวนแบบต่างๆ และอิเล็กทรอนิกส์ไม่สม่ำเสมอสูง ไม่สัมพันธ์กับลูกถ้วยที่ติดตั้งแบบ มีฐานรองรับ และใช้วิธีหาค่าตัวประกอบแก้ไขตามวิธีเดียวกัน นั่นคือ IEC 60060-1:1976 ซึ่งได้เปรียบเทียบ คุณลักษณะดังกล่าวไว้เหมือนกัน

และจากการศึกษามาตรฐาน IEEE Std.4:2001 ฉบับแก้ไขใหม่ ได้กำหนดค่าตัวประกอบแก้ไข มาตรฐาน IEEE Std.4 1995 สำหรับลูกถ้วยที่มีระยะน้อยกว่า 1 เมตรไว้ใหม่เป็น ค่าตัวประกอบแก้ไข ความหนาแน่นอากาศ (k_d) และค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้น (k_n) ตามมาตรฐาน IEEE Std.4:1978 ตามวิธีการคำนวณในหัวข้อที่ 2.4.2 และจะตรงกับมาตรฐาน IEC 60060-1:1976 ดังนั้น เป็นไปได้ว่า ค่าที่ถูกต้องแล้วอาจจะมีความใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน IEC 60060-1:1976

2. ควรหาค่าตัวประกอบความชื้นสำหรับลูกถ้วยแบบและขนาดต่างๆ เพื่อที่จะปรับปรุงให้ สมการ 4.3 และ 4.4 สามารถใช้กับลูกถ้วยประเภทต่างๆ ได้เพิ่มมากขึ้น

3. ควรศึกษาการทดสอบผลกระทบของความชื้นต่อแรงดันวาทไฟตามผิวกระแสตรง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. IEC 60060-1. International Standard High-Voltage Test Technique. Edition 2nd ed., 1989.
2. IEEE Std.4. Standard Techniques for High-Voltage Testing. 1995.
3. P.A. Calva Chavarria. Analysis of the influence of specific humidity on positive streamer pre-discharges considering h/δ greater than 15 g/m^3 . IEEE Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. 2002.
4. C. de Salles, M.L.B. Martinez. Improvement on a new method to correct the humidity effect on Lightning Impulse Testing. IEEE Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. 2003.
5. สำรวัย สังข์สะอาด. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. กรุงเทพมหานคร คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
6. ANSI C29-1. American National Standard for Electrical Power Insulators Test Methods. 1988.
7. IEC 60060-1. International Standard High-Voltage Test Technique. Edition 2nd ed., 1976.
8. IEEE Std.4. Standard Techniques for High-Voltage Testing. 1978.
9. Andrew R. Hileman. Insulation Coordination for Power Systems. 1999.
10. IEEE Std.4. Amendment to IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing. 2001.
11. IEC 60383-1. Test on insulator of ceramic material or glass for overhead lines with a nominal voltage above 1000 v. 4th ed., 1993.
12. สำรวัย สังข์สะอาด. เทคโนโลยีการฉนวนในระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแรงสูง. กรุงเทพมหานคร คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2544, 4-6 – 4-16.
13. IEC 60618. Test on indoor and outdoor post insulators of ceramic material or glass for system with nominal voltages greater than 1000 v. 4th ed., 1994.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลสภาพอากาศในกรุงเทพฯระหว่างปี 2543-2547 จากกรมอุตุนิยมวิทยา

ก.1 ข้อมูลของความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ ปี 2543-2547

สำหรับงานวิจัยนี้จะแสดงค่าความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ ซึ่งคำนวณหาได้จากค่าความชื้นสัมพัทธ์, อุณหภูมิและความดันอากาศ ของกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ ก.1 ค่าความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ทุกวันในปี 2543

วันที่	ความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	17.75	12.59	19.04	23.93	23.78	22.95	23.31	23.16	23.43	23.02	16.93	21.11
2	17.85	11.79	17.69	25.49	22.55	22.35	23.35	23.11	23.25	23.09	13.32	21.42
3	18.31	12.98	18.91	25.76	23.54	23.09	24.49	23.08	22.86	23.72	13.72	19.74
4	18.10	13.49	22.05	26.17	23.15	23.02	24.01	21.28	22.69	22.65	14.09	17.62
5	19.44	14.33	23.53	25.58	22.99	23.56	23.86	21.11	22.71	22.79	14.46	17.30
6	20.94	14.67	23.77	25.03	23.19	24.29	23.31	21.42	22.01	22.94	16.22	16.38
7	21.46	14.51	24.59	24.63	22.79	23.67	23.26	21.91	21.63	22.79	16.80	17.12
8	22.06	14.33	24.30	23.72	23.23	23.18	21.49	23.23	20.79	22.99	17.65	18.06
9	22.19	15.22	23.47	25.39	22.38	23.66	22.43	23.28	20.39	22.04	18.05	19.09
10	22.40	18.00	23.57	22.82	22.68	22.45	21.89	22.78	20.00	22.99	16.10	20.08
11	22.99	20.82	22.76	22.14	22.19	21.88	21.18	23.93	20.22	23.25	18.35	21.26
12	21.86	21.03	17.70	22.95	23.07	20.15	21.67	22.72	21.66	22.08	19.37	19.44
13	22.22	21.66	16.35	22.18	23.23	21.51	22.12	23.32	21.25	22.89	17.66	18.81
14	22.89	22.26	18.02	22.98	24.84	23.18	22.44	23.02	20.24	23.44	17.99	19.14
15	22.19	23.29	20.51	23.38	24.69	21.85	21.63	20.59	24.33	23.27	19.56	17.38
16	21.50	22.63	18.13	23.81	22.56	23.65	22.34	20.01	21.38	22.97	17.49	18.99
17	20.61	21.99	18.80	22.44	23.11	23.86	21.95	21.40	17.38	22.32	18.06	19.44
18	21.73	22.18	21.64	23.07	24.19	23.43	22.68	22.21	20.87	21.33	18.24	18.97
19	19.72	22.24	22.92	22.88	24.38	23.97	21.72	21.98	24.78	23.05	19.99	18.93
20	15.84	22.55	23.45	24.10	23.06	22.42	23.28	21.28	23.90	23.47	20.68	19.14
21	15.51	23.07	21.79	23.75	23.30	22.95	22.56	21.94	23.19	24.23	16.34	19.33
22	16.26	22.98	23.03	23.24	23.81	23.20	21.65	22.04	23.69	23.53	14.26	17.85
23	16.85	23.17	24.36	24.38	24.22	23.51	21.76	21.75	22.03	23.23	15.60	15.64
24	15.79	23.84	22.16	23.30	24.14	22.74	22.05	22.27	23.56	22.63	17.42	13.57
25	18.37	21.49	20.74	24.26	23.70	22.99	21.10	22.45	23.57	23.57	19.80	13.41
26	17.43	21.56	19.51	24.03	22.92	21.68	20.11	22.25	22.24	23.43	21.58	17.11
27	13.14	16.19	19.39	24.43	23.26	23.96	20.69	22.50	20.49	23.51	22.28	15.69
28	13.14	17.98	21.08	24.04	23.28	23.12	20.59	20.94	23.81	24.05	21.14	16.11
29	13.37	20.81	24.01	23.91	23.47	22.98	21.25	22.21	25.50	23.51	20.55	17.37
30	14.17		23.34	23.90	24.85	23.48	22.54	22.85	23.02	22.98	20.35	19.22
31	14.26		23.73		24.28		22.48	21.87		22.57		18.39

ตารางที่ ก.2 ค่าความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ทุกวันในปี 2544

วันที่	ความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	15.21	20.41	24.12	24.80	24.75	24.59	22.03	21.53	22.36	23.36	23.14	19.68
2	15.83	21.76	24.03	24.91	24.23	23.96	20.65	20.78	22.01	23.64	22.12	19.97
3	16.11	23.05	24.01	24.24	24.25	23.87	21.55	21.48	22.55	23.51	23.57	22.77
4	16.11	23.68	24.20	24.87	24.20	24.25	22.00	22.78	22.88	23.34	23.41	21.89
5	18.80	22.89	21.79	24.86	24.78	22.18	22.77	23.14	24.18	24.20	23.11	20.73
6	19.14	21.94	23.20	24.68	25.14	23.15	21.28	23.82	24.12	23.92	21.08	20.91
7	20.79	23.74	24.29	24.62	24.80	24.43	24.17	23.71	24.28	23.65	20.48	20.43
8	22.47	24.15	23.10	24.46	22.01	24.15	23.81	23.64	23.05	24.20	20.39	20.79
9	22.36	23.08	21.86	25.24	22.74	23.69	24.37	21.21	22.66	24.05	18.80	17.53
10	23.20	22.30	20.21	27.15	22.28	22.43	22.94	22.29	22.06	22.65	17.85	17.62
11	23.13	19.64	20.03	26.60	22.08	22.41	23.73	21.21	22.07	22.78	16.67	18.23
12	22.03	19.91	20.60	24.08	23.21	22.72	22.48	21.86	23.41	23.59	16.65	18.68
13	22.36	20.72	19.42	25.83	23.54	20.72	21.43	22.05	22.41	23.64	17.88	20.74
14	22.53	20.20	20.93	24.71	22.02	22.19	21.93	22.53	22.55	24.46	16.92	19.72
15	21.47	17.43	21.26	24.49	22.63	20.56	22.71	19.65	23.41	24.35	14.19	16.30
16	18.06	14.33	22.01	24.59	23.53	20.82	22.51	21.25	26.17	23.29	14.26	17.45
17	16.07	13.41	23.31	24.23	23.92	22.48	21.39	21.85	23.16	23.48	15.06	20.06
18	17.01	15.73	22.78	25.54	23.03	21.73	21.60	22.10	23.91	22.67	14.51	20.89
19	18.32	20.67	22.94	24.91	23.07	19.85	21.98	21.02	23.82	23.16	14.17	20.20
20	19.58	22.32	22.50	23.04	23.04	20.12	21.48	21.34	23.49	22.72	13.29	18.62
21	22.19	23.39	23.39	24.01	23.91	21.22	20.72	21.43	23.95	21.63	13.35	17.57
22	22.18	23.52	25.68	24.22	23.54	22.05	22.29	21.00	23.95	21.04	13.14	12.96
23	22.59	23.16	21.52	24.60	23.00	21.59	22.38	21.88	23.66	21.68	14.95	11.14
24	22.55	19.71	22.28	25.25	22.45	20.69	23.43	21.60	24.38	23.11	15.79	11.41
25	22.61	15.85	23.39	25.10	22.67	22.93	22.15	21.56	24.65	23.25	16.53	12.50
26	22.32	21.54	22.90	25.01	23.45	22.38	23.29	21.74	24.25	23.66	12.11	13.86
27	22.22	22.60	23.18	23.70	23.78	22.03	23.67	21.35	23.70	23.36	13.23	15.43
28	22.53	23.31	21.67	25.28	23.16	22.86	22.36	21.79	23.68	23.62	15.14	16.30
29	21.16		22.01	26.07	22.63	23.55	21.95	22.23	23.94	23.46	17.34	14.91
30	17.55		23.85	24.26	23.22	23.06	21.48	21.34	24.03	23.14	18.67	13.68
31	20.36		25.56		22.94		22.29	22.18		22.90		14.01

ตารางที่ ก.3 ค่าความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ทุกวันในปี 2545

วันที่	ความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	15.02	17.12	23.32	23.15	22.56	24.18	24.33	24.31	21.71	23.67	22.89	22.50
2	12.93	21.42	23.45	24.65	24.34	23.76	24.44	24.18	21.25	24.17	23.38	22.73
3	11.82	21.37	23.06	24.03	24.66	25.08	24.44	23.78	20.78	23.80	19.97	23.07
4	13.03	21.13	23.47	23.92	23.88	23.82	25.70	21.71	21.38	23.34	15.88	23.55
5	14.05	21.26	23.46	23.03	24.32	24.30	25.07	20.96	21.98	23.92	14.92	22.00
6	14.53	20.86	22.51	23.28	24.32	23.77	24.07	21.33	21.99	23.45	15.44	22.32
7	13.68	21.46	20.23	24.76	25.53	24.51	25.16	21.71	21.54	21.61	18.26	23.10
8	13.68	21.51	17.27	24.28	24.56	24.86	25.65	21.71	21.04	18.17	17.58	23.53
9	14.68	22.55	17.04	23.88	25.17	24.57	25.61	21.13	21.90	17.69	16.84	21.13
10	15.46	21.95	20.04	24.25	24.66	24.28	25.59	20.43	23.23	16.17	17.74	17.96
11	16.22	22.20	22.91	25.02	24.51	24.64	26.10	21.56	22.71	15.47	20.74	18.51
12	18.66	22.76	22.44	21.15	23.59	24.01	24.56	21.64	23.61	18.33	23.67	19.84
13	20.48	22.98	23.14	20.81	24.47	23.55	25.11	21.31	22.15	19.11	23.51	18.88
14	20.17	22.38	24.08	22.68	25.02	23.66	25.09	20.64	21.41	19.28	23.94	18.68
15	19.66	22.08	24.11	23.67	23.98	24.87	25.60	21.99	20.30	21.15	25.34	19.64
16	21.08	21.41	24.38	24.57	23.14	24.95	25.71	20.93	21.21	23.31	25.32	20.08
17	20.57	21.71	24.21	24.65	22.61	23.51	24.63	20.90	20.48	24.89	24.24	19.97
18	19.88	22.05	23.07	24.24	23.10	24.03	24.60	21.85	21.39	23.72	22.33	21.14
19	19.51	22.49	22.36	24.27	24.27	23.53	26.34	20.02	23.23	23.52	21.03	22.54
20	22.24	18.99	20.84	24.01	23.67	23.47	24.18	19.83	23.36	21.76	21.28	22.96
21	22.89	21.78	23.20	24.25	23.39	24.33	25.23	22.47	22.36	22.61	21.71	21.81
22	19.68	22.14	23.16	25.04	23.39	24.61	23.73	23.34	22.83	23.09	21.86	17.27
23	16.93	22.74	23.69	21.98	23.48	23.78	20.96	22.18	23.00	22.79	22.91	17.85
24	18.42	22.82	20.41	22.92	24.11	24.90	21.50	22.56	22.46	22.53	21.41	19.46
25	20.47	20.76	24.08	23.81	25.08	24.49	21.17	24.03	22.68	19.37	22.10	19.69
26	21.33	23.60	24.84	24.04	24.91	25.19	21.68	23.64	23.08	21.62	21.81	20.99
27	22.30	22.85	25.25	24.45	23.90	25.82	21.81	23.54	23.72	27.89	20.02	22.35
28	21.41	3.44	24.37	24.93	23.28	25.66	20.85	21.43	24.05	26.24	19.50	16.68
29	18.97		23.94	23.94	23.84	24.07	22.29	21.63	23.14	21.99	22.14	17.94
30	15.68		24.33	24.08	23.89	24.08	25.40	21.26	22.87			19.58
31	16.81		24.65		24.76			21.02				19.76

ตารางที่ ก.4 ค่าความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ทุกวันในปี 2546

วันที่	ความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	20.39	16.73	23.88	23.71	22.16	23.18	22.92	21.88	21.74	23.67	19.34	15.17
2	20.73	16.72	24.63	22.73	23.52	22.65	23.05	21.67	21.02	23.27	19.31	15.08
3	18.29	17.43	24.45	21.82	23.59	21.42	24.05	21.83	20.67	22.83	19.45	15.18
4	16.46	18.41	24.84	23.71	24.71	22.34	24.28	22.43	20.20	20.10	14.35	15.10
5	17.54	13.92	23.13	23.62	24.52	23.16	22.37	22.67	21.83	21.92	19.67	16.19
6	18.70	13.86	23.24	23.60	25.46	23.04	23.69	22.06	22.11	23.06	20.90	16.07
7	19.77	14.31	22.56	23.71	25.13	22.78	24.25	23.09	21.89	23.90	21.91	16.86
8	17.33	16.48	23.90	25.67	24.98	22.08	23.81	23.21	20.26	24.75	21.28	17.35
9	16.91	20.02	22.04	25.52	22.64	21.20	23.94	23.54	20.66	23.86	20.68	17.76
10	16.16	22.21	20.19	24.47	23.69	22.99	23.00	23.71	21.84	24.25	20.16	18.54
11	15.89	24.19	21.24	24.17	23.63	22.29	21.91	22.84	21.87	24.31	19.68	19.11
12	14.15	22.34	22.23	23.86	24.15	22.27	23.45	24.00	22.21	24.59	17.44	18.34
13	14.84	22.85	21.20	25.07	23.53	20.73	23.97	23.70	22.49	23.79	16.33	15.06
14	15.35	22.22	19.77	25.14	21.96	22.40	23.66	24.70	21.68	22.72	18.44	13.62
15	17.38	22.65	20.76	24.69	23.27	21.18	23.37	23.69	22.71	22.10	20.64	13.16
16	18.09	23.42	22.54	23.10	21.81	21.84	23.16	25.30	23.18	20.52	21.64	13.09
17	18.71	23.41	22.73	23.84	22.07	22.54	22.11	24.54	23.37	20.19	20.56	14.30
18	20.33	23.99	23.44	22.93	22.13	23.10	23.93	23.98	24.04	21.87	20.29	15.68
19	19.02	23.01	23.43	24.62	22.96	21.59	22.91	23.02	22.70	19.51	22.34	14.44
20	15.68	22.24	23.59	24.26	23.12	21.48	23.10	22.48	22.71	20.97	23.36	11.55
21	18.38	23.39	23.28	24.73	22.84	22.89	21.82	22.95	22.94	20.59	23.15	11.28
22	19.84	22.48	22.66	25.19	23.59	23.50	21.41	23.26	22.72	19.92	19.56	12.35
23	21.01	24.11	22.63	24.57	22.27	23.14	22.34	22.41	23.73	21.70	18.03	15.26
24	20.23	22.09	21.88	23.56	22.15	22.89	23.58	23.15	23.78	22.00	19.28	16.15
25	19.85	23.32	22.03	23.37	22.52	20.72	23.11	21.75	23.65	22.52	19.12	17.86
26	20.87	24.09	22.11	23.97	22.21	22.89	24.31	21.44	22.84	22.23	19.74	17.26
27	21.88	22.98	22.11	22.91	21.06	23.25	23.19	21.45	23.26	21.77	18.60	13.77
28	22.39	3.31	23.01	22.78	20.74	23.15	23.24	21.54	24.12	20.49	15.90	14.74
29	19.99		22.37	22.79	21.06	22.62	22.73	20.30	23.83	19.93	14.79	15.80
30	15.69		22.36	22.53	21.80	23.52	23.42	21.91	23.41	18.09	15.44	15.83
31	17.12		22.95		22.72		22.00	22.44		19.34		14.86

