

ผลของความชื้นต่อแรงดันเบรกดาวนักระแสสลับและอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าของแถบทรงกลมมาตรฐาน

นายพงษ์ศักดิ์ มฤคทัต

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-7086-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF HUMIDITY ON AC AND LIGHTNING IMPULSE BREAKDOWN VOLTAGE
OF STANDARD SPHERE GAPS

Mr. Pogsak Marukatat

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2004

ISBN 974-17-7086-3

พงษ์ศักดิ์ มฤคทัต : ผลของความชื้นต่อแรงดันเบรกดาวนักระแสสลับและอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าของแกปทรงกลมมาตรฐาน.(EFFECT OF HUMIDITY ON AC AND LIGHTNING IMPULSE BREAKDOWN VOLTAGE OF STANDARD SPHERE GAPS)

อ.ที่ปรึกษา: ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์, 110 หน้า. ISBN 974-17-7086-3.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้รายงานการศึกษา ผลกระทบของความชื้นที่มีต่อแรงดันเบรกดาวนัของแกปทรงกลมมาตรฐาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร เมื่อทดลองด้วยแรงดันกระแสสลับและแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 1.2/50 μ s. ทั้งชั่วคราวและชั่วคราว ที่ระยะแกปต่าง ๆ ซึ่งพบว่า

กรณีที่ระยะแกปมีขนาดเล็กหรือระดับแรงดันเบรกดาวนัต่ำๆ ความชื้นมีผลน้อยมากต่อแรงดันเบรกดาวนั ทั้งในกรณีของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 1.2/50 μ s และแรงดันกระแสสลับ เมื่อระยะแกปเพิ่มขึ้นแรงดันเบรกดาวนัอิมพัลส์ มีค่าเพิ่มขึ้นตามความชื้น แต่ที่ระยะแกปกว้างแรงดันเบรกดาวนัอิมพัลส์ชั่วคราวมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับความชื้นส่วนแรงดันเบรกดาวนัอิมพัลส์ชั่วคราวและแรงดันเบรกดาวนักระแสสลับกลับมีค่าลดลงเมื่อความชื้นมีค่าสูง

การใช้ตัวประกอบแก้ไขความชื้นเพื่อแปลงค่าแรงดันเบรกดาวนัที่ความชื้นต่างๆ ไปเป็นค่าที่ภาวะอากาศมาตรฐานนั้น เมื่อทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 1.2/50 μ s ที่ความชื้นไม่เกิน 15 g/m³ การแปลงค่าตามมาตรฐาน IEC 60052 กำหนดยังคงใช้แก้ไขได้อยู่ ส่วนที่ค่าความชื้นที่เกินกว่า 15 g/m³ นั้น ยังไม่สามารถแก้ไขผลของความชื้นได้ดีเท่าที่ควร สำหรับการทดลองด้วยแรงดันกระแสสลับนั้น ไม่สามารถใช้แปลงผลของความชื้นได้เลย ดังนั้นจึงควรมีการพิจารณาใช้ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นใหม่ ที่เหมาะสมกับการทดสอบที่ทำในสภาพอากาศที่มีความชื้นสูง

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อ.....
 สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา 2547.....

4570728321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : SPHERE GAPS / HUMIDITY CORRECTION FACTOR / AC BREAKDOWN VOLTAGE / LIGHTNING IMPULSE BREAKDOWN VOLTAGE .

PONGSAK MARUKATAT : EFFECT OF HUMIDITY ON AC AND LIGHTNING IMPULSE BREAKDOWN VOLTAGE OF STANDARD SPHERE GAPS. THESIS ADVISOR : KOMSON PETCHARAKS, Dr.Sc.Techn. 110 pp. ISBN 974-17-7086-3.

This thesis study the effect of humidity on breakdown voltage of 25 cm diameter standard sphere gaps, under AC and standard lightning impulse 1.2/50 μ s voltage at several gap distances.

At small gap spacing or low breakdown voltage, humidity practically has no effect on breakdown voltage for both AC and standard lightning impulse 1.2/50 μ s voltage. With increasing gap spacing, impulse breakdown voltage increases with increasing humidity. At large gap distances, the positive impulse breakdown voltage is independent from humidity. However the negative impulse breakdown voltage is decreased as humidity is increased and the AC breakdown voltage is also decreased with increasing humidity.

The humidity correction factor, as given in IEC 60052, for testing with standard lightning impulse 1.2/50 μ s at humidity range not exceeding 15 g/m³ is still valid. For humidity above 15 g/m³ the correction is not good enough. In the case of testing with AC voltages, the correction is invalid for the whole range of humidity. Therefore, we should applied a new humidity correction factor appropriated for testing during high humidity.

Department.....Electrical Engineering..... Student's signature.....
 Field of study.....Electrical Engineering..... Advisor's signature.....
 Academic year2004.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัย วิธีการแก้ไข ปัญหาข้อบกพร่องจนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ได้ ขอขอบคุณ อาจารย์ไชยะ แซ่มชัย และผู้ช่วย ศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย เตชะอำนาจ ที่ช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณถาวร เอื้อดี, คุณเกรียงไกร โอบะฐิณู ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ วัดและอุปกรณ์ทดสอบในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง รวมทั้งให้คำแนะนำในการทดลองมาโดยตลอด คุณพีรวุฒิ ยุทธโกวิท ที่คอยให้คำปรึกษาตลอดการวิจัย ตลอดจนพี่ๆ และเพื่อนๆ น้องๆ ทุกคนที่ช่วยให้อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงทุกท่าน ที่ช่วยเหลือให้กำลังใจและแลกเปลี่ยนความคิดเห็น อันเป็นประโยชน์ คุณ อรวรรณ กรุณานวัตร ที่เป็นกำลังที่ดีเยี่ยมแก่ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ ไว้ ณ โอกาสนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้า ขอขอบคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่คอยสนับสนุน ให้โอกาส และความปรารถนาดีแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

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.....	2
1.3 การศึกษาวิจัยในอดีต.....	2
1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	3
1.5 ขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	4
2. การเกิดเบรกดาวนีนีในก๊าซ.....	5
2.1 เบรกดาวนีนีในก๊าซ.....	5
2.2 กลไกการเกิดเบรกดาวนีนี.....	6
2.2.1 กลไกเบรกดาวนีนีของทาวนีนเซนส์.....	6
2.2.2 กลไกเบรกดาวนีนีแบบสตรีมเมอร์.....	7
2.3 การเบรกดาวนีนีของแรงดันอิมพัลส์.....	8
2.3.1 เวลาล่าช้าของการเกิดเบรกดาวนีนี.....	9
2.3.2 ความน่าจะเป็นในการเกิดเบรกดาวนีนี.....	10
3. การวัดแรงดันสูงด้วยแกปทรงกลม.....	12
3.1 แกปทรงกลม.....	12
3.1.1 ลักษณะสมบัติของแกปอากาศทรงกลม.....	12
3.1.2 มาตรฐาน IEC 60052.....	13
3.1.2.1 ข้อกำหนดเกี่ยวกับทรงกลม.....	13

บทที่	หน้า
3.1.2.2 ข้อพึงปฏิบัติในการใช้แก๊พทรงกลม	15
3.1.2.3 การวัดแรงดันเบรกดาวนซ์ของแก๊พอากาศทรงกลม.....	16
3.2 การวัดแรงดันอิมพัลส์	18
3.3 การวัดแรงดันกระแอสลัป.....	20
4. การทดลองผลของความชื้นต่อแรงดันเบรกดาวนซ์	23
4.1 ชุดทดลอง	23
4.2 การทดลองด้วยแรงดันอิมพัลส์	24
4.2.1 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ใช้ในการทดลอง.....	24
4.2.2 การเตรียมชุดทดลอง	25
4.2.3 วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล	27
4.3 การทดลองด้วยแรงดันกระแอสลัป	27
4.3.1 วงจรทดลองแรงดันกระแอสลัป	27
4.3.2 วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล	28
4.4 การทำความสะอาดชุดทดลอง.....	28
5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	29
5.1 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง	29
5.2 ผลของความชื้นต่อแรงดันเบรกดาวนซ์.....	31
5.2.1 ผลการทดลองด้วยแรงดันอิมพัลส์	31
5.2.2 ผลการทดลองด้วยแรงดันกระแอสลัป	35
5.3 ตัวประกอบแก้ไขความชื้น (Humidity Correction Factor).....	40
5.4 ผลของความชื้นที่มีต่อระยะแก๊พอากาศ	42
5.5 ตัวประกอบแก้ไขความชื้นใหม่ (Knew)	47
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอนแนะ.....	51
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	51
6.2 ข้อเสนอนแนะ	52
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก.....	55

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ก. ข้อมูลความชื้นจากกรมอุตุนิยมวิทยาในรอบ 5 ปี.....	56
ภาคผนวก ข. Maximum Likelihood Parameter Estimation	69
ภาคผนวก ค. ตารางแรงดันเบรกดาวนั้มาตรฐานของ IEC 60052	70
ภาคผนวก ง. ข้อมูลการทดลองด้วยแรงดันอิมพัลส์	74
ภาคผนวก จ. ข้อมูลการทดลองด้วยแรงดันกระแสสลับ	98
ภาคผนวก ฉ. Least Square Estimations	108
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	110

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ขนาดทรงกลมมาตรฐานและระยะแกปวัตต์แรงดัน.....	12
3.2 ระยะ A และ B ตามมาตรฐาน IEC 60052	15
5.1 สัมประสิทธิ์ความชื้นที่ได้จากการทดลอง (% ต่อ g/m^3).....	40
5.2 ค่าแฟคเตอร์แก้ไขผลระยะแกปอากาศ	48
5.3 ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นที่เสนอ k_{new} ในฟังก์ชันของ h/δ	47
ก.1 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ปี พ.ศ. 2543	56
ก.2 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ปี พ.ศ. 2544	57
ก.3 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ปี พ.ศ. 2545	57
ก.4 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ปี พ.ศ. 2546	58
ก.5 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ปี พ.ศ. 2547	59
ก.6 ข้อมูลอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ปี พ.ศ. 2543.....	60
ก.7 ข้อมูลอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ปี พ.ศ. 2544	61
ก.8 ข้อมูลอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ปี พ.ศ. 2545.....	62
ก.9 ข้อมูลอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ปี พ.ศ. 2546.....	62
ก.10 ข้อมูลอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ปี พ.ศ. 2547.....	63
ก.11 ข้อมูลความดันอากาศ (มิลลิบาร์) ปี พ.ศ. 2543.....	64
ก.12 ข้อมูลความดันอากาศ (มิลลิบาร์) ปี พ.ศ. 2544	65
ก.13 ข้อมูลความดันอากาศ (มิลลิบาร์) ปี พ.ศ. 2545.....	66
ก.14 ข้อมูลความดันอากาศ (มิลลิบาร์) ปี พ.ศ. 2546.....	67
ก.15 ข้อมูลความดันอากาศ (มิลลิบาร์) ปี พ.ศ. 2547	67
ค 1 แรงดันเบรกดาวนอิิมพัลส์ชั่วพลบ กระแสสลับและกระแสตรง ของแกปทรงกลม มาตรฐาน จากตารางที่ 2 ของ IEC 60052 (2002)	70
ค 2 แรงดันเบรกดาวนอิิมพัลส์ชั่วบวกของแกปทรงกลมมาตรฐาน จากตารางที่ 3 ของ IEC 60052 (2002)	72
ง 1 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนอิิมพัลส์ชั่วบวก ด้วยวิธีปรับขึ้นลง ที่ระยะแกป 1 cm.....	74
ง 2 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนอิิมพัลส์ชั่วบวก ด้วยวิธีปรับขึ้นลง ที่ระยะแกป 3 cm.....	76
ง 3 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนอิิมพัลส์ชั่วบวก ด้วยวิธีปรับขึ้นลง ที่ระยะแกป 6 cm.....	79
ง 4 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนอิิมพัลส์ชั่วบวก ด้วยวิธีปรับขึ้นลง ที่ระยะแกป 9 cm.....	81