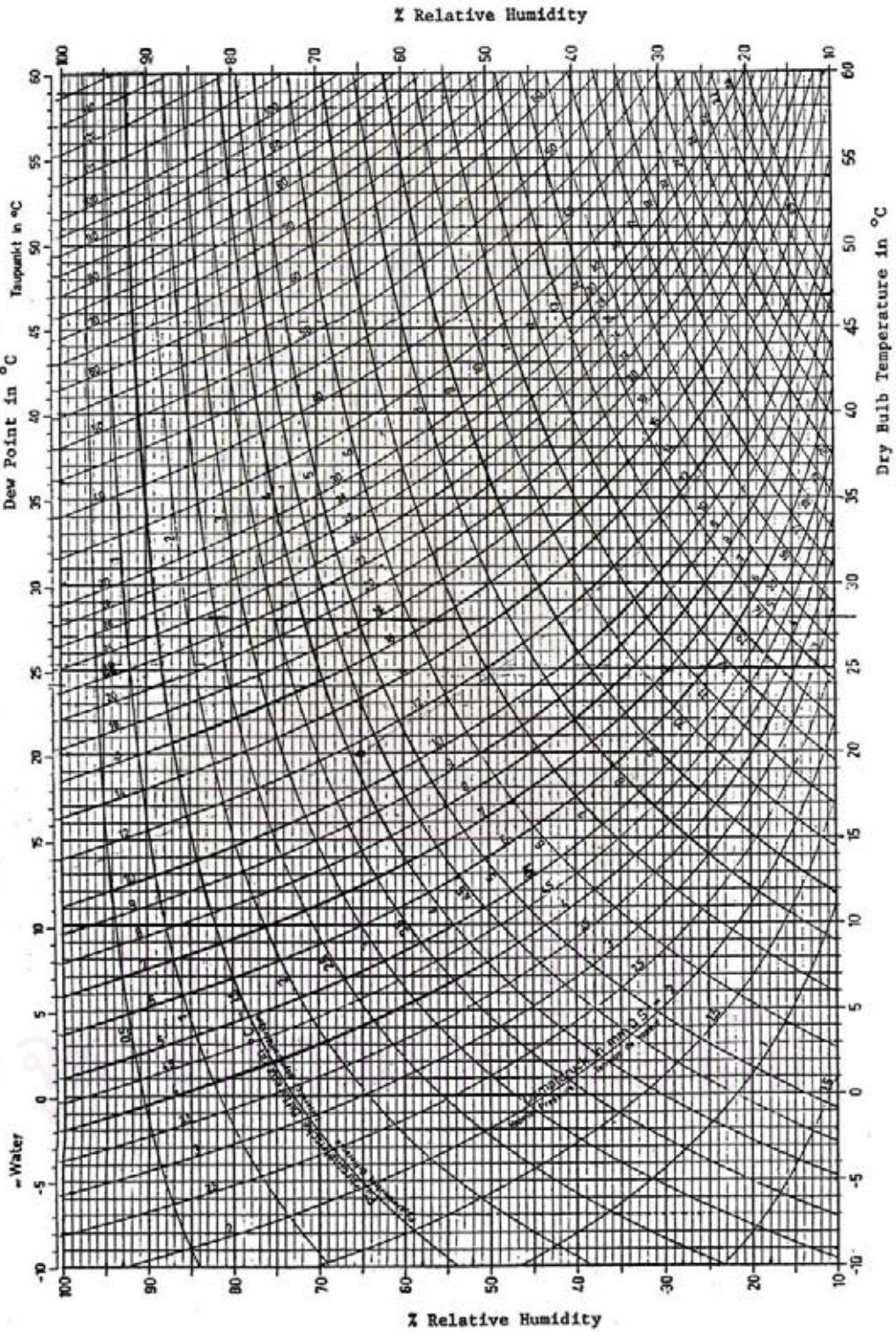
ตารางที่ ก.5 ค่าความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ทุกวันในปี 2547

วันที่	ความชื้นสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	16.17	23.37	21.68	24.37	26.18	22.34	22.25	22.59	24.22	22.22	18.07	16.17
2	16.73	23.23	21.83	23.77	25.38	22.91	22.44	20.47	23.94	22.38	17.34	15.58
3	16.26	24.15	24.15	23.62	26.18	22.07	23.42	22.32	22.95	20.77	17.12	16.26
4	17.62	24.15	25.14	22.80	25.12	21.93	22.67	22.63	23.24	21.08	17.54	16.37
5	17.61	22.81	23.49	24.66	25.25	24.21	23.52	23.24	23.64	21.50	17.84	15.25
6	15.94	22.53	23.80	24.57	23.77	25.78	23.37	22.43	22.84	22.25	18.91	13.17
7	15.59	21.81	20.38	23.87	25.07	25.12	25.15	22.14	20.64	22.28	18.36	13.21
8	16.72	19.38	16.13	23.44	25.16	24.52	22.30	21.96	19.93	21.70	19.37	12.51
9	17.85	16.24	15.39	24.70	24.47	23.48	22.41	22.45	20.18	21.87	21.74	13.06
10	20.07	15.56	17.26	24.27	24.13	24.41	22.38	22.15	20.33	21.48	23.69	14.20
11	22.43	15.82	23.60	24.55	23.57	23.94	20.83	21.38	21.91	22.99	22.96	15.06
12	20.07	15.03	24.47	25.50	21.43	23.67	20.95	21.19	21.23	20.90	23.73	15.58
13	19.74	14.19	25.53	25.52	22.72	23.40	20.55	20.08	22.25	21.45	22.34	14.10
14	19.87	13.40	25.08	22.95	22.56	22.77	22.37	19.81	22.13	21.49	22.87	14.23
15	22.04	14.57	24.44	25.16	24.56	22.63	21.04	19.96	20.91	20.37	22.09	13.05
16	22.04	15.64	23.85	22.36	20.41	22.33	20.55	20.88	21.77	20.91	23.15	14.06
17	22.14	19.12	22.79	20.81	22.43	21.18	20.88	21.77	23.91	19.14	20.11	15.44
18	22.01	20.90	22.61	21.53	24.32	21.91	21.01	22.44	23.65	17.36	17.54	15.73
19	21.94	21.90	24.07	24.18	23.29	23.65	21.92	22.88	22.25	18.19	16.64	13.38
20	22.30	22.60	24.60	24.50	24.18	23.89	21.20	22.69	22.59	18.72	17.70	14.76
21	22.08	22.69	23.41	23.26	23.63	23.08	20.81	22.48	23.19	19.58	14.51	14.40
22	18.54	23.29	25.27	24.30	21.33	21.33	22.34	22.57	23.37	20.19	12.52	17.25
23	18.09	23.30	25.30	25.59	21.04	20.37	23.40	21.88	23.69	19.51	14.02	17.92
24	15.26	22.95	21.37	25.59	21.64	20.26	22.75	22.14	23.01	19.52	15.59	16.57
25	12.62	22.17	21.00	24.94	21.63	21.36	23.15	22.16	23.60	19.42	17.54	18.42
26	14.78	20.38	22.56	24.92	22.86	21.13	21.94	23.03	23.59	15.29	18.22	16.02
27	15.55	20.38	23.78	25.76	23.10	21.61	21.71	22.59	23.87	15.68	18.25	15.64
28	17.52	21.79	25.10	23.79	22.87	21.99	21.77	23.20	20.65	19.00	17.41	14.53
29	20.22	22.13	24.92	23.25	23.44	22.25	21.80	23.67	21.35	20.37	18.32	13.86
30	23.01		24.72	24.19	22.94	22.61	21.52	23.17	22.08	20.26	17.95	15.36
31	23.73		24.38		22.11		22.22	23.77		18.73		14.63

ผนวก ข

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์, อุณหภูมิ และความดันไอน้ำ

Psychrometertafel Nr. 768b for Psychrometer with glass thermometers, velocity of air ≥ 2 m/sec
nach U. Sonntag (W)



ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าและแรงดันสูงกระแสลับ

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก

h/δ [g/m ³]	แรงดันวาบไฟตามผิว [kV] ครั้งที่																				%SD	V _{50%} [kV]	V _{50%} /δ [kV]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
22.17	338	322	312	322	327	321	313	307	313	305	313	321	327	320	328	321	328	321	329	321	2.53	320	335
18.87	326	323	331	339	346	338	345	338	327	339	346	338	345	337	345	339	331	338	330	339	2.06	337	350
21.15	340	335	327	338	329	323	329	338	329	323	328	319	330	337	330	338	330	322	330	323	1.86	330	345
19.31	330	323	315	323	329	339	329	322	312	321	330	324	330	335	330	322	327	322	329	324	1.94	326	340
20.68	328	321	329	319	328	336	328	336	343	335	328	320	329	321	328	337	330	322	329	336	1.98	329	341
23.11	340	332	325	332	324	319	311	319	326	318	325	318	325	318	311	318	326	333	325	332	2.32	324	332
21.17	330	323	314	324	315	323	315	308	315	323	330	337	331	323	330	338	329	322	312	308	2.76	323	338
21.88	315	306	315	324	330	339	344	338	330	323	316	333	328	320	330	320	316	323	328	338	3.01	326	341
21.15	337	322	337	331	323	331	340	344	338	331	321	330	322	330	324	331	337	339	331	324	2.07	331	347
19.31	314	305	298	306	313	312	313	321	313	322	313	307	311	321	314	307	311	321	314	307	1.97	312	326
18.00	305	296	304	311	319	326	319	311	320	312	319	326	318	311	319	311	320	326	334	326	2.87	317	326
19.31	324	315	323	331	337	330	337	331	324	315	323	315	323	315	324	324	329	336	344	337	2.60	327	341
20.39	326	320	327	321	314	321	313	321	328	320	313	321	314	321	314	320	313	321	329	320	1.59	320	332
23.39	319	308	317	326	316	326	318	325	318	325	318	324	332	326	332	324	333	339	333	324	2.27	324	333
21.09	313	306	313	321	316	321	328	321	314	321	313	321	328	321	313	320	313	321	313	321	1.75	318	327

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่ววอกของลูกถ้วยหลัก

h/δ [g/m ³]	แรงดันวาทไฟตามผิว [kV] ครั้งที่																				%SD	V _{50%} [kV]	V _{50%} /δ [kV]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
20.39	335	327	334	327	320	312	319	326	333	327	319	326	333	341	333	340	333	324	334	325	2.26	328	333
19.21	325	328	325	316	324	329	324	331	324	331	324	319	324	317	323	318	311	317	308	316	1.95	322	334
21.36	328	318	319	326	334	325	334	326	319	311	320	311	320	325	318	325	334	325	333	325	2.13	324	332
18.19	337	329	340	345	352	344	338	344	338	344	338	330	338	330	323	329	337	330	326	331	2.22	336	348
17.72	352	343	337	344	352	358	352	344	337	329	323	330	322	329	337	329	337	343	336	344	2.97	339	352
20.84	352	344	352	344	337	329	323	331	338	323	330	338	330	338	346	353	344	353	344	337	2.81	339	352
21.74	323	315	325	329	337	329	323	330	339	345	337	330	338	329	323	315	321	329	330	329	2.36	329	342
21.41	311	304	311	319	325	319	310	319	326	319	311	319	312	319	326	318	324	319	326	318	1.95	318	326
21.16	320	311	305	311	305	312	306	314	305	311	305	312	320	311	319	311	320	326	318	327	2.19	313	322
18.22	339	329	322	329	323	329	323	329	322	329	322	314	322	329	322	314	307	315	322	329	2.23	324	336
15.87	313	305	313	306	312	306	298	306	313	306	313	320	312	321	313	321	313	305	314	320	1.99	312	320
15.15	320	314	321	329	334	328	320	315	319	328	321	315	320	315	320	312	307	300	305	314	2.62	318	321
14.49	321	315	306	314	320	330	323	313	308	301	306	314	306	314	307	316	307	300	305	315	2.47	312	315

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วพลบของลูกถ้วยหลัก

h/δ [g/m ³]	แรงดันวาบไฟตามผิว [kV] ครั้งที่																				%SD	V _{50%} [kV]	V _{50%} /δ [kV]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
18.66	506	491	481	492	505	518	506	495	506	492	481	493	506	517	506	492	510	492	480	465	2.72	497	513
19.14	509	496	482	494	481	496	508	494	509	494	482	492	507	519	507	493	481	495	509	495	2.20	497	515
20.57	507	493	479	494	506	493	507	493	481	493	482	492	480	494	508	494	507	493	507	518	2.19	496	515
19.85	503	490	512	495	504	491	503	491	479	491	480	489	506	492	505	507	492	505	512	499	1.94	497	512
19.25	517	495	510	518	509	494	508	495	509	495	507	496	480	494	508	493	482	496	508	494	2.10	500	517
19.45	492	480	493	481	496	480	493	481	493	481	493	482	492	481	493	482	491	506	493	481	1.50	488	506
18.93	470	458	472	485	496	484	472	484	467	484	471	485	470	485	469	484	471	483	494	483	2.05	478	498
18.96	479	465	479	495	507	493	506	493	481	491	506	493	507	496	507	493	480	493	481	493	2.36	492	508
20.05	501	483	495	482	468	482	495	482	469	456	469	482	494	482	469	483	467	456	467	483	2.66	478	495
18.82	486	468	483	495	511	493	510	497	481	494	508	522	509	520	509	520	508	521	509	494	2.99	502	520
16.54	508	491	507	492	506	492	506	491	506	492	506	517	505	491	506	492	506	492	505	491	1.66	500	518
20.05	495	482	492	482	495	507	494	507	494	506	493	482	468	481	492	507	493	507	493	481	2.20	493	510
20.08	482	468	482	467	481	468	482	494	482	494	482	492	506	494	482	469	482	494	483	494	2.18	484	502
18.72	495	481	494	480	494	511	494	508	495	508	495	482	495	482	495	509	494	507	513	508	2.12	497	516
16.38	466	455	466	457	468	453	466	480	466	480	465	454	466	453	468	454	441	454	466	480	2.22	463	480
13.55	487	477	487	501	486	501	488	476	488	501	489	503	488	502	489	501	512	501	488	502	1.94	493	502
14.02	500	489	477	484	496	489	505	488	477	463	471	462	478	463	475	490	495	488	497	488	2.60	484	492

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วบวคของลูกถ้วยคอตันยาว

h/ δ [g/m ³]	แรงดันวาบไฟตามผิว [kV] ครั้งที่																				%SD	V _{50%} [kV]	V _{50%} / δ [kV]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
21.99	297	306	313	319	314	307	314	307	310	306	310	319	308	306	297	307	299	309	316	309	2.03	309	320
19.97	320	315	316	312	321	315	304	298	307	297	307	313	306	314	313	305	314	321	324	319	2.42	312	322
18.57	293	284	293	299	293	299	308	313	307	315	308	299	308	312	308	300	307	300	308	299	2.65	303	316
19.37	297	290	297	290	297	306	297	306	312	304	296	305	296	306	312	305	297	290	283	290	2.66	299	309
21.28	307	299	307	298	307	315	322	314	307	314	308	299	307	314	308	313	306	314	307	298	2.09	308	319
20.38	298	292	298	290	298	291	298	304	297	305	313	306	297	305	298	306	313	305	313	305	2.32	302	311
22.28	306	298	306	299	306	299	308	314	308	315	322	308	308	314	308	314	307	314	308	300	2.01	308	321
19.52	298	292	297	306	313	306	312	306	296	305	297	289	283	289	297	306	313	306	299	291	2.87	300	311
19.19	306	297	306	312	306	298	290	297	306	298	289	307	313	321	313	305	296	306	312	306	2.68	304	315
18.22	299	293	284	278	285	293	285	293	285	293	285	292	300	291	285	278	285	293	300	308	2.65	290	304
20.68	306	299	306	314	306	313	322	313	321	314	306	314	321	314	322	313	307	299	307	313	2.22	312	323
20.38	298	292	298	290	298	291	298	304	297	305	313	306	297	305	298	306	313	305	313	305	2.32	302	311
20.00	291	281	291	298	306	313	306	313	305	312	306	298	306	299	291	295	292	286	291	298	3.08	299	309
21.69	304	296	304	310	320	326	317	311	304	295	302	296	287	298	305	310	303	311	303	312	3.03	306	315
20.75	298	293	300	305	299	305	297	307	299	291	299	306	298	291	299	307	313	307	300	292	2.02	300	310
19.63	294	288	291	301	291	302	293	300	293	301	309	316	308	301	308	300	292	301	290	302	2.50	299	311

ตารางที่ ค.3 (ต่อ) ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยคอตันยาว

h/δ [g/m ³]	แรงดันวาทไฟตามผิว [kV] ครั้งที่																				%SD	V _{50%} [kV]	V _{50%} /δ [kV]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
21.17	334	328	319	312	319	312	321	312	305	312	319	312	307	313	305	312	305	312	320	305	2.48	314	321
17.72	309	300	308	300	308	300	294	301	309	300	293	300	309	316	309	301	293	301	293	300	2.14	302	314
19.76	314	307	314	306	314	305	314	320	314	324	311	320	312	307	313	306	298	291	297	306	2.62	310	320
20.71	312	306	313	305	296	306	313	321	311	321	306	307	298	306	297	301	314	307	313	320	2.41	309	319
19.21	300	293	302	308	300	294	302	309	301	309	300	308	317	309	315	309	317	310	316	310	2.34	306	318
21.54	312	306	311	306	312	320	327	320	312	306	312	305	297	305	297	305	296	305	313	319	2.64	309	316
18.06	308	300	292	300	308	300	293	283	293	284	293	300	293	300	309	316	308	300	291	286	3.00	298	310
16.25	293	284	293	299	292	299	308	298	292	300	292	301	307	299	307	299	307	299	308	299	2.18	299	310
16.05	298	292	299	309	299	306	298	306	313	306	313	309	313	306	313	305	299	291	298	290	2.47	303	312
16.23	299	294	301	309	300	308	300	309	315	308	315	309	316	321	314	308	315	308	300	293	2.53	307	319
15.78	299	290	298	291	298	306	298	291	297	291	299	306	298	292	284	291	297	291	299	290	1.89	295	304
16.04	284	277	284	292	285	292	298	292	284	277	284	292	298	292	283	292	298	307	298	307	2.95	291	303
14.73	292	284	277	284	292	284	291	298	292	284	277	284	276	284	292	284	292	284	293	298	2.28	287	297
14.51	299	293	299	291	298	307	301	291	300	291	299	306	301	293	298	306	314	306	314	306	2.33	301	304
14.49	300	293	298	293	300	306	299	308	300	307	299	290	298	307	298	306	298	293	299	308	1.82	300	303

ตารางที่ ค.4 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วพลของลูกถ้วยคอตันยาว

h/δ [g/m ³]	แรงดันวาทไฟตามผิว [kV] ครั้งที่																				%SD	V50% [kV]	V50%/δ [kV]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
19.79	393	380	366	380	366	353	365	354	367	354	365	354	367	381	367	355	367	354	350	358	3.15	365	377
20.05	405	391	379	390	380	391	405	390	379	391	406	390	379	391	380	389	378	371	379	391	2.51	388	402
19.74	393	381	392	408	393	381	394	382	393	382	393	382	392	381	392	381	368	380	392	405	2.40	388	402
20.08	393	380	368	379	368	381	392	379	393	379	392	381	392	381	392	379	366	379	367	380	2.37	381	395
18.96	370	356	370	357	369	383	369	380	369	383	369	382	394	382	393	383	369	383	394	383	2.94	377	393
19.79	383	377	389	403	388	403	390	404	392	403	388	403	388	403	389	403	389	403	388	378	2.30	393	406
15.00	364	351	363	376	363	352	363	377	364	377	364	351	363	378	364	377	363	351	364	350	2.60	364	378
16.85	380	366	378	367	379	365	378	364	378	365	378	365	378	365	379	365	378	365	378	365	1.83	372	385
16.27	393	380	391	379	392	380	390	379	392	380	392	406	392	377	390	375	392	379	392	378	2.09	386	400
18.10	393	381	393	382	366	380	390	381	394	382	394	382	392	383	392	381	394	381	368	382	2.13	385	400
18.80	407	393	408	391	380	393	384	393	383	393	409	393	409	393	381	393	382	394	381	393	2.41	393	407
15.00	365	352	365	353	365	353	364	377	364	351	365	352	365	351	364	352	365	378	364	351	2.33	361	375
16.23	380	366	378	365	379	390	378	390	382	367	378	365	379	395	380	366	379	364	380	366	2.47	376	388
16.11	393	379	366	380	393	379	393	381	393	380	391	380	390	380	366	379	393	381	391	380	2.20	383	396
13.07	375	360	374	362	374	361	373	360	374	359	371	382	374	360	373	360	373	360	373	361	2.00	368	374
13.30	385	374	360	373	386	374	360	374	362	376	386	373	361	374	359	374	357	374	367	353	2.64	370	376

ตารางที่ ค.5 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์

h/δ [g/m ³]	แรงดันวาบไฟตามผิว [kV] ครั้งที่																				%SD	V _{50%} [kV]	V _{50%} /δ [kV]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
19.79	277	269	277	282	276	284	291	283	291	283	291	298	291	300	291	297	290	283	291	283	2.81	286	294
17.58	293	286	293	286	294	299	308	300	293	286	293	300	308	298	293	285	293	300	293	300	2.25	295	307
16.25	301	293	300	293	286	293	286	277	271	278	286	294	300	293	286	279	285	279	270	279	3.25	286	298
15.62	291	283	291	299	290	298	291	284	291	283	276	285	291	283	291	298	290	283	291	283	2.07	289	298
16.70	285	279	272	280	285	280	272	280	271	286	294	287	271	264	279	286	294	286	279	286	2.80	281	292
15.57	292	283	275	285	277	269	278	269	277	270	278	269	278	268	277	270	262	253	262	269	3.23	273	283
14.28	284	277	282	290	299	306	312	305	299	291	289	279	287	291	284	291	283	291	279	284	3.33	290	293

ตารางที่ ค.6 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์

h/δ [g/m ³]	แรงดันวาบไฟตามผิว [kV] ครั้งที่																				%SD	V _{50%} [kV]	V _{50%} /δ [kV]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
20.37	329	322	329	337	328	322	313	322	314	324	328	320	328	335	328	337	328	322	327	322	1.98	326	337
20.04	321	313	321	328	321	328	334	327	336	326	334	326	335	326	335	327	334	342	335	326	2.09	329	337
16.59	340	330	323	315	308	315	324	315	323	316	323	328	322	330	322	314	322	315	322	315	2.28	321	334
16.25	325	316	324	317	325	316	324	316	324	316	324	331	324	331	324	316	324	333	324	331	1.72	323	336
15.47	329	321	327	320	313	328	337	328	321	313	321	313	322	328	322	314	320	315	322	313	2.08	321	332
16.70	325	318	310	317	325	317	310	317	326	316	324	317	325	317	326	317	326	332	324	316	1.82	320	333
14.71	327	314	308	315	322	315	322	314	308	315	322	314	322	314	323	314	322	314	308	315	1.73	316	327
19.72	333	324	333	339	333	325	334	339	333	324	333	325	333	325	334	340	333	340	334	340	1.65	333	341
14.28	333	327	335	327	334	326	335	326	334	327	335	343	335	328	334	331	334	329	335	329	1.32	332	335

ตารางที่ ค.7 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยก้านตรง

h/δ [g/m ³]	แรงดันวาทไฟตามผิว [kV] ครั้งที่																				%SD	V _{50%} [kV]	V _{50%δ} [kV]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
18.17	105.5	101.9	105.7	102.3	105.5	101.9	105.7	102.0	105.6	101.9	105.7	101.9	105.9	101.9	105.9	101.9	105.7	101.9	98.3	101.9	2.16	103.5	107.1
17.23	111.1	108.3	103.5	107.9	104.0	99.0	104.1	107.9	103.9	107.6	103.6	107.0	111.3	107.6	110.9	107.0	111.3	108.0	111.0	107.3	3.06	107.1	111.1
17.23	107.4	103.4	106.9	103.7	98.4	103.1	107.1	103.2	107.4	102.9	98.1	102.5	106.2	110.6	106.3	102.6	106.3	103.4	98.8	103.1	3.13	104.1	108.0
18.04	109.4	105.5	109.9	105.4	102.0	105.7	102.2	98.1	101.7	105.4	101.7	105.9	109.7	106.0	109.6	105.8	102.0	105.7	101.6	105.7	3.07	105.0	108.8
21.09	109.1	104.9	109.4	105.0	109.3	105.2	109.3	104.8	108.9	105.0	109.6	104.7	102.0	106.3	109.2	112.2	109.2	105.1	101.5	105.2	2.68	106.8	109.4
18.30	109.9	106.1	109.6	105.4	109.6	105.3	102.0	105.9	101.2	105.8	102.3	105.3	109.8	105.6	109.7	105.7	109.8	106.0	110.1	106.1	2.62	106.6	110.2
17.23	105.6	102.5	107.2	102.7	107.0	102.9	107.0	102.9	106.7	102.5	107.3	110.3	107.1	102.7	106.8	102.9	99.1	102.3	106.7	102.3	2.63	104.7	108.7
14.93	105.4	102.0	105.8	101.8	105.2	102.2	98.1	102.1	105.3	109.6	106.0	102.1	105.4	102.2	98.5	102.2	98.8	102.3	98.7	101.9	2.90	102.8	106.8
15.36	109.9	105.7	109.5	106.4	102.5	106.1	102.4	105.7	102.3	105.9	102.3	104.8	102.5	97.4	102.1	98.1	102.3	106.0	101.3	102.8	3.09	103.8	108.0
13.46	108.6	104.4	108.7	104.2	101.3	98.0	100.7	104.9	100.8	96.9	100.8	104.2	100.8	104.7	101.0	104.8	100.8	104.6	100.7	104.6	3.01	102.8	103.7

ตารางที่ ค.8 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วพลบของลูกถ้วยก้านตรง

h/δ [g/m ³]	แรงดันวาบไฟตามผิว [kV] ครั้งที่																				%SD	V _{50%} [kV]	V _{50%^u / δ [kV]}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
18.04	128.2	124.5	127.9	131.7	136.8	131.7	128.2	131.8	128.0	124.5	128.0	132.5	128.0	124.8	128.1	124.9	128.1	131.7	127.7	132.1	2.49	129.0	133.7
16.76	128.8	125.2	128.7	132.0	128.9	132.5	128.7	125.3	129.2	124.9	128.6	125.1	129.1	132.6	136.0	132.3	128.4	125.0	128.4	132.7	2.42	129.1	133.9
19.24	136.6	132.4	136.8	132.6	128.7	125.0	128.6	132.7	128.5	125.2	128.1	132.9	129.3	132.7	128.0	132.4	128.2	132.4	128.1	132.4	2.51	130.6	134.1
15.53	135.6	128.4	125.1	128.6	132.2	128.2	132.0	128.3	125.0	128.2	132.6	135.3	132.0	128.3	132.4	128.7	125.1	128.0	124.7	127.9	2.53	129.3	134.6
17.84	128.0	124.4	127.8	132.5	128.0	125.1	120.7	124.5	128.2	124.8	128.0	121.0	124.5	128.1	124.8	127.5	124.6	127.7	124.9	121.0	2.33	125.8	130.1
15.53	132.7	128.1	131.9	128.3	132.4	135.1	128.3	124.5	128.0	132.8	134.9	132.2	127.9	132.1	128.4	124.6	128.2	132.1	127.9	124.8	2.51	129.8	135.0
14.28	132.7	130.1	126.3	129.0	126.9	130.2	126.3	130.1	125.8	130.2	133.2	129.8	133.8	130.5	125.6	130.2	126.0	130.1	126.1	130.3	1.98	129.2	130.3
14.08	130.3	126.3	130.5	126.0	130.2	126.5	130.2	126.2	130.4	126.2	130.3	126.9	122.6	126.6	130.3	133.2	130.4	126.3	130.7	133.4	2.17	128.7	129.8

ตารางที่ ค.9 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงกระแสลับของลูกถ้วยก้านตรง

h/δ [g/m ³]	แรงดันวาทไฟตามผิว [kV] ครั้งที่					U เฉลี่ย	อัตราส่วน ดีไวเดอร์[kV] 2638.9:1	V _{test} /δ [kV]
	1	2	3	4	5			
16.65	30.915	30.330	30.729	30.141	30.430	30.509	80.510	84.278
15.91	32.326	32.512	34.315	32.217	32.987	32.871	86.744	90.506
16.54	31.282	32.092	31.824	32.300	30.769	31.653	83.530	87.296
18.91	30.825	31.713	33.312	30.271	32.596	31.743	83.768	86.341
15.12	29.837	31.662	28.127	29.792	30.033	29.890	78.877	82.324
15.12	30.000	28.491	29.271	27.006	29.395	28.833	76.086	79.411
15.12	29.453	27.602	28.392	30.080	29.078	28.921	76.320	79.655
16.27	30.717	30.666	29.583	32.535	31.943	31.089	82.040	85.766
16.32	30.867	28.159	28.310	29.654	29.239	29.246	77.177	80.601
16.69	30.057	29.660	30.949	28.201	28.968	29.567	78.024	81.486
15.65	31.140	29.079	28.178	33.005	31.228	30.526	80.555	83.304

ตารางที่ ค.9 (ต่อ) ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงกระแสสลับของลูกถ้วยก้านตรง

h/δ [g/m ³]	แรงดันวาทไฟตามผิว [kV] ครั้งที่					U เฉลี่ย	อัตราส่วน ดีไวเดอร์[kV] 2638.9:1	V _{test} /δ [kV]
	1	2	3	4	5			
15.65	32.315	32.971	31.883	32.211	30.769	32.030	84.523	87.408
17.79	30.035	30.475	30.237	29.723	30.389	30.172	79.620	82.202
17.79	29.472	29.279	29.182	28.727	28.752	29.082	76.746	79.234
17.84	29.620	30.962	28.826	28.988	30.195	29.718	78.423	81.100
15.12	30.294	30.056	30.444	27.703	30.092	29.718	78.422	81.850
15.55	28.088	29.777	30.053	29.214	30.243	29.475	77.782	81.314
16.27	30.130	27.863	29.235	28.260	27.935	28.685	75.696	79.133
15.65	29.495	30.608	30.514	30.574	30.905	30.419	80.273	83.013
15.65	31.979	33.686	33.631	33.613	33.310	33.244	87.727	90.721
16.48	32.800	31.770	32.440	32.691	35.514	33.043	87.197	90.768
16.48	31.020	30.598	32.132	31.914	31.552	31.443	82.975	86.374

ตารางที่ ค.10 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน

h/δ [g/m ³]	แรงดันวาทไฟตามผิว [kV] ครั้งที่																				%SD	V _{50%} [kV]	V _{50%δ} [kV]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
18.38	121.2	113.4	117.9	114.0	118.0	121.8	118.3	113.8	118.1	121.5	118.2	121.8	118.4	121.8	125.2	121.4	125.2	121.8	117.8	121.6	2.81	119.6	122.7
18.75	121.6	117.2	113.3	117.2	121.7	117.7	121.7	124.3	121.5	118.1	121.0	117.7	121.3	124.6	121.1	117.4	121.2	117.7	121.1	117.5	2.34	119.7	123.7
20.60	121.4	117.8	121.2	118.1	113.8	117.6	121.0	118.0	121.5	118.0	121.2	125.8	121.3	126.9	120.9	124.4	121.1	117.8	113.8	118.1	2.84	120.0	123.1
16.58	120.3	117.1	120.5	117.6	120.9	124.3	120.7	116.9	120.6	116.8	120.7	117.2	120.9	117.1	120.6	124.2	120.3	124.0	120.3	117.1	2.05	119.9	124.0
18.66	126.7	121.2	117.6	121.7	117.8	121.1	125.0	121.5	125.4	121.7	117.9	121.8	125.0	121.8	125.2	121.3	117.9	121.5	118.0	121.1	2.30	121.6	125.1
18.77	121.3	117.4	121.0	117.6	120.7	117.0	121.1	125.0	120.8	124.9	120.9	124.7	120.9	124.2	120.6	124.5	120.4	117.2	120.3	117.3	2.22	120.9	125.0
16.58	120.8	117.1	112.8	120.5	117.1	120.7	124.5	120.6	116.6	120.7	117.0	120.0	116.9	120.5	124.6	120.4	117.0	120.7	123.6	120.3	2.45	119.6	123.7
14.93	124.2	120.8	117.1	112.9	117.1	121.3	117.2	120.8	124.4	120.5	124.0	121.6	117.1	120.5	124.6	120.3	117.5	120.5	116.9	112.9	2.89	119.6	124.3
15.92	120.6	116.8	120.7	124.2	120.5	124.6	120.2	117.2	120.7	124.4	120.4	124.6	120.2	116.5	120.0	117.1	120.6	117.3	112.5	116.7	2.67	119.8	124.5
20.51	123.3	119.4	123.4	119.5	122.8	119.4	123.0	119.2	123.4	119.4	116.0	119.7	123.6	119.7	123.0	119.3	116.2	119.8	115.6	119.7	2.12	120.3	123.1
13.46	119.4	115.4	119.4	122.5	119.1	115.1	119.0	122.6	119.0	115.7	118.9	122.6	119.0	122.7	119.2	122.7	119.1	122.8	119.2	122.8	2.10	119.8	120.9
13.46	127.6	123.9	127.1	123.4	119.8	124.1	119.7	116.5	119.4	123.4	126.7	123.4	119.5	123.5	126.6	123.5	119.6	125.9	119.4	123.5	2.57	122.8	123.7
20.51	123.8	120.1	123.4	119.2	115.8	119.0	116.0	119.9	123.1	119.2	123.3	119.4	116.0	119.3	115.6	111.5	116.1	119.5	123.3	119.7	2.74	119.2	122.0
13.46	122.4	119.2	115.7	119.1	122.8	119.3	122.7	119.1	122.5	119.3	122.9	119.1	115.6	119.1	122.6	119.2	123.2	119.2	115.8	119.4	2.05	119.9	121.0

ตารางที่ ค.11 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วพลของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน

h/δ [g/m ³]	แรงดันวาทไฟตามผิว [kV] ครั้งที่																				%SD	V _{50%} [kV]	V _{50%δ} [kV]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
18.77	134.8	131.8	127.9	132.0	127.4	132.1	128.0	132.2	135.4	139.6	134.6	132.1	127.9	131.9	127.9	132.2	136.0	139.9	136.8	132.6	2.81	132.7	137.2
16.92	134.2	131.4	127.7	131.4	127.9	131.1	124.5	120.3	124.2	120.7	124.3	127.9	132.1	135.4	131.6	135.0	131.3	127.8	131.8	128.2	3.40	128.9	134.0
16.27	127.7	123.7	127.3	124.4	127.0	124.4	127.6	124.5	127.1	124.5	128.0	131.7	127.8	131.0	127.6	124.5	128.0	131.5	128.0	131.3	1.99	127.4	131.7
18.77	133.0	128.6	132.2	128.5	132.5	129.2	132.6	128.2	132.2	128.9	132.5	128.8	132.7	129.0	132.1	137.7	132.5	128.6	132.7	136.3	2.02	131.4	135.9
21.24	131.7	127.8	124.5	127.5	124.9	127.6	124.5	127.9	124.5	127.5	124.5	126.9	124.3	127.5	124.2	127.6	131.9	135.2	131.4	127.5	2.39	127.5	131.2
16.92	135.4	131.5	135.1	139.0	133.9	127.2	131.8	134.3	132.4	128.2	131.3	127.5	123.9	127.7	124.0	120.0	124.2	127.8	124.2	128.0	3.75	129.4	134.4
16.58	131.3	127.8	131.4	134.8	131.2	135.1	131.7	134.6	131.3	127.6	131.4	135.5	131.5	127.3	131.6	134.9	132.0	127.3	123.8	120.5	3.00	130.6	135.1
14.28	132.8	129.2	132.8	129.8	133.8	129.4	125.4	129.5	132.8	129.8	132.3	130.1	133.1	129.3	125.7	129.7	133.0	129.3	125.5	129.9	1.96	130.2	131.3
14.49	133.2	130.5	126.1	130.4	125.2	130.0	132.8	129.5	132.9	130.1	133.4	136.9	133.3	129.4	133.1	129.9	132.9	129.5	125.7	129.8	2.23	130.7	131.9