ตารางที่	หน้า
ง 5 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนิมพัลส์ชั่วคราว ด้วยวิธีปรับขึ้นลง ที่ระยะแกป 12 cm.....	84
ง 6 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนิมพัลส์ชั่วคราว ด้วยวิธีปรับขึ้นลง ที่ระยะแกป 1 cm.....	86
ง 7 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนิมพัลส์ชั่วคราว ด้วยวิธีปรับขึ้นลง ที่ระยะแกป 3 cm.....	89
ง 8 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนิมพัลส์ชั่วคราว ด้วยวิธีปรับขึ้นลง ที่ระยะแกป 6 cm.....	91
ง 9 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนิมพัลส์ชั่วคราว ด้วยวิธีปรับขึ้นลง ที่ระยะแกป 9 cm.....	93
ง 10 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนิมพัลส์ชั่วคราว ด้วยวิธีปรับขึ้นลง ที่ระยะแกป 12 cm.....	95
จ 1 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนิมพัลส์ด้วยวิธีแรงดันเพิ่ม ที่ระยะแกป 1 cm.....	98
จ 2 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนิมพัลส์ด้วยวิธีแรงดันเพิ่ม ที่ระยะแกป 3 cm.....	100
จ 3 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนิมพัลส์ด้วยวิธีแรงดันเพิ่ม ที่ระยะแกป 6 cm.....	103
จ 4 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนิมพัลส์ด้วยวิธีแรงดันเพิ่ม ที่ระยะแกป 9 cm.....	105

สารบัญภาพ

ภาพประกอบที่	หน้า
1.1 ค่าความชื้นที่วัดได้ในประเทศไทย ในรอบ 5 ปีหลังสุด.....	2
2.1 เวลาล่าช้าของการเกิดเบรกดาวนั t _{50%}	9
2.2 ความน่าจะเป็นในการเกิดแรงดันเบรกดาวนั U _{50%}	10
3.1 การติดตั้งแถบทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง > 25 cm Φ แนวตั้ง.....	14
3.2 การติดตั้งแถบทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง ≤ 25 cm Φ แนวนอน.....	14
3.3 กราฟอุณหภูมิ กระเปาะแห้ง-กระเปาะเปียก เพื่อหาความชื้นสัมบูรณ์.....	17
3.4 เส้นกราฟใช้หาแรงดันเบรกดาวนั 50%.....	19
3.5 (ก.) การทดลองวิธีแรงดันเพิ่ม แบบต่อเนื่อง กรณีกระแสดร้งและกระแสดลั้บ.....	20
3.5 (ข.) การทดลองวิธีแรงดันเพิ่ม แบบขั้น กรณีกระแสดร้งและกระแสดลั้บ.....	21
4.1 ชุดทดลองแถบอากาศทรงกลมมาตรฐาน.....	23
4.2 วงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์เพื่อวัดแรงดันเบรกดาวนัของแถบทรงกลม.....	24
4.3 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์จากการ Calibrate (ก - ฉ).....	25
4.4 วงจรทดลองแรงดันกระแสดลั้บ.....	27
5.1 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ชั่วบวก ที่ระยะแถบต่างๆ.....	29
5.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ชั่วลบ ที่ระยะแถบต่างๆ.....	30
5.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบด้วยแรงดันกระแสดลั้บ ที่ระยะแถบต่างๆ.....	31
5.4 ผลการทดลองแรงดันเบรกดาวนัอิมพัลส์ ระยะแถบ 1 cm. ที่ความชื้นค่าต่างๆ.....	32
5.5 ผลการทดลองแรงดันเบรกดาวนัอิมพัลส์ ระยะแถบ 3 cm. ที่ความชื้นค่าต่างๆ.....	32
5.6 ผลการทดลองแรงดันเบรกดาวนัอิมพัลส์ ระยะแถบ 6 cm. ที่ความชื้นค่าต่างๆ.....	33
5.7 ผลการทดลองแรงดันเบรกดาวนัอิมพัลส์ ระยะแถบ 9 cm. ที่ความชื้นค่าต่างๆ.....	33
5.8 ผลการทดลองแรงดันเบรกดาวนัอิมพัลส์ ระยะแถบ 12 cm. ที่ความชื้นค่าต่างๆ.....	34
5.9 ผลการทดลองแรงดันเบรกดาวนักระแสดลั้บ ระยะแถบ 1 cm. ที่ความชื้นค่าต่างๆ.....	35
5.10 ผลการทดลองแรงดันเบรกดาวนักระแสดลั้บ ระยะแถบ 3 cm. ที่ความชื้นค่าต่างๆ.....	36
5.11 ผลการทดลองแรงดันเบรกดาวนักระแสดลั้บ ระยะแถบ 6 cm. ที่ความชื้นค่าต่างๆ.....	36
5.12 ผลการทดลองแรงดันเบรกดาวนักระแสดลั้บ ระยะแถบ 9 cm. ที่ความชื้นค่าต่างๆ.....	37
5.13 แรงดันเบรกดาวนัอิมพัลส์ชั่วบวกในระบบเปอร์ยูนิต.....	38

ภาพประกอบที่	หน้า
5.14 แรงดันเบรกดาวานิมพัลส์ชั่ววูบในระบบเปอร์ยูนิต	38
5.15 แรงดันเบรกดาวานิมพัลส์ชั่ววูบในระบบเปอร์ยูนิต	39
5.16 แรงดันเบรกดาวานิมพัลส์ชั่ววูบ เมื่อแปลงค่าด้วยตัวประกอบแก้ไขความชื้น (k) ใน ระบบเปอร์ยูนิต	41
5.17 แรงดันเบรกดาวานิมพัลส์ชั่ววูบ เมื่อแปลงค่าด้วยตัวประกอบแก้ไขความชื้น (k) ใน ระบบเปอร์ยูนิต	41
5.18 แรงดันเบรกดาวานิมพัลส์ชั่ววูบ เมื่อแปลงค่าด้วยตัวประกอบแก้ไขความชื้น (k) ใน ระบบเปอร์ยูนิต	42
5.19 เปอร์เซนต์ค่าแรงดันเบรกดาวานิมพัลส์ชั่ววูบ เทียบกับค่ามาตรฐาน (%Ub) กับ %S/D	43
5.20 เปอร์เซนต์ค่าแรงดันเบรกดาวานิมพัลส์ชั่ววูบ เทียบกับค่ามาตรฐาน (%Ub) กับ %S/D	44
5.21 เปอร์เซนต์ค่าแรงดันเบรกดาวานิมพัลส์ชั่ววูบ เทียบกับค่ามาตรฐาน (%Ub) กับ %S/D	44
5.22 แรงดันเบรกดาวานิมพัลส์ชั่ววูบ เมื่อแปลงค่าตามมาตรฐาน IEC และแก้ผลของระยะแกป ใน ระบบเปอร์ยูนิต	46
5.23 แรงดันเบรกดาวานิมพัลส์ชั่ววูบ เมื่อแปลงค่าตามมาตรฐาน IEC และแก้ผลของระยะแกป ใน ระบบเปอร์ยูนิต	46
5.24 แรงดันเบรกดาวานิมพัลส์ชั่ววูบ เมื่อแปลงค่าตามมาตรฐาน IEC และแก้ผลของระยะแกป ใน ระบบเปอร์ยูนิต	47
5.25 ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้น ที่เสนอสำหรับการทดสอบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 1.2/50 μ s และ แรงดันกระแสสลับ	48
5.26 แรงดันเบรกดาวานิมพัลส์ชั่ววูบ เมื่อแปลงค่าด้วยตัวประกอบแก้ไขความชื้นที่เสนอ และแก้ผลของความชื้นที่มีต่อแกปอากาศ ในระบบเปอร์ยูนิต	49
5.27 แรงดันเบรกดาวานิมพัลส์ชั่ววูบ เมื่อแปลงค่าด้วยตัวประกอบแก้ไขความชื้นที่เสนอ และแก้ผลของความชื้นที่มีต่อแกปอากาศ ในระบบเปอร์ยูนิต	49
5.28 แรงดันเบรกดาวานิมพัลส์ชั่ววูบ เมื่อแปลงค่าด้วยตัวประกอบแก้ไขความชื้นที่เสนอ และแก้ผลของความชื้นที่มีต่อแกปอากาศ ในระบบเปอร์ยูนิต	50
n.1 Least Square ตามแนวแกน y และ x	108

บทที่ 1

บทนำ

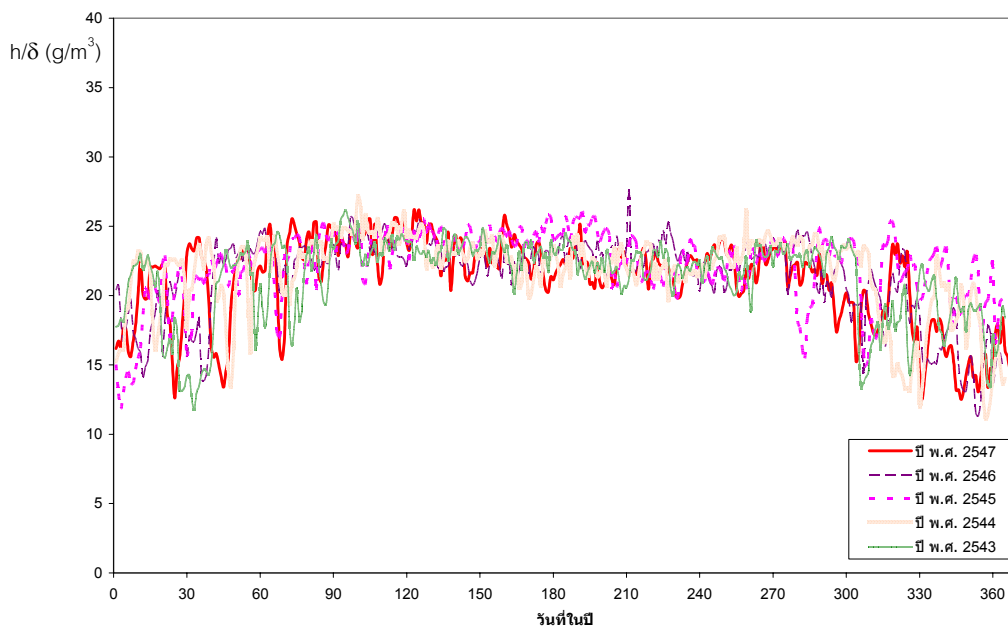
อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ที่จะนำไปใช้ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าหรือสถานที่ที่ใช้แรงดันสูง เช่น ห้องปฏิบัติการของสถาบันการศึกษา หรือสถาบันทดสอบและวิจัยไฟฟ้าแรงสูง หลายชนิดในปัจจุบัน สามารถผลิตขึ้นได้เองโดยโรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งในประเทศ อาทิ ลูกถ้วยไฟฟ้า สายเคเบิล กักดับฟ้าผ่า และหม้อแปลงไฟฟ้า อุปกรณ์ดังกล่าวผลิตขึ้นใช้ทั้งภายในประเทศ และส่งออกไปยังต่างประเทศ ขั้นตอนหนึ่งในการควบคุมคุณภาพของอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นคือ การทดสอบและการวัด การทดสอบแรงดันสูงก่อนที่จะนำไปใช้งานต้องมีคุณภาพและตรงตามมาตรฐาน เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในระบบ ก่อนที่จะนำไปใช้งาน