ตารางที่ ค.12 ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงกระแสลับของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน

h/δ [g/m ³]	แรงดันวาปไฟตามผิว [kV] ครั้งที่					V เฉลี่ย	อัตราส่วน ดีโวลเตอร์[kV] 2638.9:1	V _{test} /δ [kV]
	1	2	3	4	5			
17.06	32.565	31.066	31.835	31.869	32.961	32.059	84.601	87.633
17.06	33.237	33.458	32.216	34.929	33.875	33.543	88.517	91.689
16.90	34.539	34.030	35.841	34.600	35.877	34.977	92.302	95.767
16.56	33.380	35.114	34.154	34.811	34.640	34.420	90.830	94.240
15.73	32.796	32.976	33.104	31.927	32.826	32.726	86.360	90.282
15.55	31.632	32.365	31.381	32.778	33.801	32.391	85.478	89.359
15.91	32.850	31.626	32.470	31.858	33.752	32.511	85.794	89.690
15.91	32.053	33.068	33.150	31.902	32.050	32.445	85.618	89.506
16.32	29.444	30.783	30.438	30.387	30.827	30.376	80.159	83.715
16.11	31.839	33.511	32.087	33.596	33.187	32.844	86.672	89.630
15.80	33.908	33.061	33.104	33.403	33.302	33.356	88.022	91.026
15.80	32.760	32.508	32.021	33.928	33.718	32.987	87.049	90.020
15.65	33.310	32.005	34.021	32.435	33.002	32.955	86.964	89.932
16.13	30.582	30.188	30.436	29.646	31.595	30.489	80.458	83.754

ตารางที่ ค.12 (ต่อ) ข้อมูลการทดสอบแรงดันสูงกระแสสลับของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน

h/δ [g/m ³]	แรงดันวาบไฟตามผิว [kV] ครั้งที่					V เฉลี่ย	อัตราส่วน ดีโวลเตอร์[kV] 2638.9:1	V _{test} /δ [kV]
	1	2	3	4	5			
16.56	34.541	34.800	36.135	34.352	35.161	34.998	92.356	95.823
15.99	33.291	31.796	32.540	33.521	33.605	32.951	86.953	91.051
15.99	32.095	34.030	32.805	34.031	33.004	33.193	87.593	91.721
15.99	32.363	32.175	33.127	33.216	33.318	32.840	86.661	90.745
15.91	32.912	32.522	33.039	33.239	32.006	32.744	86.407	90.331
15.91	33.209	32.541	33.923	32.336	33.698	33.141	87.457	91.429
15.91	33.004	31.855	32.876	32.430	32.913	32.616	86.069	89.978
16.32	31.948	30.603	32.200	31.862	33.227	31.968	84.360	88.103
16.32	32.260	31.644	32.126	32.018	32.406	32.091	84.684	88.442
15.81	33.876	35.094	33.613	34.257	33.944	34.157	90.136	92.905
16.11	33.276	32.677	32.129	32.458	34.084	32.925	86.885	89.702
16.13	32.041	31.912	33.381	34.084	33.013	32.886	86.783	90.338

ภาคผนวก ง

ข้อมูลการปรับแก้ไขตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988
แรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าและแรงดันสูงกระแสสลับ

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก

ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม ANSI C29.1-1988		
							ความดันไอน้ำ [inch.Hg]	ค่า H	V ₀ = V*(H/δ) [kV]
63	757	32	21.81	0.973	22.17	335	0.884	0.954	314.10
60	756	30	18.56	0.978	18.87	350	0.752	0.974	335.56
60	756	32	20.80	0.972	21.15	345	0.842	0.960	325.83
55	759	32	18.99	0.976	19.31	340	0.772	0.971	324.18
66	759	30	20.34	0.982	20.68	341	0.827	0.962	322.49
83	761	28	22.73	0.991	23.11	332	0.926	0.948	309.67
60	755	32	20.82	0.970	21.17	338	0.842	0.960	318.95
62	755	32	21.52	0.970	21.88	341	0.870	0.956	320.86
60	756	32	20.80	0.972	21.15	347	0.842	0.960	327.07
52	759	33	18.99	0.972	19.31	326	0.772	0.971	311.61
61	761	29	17.70	0.988	18.00	326	0.721	0.979	313.71
55	759	32	18.99	0.976	19.31	341	0.772	0.971	325.23
65	758	30	20.06	0.981	20.39	332	0.814	0.964	314.43
84	761	28	23.00	0.991	23.39	333	0.937	0.946	309.43
71.5	761	29	20.75	0.988	21.09	327	0.846	0.959	308.70
74	769	28	20.08	1.001	20.39	333	0.826	0.962	315.52
58	760	31	18.52	0.980	19.21	334	0.769	0.971	318.78
79	761	27.5	20.86	0.993	21.36	332	0.856	0.958	312.37
56.5	760	30.5	17.56	0.982	18.19	348	0.728	0.978	334.75
53.5	760	31	17.08	0.980	17.72	352	0.710	0.980	339.07
63	761	31	20.12	0.981	20.84	352	0.836	0.961	332.17
62	760	32	20.88	0.977	21.74	342	0.870	0.956	321.69
77	762	28	20.90	0.992	21.41	326	0.859	0.957	306.50
76	761	28	20.63	0.991	21.16	322	0.848	0.959	303.25
55	760	31	17.56	0.980	18.22	336	0.730	0.977	322.63
57	761	28	15.47	0.991	15.87	320	0.636	0.993	312.26
71	761	23.5	14.99	1.006	15.15	321	0.607	0.999	315.52
70	761	23	14.36	1.008	14.49	315	0.581	1.004	310.83

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก

ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่น อากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม ANSI C29.1-1988		
							ความดันไอน้ำ [inch.Hg]	ค่า H	V ₀ = V*(H/δ) [kV]
63	758	29	18.06	0.984	18.35	504.83	0.745	0.978	493.72
61	758	30	18.46	0.981	18.82	506.96	0.764	0.975	494.51
62	759	31	19.80	0.979	20.23	506.84	0.822	0.968	490.46
71	758	28	19.27	0.987	19.52	503.77	0.792	0.972	489.50
65	758	29	18.63	0.984	18.94	508.59	0.769	0.975	495.79
62	758	30	18.76	0.981	19.13	497.83	0.777	0.974	484.78
57	758	31	18.20	0.977	18.62	489.40	0.756	0.977	477.91
64	758	29	18.34	0.984	18.64	499.95	0.757	0.976	488.16
64	759	30	19.37	0.982	19.72	487.05	0.802	0.970	472.64
60	758	30	18.15	0.981	18.51	511.81	0.752	0.977	500.09
50	761	31	15.96	0.981	16.27	509.64	0.663	0.990	504.48
64	759	30	19.37	0.982	19.72	501.61	0.802	0.970	486.78
64	758	30	19.37	0.981	19.75	493.45	0.802	0.970	478.86
58	758	30.5	18.03	0.979	18.41	507.64	0.748	0.978	496.29
49.5	761	31	15.81	0.981	16.11	471.73	0.657	0.991	467.45
58	760	25	13.33	1.000	13.33	493.48	0.542	1.010	498.21
60	760	25	13.79	1.000	13.79	483.88	0.561	1.006	487.01

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.3 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวของลูกถ้วยคอตันยาว

ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม ANSI C29.1-1988		
							ความดันไอน้ำ [inch.Hg]	ค่า H	V ₀ = V*(H/δ) [kV]
70	757	30	21.18	0.979	21.63	315.16	0.877	0.955	300.89
64	762	30	19.37	0.986	19.64	316.54	0.802	0.966	305.78
50	759	33	17.76	0.972	18.26	311.27	0.743	0.975	303.58
62	761	30	18.76	0.985	19.05	303.50	0.777	0.970	294.37
68	760	30	20.58	0.983	20.93	313.46	0.852	0.958	300.38
69	760	29	19.78	0.986	20.05	305.73	0.816	0.964	294.65
67	757	31	21.39	0.976	21.92	315.63	0.889	0.953	300.81
59	761	31	18.84	0.981	19.20	305.77	0.783	0.969	296.30
58	761	31	18.52	0.981	18.87	310.00	0.769	0.971	301.04
49	758	33	17.40	0.971	17.92	298.91	0.728	0.978	292.23
66	759	30	19.97	0.982	20.34	317.23	0.827	0.962	305.20
69	760	29	19.78	0.986	20.05	305.73	0.816	0.964	294.65
64	761	30	19.37	0.985	19.67	303.60	0.802	0.966	293.28
69.5	762	30	21.03	0.986	21.33	310.10	0.871	0.956	296.33
66.5	762	31	21.23	0.983	21.61	305.62	0.882	0.954	291.56
66.5	762	30	20.12	0.986	20.41	303.35	0.833	0.961	291.55
56	760	32	18.86	0.977	19.31	321.67	0.786	0.968	311.52
64	762	29.8	19.16	0.986	19.42	306.34	0.793	0.967	296.37
83	761	26.5	20.74	0.996	20.82	310.88	0.848	0.959	298.07
53.5	760	31	17.08	0.980	17.43	314.95	0.710	0.980	308.80
65	760	29.5	19.14	0.985	19.44	311.16	0.791	0.968	301.10
64.5	762	30.5	20.05	0.984	20.37	314.27	0.832	0.961	302.11
53	760	31.5	17.38	0.978	17.76	304.43	0.723	0.978	297.83
49	759	31	15.65	0.979	15.99	305.30	0.650	0.991	302.55
56	761	28.5	15.62	0.989	15.79	306.39	0.643	0.992	304.00
49	760	31	15.65	0.980	15.96	313.37	0.650	0.991	310.55
53.5	761	29	15.33	0.988	15.52	298.95	0.633	0.994	297.19
47	759	31.5	15.41	0.977	15.77	297.61	0.641	0.993	295.40
47	759	30	14.22	0.982	14.48	292.38	0.589	1.002	293.03
68	761	23.5	14.36	1.006	14.27	298.82	0.581	1.004	299.94
70	761	23	14.36	1.008	14.25	298.83	0.581	1.004	298.83

ตารางที่ ง.4 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวของลูกถ้วยคอตันยาว

ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม ANSI C29.1-1988		
							ความดันไอน้ำ [inch.Hg]	ค่า H	V ₀ = V*(H/δ) [kV]
65	759	29.5	19.14	0.984	19.46	370.90	0.791	0.972	360.45
64	759	30	19.37	0.982	19.72	394.88	0.802	0.970	383.20
63	759	30	19.06	0.982	19.41	395.39	0.789	0.972	384.36
64	758	30	19.37	0.981	19.75	388.57	0.802	0.970	377.08
57	757	31	18.20	0.976	18.64	386.12	0.756	0.977	377.05
65	759	29.5	19.14	0.984	19.46	399.77	0.791	0.972	388.51
44	760	31.5	14.43	0.978	14.75	371.78	0.600	1.000	371.76
51	762	31	16.28	0.983	16.57	378.39	0.676	0.988	373.76
52	760	30	15.73	0.983	16.00	393.04	0.651	0.992	389.80
56	757	30.5	17.41	0.978	17.80	393.31	0.722	0.981	385.86
60	759	30	18.15	0.982	18.49	399.87	0.752	0.977	390.72
44	760	31.5	14.43	0.978	14.75	368.77	0.600	1.000	368.74
52	762	30	15.73	0.986	15.96	381.76	0.651	0.992	378.62
51.5	760	30	15.58	0.983	15.85	389.94	0.645	0.993	387.12
56	761	25	12.87	1.001	12.85	367.57	0.524	1.013	372.23
57	761	25	13.10	1.001	13.08	369.71	0.533	1.011	373.83

ตารางที่ ง.5 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์

ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม ANSI C29.1-1988		
							ความดันไอน้ำ [inch.Hg]	ค่า H	V ₀ = V*(H/δ) [kV]
71	760	28	19.27	0.990	19.47	289.36	0.792	0.967	279.95
51.5	759	31.5	16.89	0.977	17.28	301.96	0.703	0.982	296.39
49	759	31	15.65	0.979	15.99	292.68	0.650	0.991	290.05
50	761	30	15.13	0.985	15.37	293.14	0.626	0.995	291.74
49	760	31.5	16.07	0.978	16.42	287.00	0.669	0.988	283.45
47	760	31	15.01	0.980	15.31	278.62	0.623	0.996	277.45
69	761	23	14.16	1.008	14.05	287.90	0.572	1.006	289.49

ตารางที่ ง.6 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์

ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม ANSI C29.1-1988		
							ความดันไอน้ำ [inch.Hg]	ค่า H	V ₀ = V*(H/δ) [kV]
65	759	30	19.67	0.982	20.03	331.74	0.814	0.969	321.38
74	760	27.5	19.54	0.991	19.71	331.60	0.802	0.970	321.78
50	759	31	15.96	0.979	16.31	328.08	0.663	0.990	324.77
49	759	31	15.65	0.979	15.99	330.28	0.650	0.992	327.64
49.5	761	30	14.98	0.985	15.21	326.40	0.620	0.997	325.35
49	760	31.5	16.07	0.978	16.42	327.32	0.669	0.989	323.73
47	760	30	14.22	0.983	14.46	321.80	0.589	1.002	322.40
75	760	27	19.26	0.993	19.40	335.02	0.790	0.972	325.66
69	761	23	14.16	1.008	14.05	329.28	0.572	1.005	330.79

ตารางที่ ง.7 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวของลูกถ้วยก้านตรง

ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม ANSI C29.1-1988		
							ความดันไอน้ำ [inch.Hg]	ค่า H	V ₀ = V*(H/δ) [kV]
58	759	30	17.55	0.982	17.87	107.12	0.727	0.978	103.02
52	760	31	16.60	0.980	16.94	111.14	0.690	0.984	107.53
52	760	31	16.60	0.980	16.94	106.19	0.690	0.984	104.48
57.5	758	30	17.40	0.981	17.74	107.02	0.720	0.979	104.75
78	761	27.5	20.59	0.993	20.75	107.58	0.846	0.959	103.19
58.5	760	30	17.70	0.983	18.00	108.38	0.733	0.977	105.87
52	760	31	16.60	0.980	16.94	106.86	0.690	0.984	105.14
45	759	31	14.37	0.979	14.68	105.02	0.597	1.001	105.08
45	759	31.5	14.76	0.977	15.10	106.23	0.614	0.997	105.96
65	761	23	13.34	1.008	13.23	101.98	0.539	1.012	103.22

ตารางที่ ง.8 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวของลูกถ้วยก้านตรง

ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม ANSI C29.1-1988		
							ความดันไอน้ำ [inch.Hg]	ค่า H	V ₀ = V*(H/δ) [kV]
57.5	758	30	17.40	0.981	17.74	131.51	0.720	0.981	129.04
52	759	30.5	16.16	0.980	16.49	131.71	0.670	0.989	130.23
69	760	28	18.73	0.990	18.92	131.93	0.770	0.975	128.59
45.5	759	31.5	14.92	0.977	15.27	132.36	0.621	0.997	131.92
57	760	30	17.25	0.983	17.54	127.95	0.714	0.982	125.66
45.5	759	31.5	14.92	0.977	15.27	132.80	0.621	0.997	132.36
69	761	23	14.16	1.008	14.05	128.16	0.572	1.005	128.75
68	761	23	13.95	1.008	13.85	127.68	0.564	1.006	128.44

ตารางที่ ง.9 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันกระแสลับของลูกถ้วยก้านตรง

ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{test} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม ANSI C29.1-1988		
							ความดันไอน้ำ [inch.Hg]	ค่า H	V _o = V*(H/δ) [kV]
46	757	32.5	15.91	0.971	16.38	82.89	0.664	0.984	81.55
46.5	757	31.5	15.25	0.975	15.65	89.01	0.635	0.991	88.24
47	757	32	15.83	0.973	16.27	85.85	0.660	0.985	84.57
64	760	29	18.34	0.986	18.59	84.91	0.757	0.961	81.58
43	758	32	14.48	0.974	14.87	80.96	0.604	0.999	80.89
43	758	32	14.48	0.974	14.87	78.10	0.604	0.999	78.03
43	758	32	14.48	0.974	14.87	78.34	0.604	0.999	78.27
45	758	32.5	15.56	0.973	16.00	84.35	0.650	0.988	83.30
44	760	33	15.62	0.974	16.05	79.27	0.653	0.987	78.21
45	760	33	15.98	0.974	16.41	80.14	0.668	0.983	78.77
50	760	30	15.13	0.983	15.39	81.93	0.626	0.993	81.39
50	760	30	17.48	0.986	17.72	88.74	0.721	0.970	86.05
61	760	29	17.20	0.986	17.43	86.17	0.710	0.973	83.80
60	760	29	15.13	0.983	15.39	85.96	0.626	0.993	85.40
58.5	760	29.5	17.23	0.985	17.49	80.84	0.712	0.972	78.58
58.5	760	29.5	17.23	0.985	17.49	77.93	0.712	0.972	75.74
57	760	30	17.25	0.983	17.54	79.76	0.714	0.971	77.49
43	758	32	14.48	0.974	14.87	80.50	0.604	0.999	80.42
43	758	32.5	14.87	0.973	15.29	79.97	0.621	0.995	79.55
45	758	32.5	15.56	0.973	16.00	77.83	0.650	0.988	76.86
50	760	30	15.13	0.983	15.39	81.64	0.626	0.993	81.10
50	760	30	15.13	0.983	15.39	89.22	0.626	0.993	88.63
47	760	32	15.83	0.977	16.21	89.27	0.660	0.985	87.93
47	760	32	15.83	0.977	16.21	84.95	0.660	0.985	83.68

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.10 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ชเลน

ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม ANSI C29.1-1988		
							ความดันไอน้ำ [inch.Hg]	ค่า H	V ₀ = V*(H/δ) [kV]
66	761	28	17.91	0.991	18.07	120.64	0.737	0.973	117.34
60	761	30	18.15	0.985	18.44	121.63	0.752	0.970	117.94
74	761	28	20.08	0.991	20.26	121.07	0.826	0.955	115.60
53	760	30	16.04	0.983	16.31	121.95	0.664	0.987	120.39
65	760	28.5	18.13	0.988	18.35	123.02	0.747	0.971	119.41
60	760	30	18.15	0.983	18.46	122.95	0.752	0.970	119.22
53	760	30	16.04	0.983	16.31	121.66	0.664	0.987	120.10
45	759	31	14.37	0.979	14.68	122.21	0.597	1.001	122.31
48	759	31	15.33	0.979	15.66	122.40	0.637	0.993	121.50
78	760	27	20.03	0.993	20.17	121.11	0.821	0.956	115.75
65	761	23	13.34	1.008	13.23	118.88	0.539	1.015	120.69
67	761	22.5	13.36	1.010	13.24	121.67	0.539	1.015	123.52
78	760	27	20.03	0.993	20.17	119.99	0.821	0.956	114.69
65	761	23	13.34	1.008	13.23	118.98	0.539	1.015	120.79

ตารางที่ ง.11 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ชเลน

ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม ANSI C29.1-1988		
							ความดันไอน้ำ [inch.Hg]	ค่า H	V ₀ = V*(H/δ) [kV]
60	760	30	18.15	0.983	18.46	134.92	0.752	0.974	131.39
51	759	31	16.28	0.979	16.64	131.74	0.676	0.986	129.93
52	760	30	15.73	0.983	16.00	129.55	0.651	0.991	128.35
60	760	30	18.15	0.983	18.46	133.68	0.752	0.974	130.19
51	759	31	16.28	0.979	16.64	132.18	0.676	0.986	130.36
53	760	30	16.04	0.983	16.31	132.86	0.664	0.988	131.33
69	761	23	14.16	1.008	14.05	129.15	0.572	1.006	129.86
70	761	23	14.36	1.008	14.25	129.72	0.581	1.004	130.22

ตารางที่ ง.12 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันกระแสสลับของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน

ตามมาตรฐาน ANSI C29.1:1988

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{les} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม ANSI C29.1-1988		
							ความดันไอน้ำ [inch.Hg]	ค่า H	V _o = V*(H/δ) [kV]
53	760	30.5	16.47	0.982	16.78	86.19	0.683	0.979	86.19
53	760	30.5	16.47	0.982	16.78	90.17	0.683	0.979	90.17
50	760	31	15.96	0.980	16.29	92.68	0.663	0.984	92.68
43	758	32.5	14.87	0.973	15.29	87.88	0.621	0.995	87.88
44	758	32.5	15.22	0.973	15.65	88.21	0.635	0.991	88.21
44	758	32.5	15.22	0.973	15.65	88.03	0.635	0.991	88.03
44	760	33	15.62	0.974	16.05	82.33	0.653	0.987	82.33
51.5	760	30	15.58	0.983	15.85	88.15	0.645	0.989	88.15
50.5	760	30	15.28	0.983	15.54	89.52	0.633	0.992	89.52
50.5	760	30	15.28	0.983	15.54	88.53	0.633	0.992	88.53
50	760	30	15.13	0.983	15.39	88.45	0.626	0.993	88.45
46	760	32	15.49	0.977	15.86	82.37	0.646	0.989	82.37
46	760	32	15.49	0.977	15.86	82.60	0.646	0.989	82.60
50	760	31	15.96	0.980	16.29	92.83	0.663	0.984	92.83
50	760	31	15.96	0.980	16.29	94.24	0.663	0.984	94.24
43	758	33	15.27	0.971	15.73	89.55	0.639	0.990	89.55
43	758	33	15.27	0.971	15.73	90.21	0.639	0.990	90.21
43	758	33	15.27	0.971	15.73	89.25	0.639	0.990	89.25
44	758	32.5	15.22	0.973	15.65	88.84	0.635	0.991	88.84
44	758	32.5	15.22	0.973	15.65	89.92	0.635	0.991	89.92
44	758	32.5	15.22	0.973	15.65	88.49	0.635	0.991	88.49
44	760	33	15.62	0.974	16.05	86.65	0.653	0.987	86.65
44	760	33	15.62	0.974	16.05	86.98	0.653	0.987	86.98
53.5	760	29	15.33	0.986	15.54	91.37	0.633	0.992	91.37
53	760	29.5	15.61	0.985	15.85	88.22	0.645	0.989	88.22
46	760	32	15.49	0.977	15.86	88.85	0.646	0.989	88.85
60	760	30	18.15	0.983	18.46	93.87	0.752	0.962	93.87
62	760	30	18.76	0.983	19.08	91.67	0.777	0.957	91.67
64	760	29	18.34	0.986	18.59	89.23	0.757	0.961	89.23
61	760	29	17.48	0.986	17.72	90.39	0.721	0.970	90.39

ภาคผนวก จ

ข้อมูลการปรับแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973
แรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าและแรงดันสูงกระแสสลับ

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60-1 1973	
							ค่า k _n	V _o = V*(k _v /k _n) [kV]
63	757	32	21.22	0.957	22.17	335	0.922	308.61
60	756	30	18.15	0.962	18.87	350	0.944	330.67
60	756	32	20.21	0.956	21.15	345	0.929	320.56
55	759	32	18.52	0.959	19.31	340	0.941	319.58
66	759	30	19.97	0.966	20.68	341	0.930	317.05
83	761	28	22.52	0.975	23.11	332	0.912	303.14
60	755	32	20.21	0.954	21.17	338	0.929	313.79
62	755	32	20.88	0.954	21.88	341	0.924	315.39
60	756	32	20.21	0.956	21.15	347	0.929	321.78
52	759	33	18.47	0.956	19.31	326	0.942	307.34
61	761	29	17.48	0.971	18.00	326	0.949	309.28
55	759	32	18.52	0.959	19.31	341	0.941	320.61
65	758	30	19.67	0.964	20.39	332	0.932	309.25
84	761	28	22.80	0.975	23.39	333	0.910	302.80
71.5	761	29	20.49	0.971	21.09	327	0.927	303.20
74	769	28	20.08	0.985	20.39	333	0.929	309.89
58	760	31	18.52	0.964	19.21	334	0.941	314.12
79	761	27.5	20.86	0.976	21.36	332	0.924	306.45
56.5	760	30.5	17.56	0.965	18.19	348	0.948	330.19
53.5	760	31	17.08	0.964	17.72	352	0.952	334.70
63	761	31	20.12	0.965	20.84	352	0.929	326.68
62	760	32	20.88	0.961	21.74	342	0.924	316.20
77	762	28	20.90	0.976	21.41	326	0.924	300.74
76	761	28	20.63	0.975	21.16	322	0.926	297.67
55	760	31	17.56	0.964	18.22	336	0.948	318.29
57	761	28	15.47	0.975	15.87	320	0.964	308.16
71	761	23.5	14.99	0.989	15.15	321	0.968	310.97
70	761	23	14.36	0.991	14.49	315	0.973	306.36

ตารางที่ ๑.2 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วพลบของลูกถ้วยหลัก

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่น อากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60-1 1973	
							ค่า k _h	V _o = V*(k _g /k _h) [kV]
63	758	29	18.06	0.968	18.66	513.31	0.945	513.31
61	758	30	18.46	0.964	19.14	515.47	0.942	515.47
62	759	31	19.80	0.963	20.57	515.35	0.932	515.35
71	758	28	19.27	0.971	19.85	512.23	0.935	512.23
65	758	29	18.63	0.968	19.25	517.13	0.940	517.13
62	758	30	18.76	0.964	19.45	506.19	0.939	506.19
57	758	31	18.20	0.961	18.93	497.62	0.944	497.62
64	758	29	18.34	0.968	18.96	508.35	0.942	508.35
64	759	30	19.37	0.966	20.05	495.22	0.935	495.22
60	758	30	18.15	0.964	18.82	520.40	0.944	520.40
50	761	31	15.96	0.965	16.54	518.19	0.960	518.19
64	759	30	19.37	0.966	20.05	510.03	0.935	510.03
64	758	30	19.37	0.964	20.08	501.74	0.935	501.74
58	758	30.5	18.03	0.963	18.72	516.17	0.945	516.17
49.5	761	31	15.81	0.965	16.38	479.65	0.962	479.65
58	760	25	13.33	0.983	13.55	501.77	0.981	501.77
60	760	25	13.79	0.983	14.02	492.01	0.978	492.01

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.3 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวของลูกถ้วยคอตันยาว

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60-1 1973	
							ค่า k _n	V _o = V*(k _d /k _n) [kV]
70	757	30	21.18	0.963	21.99	320.45	0.922	295.38
64	762	30	19.37	0.970	19.97	321.85	0.935	300.86
50	759	33	17.76	0.956	18.57	316.49	0.947	299.67
62	761	30	18.76	0.968	19.37	308.59	0.939	289.86
68	760	30	20.58	0.967	21.28	318.72	0.926	295.13
69	760	29	19.78	0.970	20.38	310.86	0.932	289.62
67	757	31	21.39	0.960	22.28	320.93	0.920	295.35
59	761	31	18.84	0.965	19.52	310.91	0.939	291.85
58	761	31	18.52	0.965	19.19	315.21	0.941	296.64
49	758	33	17.40	0.955	18.22	303.93	0.949	288.58
66	759	30	19.97	0.966	20.68	322.56	0.930	300.05
69	760	29	19.78	0.970	20.38	310.86	0.932	289.62
64	761	30	19.37	0.968	20.00	308.70	0.935	288.56
69.5	762	30	21.03	0.970	21.69	315.30	0.923	290.97
66.5	762	31	21.23	0.966	21.97	310.76	0.921	286.33
66.5	762	30	20.12	0.970	20.75	308.44	0.929	286.59
56	760	32	18.86	0.961	19.63	327.07	0.939	306.97
64	762	29.8	19.16	0.970	19.75	311.49	0.936	291.65
83	761	26.5	20.74	0.980	21.17	316.10	0.925	292.35
53.5	760	31	17.08	0.964	17.72	320.24	0.952	304.83
65	760	29.5	19.14	0.969	19.76	316.39	0.936	296.27
64.5	762	30.5	20.05	0.968	20.71	319.54	0.930	297.07
53	760	31.5	17.38	0.962	18.06	309.54	0.950	293.95
49	759	31	15.65	0.963	16.25	310.43	0.963	298.89
56	761	28.5	15.62	0.973	16.05	311.53	0.963	300.02
49	760	31	15.65	0.964	16.23	318.63	0.963	306.79
53.5	761	29	15.33	0.971	15.78	303.97	0.965	293.43
47	759	31.5	15.41	0.961	16.04	302.61	0.965	291.93
47	759	30	14.22	0.966	14.73	297.29	0.974	289.63
68	761	23.5	14.36	0.989	14.51	303.84	0.973	295.68
70	761	23	14.36	0.991	14.49	302.67	0.973	294.53

ตารางที่ ๑.4 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวของลูกถ้วยคอตันยาว

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม ANSI C29.1-1988		
							ความดันไอน้ำ [inch.Hg]	ค่า H	V _o = V*(H/δ) [kV]
65	759	29.5	19.14	0.984	19.46	370.90	0.791	0.972	360.45
64	759	30	19.37	0.982	19.72	394.88	0.802	0.970	383.20
63	759	30	19.06	0.982	19.41	395.39	0.789	0.972	384.36
64	758	30	19.37	0.981	19.75	388.57	0.802	0.970	377.08
57	757	31	18.20	0.976	18.64	386.12	0.756	0.977	377.05
65	759	29.5	19.14	0.984	19.46	399.77	0.791	0.972	388.51
44	760	31.5	14.43	0.978	14.75	371.78	0.600	1.000	371.76
51	762	31	16.28	0.983	16.57	378.39	0.676	0.988	373.76
52	760	30	15.73	0.983	16.00	393.04	0.651	0.992	389.80
56	757	30.5	17.41	0.978	17.80	393.31	0.722	0.981	385.86
60	759	30	18.15	0.982	18.49	399.87	0.752	0.977	390.72
44	760	31.5	14.43	0.978	14.75	368.77	0.600	1.000	368.74
52	762	30	15.73	0.986	15.96	381.76	0.651	0.992	378.62
51.5	760	30	15.58	0.983	15.85	389.94	0.645	0.993	387.12
56	761	25	12.87	1.001	12.85	367.57	0.524	1.013	372.23
57	761	25	13.10	1.001	13.08	369.71	0.533	1.011	373.83

ตารางที่ ๑.5 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60-1 1973	
							ค่า k _h	V _o = V*(k _g /k _h) [kV]
71	760	28	19.27	0.973	19.79	294.22	0.935	275.24
51.5	759	31.5	16.89	0.961	17.58	307.03	0.953	292.71
49	759	31	15.65	0.963	16.25	297.60	0.963	286.54
50	761	30	15.13	0.968	15.62	298.06	0.967	288.21
49	760	31.5	16.07	0.962	16.70	291.82	0.959	280.00
47	760	31	15.01	0.964	15.57	283.30	0.968	274.22
69	761	23	14.16	0.991	14.28	292.74	0.975	285.34

ตารางที่ ๑.6 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วพลบของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60-1 1973	
							ค่า k _n	V _o = V*(k _d /k _n) [kV]
65	759	30	19.67	0.966	20.37	337.31	0.932	318.97
74	760	27.5	19.54	0.975	20.04	337.17	0.933	319.10
50	759	31	15.96	0.963	16.59	333.59	0.960	322.95
49	759	31	15.65	0.963	16.25	335.83	0.963	325.81
49.5	761	30	14.98	0.968	15.47	331.88	0.968	323.41
49	760	31.5	16.07	0.962	16.70	332.82	0.959	321.99
47	760	30	14.22	0.967	14.71	327.20	0.974	320.44
75	760	27	19.26	0.977	19.72	340.65	0.936	322.96
69	761	23	14.16	0.991	14.28	334.81	0.975	328.02

ตารางที่ ๑.7 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วพลบของลูกถ้วยก้านตรง

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60-1 1973	
							ค่า k _n	V _o = V*(k _d /k _n) [kV]
58	759	30	17.55	0.966	18.17	107.12	0.948	101.59
52	760	31	16.60	0.964	17.23	111.14	0.955	106.19
52	760	31	16.60	0.964	17.23	107.98	0.955	103.17
57.5	758	30	17.40	0.964	18.04	108.82	0.950	103.32
78	761	27.5	20.59	0.976	21.09	109.38	0.926	101.27
58.5	760	30	17.70	0.967	18.30	110.20	0.947	104.38
52	760	31	16.60	0.964	17.23	108.66	0.955	103.82
45	759	31	14.37	0.963	14.93	106.78	0.973	103.90
45	759	31.5	14.76	0.961	15.36	108.02	0.970	104.77
65	761	23	13.34	0.991	13.46	103.69	0.981	101.75

ตารางที่ ๑.8 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วพลบของลูกถ้วยก้านตรง

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60-1 1973	
							ค่า k _n	V _o = V*(k _d /k _n) [kV]
57.5	758	30	17.40	0.964	18.04	133.71	0.950	133.71
52	759	30.5	16.16	0.964	16.76	133.92	0.959	133.92
69	760	28	18.73	0.973	19.24	134.15	0.940	134.15
45.5	759	31.5	14.92	0.961	15.53	134.58	0.969	134.58
57	760	30	17.25	0.967	17.84	130.10	0.951	130.10
45.5	759	31.5	14.92	0.961	15.53	135.03	0.969	135.03
69	761	23	14.16	0.991	14.28	130.31	0.975	130.31
68	761	23	13.95	0.991	14.08	129.82	0.976	129.82

ตารางที่ ๑.9 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันกระแสลับของลูกถ้วยก้านตรง

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973

ความชื้น สัมพัทธ์ (%Rh)	ความกด อากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่น อากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{test} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60-1 1973	
							ค่า k _h	V _o = V*(k _d /k _h) [kV]
46	757	32.5	15.91	0.955	16.65	84.28	0.945	79.642
46.5	757	31.5	15.25	0.958	15.91	90.51	0.952	86.185
47	757	32	15.83	0.957	16.54	87.30	0.946	82.571
64	760	29	18.34	0.970	18.91	86.34	0.918	79.280
43	758	32	14.48	0.958	15.12	82.32	0.961	79.099
43	758	32	14.48	0.958	15.12	79.41	0.961	76.301
43	758	32	14.48	0.958	15.12	79.65	0.961	76.534
45	758	32.5	15.56	0.957	16.27	85.77	0.949	81.375
44	760	33	15.62	0.958	16.32	80.60	0.948	76.420
45	760	33	15.98	0.958	16.69	81.49	0.944	76.941
50	760	30	15.13	0.967	15.65	83.30	0.954	79.438
50	760	30	17.48	0.970	18.02	90.23	0.928	83.706
61	760	29	17.20	0.970	17.73	87.61	0.931	81.552
60	760	29	15.13	0.967	15.65	87.41	0.954	83.351
58.5	760	29.5	17.23	0.969	17.79	82.20	0.930	76.488
58.5	760	29.5	17.23	0.969	17.79	79.23	0.930	73.726
57	760	30	17.25	0.967	17.84	81.10	0.930	75.446
43	758	32	14.48	0.958	15.12	81.85	0.961	78.643
43	758	32.5	14.87	0.957	15.55	81.31	0.956	77.772
45	758	32.5	15.56	0.957	16.27	79.13	0.949	75.082
50	760	30	15.13	0.967	15.65	83.01	0.954	79.160
50	760	30	15.13	0.967	15.65	90.72	0.954	86.510
47	760	32	15.83	0.961	16.48	90.77	0.946	85.856
47	760	32	15.83	0.961	16.48	86.37	0.946	81.699

ตารางที่ จ.10 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ชเลน

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60-1 1973	
							ค่า k _h	V _o = V*(k _g /k _h) [kV]
66	761	28	17.91	0.975	18.38	122.66	0.946	115.998
60	761	30	18.15	0.968	18.75	123.67	0.944	116.724
74	761	28	20.08	0.975	20.60	123.10	0.929	114.411
53	760	30	16.04	0.967	16.58	124.00	0.960	119.003
65	760	28.5	18.13	0.972	18.66	125.09	0.944	118.085
60	760	30	18.15	0.967	18.77	125.02	0.944	117.995
53	760	30	16.04	0.967	16.58	123.70	0.960	118.720
45	759	31	14.37	0.963	14.93	124.26	0.973	120.916
48	759	31	15.33	0.963	15.92	124.45	0.965	120.144
78	760	27	20.03	0.977	20.51	123.14	0.930	114.494
65	761	23	13.34	0.991	13.46	120.88	0.981	118.617
67	761	22.5	13.36	0.993	13.46	123.71	0.981	121.374
78	760	27	20.03	0.977	20.51	122.01	0.930	113.437
65	761	23	13.34	0.991	13.46	120.98	0.981	118.716

ตารางที่ จ.11 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ชเลน

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60-1 1973	
							ค่า k _h	V _o = V*(k _g /k _h) [kV]
60	760	30	18.15	0.967	18.77	137.18	0.944	130.984
51	759	31	16.28	0.963	16.92	133.96	0.958	129.423
52	760	30	15.73	0.967	16.27	131.73	0.962	127.721
60	760	30	18.15	0.967	18.77	135.93	0.944	129.784
51	759	31	16.28	0.963	16.92	134.40	0.958	129.854
53	760	30	16.04	0.967	16.58	135.09	0.960	130.718
69	761	23	14.16	0.991	14.28	131.32	0.975	128.659
70	761	23	14.36	0.991	14.49	131.89	0.973	129.048

ตารางที่ จ.12 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันกระแสสลับของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ชเลน