การวัดแรงดันสูงด้วยแกปทรงกลม เป็นวิธีหนึ่งตามมาตรฐาน IEC 60052 [1] ที่ใช้ในการวัดแรงดันสูงแบบต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและ มีความแน่นอนเชื่อถือได้พอสมควร โดยอาศัยการเกิดสปาร์ก หรือเบรกดาวนของอากาศระหว่างแกปทรงกลม โดยสามารถใช้วัดค่ายอดของแรงดันซึ่งวัดได้ทั้ง แรงดันกระแสตรง แรงดันกระแสสลับ และแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า

มาตรฐานระดับนานาชาติและระดับชาติจึงแนะนำให้ใช้แกปทรงกลมเป็นอุปกรณ์สอบเทียบมาตรฐาน แม้ว่าในปัจจุบันจะมีอุปกรณ์อื่นที่มีความถูกต้องแม่นยำในการวัดดีกว่าแกปทรงกลม แต่อุปกรณ์เหล่านั้นมักจะบอบบาง เพราะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ไวต่อผลกระทบจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นห้องทดลองไฟฟ้าแรงสูงแทบทุกแห่งในโลกจึงมีแกปทรงกลมมาตรฐาน เพื่อนำมาใช้วัดเทียบกับอุปกรณ์เหล่านั้น เพื่อให้แน่ใจว่ายังทำงานได้ปกติ และถูกต้องอยู่เสมอ

1.1 ที่มาของปัญหา

การวัดแรงดันสูงด้วยแกปทรงกลมในปัจจุบันยึดตามมาตรฐาน IEC 60052 โดยมาตรฐานได้กำหนดความชื้นสัมบูรณ์ (h) ต่อความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ) ขณะวัดแรงดันสูงในช่วง $5 - 12 \text{ g/m}^3$ เท่านั้น ซึ่งในสภาวะอากาศของประเทศไทย (ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา แสดงใน ภาคผนวก ก.) ตามรูปที่ 1.1 มีค่าสูงกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ ทำให้ค่าแรงดันที่ปรับแก้ตามมาตรฐาน อาจเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้



รูปที่ 1.1 ค่าความชื้นที่วัดได้ในประเทศไทย ในรอบ 5 ปีที่ผ่านมา

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

ทดลองหาแรงดันเบรกดาว์นของแก๊ปทรงกลมมาตรฐาน โดยใช้แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่ามาตรฐาน $1.2/50 \mu\text{s}$. (ต่อไปในวิทยานิพนธ์นี้จะเรียกสั้นๆ เพียงแรงดันอิมพัลส์) ทั้งชั่ววอกและชั่วลบ และแรงดันสูงกระแสสลับ เพื่อวิเคราะห์ถึงผลของความชื้นที่มีต่อแรงดันเบรกดาว์นว่ามีผลเป็นเช่นไรที่ความชื้นสูง จากนั้นจะหาตัวประกอบแก้ไขความชื้น เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการทดสอบต่อไป

1.3 การศึกษาวิจัยในอดีต

การศึกษาวิจัยถึงผลกระทบของความชื้นที่มีต่อแรงดันเบรกดาว์นของแก๊ปทรงกลมมาตรฐาน ที่ใช้เป็นแนวทางในการศึกษา มีดังต่อไปนี้

D.E.Gourgoulis, C.A.Stassinopoulos [2,3] ได้ทำการศึกษาวิจัยถึงผลของความชื้นที่มีต่อการเกิดอิมพัลส์เบรกดาว์นของแก๊ปทรงกลมขนาด 75 cm ทั้งชั่ววอกและชั่วลบ ที่ระยะแก๊ปต่างๆ ผลที่ได้จากการวิจัยคือ ค่าแรงดันเบรกดาว์นที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่าแรงดันเบรกดาว์นมาตรฐาน [1] แต่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสูงขึ้น โดยเปลี่ยนไปตามระยะแก๊ปและชั่ววอก

ความชื้นยังมีผลต่อแรงดันเบรกดาวนอิมพัลส์ชั่วเวลาสั้นกว่าชั่ววง โดยเฉพาอย่างยิ่งในการทดลองด้วยแรงดันสวิตชิ่งอิมพัลส์ชั่วเวลา

Jose G., Fernando H. [4] ได้ทำการศึกษาวิจัย แรงดันเบรกดาวนของแกปทรงกลมภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยใช้แรงดันอิมพัลส์ ผลที่ได้คือ ความชื้นที่เพิ่มขึ้นกับแรงดันเบรกดาวนที่เพิ่มขึ้นนั้น มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นโดยขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ความชื้น (humidity coefficient)

C.de Salles , M L B Martinez.[5] ศึกษาผลของความชื้นที่มีต่อแรงดันเบรกดาวน เพื่อหาตัวประกอบแก้ไขความชื้นสำหรับการทดลองด้วยแรงดันอิมพัลส์ที่ระดับแรงดันไม่เกิน 180 kV โดยทำการทดลองด้วยแกปทรงกลม-ทรงกลม ที่ระยะแกป 25 mm. - 60 mm. จากการทดลองพบว่าที่ความชื้นสูง ๆ อิมพัลส์ชั่ววงมีความคงทนต่อการเกิดเบรกดาวนสูงชันกว่าอิมพัลส์ชั่วเวลา จากนั้นนำผลการทดลองมาหาความสัมพันธ์ของตัวประกอบแก้ไขความชื้นกับ h/δ เพื่อนำไปใช้ในการแปลงค่าแรงดันสำหรับการทดสอบแรงดันสูงต่อไป

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ทดลองหาแรงดันเบรกดาวนของแกปทรงกลมมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร ที่ภาวะอากาศของห้องทดลองไฟฟ้าแรงสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อป้อนแรงดันอิมพัลส์ ทั้งชั่ววงและชั่วเวลา และแรงดันสูงกระแสลับ ที่ระยะแกปอากาศตั้งแต่ 1-12 เซนติเมตร เพื่อหาตัวประกอบแก้ไขความชื้น ที่สามารถนำไปใช้เป็นมาตรฐานในการวัดแรงสูงในภาวะอากาศที่มีความชื้นสูงต่อไป

1.5 ขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการของกระบวนการเกิดเบรกดาวนในแกปอากาศของทรงกลมมาตรฐาน โดยค้นคว้าจากเอกสาร หนังสือ และบทความวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์
2. ออกแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง
3. ทำการทดลองหาแรงดันเบรกดาวนอิมพัลส์ทั้งชั่ววงและชั่วเวลา และแรงดันกระแสลับ ที่ความชื้นต่าง ๆ
4. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
5. เรียบเรียง ตรวจสอบ และจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์เสนอต่อกรรมการ

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงผลของความชื้นที่มีต่อแรงดันเบรกดาวนอิมพัลส์ ทั้งชั่ววอกและชั่วลบ และแรงดันกระแสสลับ
2. ได้ข้อมูลที่จะนำไปหาตัวประกอบแก้ไขความชื้นที่ภาวะความชื้นสูง ซึ่งจะช่วยให้การสอบเทียบอุปกรณ์วัดแรงดันสูงด้วยแถบทรงกลมตามมาตรฐาน IEC 60052 มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

บทที่ 2

การเกิดเบรกดาวน์ในก๊าซ

2.1 เบรกดาวน์ในก๊าซ

ลักษณะสมบัติของวัสดุฉนวนนับว่ามีความสำคัญยิ่งต่อเทคนิคการฉนวนด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง ก๊าซนั้นเป็นฉนวนชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเทคนิคการฉนวน สภาพการเป็นฉนวนอย่างสมบูรณ์ของก๊าซจะเสียไปเมื่อมีดีสชาร์จ (Discharge) ในก๊าซเกิดขึ้น ดีสชาร์จในก๊าซเป็นการอธิบายปรากฏการณ์การไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านก๊าซ โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ ได้แก่ อิเล็กตรอน และไอออนที่เกิดจากกระบวนการไอออไนเซชัน (Ionization) ซึ่งกระบวนการไอออไนเซชันจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีสนามไฟฟ้าทำให้อนุภาคประจุเคลื่อนที่ระหว่างอิเล็กโทรด โดยที่สนามไฟฟ้าที่จะมากกระตุ้นให้อนุภาคประจุมีพลังงานมากพอทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาเป็นประจุอิสระ และเมื่ออิเล็กตรอนมีพลังงานจลน์มากพอที่จะชนกับโมเลกุลจนเกิดกระบวนการแตกตัวของอิเล็กตรอนออกจากโมเลกุลของก๊าซรวมกับการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวอิเล็กโทรดเมื่อได้รับความเครียดสนามไฟฟ้าสูง จนกระทั่งอิเล็กตรอนอิสระมีจำนวนมากพอที่จะทำให้ก๊าซ มีสภาพนำไฟฟ้าและเกิดเบรกดาวน์ [7,10,15] การดีสชาร์จเบรกดาวน์ในแก๊สอาจแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ เบรกดาวน์แบบสมบูรณ์ และเบรกดาวน์เพียงบางส่วน

1) เบรกดาวน์แบบสมบูรณ์ (Complete Breakdown) หมายถึงการเกิดเบรกดาวน์ตลอดแก๊สเชื่อมโยงระหว่างอิเล็กโทรด ทำให้วัสดุฉนวนเสียสภาพการฉนวนโดยสิ้นเชิง แรงดันที่ตกคร่อมอิเล็กโทรดจะมีค่าน้อยและมีกระแสสูงมากไหลตามแนวที่เกิดเบรกดาวน์ซึ่งค่ากระแสเบรกดาวน์นี้ขึ้นอยู่กับวงจรไฟฟ้า เรียกแรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์สมบูรณ์ว่าแรงดันเบรกดาวน์ U_b (Breakdown Voltage)