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1973

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{test} /δ [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60-1 1973	
							ค่า k _n	V _o = V*(k _d /k _n) [kV]
53	760	30.5	16.47	0.965	17.06	87.63	0.939	82.268
53	760	30.5	16.47	0.965	17.06	91.69	0.939	86.076
50	760	31	15.96	0.964	16.56	94.24	0.944	89.000
43	758	32.5	14.87	0.957	15.55	89.36	0.956	85.467
44	758	32.5	15.22	0.957	15.91	89.69	0.953	85.439
44	758	32.5	15.22	0.957	15.91	89.51	0.953	85.264
44	760	33	15.62	0.958	16.32	83.72	0.948	79.373
51.5	760	30	15.58	0.967	16.11	89.63	0.949	85.022
50.5	760	30	15.28	0.967	15.80	91.03	0.952	86.650
50.5	760	30	15.28	0.967	15.80	90.02	0.952	85.692
50	760	30	15.13	0.967	15.65	89.93	0.954	85.757
46	760	32	15.49	0.961	16.13	83.75	0.950	79.531
46	760	32	15.49	0.961	16.13	83.99	0.950	79.752
50	760	31	15.96	0.964	16.56	94.39	0.944	89.141
50	760	31	15.96	0.964	16.56	95.82	0.944	90.494
43	758	33	15.27	0.955	15.99	91.05	0.952	86.683
43	758	33	15.27	0.955	15.99	91.72	0.952	87.321
43	758	33	15.27	0.955	15.99	90.74	0.952	86.392
44	758	32.5	15.22	0.957	15.91	90.33	0.953	86.050
44	758	32.5	15.22	0.957	15.91	91.43	0.953	87.096
44	758	32.5	15.22	0.957	15.91	89.98	0.953	85.714
44	760	33	15.62	0.958	16.32	88.10	0.948	83.533
44	760	33	15.62	0.958	16.32	88.44	0.948	83.854
53.5	760	29	15.33	0.970	15.81	92.91	0.951	88.383
53	760	29.5	15.61	0.969	16.11	89.70	0.948	85.065
46	760	32	15.49	0.961	16.13	90.34	0.950	85.783
60	760	30	18.15	0.967	18.77	95.45	0.920	87.841
62	760	30	18.76	0.967	19.40	93.21	0.914	85.163
64	760	29	18.34	0.970	18.91	90.73	0.918	83.306
61	760	29	17.48	0.970	18.02	91.90	0.928	85.258

ภาคผนวก จ

ข้อมูลการปรับแก้ไขตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989
แรงดันสูงอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าและแรงดันสูงกระแสลับ

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60060-1 1989					
								k	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ *k ₂) [kV]
63	757	32	21.22	0.957	22.17	320.45	334.90	1.112	1.116	1.00	0.957	1.112	301.23
60	756	30	18.15	0.962	18.87	337.00	350.35	1.079	1.203	0.99	0.962	1.078	324.93
60	756	32	20.21	0.956	21.15	329.90	345.23	1.101	1.161	1.00	0.956	1.101	313.43
55	759	32	18.52	0.959	19.31	325.80	339.59	1.083	1.161	1.00	0.959	1.083	313.54
66	759	30	19.97	0.966	20.68	329.15	340.83	1.097	1.151	1.00	0.966	1.097	310.75
83	761	28	22.52	0.975	23.11	323.85	332.26	1.121	1.098	1.00	0.975	1.121	296.37
60	755	32	20.21	0.954	21.17	322.50	337.93	1.102	1.136	1.00	0.954	1.102	306.72
62	755	32	20.88	0.954	21.88	325.80	341.39	1.109	1.140	1.00	0.954	1.109	307.89
60	756	32	20.21	0.956	21.15	331.15	346.54	1.101	1.165	1.00	0.956	1.101	314.61
52	759	33	18.47	0.956	19.31	312.15	326.43	1.083	1.116	1.00	0.956	1.083	301.38
61	761	29	17.48	0.971	18.00	316.65	325.95	1.070	1.128	1.00	0.971	1.070	304.63
55	759	32	18.52	0.959	19.31	326.85	340.68	1.083	1.165	1.00	0.959	1.083	314.55
65	758	30	19.67	0.964	20.39	319.85	331.64	1.094	1.123	1.00	0.964	1.094	303.16
84	761	28	22.80	0.975	23.39	324.15	332.56	1.124	1.096	1.00	0.975	1.124	295.91
71.5	761	29	20.49	0.971	21.09	317.90	327.23	1.101	1.101	1.00	0.971	1.101	297.23
74	769	28	20.08	0.985	20.39	328.40	333.42	1.094	1.129	1.00	0.985	1.094	304.80
58	760	31	18.52	0.964	19.21	321.70	333.78	1.082	1.142	1.00	0.964	1.082	308.44
79	761	27.5	20.86	0.976	21.36	323.80	331.65	1.104	1.113	1.00	0.976	1.104	300.51
56.5	760	30.5	17.56	0.965	18.19	336.15	348.20	1.072	1.203	0.99	0.965	1.071	324.99
53.5	760	31	17.08	0.964	17.72	338.90	351.62	1.067	1.220	0.95	0.964	1.064	330.44
63	761	31	20.12	0.965	20.84	339.30	351.58	1.098	1.185	1.00	0.965	1.098	320.07
62	760	32	20.88	0.961	21.74	328.80	342.27	1.107	1.145	1.00	0.961	1.107	309.08
77	762	28	20.90	0.976	21.41	317.75	325.57	1.104	1.092	1.00	0.976	1.104	294.87
76	761	28	20.63	0.975	21.16	313.45	321.59	1.102	1.081	1.00	0.975	1.102	291.92
55	760	31	17.56	0.964	18.22	323.50	335.65	1.072	1.159	1.00	0.964	1.072	313.04
57	761	28	15.47	0.975	15.87	311.50	319.58	1.049	1.129	1.00	0.975	1.049	304.74
71	761	23.5	14.99	0.989	15.15	317.85	321.22	1.041	1.142	1.00	0.989	1.041	308.43
70	761	23	14.36	0.991	14.49	312.05	314.83	1.035	1.127	1.00	0.991	1.035	304.21

ตารางที่ ฉ.2 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60060-1 1989					
								k	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ *k ₂) [kV]
63	758	29	18.06	0.968	18.66	496.70	513.31	1.077	1.766	0.13	0.968	1.009	508.52
61	758	30	18.46	0.964	19.14	497.15	515.47	1.081	1.765	0.13	0.964	1.010	510.36
62	759	31	19.80	0.963	20.57	496.05	515.35	1.096	1.742	0.15	0.963	1.014	508.45
71	758	28	19.27	0.971	19.85	497.30	512.23	1.088	1.743	0.15	0.971	1.013	505.89
65	758	29	18.63	0.968	19.25	500.40	517.13	1.083	1.769	0.12	0.968	1.010	512.06
62	758	30	18.76	0.964	19.45	488.20	506.19	1.085	1.729	0.16	0.964	1.013	499.67
57	758	31	18.20	0.961	18.93	478.35	497.62	1.079	1.708	0.18	0.961	1.014	490.83
64	758	29	18.34	0.968	18.96	491.90	508.35	1.080	1.744	0.15	0.968	1.011	502.70
64	759	30	19.37	0.966	20.05	478.25	495.22	1.091	1.682	0.21	0.966	1.018	486.46
60	758	30	18.15	0.964	18.82	501.90	520.40	1.078	1.788	0.11	0.964	1.008	516.12
50	761	31	15.96	0.965	16.54	500.10	518.19	1.055	1.818	0.09	0.965	1.005	515.78
64	759	30	19.37	0.966	20.05	492.55	510.03	1.091	1.732	0.16	0.966	1.014	503.16
64	758	30	19.37	0.964	20.08	483.90	501.74	1.091	1.704	0.18	0.964	1.016	493.78
58	758	30.5	18.03	0.963	18.72	497.00	516.17	1.077	1.775	0.12	0.963	1.009	511.59
49.5	761	31	15.81	0.965	16.38	462.90	479.65	1.054	1.686	0.20	0.965	1.011	474.60
58	760	25	13.33	0.983	13.55	493.35	501.77	1.026	1.812	0.09	0.983	1.002	500.62
60	760	25	13.79	0.983	14.02	483.75	492.01	1.030	1.769	0.12	0.983	1.004	490.18

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๓.3 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยคอตันยาว

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989

ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่น อากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60060-1 1989					V ₀ = V/(k ₁ *k ₂) [kV]
							k	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	
757	30	21.18	0.963	21.99	308.65	320.45	1.110	1.203	0.99	0.963	1.109	288.92
762	30	19.37	0.970	19.97	312.05	321.85	1.090	1.231	0.93	0.970	1.083	297.07
759	33	17.76	0.956	18.57	302.65	316.49	1.076	1.226	0.94	0.956	1.071	295.47
761	30	18.76	0.968	19.37	298.80	308.59	1.084	1.186	1.00	0.968	1.084	284.75
760	30	20.58	0.967	21.28	308.20	318.72	1.103	1.204	0.99	0.967	1.102	289.28
760	29	19.78	0.970	20.38	301.60	310.86	1.094	1.184	1.00	0.970	1.094	284.20
757	31	21.39	0.960	22.28	308.10	320.93	1.113	1.202	1.00	0.960	1.112	288.51
761	31	18.84	0.965	19.52	300.05	310.91	1.085	1.194	1.00	0.965	1.085	286.50
761	31	18.52	0.965	19.19	304.20	315.21	1.082	1.214	0.97	0.965	1.079	292.06
758	33	17.40	0.955	18.22	290.25	303.93	1.072	1.181	1.00	0.955	1.072	283.46
759	30	19.97	0.966	20.68	311.50	322.56	1.097	1.225	0.94	0.966	1.091	295.62
760	29	19.78	0.970	20.38	301.60	310.86	1.094	1.184	1.00	0.970	1.094	284.20
761	30	19.37	0.968	20.00	298.90	308.70	1.090	1.180	1.00	0.968	1.090	283.21
762	30	21.03	0.970	21.69	305.70	315.30	1.107	1.187	1.00	0.970	1.107	284.85
762	31	21.23	0.966	21.97	300.30	310.76	1.110	1.167	1.00	0.966	1.110	280.03
762	30	20.12	0.970	20.75	299.05	308.44	1.098	1.171	1.00	0.970	1.098	281.03
760	32	18.86	0.961	19.63	314.20	327.07	1.086	1.254	0.88	0.961	1.076	304.05
762	29.8	19.16	0.970	19.75	302.20	311.49	1.087	1.193	1.00	0.970	1.087	286.44
761	26.5	20.74	0.980	21.17	309.65	316.10	1.102	1.196	1.00	0.980	1.102	286.93
760	31	17.08	0.964	17.72	308.65	320.24	1.067	1.250	0.89	0.964	1.060	302.22
760	29.5	19.14	0.969	19.76	306.45	316.39	1.088	1.212	0.97	0.969	1.085	291.55
762	30.5	20.05	0.968	20.71	309.30	319.54	1.097	1.214	0.97	0.968	1.094	292.07
760	31.5	17.38	0.962	18.06	297.85	309.54	1.071	1.205	0.99	0.962	1.070	289.33
759	31	15.65	0.963	16.25	298.80	310.43	1.053	1.229	0.94	0.963	1.049	295.90
761	28.5	15.62	0.973	16.05	303.15	311.53	1.051	1.236	0.92	0.973	1.046	297.71
760	31	15.65	0.964	16.23	307.10	318.63	1.052	1.262	0.87	0.964	1.045	304.86
761	29	15.33	0.971	15.78	295.30	303.97	1.048	1.209	0.98	0.971	1.047	290.36
759	31.5	15.41	0.961	16.04	290.80	302.61	1.050	1.200	1.00	0.961	1.050	288.11
759	30	14.22	0.966	14.73	287.1	297.29	1.037	1.194	1.00	0.966	1.037	286.61
761	23.5	14.36	0.989	14.51	300.65	303.84	1.035	1.223	0.95	0.989	1.033	294.06
761	23	14.36	0.991	14.49	300	302.67	1.035	1.219	0.96	0.991	1.033	292.88

ตารางที่ ๑.4 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วย คอตันยาว

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60060-1 1989					
								k	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ *k ₂) [kV]
65	759	29.5	19.14	0.967	19.79	364.80	377.12	1.088	1.444	0.52	0.967	1.045	360.81
64	759	30	19.37	0.966	20.05	387.75	401.51	1.091	1.534	0.39	0.966	1.034	388.24
63	759	30	19.06	0.966	19.74	388.25	402.03	1.087	1.541	0.38	0.966	1.032	389.47
64	758	30	19.37	0.964	20.08	381.05	395.09	1.091	1.509	0.42	0.964	1.038	380.81
57	757	31	18.20	0.960	18.96	376.90	392.60	1.080	1.515	0.41	0.960	1.032	380.32
65	759	29.5	19.14	0.967	19.79	393.20	406.48	1.088	1.557	0.36	0.967	1.030	394.46
44	760	31.5	14.43	0.962	15.00	363.75	378.03	1.040	1.515	0.42	0.962	1.016	371.92
51	762	31	16.28	0.966	16.85	371.80	384.75	1.059	1.514	0.42	0.966	1.024	375.75
52	760	30	15.73	0.967	16.27	386.45	399.64	1.053	1.582	0.32	0.967	1.017	393.06
56	757	30.5	17.41	0.962	18.10	384.55	399.91	1.071	1.556	0.36	0.962	1.025	390.21
60	759	30	18.15	0.966	18.80	392.65	406.59	1.078	1.572	0.34	0.966	1.026	396.44
44	760	31.5	14.43	0.962	15.00	360.80	374.96	1.040	1.502	0.43	0.962	1.017	368.64
52	762	30	15.73	0.970	16.23	376.35	388.17	1.052	1.537	0.38	0.970	1.020	380.66
51.5	760	30	15.58	0.967	16.11	383.40	396.49	1.051	1.572	0.34	0.967	1.017	389.89
56	761	25	12.87	0.985	13.07	367.95	373.74	1.021	1.526	0.40	0.985	1.008	370.69
57	761	25	13.10	0.985	13.30	370.10	375.92	1.023	1.531	0.39	0.985	1.009	372.58

ตารางที่ ๑.5 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60060-1 1989					
								k	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ *k ₂) [kV]
71	760	28	19.27	0.973	19.79	286.40	263.25	1.088	1.13	1.00	1.088	1.088	241.97
51.5	759	31.5	16.89	0.961	17.58	295.05	276.85	1.066	1.20	1.00	1.066	1.066	259.78
49	759	31	15.65	0.963	16.25	286.45	272.15	1.053	1.18	1.00	1.053	1.053	258.57
50	761	30	15.13	0.968	15.62	288.60	275.84	1.046	1.19	1.00	1.046	1.046	263.65
49	760	31.5	16.07	0.962	16.70	280.80	265.66	1.057	1.15	1.00	1.057	1.057	251.33
47	760	31	15.01	0.964	15.57	273.05	261.12	1.046	1.13	1.00	1.046	1.046	249.70
69	761	23	14.16	0.991	14.28	290.15	280.92	1.033	1.18	1.00	1.033	1.033	271.99

ตารางที่ ฉ.6 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอลิเมอร์

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60060-1 1989					
								k	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ *k ₂) [kV]
65	759	30	19.67	0.966	20.37	325.75	297.85	1.094	1.285	0.82	1.094	1.076	276.83
74	760	27.5	19.54	0.975	20.04	328.75	301.50	1.090	1.288	0.81	1.090	1.073	281.07
50	759	31	15.96	0.963	16.59	321.1	304.11	1.056	1.316	0.75	1.056	1.042	291.89
49	759	31	15.65	0.963	16.25	323.25	307.11	1.053	1.329	0.73	1.053	1.038	295.85
49.5	761	30	14.98	0.968	15.47	321.35	307.60	1.045	1.324	0.74	1.045	1.033	297.80
49	760	31.5	16.07	0.962	16.70	320.25	302.98	1.057	1.312	0.76	1.057	1.043	290.42
47	760	30	14.22	0.967	14.71	316.4	305.09	1.037	1.315	0.76	1.037	1.028	296.78
75	760	27	19.26	0.977	19.72	332.7	306.00	1.087	1.305	0.78	1.087	1.067	286.76
69	761	23	14.16	0.991	14.28	331.85	321.30	1.033	1.351	0.69	1.033	1.023	314.22

ตารางที่ ฉ.7 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยก้านตรง

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60060-1 1989					
								k	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ *k ₂) [kV]
58	759	30	17.55	0.966	18.17	103.5	107.12	1.072	1.212	0.97	0.966	1.070	100.13
52	760	31	16.60	0.964	17.23	107.1	111.14	1.062	1.268	0.85	0.964	1.053	105.56
52	760	31	16.60	0.964	17.23	104.1	107.98	1.062	1.232	0.93	0.964	1.058	102.08
57.5	758	30	17.40	0.964	18.04	105	108.82	1.070	1.232	0.93	0.964	1.065	102.16
78	761	27.5	20.59	0.976	21.09	106.8	109.38	1.101	1.204	0.99	0.976	1.100	99.45
58.5	760	30	17.70	0.967	18.3	106.6	110.20	1.073	1.245	0.90	0.967	1.066	103.41
52	760	31	16.60	0.964	17.23	104.7	108.66	1.062	1.240	0.91	0.964	1.057	102.83
45	759	31	14.37	0.963	14.93	102.8	106.78	1.039	1.245	0.90	0.963	1.035	103.14
45	759	31.5	14.76	0.961	15.36	103.8	108.02	1.044	1.255	0.88	0.961	1.038	104.03
65	761	23	13.34	0.991	13.46	102.8	103.69	1.025	1.227	0.94	0.991	1.023	101.35

ตารางที่ ฉ.8 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยก้านตรง

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60060-1 1989					
								k	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ *k ₂) [kV]
57.5	758	30	17.40	0.964	18.04	129	133.71	1.070	1.514	0.42	0.964	1.029	129.98
52	759	30.5	16.16	0.964	16.76	129.1	133.92	1.058	1.535	0.39	0.964	1.022	131.05
69	760	28	18.73	0.973	19.24	130.6	134.15	1.082	1.502	0.43	0.973	1.035	129.61
45.5	759	31.5	14.92	0.961	15.53	129.3	134.58	1.045	1.561	0.35	0.961	1.016	132.51
57	760	30	17.25	0.967	17.84	125.8	130.10	1.068	1.476	0.47	0.967	1.032	126.08
45.5	759	31.5	14.92	0.961	15.53	129.8	135.03	1.045	1.566	0.34	0.961	1.015	132.99
69	761	23	14.16	0.991	14.28	129.2	130.31	1.033	1.529	0.39	0.991	1.013	128.66
68	761	23	13.95	0.991	14.08	128.7	129.82	1.031	1.527	0.40	0.991	1.012	128.26

ตารางที่ ๑.9 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันกระแสสลับของลูกถ้วยก้านตรง

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{test} [kV]	V _{test} /k ₁ [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60060-1 1989					
								k	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ *k ₂) [kV]
46	757	32.5	15.91	0.955	16.65	80.510	84.00	1.057	0.967	0.93	0.958	1.052	79.82
46.5	757	31.5	15.25	0.958	15.91	86.744	90.51	1.049	1.046	1.00	0.958	1.049	86.27
47	757	32	15.83	0.957	16.54	83.530	87.30	1.055	1.003	1.00	0.957	1.055	82.71
64	760	29	18.34	0.970	18.91	83.768	86.17	1.079	0.970	0.93	0.972	1.074	80.26
43	758	32	14.48	0.958	15.12	78.877	82.00	1.041	0.958	0.91	0.962	1.037	79.05
43	758	32	14.48	0.958	15.12	76.086	78.86	1.041	0.925	0.84	0.965	1.034	76.24
43	758	32	14.48	0.958	15.12	76.320	79.12	1.041	0.927	0.84	0.965	1.035	76.48
45	758	32.5	15.56	0.957	16.27	82.040	85.66	1.053	0.988	0.97	0.958	1.051	81.49
44	760	33	15.62	0.958	16.32	77.177	80.06	1.053	0.928	0.84	0.964	1.045	76.63
45	760	33	15.98	0.958	16.69	78.024	80.99	1.057	0.935	0.86	0.963	1.049	77.23
50	760	30	15.13	0.967	15.65	80.555	83.09	1.046	0.965	0.92	0.970	1.043	79.68
50	760	30	15.13	0.967	15.65	87.254	90.23	1.046	1.045	1.00	0.967	1.046	86.23
61	760	29	17.48	0.970	18.02	85.001	87.57	1.070	0.992	0.98	0.971	1.069	81.92
60	760	29	17.20	0.970	17.73	84.803	87.37	1.067	0.993	0.98	0.971	1.066	81.95
58.5	760	29.5	17.23	0.969	17.79	79.620	81.82	1.068	0.933	0.85	0.973	1.058	77.36
58.5	760	29.5	17.23	0.969	17.79	76.746	78.70	1.068	0.899	0.79	0.975	1.053	74.74
57	760	30	17.25	0.967	17.84	78.423	80.63	1.068	0.920	0.83	0.973	1.056	76.34
43	758	32	14.48	0.958	15.12	78.422	81.49	1.041	0.953	0.90	0.962	1.037	78.59
43	758	32.5	14.87	0.957	15.55	77.782	80.86	1.045	0.943	0.88	0.962	1.040	77.78
45	758	32.5	15.56	0.957	16.27	75.696	78.47	1.053	0.911	0.81	0.965	1.042	75.27
50	760	30	15.13	0.967	15.65	80.273	82.78	1.046	0.962	0.92	0.970	1.042	79.41
50	760	30	15.13	0.967	15.65	87.727	90.72	1.046	1.051	1.00	0.967	1.046	86.69
47	760	32	15.83	0.961	16.48	87.197	90.77	1.055	1.043	1.00	0.961	1.055	86.05
47	760	32	15.83	0.961	16.48	82.975	86.32	1.055	0.993	0.98	0.961	1.054	81.91

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.10 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ชเลน
ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60060-1 1989					
								k	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ *k ₂) [kV]
66	761	28	17.91	0.975	18.38	119.6	122.62	1.074	0.993	0.99	0.975	1.073	114.31
60	761	30	18.15	0.968	18.75	119.7	123.65	1.077	0.998	1.00	0.968	1.077	114.80
74	761	28	20.08	0.975	20.60	120	122.94	1.096	0.977	0.95	0.976	1.091	112.70
53	760	30	16.04	0.967	16.58	119.9	124.00	1.056	1.021	1.00	0.967	1.056	117.44
65	760	28.5	18.13	0.972	18.66	121.6	125.09	1.077	1.010	1.00	0.972	1.077	116.19
60	760	30	18.15	0.967	18.77	120.9	125.02	1.078	1.009	1.00	0.967	1.078	116.00
53	760	30	16.04	0.967	16.58	119.6	123.70	1.056	1.019	1.00	0.967	1.056	117.16
45	759	31	14.37	0.963	14.93	119.6	124.26	1.039	1.040	1.00	0.963	1.039	119.57
48	759	31	15.33	0.963	15.92	119.8	124.45	1.049	1.031	1.00	0.963	1.049	118.61
78	760	27	20.03	0.977	20.51	120.3	123.00	1.095	0.978	0.95	0.978	1.090	112.82
65	761	23	13.34	0.991	13.46	119.8	120.88	1.025	1.026	1.00	0.991	1.025	117.98
67	761	22.5	13.36	0.993	13.46	122.8	123.71	1.025	1.050	1.00	0.993	1.025	120.74
78	760	27	20.03	0.977	20.51	119.2	121.81	1.095	0.969	0.93	0.978	1.088	111.93
65	761	23	13.34	0.991	13.46	119.9	120.98	1.025	1.027	1.00	0.991	1.025	118.08

ตารางที่ ฉ.11 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ชเลน
ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60060-1 1989					
								k	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ *k ₂) [kV]
60	760	30	13.34	0.967	13.46	119.9	137.18	1.025	1.052	1.00	0.967	1.025	121.03
51	759	31	13.34	0.963	13.46	119.9	133.96	1.025	1.057	1.00	0.963	1.025	121.59
52	760	30	13.34	0.967	13.46	119.9	131.73	1.025	1.052	1.00	0.967	1.025	121.03
60	760	30	13.34	0.967	13.46	119.9	135.93	1.025	1.052	1.00	0.967	1.025	121.03
51	759	31	13.34	0.963	13.46	119.9	134.40	1.025	1.057	1.00	0.963	1.025	121.59
53	760	30	13.34	0.967	13.46	119.9	135.09	1.025	1.052	1.00	0.967	1.025	121.03
69	761	23	13.34	0.991	13.46	119.9	131.32	1.025	1.027	1.00	0.991	1.025	118.08
70	761	23	13.34	0.991	13.46	119.9	131.89	1.025	1.027	1.00	0.991	1.025	118.08

ตารางที่ ฉ.12 ข้อมูลปรับแก้ไขแรงดันกระแสสลับของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน

ตามมาตรฐาน IEC 60060-1:1989

ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่น อากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{test} [kV]	V _{test} /k ₁ [kV]	ปรับแก้ไขตาม IEC 60060-1 1989					V ₀ = V/(k ₁ *k ₂) [kV]
							k	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	
760	30.5	16.47	0.965	17.06	84.601	85.96	1.073	0.710	0.45	0.984	1.032	83.27
760	30.5	16.47	0.965	17.06	88.517	90.10	1.073	0.743	0.50	0.982	1.036	86.97
760	31	15.96	0.964	16.56	90.830	92.68	1.067	0.768	0.55	0.980	1.036	89.46
758	32.5	14.87	0.957	15.55	85.478	87.38	1.055	0.737	0.49	0.978	1.027	85.11
758	32.5	15.22	0.957	15.91	85.794	87.70	1.059	0.737	0.49	0.978	1.029	85.25
758	32.5	15.22	0.957	15.91	85.618	87.51	1.059	0.735	0.49	0.978	1.029	85.08
760	33	15.62	0.958	16.32	80.159	81.61	1.064	0.684	0.41	0.982	1.026	79.55
760	30	15.58	0.967	16.11	86.672	88.11	1.061	0.734	0.49	0.984	1.030	85.57
760	30	15.28	0.967	15.80	88.022	89.55	1.058	0.748	0.51	0.983	1.029	87.01
760	30	15.28	0.967	15.80	87.049	88.52	1.058	0.740	0.50	0.983	1.028	86.08
760	30	15.13	0.967	15.65	86.964	88.44	1.056	0.741	0.50	0.983	1.028	86.07
760	32	15.49	0.961	16.13	80.458	81.82	1.062	0.686	0.42	0.983	1.025	79.80
760	32	15.49	0.961	16.13	80.682	82.05	1.062	0.688	0.42	0.983	1.025	80.02
760	31	15.96	0.964	16.56	90.975	92.83	1.067	0.769	0.55	0.980	1.036	89.60
760	31	15.96	0.964	16.56	92.356	94.31	1.067	0.781	0.57	0.979	1.037	90.91
758	33	15.27	0.955	15.99	86.953	89.02	1.060	0.747	0.51	0.977	1.030	86.42
758	33	15.27	0.955	15.99	87.593	89.71	1.060	0.753	0.52	0.976	1.031	87.04
758	33	15.27	0.955	15.99	86.661	88.71	1.060	0.745	0.51	0.977	1.030	86.13
758	32.5	15.22	0.957	15.91	86.407	88.36	1.059	0.742	0.50	0.978	1.029	85.85
758	32.5	15.22	0.957	15.91	87.457	89.49	1.059	0.751	0.52	0.977	1.030	86.88
758	32.5	15.22	0.957	15.91	86.069	87.99	1.059	0.739	0.50	0.978	1.029	85.52
760	33	15.62	0.958	16.32	84.360	86.09	1.064	0.720	0.47	0.980	1.029	83.63
760	33	15.62	0.958	16.32	84.684	86.44	1.064	0.723	0.47	0.980	1.030	83.95
760	29	15.33	0.970	15.81	90.136	91.62	1.058	0.764	0.54	0.984	1.031	88.89
760	29.5	15.61	0.969	16.11	86.885	88.26	1.061	0.735	0.49	0.984	1.030	85.71
760	32	15.49	0.961	16.13	86.783	88.54	1.062	0.740	0.50	0.980	1.030	85.94
760	30	18.15	0.967	18.77	92.298	93.96	1.093	0.759	0.53	0.982	1.048	89.61
760	30	18.76	0.967	19.40	90.136	91.64	1.101	0.736	0.49	0.984	1.049	87.40
760	29	18.34	0.970	18.91	88.022	89.28	1.095	0.721	0.47	0.986	1.043	85.56
760	29	17.48	0.970	18.02	89.165	90.51	1.084	0.737	0.49	0.985	1.041	86.96

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการปรับแก้ไขด้วยค่าตัวประกอบใหม่อ้างอิง IEC 60060-1 1989
ของแรงดันสูงอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าและแรงดันสูงกระแสสลับ

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขใหม่อ้างอิง IEC 60060-11989					
								k _{new}	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ k ₂) [kV]
63	757	32	21.22	0.957	22.17	320.45	334.90	1.092	1.136	1.00	0.957	1.092	306.73
60	756	30	18.15	0.962	18.87	337.00	350.35	1.077	1.205	0.99	0.962	1.076	325.73
60	756	32	20.21	0.956	21.15	329.90	345.23	1.087	1.176	1.00	0.956	1.087	317.58
55	759	32	18.52	0.959	19.31	325.80	339.59	1.079	1.166	1.00	0.959	1.079	314.87
66	759	30	19.97	0.966	20.68	329.15	340.83	1.085	1.164	1.00	0.966	1.085	314.17
83	761	28	22.52	0.975	23.11	323.85	332.26	1.096	1.123	1.00	0.975	1.096	303.11
60	755	32	20.21	0.954	21.17	322.50	337.93	1.087	1.151	1.00	0.954	1.087	310.83
62	755	32	20.88	0.954	21.88	325.80	341.39	1.090	1.160	1.00	0.954	1.090	313.07
60	756	32	20.21	0.956	21.15	331.15	346.54	1.087	1.181	1.00	0.956	1.087	318.79
52	759	33	18.47	0.956	19.31	312.15	326.43	1.079	1.121	1.00	0.956	1.079	302.66
61	761	29	17.48	0.971	18.00	316.65	325.95	1.072	1.126	1.00	0.971	1.072	303.93
55	759	32	18.52	0.959	19.31	326.85	340.68	1.079	1.170	1.00	0.959	1.079	315.88
65	758	30	19.67	0.964	20.39	319.85	331.64	1.084	1.134	1.00	0.964	1.084	306.07
84	761	28	22.80	0.975	23.39	324.15	332.56	1.097	1.122	1.00	0.975	1.097	303.03
71.5	761	29	20.49	0.971	21.09	317.90	327.23	1.087	1.115	1.00	0.971	1.087	301.10
74	769	28	20.08	0.985	20.39	328.40	333.42	1.084	1.140	1.00	0.985	1.084	307.71
58	760	31	18.52	0.964	19.21	321.70	333.78	1.078	1.147	1.00	0.964	1.078	309.60
79	761	27.5	20.86	0.976	21.36	323.80	331.65	1.088	1.129	1.00	0.976	1.088	304.81
56.5	760	30.5	17.56	0.965	18.19	336.15	348.20	1.073	1.201	1.00	0.965	1.073	324.48
53.5	760	31	17.08	0.964	17.72	338.90	351.62	1.071	1.216	0.96	0.964	1.069	329.05
63	761	31	20.12	0.965	20.84	339.30	351.58	1.086	1.199	1.00	0.965	1.086	323.84
62	760	32	20.88	0.961	21.74	328.80	342.27	1.090	1.163	1.00	0.961	1.090	314.07
77	762	28	20.90	0.976	21.41	317.75	325.57	1.088	1.108	1.00	0.976	1.088	299.16
76	761	28	20.63	0.975	21.16	313.45	321.59	1.087	1.096	1.00	0.975	1.087	295.82
55	760	31	17.56	0.964	18.22	323.50	335.65	1.073	1.158	1.00	0.964	1.073	312.67
57	761	28	15.47	0.975	15.87	311.50	319.58	1.063	1.114	1.00	0.975	1.063	300.76
71	761	23.5	14.99	0.989	15.15	317.85	321.22	1.059	1.123	1.00	0.989	1.059	303.26
70	761	23	14.36	0.991	14.49	312.05	314.83	1.056	1.104	1.00	0.991	1.056	298.08

ตารางที่ ซ.2 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยหลัก

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขใหม่อ้างอิง IEC 60060-11989					
								k _{new}	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ ^{k₂}) [kV]
63	758	29	18.06	0.968	18.66	496.70	513.31	1.076	1.768	0.13	0.968	1.009	508.64
61	758	30	18.46	0.964	19.14	497.15	515.47	1.078	1.771	0.12	0.964	1.009	510.77
62	759	31	19.80	0.963	20.57	496.05	515.35	1.084	1.760	0.13	0.963	1.011	509.88
71	758	28	19.27	0.971	19.85	497.30	512.23	1.081	1.755	0.14	0.971	1.011	506.81
65	758	29	18.63	0.968	19.25	500.40	517.13	1.078	1.776	0.12	0.968	1.009	512.53
62	758	30	18.76	0.964	19.45	488.20	506.19	1.079	1.737	0.15	0.964	1.012	500.36
57	758	31	18.20	0.961	18.93	478.35	497.62	1.077	1.712	0.18	0.961	1.013	491.18
64	758	29	18.34	0.968	18.96	491.90	508.35	1.077	1.748	0.14	0.968	1.011	503.02
64	759	30	19.37	0.966	20.05	478.25	495.22	1.082	1.695	0.19	0.966	1.015	487.78
60	758	30	18.15	0.964	18.82	501.90	520.40	1.076	1.791	0.11	0.964	1.008	516.32
50	761	31	15.96	0.965	16.54	500.10	518.19	1.066	1.801	0.10	0.965	1.006	514.93
64	759	30	19.37	0.966	20.05	492.55	510.03	1.082	1.746	0.14	0.966	1.011	504.27
64	758	30	19.37	0.964	20.08	483.90	501.74	1.082	1.717	0.17	0.964	1.014	495.03
58	758	30.5	18.03	0.963	18.72	497.00	516.17	1.076	1.777	0.12	0.963	1.009	511.74
49.5	761	31	15.81	0.965	16.38	462.90	479.65	1.065	1.668	0.22	0.965	1.014	473.04
58	760	25	13.33	0.983	13.55	493.35	501.77	1.052	1.767	0.13	0.983	1.006	498.58
60	760	25	13.79	0.983	14.02	483.75	492.01	1.054	1.729	0.16	0.983	1.008	487.89

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ซ.3 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยคอตันยาว

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขใหม่อ้างอิง IEC 60060-11989					
								k _{new}	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ ^{k₂}) [kV]
70	757	30	21.18	0.963	21.99	308.65	320.45	1.091	1.224	0.95	0.963	1.086	295.09
64	762	30	19.37	0.970	19.97	312.05	321.85	1.082	1.240	0.91	0.970	1.074	299.62
50	759	33	17.76	0.956	18.57	302.65	316.49	1.075	1.227	0.94	0.956	1.071	295.65
62	761	30	18.76	0.968	19.37	298.80	308.59	1.079	1.192	1.00	0.968	1.079	286.04
68	760	30	20.58	0.967	21.28	308.20	318.72	1.088	1.221	0.95	0.967	1.083	294.18
69	760	29	19.78	0.970	20.38	301.60	310.86	1.084	1.195	1.00	0.970	1.084	286.90
67	757	31	21.39	0.960	22.28	308.10	320.93	1.092	1.224	0.95	0.960	1.087	295.21
59	761	31	18.84	0.965	19.52	300.05	310.91	1.080	1.200	1.00	0.965	1.080	288.01
58	761	31	18.52	0.965	19.19	304.20	315.21	1.078	1.218	0.96	0.965	1.075	293.30
49	758	33	17.40	0.955	18.22	290.25	303.93	1.073	1.180	1.00	0.955	1.073	283.12
66	759	30	19.97	0.966	20.68	311.50	322.56	1.085	1.239	0.91	0.966	1.077	299.40
69	760	29	19.78	0.970	20.38	301.60	310.86	1.084	1.195	1.00	0.970	1.084	286.90
64	761	30	19.37	0.968	20.00	298.90	308.70	1.082	1.189	1.00	0.968	1.082	285.37
69.5	762	30	21.03	0.970	21.69	305.70	315.30	1.090	1.206	0.99	0.970	1.088	289.71
66.5	762	31	21.23	0.966	21.97	300.30	310.76	1.091	1.187	1.00	0.966	1.091	284.87
66.5	762	30	20.12	0.970	20.75	299.05	308.44	1.085	1.184	1.00	0.970	1.085	284.22
56	760	32	18.86	0.961	19.63	314.20	327.07	1.080	1.262	0.87	0.961	1.069	305.98
64	762	29.8	19.16	0.970	19.75	302.20	311.49	1.081	1.201	1.00	0.970	1.080	288.32
83	761	26.5	20.74	0.980	21.17	309.65	316.10	1.087	1.212	0.97	0.980	1.085	291.39
53.5	760	31	17.08	0.964	17.72	308.65	320.24	1.071	1.246	0.90	0.964	1.064	301.02
65	760	29.5	19.14	0.969	19.76	306.45	316.39	1.081	1.220	0.96	0.969	1.077	293.78
64.5	762	30.5	20.05	0.968	20.71	309.30	319.54	1.085	1.227	0.94	0.968	1.080	295.95
53	760	31.5	17.38	0.962	18.06	297.85	309.54	1.073	1.202	0.99	0.962	1.072	288.65
49	759	31	15.65	0.963	16.25	298.80	310.43	1.064	1.215	0.97	0.963	1.062	292.27
56	761	28.5	15.62	0.973	16.05	303.15	311.53	1.063	1.221	0.95	0.973	1.060	293.78
49	760	31	15.65	0.964	16.23	307.10	318.63	1.064	1.247	0.90	0.964	1.057	301.33
53.5	761	29	15.33	0.971	15.78	295.30	303.97	1.062	1.192	1.00	0.971	1.062	286.17
47	759	31.5	15.41	0.961	16.04	290.80	302.61	1.063	1.186	1.00	0.961	1.063	284.58
47	759	30	14.22	0.966	14.73	287.1	297.29	1.057	1.172	1.00	0.966	1.057	281.18
68	761	23.5	14.36	0.989	14.51	300.65	303.84	1.056	1.199	1.00	0.989	1.056	287.66
70	761	23	14.36	0.991	14.49	300	302.67	1.056	1.194	1.00	0.991	1.056	286.57