2) เบรกดาวน์เพียงบางส่วน (Partial Breakdown) หรือเบรกดาวน์ไม่สมบูรณ์จะเกิดขึ้นกับระบบฉนวนที่มีสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ เบรกดาวน์เพียงบางส่วนจะเกิดก่อนเบรกดาวน์สมบูรณ์ โดยเป็นการเกิดไอออไนเซชันในแก๊สเพียงบางส่วน เช่น ดีสชาร์จแบบโคโรน่า เรียกแรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์บางส่วนว่า แรงดันเริ่มเกิด U_i (Inception Voltage)

2.2 กลไกการเกิดเบรกดาวน

การเกิดเบรกดาวน หมายถึง การเปลี่ยนสภาพการชนวนไปสู่สภาพนำไฟฟ้าคือเป็นช่วงต่อระหว่างสถานภาพที่กระแสไหลประทังตัวเองไม่ได้ (Nonself-sustained) ไปสู่สถานภาพที่กระแสไหลประทังตัวเองได้ (Self-sustained) ช่วงต่อดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้เมื่อในอิเล็กโตรดมีจำนวนอิเล็กตรอนหรือไอออนมากพอจนทำให้อิเล็กโตรดมีสภาพนำไฟฟ้าสูงและโดยทฤษฎีแล้วกระแสไหลเป็นค่าอนันต์ คือกระแสจะถูกจำกัดด้วยค่าของวงจรมานอกเท่านั้น

การเกิดเบรกดาวนนั้นสามารถอธิบายได้ด้วย 2 ทฤษฎี คือ ทฤษฎีกลไกเบรกดาวนของทาวน์เซนต์ (Townsend Theory) และทฤษฎีกลไกเบรกดาวนแบบสตรีมเมอร์ (Streamer Theory) ซึ่งในขั้นแรกถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้อธิบายการเกิดเบรกดาวนและหาแรงดันเบรกดาวนในสนามไฟฟ้ากระจายแบบสม่ำเสมอ และต่อมาถูกปรับปรุงเพื่อหาระดับแรงดันวิกฤตหรือแรงดันเบรกดาวนในสนามไฟฟ้ากระจายแบบไม่สม่ำเสมออีกด้วยทั้งสองทฤษฎีนี้ใช้พื้นฐานของการเกิดอะวาลานซ์วิกฤต (Critical Avalanche) เป็นจุดเปลี่ยนจากอะวาลานซ์ไปสู่การเกิดเบรกดาวนตามกลไกเบรกดาวนของทาวน์เซนต์และจากอะวาลานซ์ไปสู่สตรีมเมอร์ตามกลไกเบรกดาวนสตรีมเมอร์

2.2.1 กลไกเบรกดาวนของทาวน์เซนต์

กลไกเบรกดาวนของทาวน์เซนต์สามารถอธิบายการเกิดเบรกดาวนได้ดังนี้ โดยเบรกดาวนนั้นเกิดขึ้นจากจำนวนอิเล็กตรอนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอิเล็กโตรดและการเพิ่มขึ้นของอิเล็กตรอน สืบเนื่องมาจากการไอออไนเซชัน เป็นกระบวนการขั้นต้น (Primary or α - process) คืออิเล็กตรอนอิสระเริ่มต้นที่ได้รับพลังงานจากการเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าวิ่งไปชนโมเลกุลทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากโมเลกุลเป็นอิเล็กตรอนอิสระที่เพิ่มทวีคูณจนเกิดเป็นอะวาลานซ์ แต่ลำพังกระบวนการขั้นต้นนี้ไม่สามารถทำให้เกิดเบรกดาวนได้จะต้องมีกระบวนการขั้นสองมาเสริม โดยไอออไนเซชันกระบวนการขั้นสอง (Secondary process) นี้ประกอบด้วย การเกิดไอออไนเซชันโดยไอออนบวกวิ่งชนโมเลกุลของก๊าซ (β - process) และกระบวนการเพิ่มทวีคูณของอิเล็กตรอนที่ปล่อยหลุดจากแคโทด (γ - process) ซึ่งเกิดจากไอออนบวกที่มีพลังงานมากพอวิ่งชนแคโทดทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากแคโทด

ระหว่างที่อนุภาคประจุเคลื่อนที่ไประหว่างอิเล็กโตรดอาจชนกัน และเกิดไอออไนเซชันขึ้นได้หลายครั้งก่อนที่จะถึงอิเล็กโตรด ทฤษฎีทาวน์เซนต์นั้นได้ชี้ให้เห็นว่าจำนวนการเกิดไอออไนเซชันต่อหนึ่งหน่วยระยะที่อนุภาคประจุเคลื่อนที่ไป กำหนดได้ด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การเกิดไอออไนเซชันของทาวน์เซนต์ (Townsend Ionization Coefficient) โดยอนุภาคประจุวิ่งชนโมเลกุลใน

อิเล็กตรอน แบ่งเป็นสัมประสิทธิ์ α และ β โดย α เป็นค่าเฉลี่ยจากการชนของกระบวนการไอออนไนเซชันของอิเล็กตรอน 1 ตัวที่เคลื่อนที่ไปในแก๊สระยะ 1 ซม. ส่วน β เป็นจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดจากไอออนหนึ่งตัวชนอะตอมของแก๊สต่อหน่วยระยะทางตามแนวสนามไฟฟ้า แต่เนื่องจากไอออนบวกมีมวลมากเคลื่อนที่ช้า จึงเป็นการยากที่จะเกิดกระบวนการ β ได้ ดังนั้นกระบวนการขั้นที่สองที่สำคัญคือ กระบวนการ γ อิเล็กตรอนที่เกิดจากกระบวนการ γ ซึ่งเป็นกระบวนการขั้นที่สองนี้ มีที่มาจาก

1. ไอออนบวกชนแคโทด (γ_i) อิเล็กตรอนจะหลุดจากแคโทดได้ต้องได้รับพลังงานจากไอออนบวกอย่างน้อยเท่ากับเวิร์คฟังก์ชันของโลหะที่ใช้ทำแคโทดนั้น

2. โฟตอนชนแคโทด (γ_c) ระยะเวลาที่เกิดอะวาลานซ์ อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นไม่เพียงแต่ทำให้โมเลกุลแก๊สเกิดไอออนไนเซชันเท่านั้นแต่ยังทำให้เกิดโฟตอนอีกด้วย โฟตอนที่เกิดขึ้นบางส่วนนี้จะวิ่งเข้าหาแคโทดและทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาได้ เรียกอิเล็กตรอนที่หลุดจากการชนนี้ว่า โฟโตอิเล็กตรอน (Photo Electron)

3. โฟตอนไอออนไนเซชัน (γ_p) โฟตอนที่เกิดขึ้นทำให้เกิดโฟโตไอออนไนเซชันในโมเลกุลแก๊ส ดังนั้น $\gamma = \gamma_i + \gamma_c + \gamma_p + \dots$ กระบวนการขั้นที่สองเหล่านี้อาจเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันก็ได้ และมักเรียก γ นี้ว่าสัมประสิทธิ์ไอออนไนเซชันที่สองของทาวน์เซนต์ (Townsend Ionization Coefficient) อิเล็กตรอนที่เกิดจากกระบวนการขั้นที่สองนี้จะทำให้เกิดอะวาลานซ์เพิ่มขึ้น กระบวนการเหล่านี้จะเกิดขึ้นซ้ำๆ จนกระทั่งเกิดเบรกดาวน์ขึ้นทั้งหมดนี้เรียกว่ากลไกเบรกดาวน์ของทาวน์เซนต์

สามารถเขียนเงื่อนไขการเกิดเบรกดาวน์นี้ได้ดังสมการ (2.1) โดย d คือระยะแกป และ Γ มีค่าเป็น $\beta/\alpha + \gamma$

$$\Gamma(e^{\alpha d} - 1) \geq 1 \quad (2.1)$$

2.2.2 กลไกเบรกดาวน์แบบสตรีมเมอร์

เนื่องจากกลไกเบรกดาวน์ตามทฤษฎีของทาวน์เซนต์ไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์การเกิดเบรกดาวน์ได้ทุกกรณี เช่น

1) เวลาที่ใช้ในการก่อตัวอะวาลานซ์ เมื่อคำนวณเวลาตามกระบวนการของทาวน์เซนต์ที่ใช้สร้างอะวาลานซ์ของอิเล็กตรอนโดยการชนแตกตัวและปล่อยอิเล็กตรอนออกจากแคโทดจะพบว่ามากกว่าเวลาที่วัดได้จากการทดลองหรือแม้แต่คิดเวลาที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่โดยตรงจากแคโทดผ่านแกปไปยังแอโนดโดยไม่ชนกับโมเลกุลเลยก็ใช้เวลามากกว่าที่ทดลองได้

2) กลไกเบรกดาวนของทาวนด์เซนต์ไม่คำนึงถึง ผลของประจุค้างที่ทำให้สนามไฟฟ้าในอิเล็กโตรดบิดเบือน

3) ลำอาร์คที่เกิดขึ้นมีทั้งลักษณะที่เป็นกิ่งก้านและแบบซิกแซก

4) แรงแดันเบรกดาวนไม่ขึ้นกับชนิดของโลหะที่ใช้ทำแคโทด

จึงมีผู้นำเสนอกกลไกเบรกดาวนแบบสตรีมเมอร์ขึ้น กลไกเบรกดาวนแบบสตรีมเมอร์อธิบายถึงการเกิดเบรกดาวนโดยใช้ผลของประจุค้างเป็นหลัก และใช้อธิบายการเกิดเบรกดาวนในสนามไฟฟ้า ที่กระจายแบบไม่สม่ำเสมอสูงและกรณีช่องอิเล็กโตรดห่างกันมากๆ อันเป็นปรากฏการณ์ที่สลับซับซ้อนเนื่องจากผลของประจุค้าง ผลของประจุค้างทำให้ชนิดชั่วคราวแรงดันที่ป้อนให้อิเล็กโตรดมีผลอย่างมากต่อระดับแรงแดันเบรกดาวน โดยเฉพาะกับอิเล็กโตรดที่มีสนามไฟฟ้าแบบไม่สมมาตร

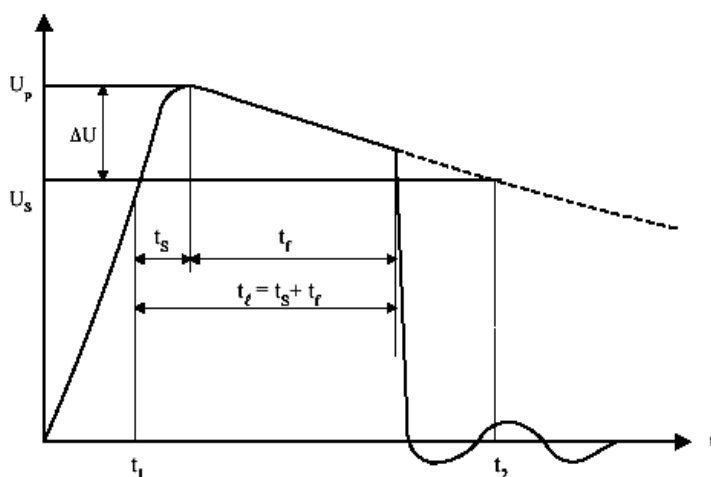
กลไกเบรกดาวนแบบสตรีมเมอร์อธิบายการเกิดสปาร์คดีสชาร์จจากอะวาลานซ์เดี่ยวซึ่งมีประจุค้างเกิดขึ้นจากอะวาลานซ์และจะเปลี่ยนจากอะวาลานซ์ไปเป็นพลาสมาสตรีมเมอร์ทำให้สภาพนำไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและเกิดเบรกดาวนขึ้น หลักการของการเกิดเบรกดาวนตามทฤษฎีกลไกสตรีมเมอร์เป็นผลสืบเนื่องมาจากกระบวนการวิ่งชนไอออนในเซชัน (กระบวนการ α) ของทาวนด์เซนต์เมื่อความหนาแน่นของประจุค้างซึ่งเกิดจากไอออนในเซชันมีค่าเกินกว่าค่าวิกฤตค่าหนึ่งประจุค้างที่เกิดจากอะวาลานซ์ จะเปลี่ยนอะวาลานซ์ไปเป็นลำไอออนที่มีความเข้มข้นสูง (Channels of Intense Ionization) และจะเกิดโฟโตไอออนในเซชันที่บริเวณปลายหัวสตรีมเมอร์ ทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เกิดสภาพนำไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเรียกว่าสตรีมเมอร์เบรกดาวน โดยเราเรียกสตรีมเมอร์ที่เกิดจากลำไอออนที่มีความเข้มข้นนี้ว่า ลีดเดอร์ (Leader) หรือ สตรีมเมอร์ลำดับที่สอง (Secondary Streamer) การที่เวลาที่ใช้ในการเบรกดาวนในกรณีสนามไฟฟ้ากระจายแบบไม่สม่ำเสมอมีค่าน้อยกว่าที่คำนวณได้จากกลไกเบรกดาวนของทาวนด์เซนต์ก็เนื่องมาจากการเกิดโฟโตไอออนในเซชันที่บริเวณปลายลีดเดอร์นั่นเอง

เงื่อนไขการเกิดสตรีมเมอร์เบรกดาวน กำหนดด้วยสนามไฟฟ้าจากประจุค้าง โดยสตรีมเมอร์จะเกิดขึ้นเมื่ออะวาลานซ์มีประจุเท่ากับอะวาลานซ์วิกฤตประมาณ 10^8 ตัว โดยไม่ขึ้นกับชนิดและความดันก๊าซ

2.3 การเบรกดาวนของแรงแดันอิมพัลส์

แรงแดันกระแสสลับ หรือ แรงแดันกระแสตรง เป็นกรณีของแรงแดันอยู่ตัว (steady state voltage) แรงแดันที่ป้อนมีค่าคงตัว U_0 แต่แรงแดันอิมพัลส์ แรงแดันจะคงอยู่ในช่วงระยะเวลาอันสั้น นั่นคือ สนามไฟฟ้าจะคงอยู่ในเวลาอันสั้นด้วย เมื่อขนาดของ แรงแดันอิมพัลส์เท่ากับขนาดของ

แรงดันอยู่ตัวที่ควรที่จะเกิดเบรกดาวนได้ แต่ปรากฏว่ายังไม่เกิดเบรกดาวน จะต้องรอเวลาอีกช่วง ระยะเวลาหนึ่งเบรกดาวนจึงจะเกิดขึ้นได้ ช่วงเวลานับตั้งแต่ขนาดของแรงดันอิมพัลส์เท่ากับแรงดันสถานะอยู่ตัวไปจนถึงเวลาเบรกดาวนเกิดขึ้นจริงของแรงดันอิมพัลส์ เรียกว่า เวลาล่าช้าของการเกิดเบรกดาวน t_l [14].



รูปที่ 2.1 เวลาล่าช้าของการเกิดเบรกดาวน t_l

2.3.1 เวลาล่าช้าของการเกิดเบรกดาวน

เวลาล่าช้าของการเกิดเบรกดาวน t_l (Time lag of Breakdown) ในแรงดันอิมพัลส์นั้น สนามไฟฟ้าคงอยู่ในช่วงเวลาเพียงไม่กี่วินาที อิเล็กตรอนที่พอเหมาะจากธรรมชาติ อาจจะไม่เพียงพอที่จะเริ่มต้นทำให้เกิดอะวาลานซ์ไปสู่การเกิดเบรกดาวนได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณของช่องว่างอากาศที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงพอ อิเล็กตรอนที่อยู่ในปริมาณของช่องว่างอากาศกระจาย เป็นสถิติ ฉะนั้น ตั้งแต่แรงดันอิมพัลส์เพิ่มสูงเท่ากับแรงดันสถานะคงตัว U_s จนกระทั่งพบ อิเล็กตรอนเริ่มต้น จึงเป็นสถิติด้วย เรียกว่า เวลาล่าช้าสถิติ t_s (Statistic time lag) เมื่อพบ อิเล็กตรอนเริ่มต้น แล้วจะต้องใช้เวลาในการไอออนไนเซชัน สร้างอะวาลานซ์ตามกระบวนการกลไกเบรกดาวนเพื่อให้ได้อิเล็กตรอนตามเงื่อนไข ช่วงเวลานี้เรียกว่า เวลาล่าช้าก่อตัว t_f (formative time lag) จะเห็นว่าเวลาล่าช้าของการเกิดเบรกดาวนประกอบด้วย

$$\text{เวลาล่าช้ารวม} \quad t_l = t_s + t_f \quad (2.2)$$

แรงดันเบรกดาวนอิมพัลส์ U_p จะต้องมีค่าสูงกว่าแรงดันเบรกดาวนสถานะอยู่ตัว U_s โดย อัตราส่วนแรงดัน U_p ต่อแรงดัน U_s คือ U_p/U_s เรียกว่าอัตราส่วนอิมพัลส์ (Impulse Ratio)

U_s = Static Breakdown Voltage (กระแสสลับ หรือ กระแสตรง)

U_p = ค่ายอดแรงดันอิมพัลส์

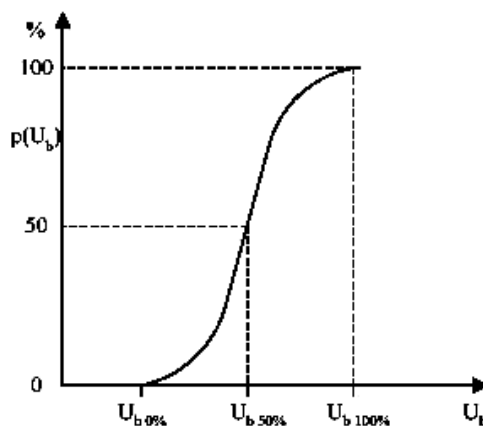
$U_p - U_s$ เรียกว่า แรงดันเกิน

อัตราส่วน U_p / U_s และ $U_p - U_s$ มีประโยชน์ในการออกแบบอุปกรณ์ป้องกัน

แรงดันอิมพัลส์มีความชันสูง (dU/dt) ช่วงเวลาหน้าคลื่นสั้นหรือเวลาที่แรงดันเพิ่มขึ้นถึงค่ายอดแล้วลดลงก็ยิ่งสั้น แสดงว่าสนามไฟฟ้าคงอยู่สั้นมาก โอกาสเกิดเบรกดาวน์ก็น้อยลง จะให้เกิดเบรกดาวน์ต้องเพิ่มความเครียดสนามไฟฟ้าซึ่งก็คือเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นนั่นเอง

2.3.2 ความน่าจะเป็นในการเกิดเบรกดาวน์

การป้อนแรงดันให้กับอุปกรณ์ทดสอบที่ระดับแรงดันหนึ่งมีโอกาสที่จะเกิดเบรกดาวน์หรือไม่เกิดก็ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับแรงดันป้อน โดยค่ายอดแรงดันอิมพัลส์สูงสุดที่ไม่ว่าจะป้อนแรงดันอิมพัลส์ที่ระดับแรงดันนี้กี่ครั้งก็ไม่ทำให้เกิดการเบรกดาวน์ได้เลย เราเรียกระดับค่ายอดแรงดันนั้นว่า $U_{0\%}$ หรือค่าคงทนอยู่ได้ต่อแรงดันอิมพัลส์ (Impulse Withstand Voltage) นั่นคือค่ายอดแรงดันอิมพัลส์ที่มีโอกาสเบรกดาวน์เป็น 0% ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดการทดสอบการฉนวนที่ต้องทนต่อแรงดันอิมพัลส์ได้ (Basic Impulse Insulation Level, BIL) แต่เมื่อเพิ่มค่ายอดแรงดันขึ้นเรื่อยๆจนค่ายอดแรงดันอิมพัลส์ต่ำสุดค่าหนึ่งที่ไม่ว่าจะป้อนแรงดันกี่ครั้งก็จะเกิดเบรกดาวน์ขึ้นทุกครั้งเราเรียกระดับแรงดันนั้นว่า $U_{100\%}$ หรือเรียกว่าระดับแรงดันป้องกัน (Protective Level) ซึ่งก็คือค่ายอดแรงดันอิมพัลส์ที่มีโอกาสเบรกดาวน์เป็น 100% ถ้าเพิ่มแรงดันสูงกว่าแรงดัน $U_{100\%}$ นี้ก็จะเกิดเบรกดาวน์ทุกครั้งและ $U_{50\%}$ คือ ค่ายอดแรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์เป็นจำนวนครึ่งครึ่งหนึ่งของจำนวนครั้งที่ป้อนทั้งหมด แสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 2.2 [7].



รูปที่ 2.2 ความน่าจะเป็นในการเกิดแรงดันเบรกดาวน์ $U_{50\%}$

ถ้าข้อมูลแรงดันเบรกดาวนีย์มีจำนวนน้อยฟังก์ชันการกระจายของแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวนีย์ อาจจะไม่เป็น ฟังก์ชันการกระจายแบบปกติ เช่น เป็นแบบล็อกปกติ แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล หรือแบบอื่นๆ แต่อาจแทนการกระจายของข้อมูลนี้ด้วยฟังก์ชันการกระจายแบบปกติได้เพราะให้ผลการคำนวณค่า $U_{50\%}$ และ σ ไม่ผิดพลาดมากนักเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณจากฟังก์ชันที่ถูกต้อง [16]. จึงถือได้ว่าฟังก์ชันกระจายของแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวนีย์มีลักษณะเป็นฟังก์ชันการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ซึ่งสามารถหาค่า $U_{0\%}$ และ $U_{100\%}$ ได้โดย [16]

$$U_{0\%} = U_{50\%} - 3\sigma \quad (2.3)$$

$$U_{100\%} = U_{50\%} + 3\sigma \quad (2.4)$$

σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งสามารถหาค่า $U_{50\%}$ และ σ จากการทดลองได้หลายวิธีด้วยกัน วิธีการทดลองที่นิยมใช้หาคือ วิธีเส้นกราฟแรงดันหลายระดับ, วิธีปรับขึ้นลง ซึ่งจะกล่าวถึงในบทต่อไป

นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากทั้ง 2 วิธีข้างต้นสามารถใช้วิธี Maximum Likelihood Method ซึ่งเป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ คำนวณหาค่า $U_{50\%}$ และ σ ได้โดยตรงโดยไม่ต้องใช้กราฟทางสถิติ (วิธีคำนวณแสดงใน ภาคผนวก ข.)

บทที่ 3

การวัดแรงดันสูงด้วยแกปทรงกลม

3.1 แกปทรงกลม

การวัดแรงดันสูงด้วยแกปทรงกลม เป็นวิธีที่ง่าย และมีความแน่นอนเชื่อถือได้ โดยอาศัยการเกิดสปาร์ก หรือเบรกดาวนระหว่างทรงกลมโลหะ ที่วางอยู่ในอากาศ หรือ ก๊าซ ซึ่งเป็นไปตามกฎการเกิดดีสชาร์จของก๊าซ คือสปาร์กหรือเบรกดาวนจะเกิดขึ้น เมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าถึงค่าหนึ่ง นั่นก็คือจะเกิดเบรกดาวนขึ้นเมื่อแรงดันสูงถึงค่า ๆ หนึ่ง ซึ่งเป็นค่าแรงดันเบรกดาวนสถิติ (Statistic Breakdown Voltage) ที่ทราบค่าความคลาดเคลื่อนแน่นอน ทำซ้ำได้

3.1.1 ลักษณะสมบัติของแกปอากาศทรงกลม

- สนามไฟฟ้าระหว่างทรงกลมที่เท่ากันจะมีลักษณะเกือบสม่ำเสมอ ถ้าระยะช่องแกป S น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลาง D ($S < D/2$)
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมาตรฐานตั้งแต่ 2 ซม. ถึง 200 ซม. ดังแสดงในตาราง 3.1 [7]

ตารางที่ 3.1 ขนาดทรงกลมมาตรฐานและระยะแกปวัดแรงดัน

ที่	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง D ตามมาตรฐาน (cm)	ระยะแกป S ห่างไม่เกิน (cm)	วัดแรงดันได้ สูงสุด (kV)
1	2	1	30.7
2	5	2.5	65.5
3	6.25	3	79.5
4	10	5	123
5	12.5	6	146
6	15	7.5	177
7	25	12	275
8	50	25	515
9	75	36	750
10	100	50	1010
11	150	75	1440
12	200	100	1840

- เป็นอุปกรณ์วัดที่ไม่มีตัวชี้จะสังเกตได้จากการเกิดสปาร์กหรือเบรกดาวน
- วัดได้ทั้ง กระแสตรง, กระแสสลับ และ แรงดันอิมพัลส์
- มีความถูกต้องเที่ยงตรง $\pm 3\%$

ค่าแรงดันเบรกดาวนของแกปทรงกลม จะมีความถูกต้องตามเกณฑ์ดังกล่าวเมื่อ $S \leq D/2$ ฉะนั้นการเลือกขนาดทรงกลมจึงขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันที่ต้องการวัด ทรงกลมแต่ละขนาดวัดแรงดันได้สูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 3.1

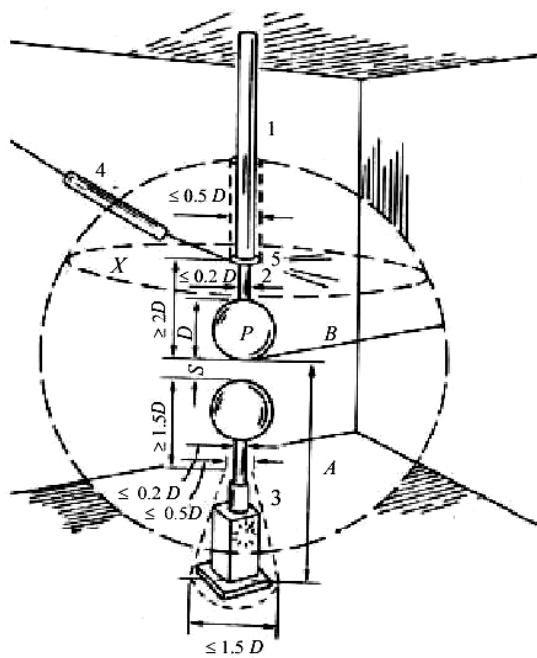
3.1.2 มาตรฐาน IEC 60052

ในการวิจัยนี้ได้ใช้มาตรฐาน IEC 60052 อันเป็นมาตรฐานสากล ในการทดลองและอ้างอิงศึกษาวิจัย

3.1.2.1 ข้อกำหนดเกี่ยวกับทรงกลม

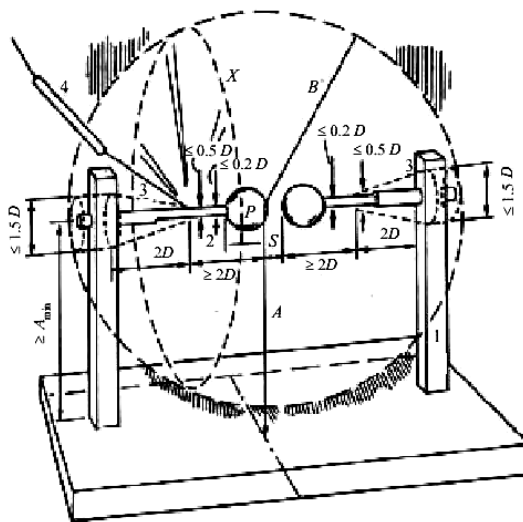
มาตรฐานได้กำหนดไว้ว่าทรงกลมที่จะใช้ทำแกปทรงกลมนั้นจะต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2 % และควรจะเรียบมาก โดยเฉพาะในพื้นที่ $0.3D$ ซึ่งวัดโดยใช้จุด สปาร์ก P เป็นจุดศูนย์กลาง ผิวทรงกลมจะต้องสะอาดปราศจากฝุ่นละออง คราบมัน หรือสารที่ใช้เคลือบ นอกจากนั้นยังต้องแห้งสนิทและจะไม่ใช้แกปทรงกลมมาตรฐานวัดแรงดันเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเกิน 90% เนื่องจากไอน้ำในอากาศอาจกลั่นตัวมาเกาะที่ผิวทรงกลม ทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างแกปทรงกลมมีการเปลี่ยนแปลง

ระยะ A และ B (ดูรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 ประกอบ) เป็นค่าที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากระยะดังกล่าวเป็นตัวกำหนดพื้นที่ว่างที่ต้องการในการทดสอบ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือระยะที่จะต้องไม่มีวัตถุใดซึ่งสามารถจะทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างแกปทรงกลมมีการเปลี่ยนแปลง ระยะ A และ B ได้กำหนดตามมาตรฐาน IEC แสดงดังตารางที่ 3.2 (เมื่อ S คือ ระยะห่างของแกปทรงกลม)



- ความหมายของสัญลักษณ์ในรูปทั้งสอง
- 1 ฉนวนรองรับ
 - 2 ก้านยึดทรงกลม
 - 3 เกียร์ขับเคลื่อนทรงกลมเพื่อปรับระยะ
 - 4 สายแรงสูงต่อกับความต้านทานห่วง
 - 5 ที่ต่อสายแรงสูง
- P จุดที่เกิดสปาร์กของแกปทรงกลม
 A ความสูงของ P เหนือพื้นดิน
 B รัศมีของย่านปลอดภัยจากวัตถุอื่นใด
 ฉะนั้นความต้านทานห่วงจะต้องอยู่เหนือ
 ระนาบ X

รูปที่ 3.1 การติดตั้งแกปทรงกลม $> 25 \text{ cm}\Phi$ แนวตั้ง



รูปที่ 3.2 การติดตั้งแกปทรงกลม $\le 25 \text{ cm}\Phi$ แนวนอน

ตารางที่ 3.2 ระยะ A และ B ตามมาตรฐาน IEC 60052

เส้นผ่านศูนย์กลาง D (cm)	ค่าน้อยที่สุดของ ความสูง A	ค่าที่มากที่สุดของ ความสูง A	ค่าน้อยที่สุดของ ระยะ B
≤ 6.25	7D	9D	14 S
10-15	6D	8D	12 S
25	5D	7D	10 S
50	4D	6D	8 S
75	4D	6D	8 S
100	3.5D	5D	7 S
150	3D	4D	6 S
200	3D	4D	6 S

3.1.2.2 ข้อพึงปฏิบัติในการใช้แกปทรงกลม

- ต้องติดตั้งและยึดตามมาตรฐาน IEC 60052 แนะนำไว้ ถ้าทรงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 25 เซนติเมตร มักจะติดตั้งในแนวนอน ถ้าใหญ่กว่า 25 เซนติเมตร มักจะติดตั้งในแนวตั้ง ดังรูป 3.1 และรูปที่ 3.2

- ระยะห่างระหว่างทรงกลมจะต้องไม่เกินครึ่งหนึ่งของ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลม

- กระแสที่เกิดจากการสปาร์กไม่ควรเกิน 1 แอมแปร์ โดยต่อความต้านทานอันดับไว้กับทรงกลมเพื่อจำกัดกระแส และความต้านทานตัวนี้จะทำหน้าที่หน่วง (damp) ความถี่สูง อันเกิดจากมี L และ C

- ควรจะตัดวงจรที่ป้อนแรงดันให้กับวงจรทันทีหลังจากเกิดสปาร์กแล้ว เพื่อป้องกันผิวทรงกลมเสีย

- ค่าที่ถือว่าถูกต้องนั้นได้จากการหาค่าเฉลี่ยจากการวัดหลายๆ ครั้ง (ประมาณ 5 ครั้ง) ค่าที่วัดได้ครั้งแรกมักจะมีค่าต่ำ อันเนื่องมาจากมีฝุ่นละอองที่ผิวของทรงกลม ดังนั้นก่อนใช้ควรขัดมันและทำความสะอาดพื้นผิว ทรงกลมก่อนเสมอ

3.1.2.3 การวัดแรงดันเบรกดาวนซ์ของแก๊ปอากาศทรงกลม

การวัดแรงดันสูงด้วยแก๊ปทรงกลมมาตรฐาน เป็นการเปรียบเทียบค่าแรงดันสูงโดยอาศัยค่าแรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวนซ์ (เกิดสปาร์ก) ในอากาศระหว่างทรงกลม 2 ลูก ที่ระยะต่างๆกัน ขึ้นอยู่กับความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของอากาศ ระยะช่องว่างอากาศทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลม ,ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของอากาศ และตัวประกอบแก้ไขความชื้น คือ

$$U_b = f(S, D, \delta, k) \quad (3.1)$$

เมื่อ U_b เป็นค่าแรงดันเบรกดาวนซ์ที่ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ)

ตามมาตรฐาน IEC 60052 ได้กำหนดค่าแรงดันเบรกดาวนซ์ของแก๊ปอากาศ ระหว่างทรงกลมไว้ที่สภาวะมาตรฐาน คือ

- อุณหภูมิ $t_0 = 20$ องศาเซลเซียส
- ความดันอากาศ $P_0 = 760$ มม.ปรอท (101.3 kPa)
- ความชื้นสัมบูรณ์ $h = 8.5$ g/m³

ค่าแรงดันเบรกดาวนซ์ที่ภาวะอากาศของห้องทดลอง สามารถหาได้จากการแปลงค่าแรงดันเบรกดาวนซ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน (ภาคผนวก ค.) คือ

$$U_b = \delta \cdot k \cdot U_0 \quad (3.2)$$

เมื่อ U_0 = แรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวนซ์ที่สภาวะมาตรฐาน
 U_b = แรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวนซ์ที่สภาวะอากาศของห้องทดลอง

δ คำนวณได้จากสมการ

$$\delta = \left(\frac{p}{p_0} \right) \cdot \left(\frac{273 + t_0}{273 + t} \right) \quad (3.3)$$

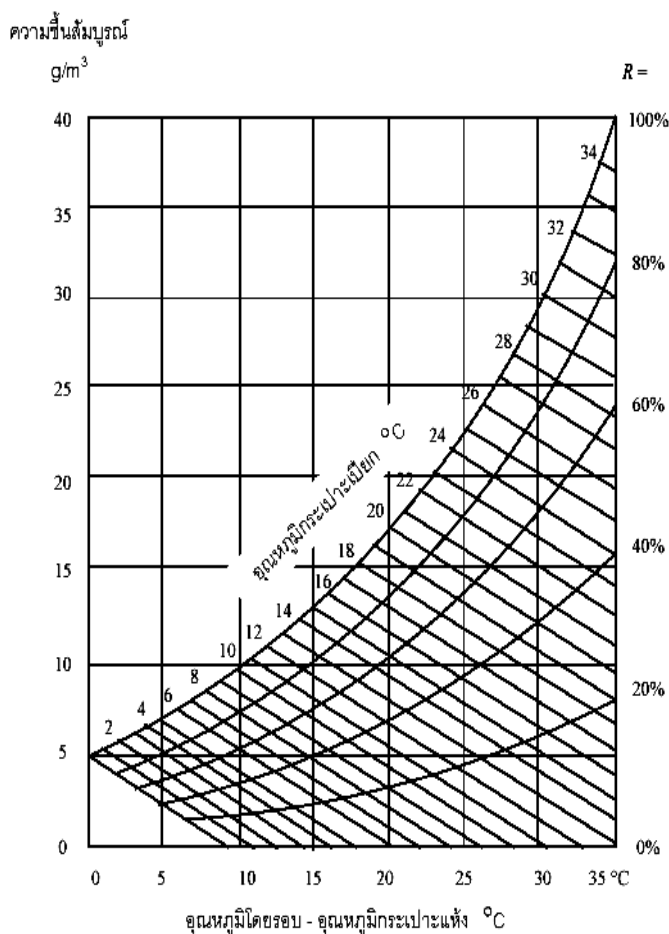
โดยที่ p = ความดันของอากาศที่สภาวะทดสอบ, มีหน่วยเดียวกับ P_0
 t = อุณหภูมิของห้องในขณะที่ทดสอบ เป็นองศาเซลเซียส

ที่สภาวะมาตรฐาน ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (δ) = 1 โดยที่ δ แปรผันตามความดันของอากาศที่สภาวะทดสอบและผกผันกับอุณหภูมิของห้องในขณะทดสอบ

การวัดแรงดันด้วยแก๊ปทรงกลมตามมาตรฐาน IEC 60052 นั้นได้มีการคำนึงถึงผลของความชื้นในบรรยากาศด้วย กล่าวคือ ค่าแรงดันเบรกดาวน์ของแก๊ปทรงกลมจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความชื้นสัมบูรณ์ด้วยอัตรา 0.2% ต่อ g/m^3 ดังนั้นค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้น สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.4)

$$k = 1 + \left(0.002 \times \left(\frac{h}{\delta} - 8.5 \right) \right) \tag{3.4}$$

โดยที่ความชื้นสัมบูรณ์ สามารถหาได้จากกราฟความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศในเทอมอุณหภูมิเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้งและเปียกของ Psychrometer แสดงดังรูป ที่ 3.3



รูปที่ 3.3
กราฟอุณหภูมิกระเปาะแห้ง-
กระเปาะเปียก
เพื่อหาความชื้นสัมบูรณ์

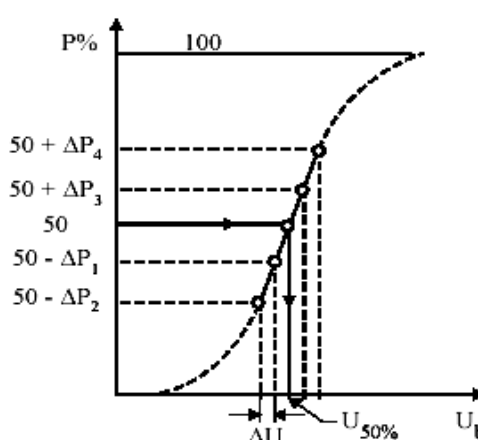
3.2 การวัดแรงดันอิมพัลส์

หลักการวัดแรงดันอิมพัลส์ด้วยแกปทรงกลมก็มีหลักปฏิบัติเช่นเดียวกับการวัดแรงดันกระแสสลับ และแรงดันกระแสตรง กล่าวคือ ค่าแรงดันเบรกดาวน์ของแกปทรงกลมนั้นขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลม และสภาวะอากาศรอบๆ ทรงกลม การเกิดเบรกดาวน์อย่างสมบูรณ์ในช่องว่างที่เป็นอากาศใช้เวลาเพียงไม่กี่ไมโครวินาที เมื่อค่ายอดแรงดันกระแสสลับถึงค่าแรงดันเบรกดาวน์ U_b เบรกดาวน์จะเกิดเมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าถึงค่าหนึ่ง และมีเวลาเพียงพอในการหาอิเล็กทรอนิกส์เริ่มต้นการเกิดไอออไนซ์ และเวลาในการสร้างอะวาลานซ์ ดังที่ได้กล่าวถึงในบทที่แล้ว ซึ่งเวลาดังกล่าวเป็นเชิงสถิติ คือ ใช้เวลาในการสร้างอะวาลานซ์จนเกิดเบรกดาวน์นี้ช้าเร็วต่างกัน เวลาที่ใช้เพื่อหาตัวอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสม ทำให้เกิดการแตกตัวอาจลดลงได้โดยการ ฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตเข้าไปในแกปทรงกลม หรือใช้สารกัมมันตรังสีช่วยให้เกิดอิเล็กทรอนิกส์เริ่มต้นมีมากพอ ซึ่งจะเป็นการช่วยให้การกระจาย (dispersion) ของเวลาที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ลดลง

วิธีการวัดแรงดันอิมพัลส์ด้วยแกปทรงกลม มีความแตกต่างที่สำคัญจากการวัดแรงดันกระแสตรงและแรงดันกระแสสลับ คือ การวัดแรงดันอิมพัลส์นั้นไม่สามารถใช้วิธีค่อยๆ เพิ่มแรงดันสูงจนกระทั่งเกิดเบรกดาวน์ หากแต่ต้องใช้การอัดประจุให้กับตัวเก็บประจุแรงสูงของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ให้ได้ แรงดันอัดประจุตามที่ต้องการก่อน แล้วจึงปล่อยดีสชาร์จออกไปที่แกปทรงกลม ซึ่งอาจจะเกิดเบรกดาวน์หรือไม่เกิดก็ได้ทั้งๆ ที่แรงดันสูงมากพอ ทั้งนี้ขึ้นกับความน่าจะเป็นและขนาดแรงดัน ถ้าแรงดันอัดประจุต่ำเกินไปก็จะไม่เกิดเบรกดาวน์ในแกปทรงกลมวัดแรงดัน แต่ถ้าแรงดันอัดประจุเพิ่มสูงขึ้นมากพอก็จะทำให้มีโอกาสเกิดเบรกดาวน์มากขึ้น และถ้าแรงดันอัดประจุสูงมากเกินไปก็จะเกิดเบรกดาวน์ทุกครั้งที่ดีสชาร์จออกไป ด้วยเหตุนี้เองการวัดแรงดันอิมพัลส์จึงกำหนดเป็นค่าแรงดันเบรกดาวน์ห้าสิบเปอร์เซ็นต์ คือ $U_{50\%}$ อันหมายถึงค่ายอดแรงดันอิมพัลส์เกณฑ์กลาง ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้จำนวนครั้งที่เกิดเบรกดาวน์ที่แกปทรงกลม เป็นครึ่งหนึ่งของจำนวนครั้งที่ดีสชาร์จออกไป ฉะนั้นการหาค่า $U_{50\%}$ จึงหาได้โดยการดีสชาร์จออกไปเป็นจำนวนหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งจำนวนครั้งที่เกิดเบรกดาวน์เป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของจำนวนครั้งที่ดีสชาร์จออกไป เช่น ดีสชาร์จ 10 ครั้ง แล้วเกิดเบรกดาวน์ที่แกปทรงกลม 5 ครั้ง ค่าแรงดันนั้นก็คือ $U_{50\%}$ แต่การที่จะอัดประจุให้ได้แรงดันอัดประจุพอดีที่จะทำได้ค่าแรงดันเบรกดาวน์ห้าสิบเปอร์เซ็นต์พอนั้นทำได้ยากและเสียเวลา โดยทั่วไปจึงวัดค่าแรงดัน $U_{50\%}$ ด้วยวิธีที่นิยม มีด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธีเส้นกราฟแรงดันหลายระดับ และวิธีปรับขึ้นลง

1. วิธีเส้นกราฟแรงดันหลายระดับ (Multiple Level Voltage Method)

เป็นวิธีการหาค่า $U_{50\%}$ ด้วยเส้นกราฟความสัมพันธ์ของความน่าจะเป็นที่จะเกิดเบรกดาวนกับค่ายอดแรงดันอิมพัลส์ที่ป้อน เริ่มโดยป้อนแรงดันอย่างน้อย 6 ครั้งทีละระดับแรงดันแต่ละค่าหรือแต่ละระดับ ΔU ประมาณ 3% โดยเลือกระดับแรงดันที่มีโอกาสเกิดเบรกดาวนอยู่ในช่วงใกล้ๆ ค่า 50% ทั้งค่าที่สูงกว่าและค่าที่ต่ำกว่า 50% ที่คาดหมายไว้ ความน่าจะเป็นของการเบรกดาวนในแต่ละระดับแรงดันหาได้จากจำนวนครั้งที่เกิดเบรกดาวนต่อจำนวนครั้งที่ป้อนในแต่ละระดับแรงดัน จากนั้นพล็อตลงกราฟโดยให้แกนตั้งเป็นค่าความน่าจะเป็น และแกนนอนเป็นค่ายอดแรงดันเบรกดาวนและลากเส้นเชื่อมต่อจุดต่างๆ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เส้นกราฟใช้หาแรงดันเบรกดาวน 50%

2. วิธีปรับขึ้นลง (Up and Down Method)

เป็นวิธีหาค่าแรงดันเบรกดาวน $U_{50\%}$ โดยเลือกระดับแรงดันค่าหนึ่งทีคาดว่าจะเป็ $U_{50\%}$ ป้อนเข้าไปในแกปทรงกลม ทุกครั้งที่ป้อนแรงดัน ถ้าหากไม่เกิดเบรกดาวนให้เพิ่มแรงดันขึ้น ΔU ถ้าหากเกิดเบรกดาวนให้ลดแรงดันลง ΔU โดย ΔU มีค่าประมาณ 3% ของค่าประมาณ $U_{50\%}$ เริ่มต้น ฉะนั้นค่าแรงดันที่ป้อนต่อไปจะขึ้นอยู่กับผลที่เกิดขึ้นจากการป้อนครั้งที่ผ่านมา จำนวนครั้งที่ป้อนแรงดันทั้งหมดควรมีค่า 20 ครั้งเป็นอย่างน้อย หาค่า $U_{50\%}$ ได้จากสมการ k_i คือจำนวนครั้งที่ป้อนแรงดันค่ายอด V_i

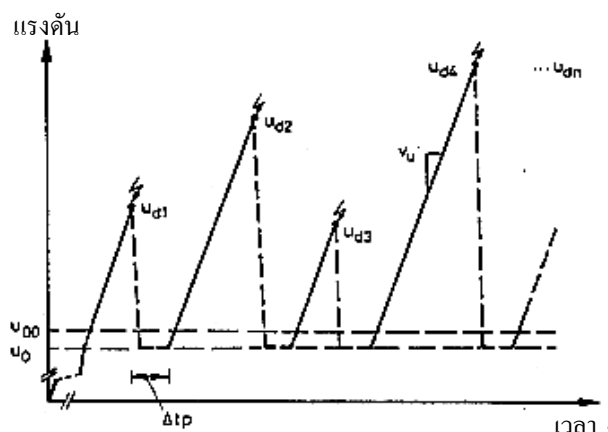
$$U_{50\%} = \frac{\sum k_i U_i}{\sum k_i} \quad (3.5)$$

ถ้าต้องการหาโอกาสเบรกดาวนที่เปอร์เซ็นต์ค่าอื่นต้องเปลี่ยนจำนวนครั้งของการป้อนแรงดันก่อนที่จะปรับแรงดันขึ้นหรือลง

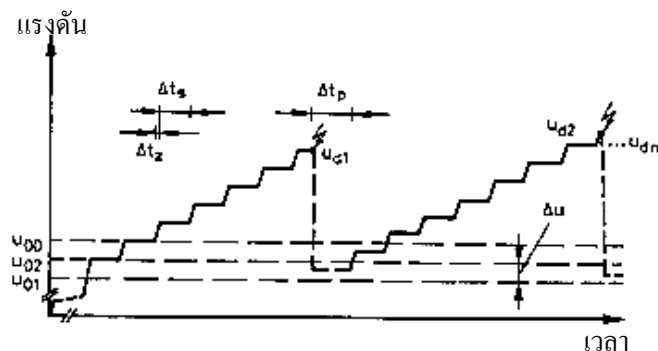
3.3 การวัดแรงดันกระแสสลับ

ในการทดลองหาแรงดันเบรกดาวนั้นวิธีหาค่าแรงดันเบรกดาวนี้ได้หลายวิธีคือ วิธีแรงดันคงที่ (constant voltage) ,วิธีแรงดันเพิ่ม (rising voltage),วิธีแรงดันหลายระดับ (Multiple Level voltage) ,วิธีแรงดันขึ้นและลง (up and down) เป็นต้น การทดสอบแรงดันกระแสสลับนั้น เลือกรูปการทดลองด้วยวิธีแรงดันเพิ่ม ข้อดีของการทดลองด้วยวิธีแรงดันเพิ่ม คือผลการทดลองเบรกดาวนั้นไม่มีผลกระทบของประจุค้าง (space charge) ที่เกิดขึ้นหลังการเกิดเบรกดาวนี้ เหตุที่การทดลองแบบแรงดันเพิ่มไม่มีผลกระทบของประจุค้างเพราะภายหลังการเกิดเบรกดาวแล้วการป้อนแรงดันครั้งต่อไปนั้นจะเริ่มต้นจากแรงดันขั้นต่ำขึ้นไป ทำให้ประจุค้างที่เกิดขึ้นจากการเกิดเบรกดาวครั้งก่อนคืนตัว (recombine) อีกทั้งอากาศยังเป็นฉนวนที่สามารถคืนตัวได้เร็ว เพราะฉะนั้นผลการทดลองที่ได้จึงไม่มีผลกระทบจากประจุค้างมาเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันเบรกดาวนี้ และการเสียหายของผิวทรงกลมและอากาศก็น้อยกว่าวิธีอื่นเนื่องจากการทดลองแรงดันเพิ่มใช้จำนวนครั้งที่เกิดเบรกดาวนี้น้อยครั้งกว่า

การทดลองแรงดันเพิ่มสามารถใช้ได้กับการป้อนแรงดันทุกรูปคลื่นแรงดัน โดยกรณีแรงดันกระแสตรงและกระแสสลับสามารถป้อนแรงดันได้ 2 วิธี วิธีแรก ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ก) เป็นการป้อนแรงดันแบบต่อเนื่องโดยมีอัตราการเพิ่มแรงดันคงที่ โดยมีแรงดันเริ่มต้น (u_0) มีค่าเท่ากับศูนย์ และอัตราการเพิ่มแรงดันอยู่ในช่วง 2 – 5 kV/s วิธีที่สองเป็นการป้อนแรงดันโดยมีการเพิ่มแรงดันเป็นขั้นๆ แต่ละขั้นมีแรงดันเพิ่มขึ้น Δu และคงค่าแรงดันนั้นไว้เป็นเวลา Δt_s ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการนำผลการทดลองไปใช้งาน เช่น 10 วินาที , 1 นาที , 1 ชั่วโมงและ 8 ชั่วโมง เป็นต้น โดยเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับแรงดันแต่ละขั้น Δt_z ต้องมีค่าน้อยมากๆเมื่อเทียบกับ Δt_s (ดังรูป 3.5 ข).



(ก) แรงดันเพิ่มแบบต่อเนื่อง



(ข) แรงดันเพิ่มแบบขั้น

รูปที่ 3.5 การทดลองวิธีแรงดันเพิ่ม กรณีแรงดันกระแสตรงและกระแสสลับ

เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่สามารถแสดง ลักษณะสมบัติของวัสดุทดสอบ (แก๊พทรงกลม) และวิเคราะห์ข้อมูลต่อไปได้อย่างถูกต้อง ในการทดลองแต่ละครั้งพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อค่าแรงดันเบรกดาวนต้องทำการควบคุมให้เหมือนกันในทุกการทดลอง เช่น รูปคลื่นแรงดันที่ใช้ทดลอง , สภาพะที่ทำการทดลอง, อุปกรณ์วัดแรงดันและส่วนแสดงผล เป็นต้น โดยพารามิเตอร์ของการทดลองแรงดันเพิ่มนั้นประกอบด้วย

- แรงดันเริ่มต้น (u_0)
- ช่วงเวลาระหว่างการทดลองแต่ละครั้ง (Δt_p)
- แรงดันเพิ่มแต่ละขั้น (Δu)
- ช่วงเวลาคงแรงดันแต่ละขั้น (Δt_s)
- เวลาที่ใช้เพิ่มแรงดันแต่ละขั้น ($\Delta t_z \ll \Delta t_s$)
- อัตราการเพิ่มแรงดัน (v_0)
- จำนวนครั้งที่ทำการทดลอง (n)

มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- แรงดันเริ่มต้น (u_0) จะเริ่มต้นจากศูนย์หรือมากกว่าก็ได้ โดยที่ต้องเป็นค่าแรงดันที่ไม่มีโอกาสเกิดเบรกดาวนจึงเป็นค่าแรงดันเริ่มต้นได้ โดยทั่วไปกำหนดจากค่าแรงดันเบรกดาวนต่ำสุด (u_{dmin}) ที่พบจากการทดลองในเบื้องต้น ตามความสัมพันธ์ $u_{dmin} > 1.1u_0$ หรือ u_0 ควรต่ำกว่า u_{dmin} อย่างน้อย 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นก่อนทำการทดลองจึงควรทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อสามารถกำหนด u_0 ได้เหมาะสม

- ช่วงเวลาระหว่างการทดลองแต่ละครั้ง (Δt_p) ควรเว้นระยะทดสอบในแต่ละครั้งให้เท่า ๆ กัน สำหรับการทดลองด้วยแก๊พทรงกลมมาตรฐานนั้นตามมาตรฐาน IEC 60052 นั้นกำหนดไว้ที่ 30 s.

- แรงดันเพิ่มแต่ละขั้น (Δu) โดยค่าต่ำสุดขึ้นอยู่กับความสามารถของอุปกรณ์จ่ายแรงดัน ส่วนค่าสูงสุดไม่ควรมีค่ามากกว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) ของแรงดันเบรกดาว์นของวัสดุทดสอบ โดยทั่วไปกำหนดไว้ประมาณ 0.5 s
- ช่วงเวลาคงแรงดันแต่ละขั้น (Δt_s) ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทดลองเช่น การทดสอบความคงทนอยู่ได้ของวัสดุทดสอบใช้เวลาคงแรงดันเท่ากับ 1 นาที หรือจะกำหนดเป็นชั่วโมงก็ได้แล้วแต่วัตถุประสงค์การใช้งาน
- เวลาที่ใช้เพิ่มแรงดันแต่ละขั้น ($\Delta t_2 \ll \Delta t_s$) Δt_2 ควรสั้นกว่า Δt_s มากๆ มิฉะนั้น Δt_2 จะมีผลกระทบต่อผลการทดสอบ
- อัตราการเพิ่มแรงดัน (v_p) กำหนดจากวัตถุประสงค์การทดลองโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 2 – 5 kV/s เช่น การทดลองเบรกดาว์นของน้ำมันหม้อแปลงตามมาตรฐาน IEC 156-1963 กำหนดอัตราการเพิ่มแรงดันเท่ากับ 2 kV/s เป็นต้น โดยปรกติเราใช้อัตราการเพิ่มแรงดันในช่วง 3-5 kV/s ซึ่งอัตราการเพิ่มแรงดันในช่วงนี้ไม่มีผลกระทบต่อผลการทดลอง โดยในการทดลองแรงดันกระแสตรงใช้อัตราการเพิ่มแรงดันเท่ากับ 5 kV/s (ค่าเฉลี่ยจากการวัดจริงในช่วงที่ใช้ทดลอง)
- จำนวนครั้งที่ทำการทดลอง (n) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความแม่นยำของผลการทดลองกล่าวคือจำนวนครั้งที่ทำการทดสอบยิ่งมากผลการทดสอบที่ได้ยิ่งมีความแม่นยำสูง การกำหนดจำนวนครั้งที่ทำการทดสอบสามารถทำได้โดยใช้วิธีการกำหนดจากขอบเขตความคลาดเคลื่อนการกระจาย (distribution free tolerance limits) ทั้งนี้จำนวนครั้งที่ทำการทดสอบ (n) มากกว่าหรือเท่ากับ 20 ครั้ง สามารถหาลักษณะสมบัติเชิงสถิติได้ทุกกรณี โดยจำนวนครั้งการทดสอบน้อยกว่านี้เหมาะสมสำหรับการคำนวณค่าเฉลี่ยเท่านั้น