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยคอตันยาว

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขใหม่อ้างอิง IEC 60060-11989					
								k _{new}	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ *k ₂) [kV]
65	759	29.5	19.14	0.967	19.79	364.80	377.12	1.081	1.454	0.51	0.967	1.040	362.50
64	759	30	19.37	0.966	20.05	387.75	401.51	1.082	1.546	0.37	0.966	1.030	389.95
63	759	30	19.06	0.966	19.74	388.25	402.03	1.081	1.550	0.37	0.966	1.029	390.82
64	758	30	19.37	0.964	20.08	381.05	395.09	1.082	1.521	0.41	0.964	1.033	382.64
57	757	31	18.20	0.960	18.96	376.90	392.60	1.077	1.519	0.41	0.960	1.031	380.87
65	759	29.5	19.14	0.967	19.79	393.20	406.48	1.081	1.567	0.34	0.967	1.027	395.82
44	760	31.5	14.43	0.962	15.00	363.75	378.03	1.059	1.488	0.46	0.962	1.026	368.36
51	762	31	16.28	0.966	16.85	371.80	384.75	1.067	1.502	0.43	0.966	1.029	374.05
52	760	30	15.73	0.967	16.27	386.45	399.64	1.064	1.564	0.35	0.967	1.022	391.09
56	757	30.5	17.41	0.962	18.10	384.55	399.91	1.073	1.553	0.36	0.962	1.026	389.86
60	759	30	18.15	0.966	18.80	392.65	406.59	1.076	1.574	0.33	0.966	1.025	396.77
44	760	31.5	14.43	0.962	15.00	360.80	374.96	1.059	1.476	0.47	0.962	1.027	364.98
52	762	30	15.73	0.970	16.23	376.35	388.17	1.064	1.520	0.41	0.970	1.026	378.43
51.5	760	30	15.58	0.967	16.11	383.40	396.49	1.064	1.553	0.36	0.967	1.023	387.73
56	761	25	12.87	0.985	13.07	367.95	373.74	1.050	1.484	0.46	0.985	1.023	365.47
57	761	25	13.10	0.985	13.30	370.10	375.92	1.051	1.491	0.45	0.985	1.023	367.62

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแบนชนิดพอลิเมอร์

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขใหม่อ้างอิง IEC 60060-11989					
								k _{new}	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ *k ₂) [kV]
71	760	28	19.27	0.973	19.79	286.40	264.99	1.081	1.134	1.00	1.081	1.081	245.19
51.5	759	31.5	16.89	0.961	17.58	295.05	275.62	1.070	1.195	1.00	1.070	1.070	257.47
49	759	31	15.65	0.963	16.25	286.45	269.13	1.064	1.165	1.00	1.064	1.064	252.85
50	761	30	15.13	0.968	15.62	288.60	271.89	1.061	1.170	1.00	1.061	1.061	256.15
49	760	31.5	16.07	0.962	16.70	280.80	263.31	1.066	1.140	1.00	1.066	1.066	246.91
47	760	31	15.01	0.964	15.57	273.05	257.30	1.061	1.112	1.00	1.061	1.061	242.47
69	761	23	14.16	0.991	14.28	290.15	274.96	1.055	1.156	1.00	1.055	1.055	260.57

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแบนชนิดพอลิเมอร์

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขใหม่อ้างอิง IEC 60060-11989					
								k _{new}	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ *k ₂) [kV]
65	759	30	19.67	0.966	20.37	325.75	300.67	1.083	1.297	0.79	1.083	1.066	282.15
74	760	27.5	19.54	0.975	20.04	328.75	303.86	1.082	1.298	0.79	1.082	1.064	285.53
50	759	31	15.96	0.963	16.59	321.1	301.25	1.066	1.304	0.78	1.066	1.051	286.63
49	759	31	15.65	0.963	16.25	323.25	303.70	1.064	1.315	0.76	1.064	1.048	289.67
49.5	761	30	14.98	0.968	15.47	321.35	302.95	1.061	1.304	0.78	1.061	1.047	289.34
49	760	31.5	16.07	0.962	16.70	320.25	300.30	1.066	1.300	0.79	1.066	1.052	285.48
47	760	30	14.22	0.967	14.71	316.4	299.28	1.057	1.290	0.81	1.057	1.046	286.13
75	760	27	19.26	0.977	19.72	332.7	307.93	1.080	1.314	0.76	1.080	1.061	290.33
69	761	23	14.16	0.991	14.28	331.85	314.48	1.055	1.322	0.74	1.055	1.041	302.15

ตารางที่ ๗.7 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยก้านตรง

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขใหม่อ้างอิง IEC 60060-11989					
								k _{new}	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ k ₂) [kV]
58	759	30	17.55	0.966	18.17	103.5	107.12	1.073	1.210	0.98	0.966	1.072	99.96
52	760	31	16.60	0.964	17.23	107.1	111.14	1.069	1.260	0.87	0.964	1.060	104.89
52	760	31	16.60	0.964	17.23	104.1	107.98	1.069	1.224	0.95	0.964	1.065	101.39
57.5	758	30	17.40	0.964	18.04	105	108.82	1.073	1.230	0.93	0.964	1.068	101.92
78	761	27.5	20.59	0.976	21.09	106.8	109.38	1.087	1.220	0.96	0.976	1.083	101.02
58.5	760	30	17.70	0.967	18.3	106.6	110.20	1.074	1.244	0.90	0.967	1.067	103.32
52	760	31	16.60	0.964	17.23	104.7	108.66	1.069	1.232	0.93	0.964	1.064	102.14
45	759	31	14.37	0.963	14.93	102.8	106.78	1.058	1.223	0.95	0.963	1.055	101.20
45	759	31.5	14.76	0.961	15.36	103.8	108.02	1.060	1.235	0.92	0.961	1.055	102.34
65	761	23	13.34	0.991	13.46	102.8	103.69	1.051	1.195	1.00	0.991	1.051	98.62

ตารางที่ ๗.8 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยก้านตรง

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขใหม่อ้างอิง IEC 60060-11989					
								k _{new}	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ k ₂) [kV]
57.5	758	30	17.40	0.964	18.04	129	133.71	1.073	1.511	0.42	0.964	1.030	129.82
52	759	30.5	16.16	0.964	16.76	129.1	133.92	1.067	1.522	0.41	0.964	1.027	130.46
69	760	28	18.73	0.973	19.24	130.6	134.15	1.078	1.508	0.43	0.973	1.033	129.92
45.5	759	31.5	14.92	0.961	15.53	129.3	134.58	1.061	1.538	0.38	0.961	1.023	131.57
57	760	30	17.25	0.967	17.84	125.8	130.10	1.072	1.471	0.48	0.967	1.034	125.83
45.5	759	31.5	14.92	0.961	15.53	129.8	135.03	1.061	1.543	0.38	0.961	1.022	132.06
69	761	23	14.16	0.991	14.28	129.2	130.31	1.055	1.497	0.44	0.991	1.024	127.25
68	761	23	13.95	0.991	14.08	128.7	129.82	1.054	1.493	0.45	0.991	1.024	126.78

ตารางที่ ข.9 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงกระแสสลับของลูกถ้วยก้านตรง

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขใหม่อ้างอิง IEC 60060-11989					
								k _{new}	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ k ₂) [kV]
46	757	32.5	15.91	0.955	16.65	80.510	84.04	1.050	0.973	0.94	0.958	1.047	80.26
46.5	757	31.5	15.25	0.958	15.91	86.744	90.51	1.049	1.046	1.00	0.958	1.049	86.26
47	757	32	15.83	0.957	16.54	83.530	87.30	1.050	1.008	1.00	0.957	1.050	83.13
64	760	29	18.34	0.970	18.91	83.768	86.30	1.053	0.994	0.99	0.971	1.053	81.99
43	758	32	14.48	0.958	15.12	78.877	81.96	1.048	0.952	0.89	0.962	1.043	78.58
43	758	32	14.48	0.958	15.12	76.086	78.82	1.048	0.918	0.82	0.965	1.040	75.82
43	758	32	14.48	0.958	15.12	76.320	79.08	1.048	0.921	0.83	0.965	1.040	76.05
45	758	32.5	15.56	0.957	16.27	82.040	85.68	1.050	0.990	0.98	0.957	1.049	81.71
44	760	33	15.62	0.958	16.32	77.177	80.08	1.050	0.931	0.85	0.964	1.042	76.84
45	760	33	15.98	0.958	16.69	78.024	81.03	1.050	0.940	0.87	0.963	1.044	77.64
50	760	30	15.13	0.967	15.65	80.555	83.07	1.049	0.963	0.92	0.970	1.045	79.51
50	760	30	15.13	0.967	15.65	87.254	90.23	1.049	1.043	1.00	0.967	1.049	86.03
61	760	29	17.48	0.970	18.02	85.001	87.61	1.052	1.009	1.00	0.970	1.052	83.27
60	760	29	17.20	0.970	17.73	84.803	87.41	1.052	1.007	1.00	0.970	1.052	83.11
58.5	760	29.5	17.23	0.969	17.79	79.620	81.90	1.052	0.947	0.88	0.972	1.046	78.32
58.5	760	29.5	17.23	0.969	17.79	76.746	78.76	1.052	0.913	0.81	0.974	1.042	75.59
57	760	30	17.25	0.967	17.84	78.423	80.71	1.052	0.935	0.86	0.972	1.044	77.29
43	758	32	14.48	0.958	15.12	78.422	81.44	1.048	0.947	0.88	0.963	1.042	78.13
43	758	32.5	14.87	0.957	15.55	77.782	80.84	1.049	0.940	0.87	0.962	1.042	77.57
45	758	32.5	15.56	0.957	16.27	75.696	78.49	1.050	0.914	0.82	0.964	1.040	75.44
50	760	30	15.13	0.967	15.65	80.273	82.76	1.049	0.959	0.91	0.970	1.044	79.24
50	760	30	15.13	0.967	15.65	87.727	90.72	1.049	1.048	1.00	0.967	1.049	86.49
47	760	32	15.83	0.961	16.48	87.197	90.77	1.050	1.048	1.00	0.961	1.050	86.44
47	760	32	15.83	0.961	16.48	82.975	86.35	1.050	0.997	0.99	0.961	1.050	82.26

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขใหม่อ้างอิง IEC 60060-11989					
								k _{new}	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ k ₂) [kV]
66	761	28	17.91	0.975	18.38	119.6	122.61	1.074	0.993	0.98	0.975	1.073	114.27
60	761	30	18.15	0.968	18.75	119.7	123.66	1.076	0.999	1.00	0.968	1.076	114.95
74	761	28	20.08	0.975	20.60	120	123.01	1.085	0.987	0.97	0.975	1.082	113.69
53	760	30	16.04	0.967	16.58	119.9	124.00	1.066	1.012	1.00	0.967	1.066	116.33
65	760	28.5	18.13	0.972	18.66	121.6	125.09	1.075	1.011	1.00	0.972	1.075	116.31
60	760	30	18.15	0.967	18.77	120.9	125.02	1.076	1.010	1.00	0.967	1.076	116.18
53	760	30	16.04	0.967	16.58	119.6	123.70	1.066	1.009	1.00	0.967	1.066	116.06
45	759	31	14.37	0.963	14.93	119.6	124.26	1.058	1.021	1.00	0.963	1.058	117.43
48	759	31	15.33	0.963	15.92	119.8	124.45	1.063	1.018	1.00	0.963	1.063	117.09
78	760	27	20.03	0.977	20.51	120.3	123.06	1.084	0.988	0.97	0.977	1.082	113.77
65	761	23	13.34	0.991	13.46	119.8	120.88	1.051	1.000	1.00	0.991	1.051	114.97
67	761	22.5	13.36	0.993	13.46	122.8	123.71	1.051	1.023	1.00	0.993	1.051	117.66
78	760	27	20.03	0.977	20.51	119.2	121.87	1.084	0.979	0.95	0.978	1.080	112.85
65	761	23	13.34	0.991	13.46	119.9	120.98	1.051	1.001	1.00	0.991	1.051	115.07

ตารางที่ ข.11 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงอิมพัลส์ชั่วคราวของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขใหม่อ้างอิง IEC 60060-11989					
								k _{new}	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ k ₂) [kV]
60	760	30	13.34	0.967	13.46	119.9	137.18	1.051	1.026	1.00	0.967	1.051	117.94
51	759	31	13.34	0.963	13.46	119.9	133.96	1.051	1.030	1.00	0.963	1.051	118.49
52	760	30	13.34	0.967	13.46	119.9	131.73	1.051	1.026	1.00	0.967	1.051	117.94
60	760	30	13.34	0.967	13.46	119.9	135.93	1.051	1.026	1.00	0.967	1.051	117.94
51	759	31	13.34	0.963	13.46	119.9	134.40	1.051	1.030	1.00	0.963	1.051	118.49
53	760	30	13.34	0.967	13.46	119.9	135.09	1.051	1.026	1.00	0.967	1.051	117.94
69	761	23	13.34	0.991	13.46	119.9	131.32	1.051	1.001	1.00	0.991	1.051	115.07
70	761	23	13.34	0.991	13.46	119.9	131.89	1.051	1.001	1.00	0.991	1.051	115.07

ตารางที่ ข.12 ข้อมูลปรับแก้ไขค่าใหม่แรงดันสูงกระแสสลับของลูกถ้วยแขวนชนิดพอร์ซเลน

ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	ความกดอากาศ (P) [mm.Hg]	อุณหภูมิ (T) [°C]	ความชื้นสัมบูรณ์ (h) [g/m ³]	ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)	h/δ [g/m ³]	V _{50%} [kV]	V _{50%/k₁} [kV]	ปรับแก้ไขใหม่อ้างอิง IEC 60060-11989					
								k _{new}	g	w	ค่า k ₁	ค่า k ₂	V ₀ = V/(k ₁ k ₂) [kV]
53	760	30.5	16.47	0.965	17.06	84.601	86.03	1.051	0.725	0.48	0.983	1.024	84.02
53	760	30.5	16.47	0.965	17.06	88.517	90.18	1.051	0.759	0.53	0.982	1.027	87.84
50	760	31	15.96	0.964	16.56	90.830	92.75	1.050	0.780	0.57	0.979	1.028	90.21
43	758	32.5	14.87	0.957	15.55	85.478	87.40	1.049	0.741	0.50	0.978	1.024	85.34
44	758	32.5	15.22	0.957	15.91	85.794	87.74	1.049	0.743	0.50	0.978	1.025	85.64
44	758	32.5	15.22	0.957	15.91	85.618	87.55	1.049	0.742	0.50	0.978	1.024	85.46
44	760	33	15.62	0.958	16.32	80.159	81.66	1.050	0.693	0.43	0.982	1.021	79.98
51.5	760	30	15.58	0.967	16.11	86.672	88.15	1.050	0.743	0.50	0.983	1.025	86.03
50.5	760	30	15.28	0.967	15.80	88.022	89.58	1.049	0.754	0.52	0.983	1.025	87.36
50.5	760	30	15.28	0.967	15.80	87.049	88.55	1.049	0.746	0.51	0.983	1.025	86.41
50	760	30	15.13	0.967	15.65	86.964	88.46	1.049	0.746	0.51	0.983	1.025	86.34
46	760	32	15.49	0.961	16.13	80.458	81.85	1.050	0.694	0.43	0.983	1.021	80.18
46	760	32	15.49	0.961	16.13	80.682	82.09	1.050	0.696	0.43	0.983	1.021	80.40
50	760	31	15.96	0.964	16.56	90.975	92.90	1.050	0.782	0.57	0.979	1.028	90.35
50	760	31	15.96	0.964	16.56	92.356	94.38	1.050	0.793	0.59	0.979	1.029	91.70
43	758	33	15.27	0.955	15.99	86.953	89.07	1.049	0.755	0.52	0.976	1.026	86.86
43	758	33	15.27	0.955	15.99	87.593	89.77	1.049	0.760	0.53	0.976	1.026	87.49
43	758	33	15.27	0.955	15.99	86.661	88.76	1.049	0.752	0.52	0.976	1.025	86.57
44	758	32.5	15.22	0.957	15.91	86.407	88.40	1.049	0.749	0.51	0.977	1.025	86.24
44	758	32.5	15.22	0.957	15.91	87.457	89.53	1.049	0.758	0.53	0.977	1.026	87.29
44	758	32.5	15.22	0.957	15.91	86.069	88.04	1.049	0.746	0.51	0.978	1.025	85.91
44	760	33	15.62	0.958	16.32	84.360	86.15	1.050	0.730	0.48	0.979	1.024	84.15
44	760	33	15.62	0.958	16.32	84.684	86.50	1.050	0.733	0.49	0.979	1.024	84.47
53.5	760	29	15.33	0.970	15.81	90.136	91.65	1.049	0.770	0.55	0.984	1.027	89.27
53	760	29.5	15.61	0.969	16.11	86.885	88.30	1.050	0.743	0.50	0.984	1.025	86.17
46	760	32	15.49	0.961	16.13	86.783	88.59	1.050	0.748	0.51	0.980	1.025	86.42
60	760	30	18.15	0.967	18.77	92.298	94.11	1.053	0.788	0.58	0.981	1.030	91.33
62	760	30	18.76	0.967	19.40	90.136	91.81	1.054	0.769	0.55	0.982	1.029	89.20
64	760	29	18.34	0.970	18.91	88.022	89.40	1.053	0.749	0.51	0.985	1.027	87.04
61	760	29	17.48	0.970	18.02	89.165	90.61	1.052	0.760	0.53	0.984	1.027	88.20

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอุดม คลอดกลาง เกิดเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2521 ที่กรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษา
ระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
กำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี ในปีการศึกษา 2543
เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ภาควิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย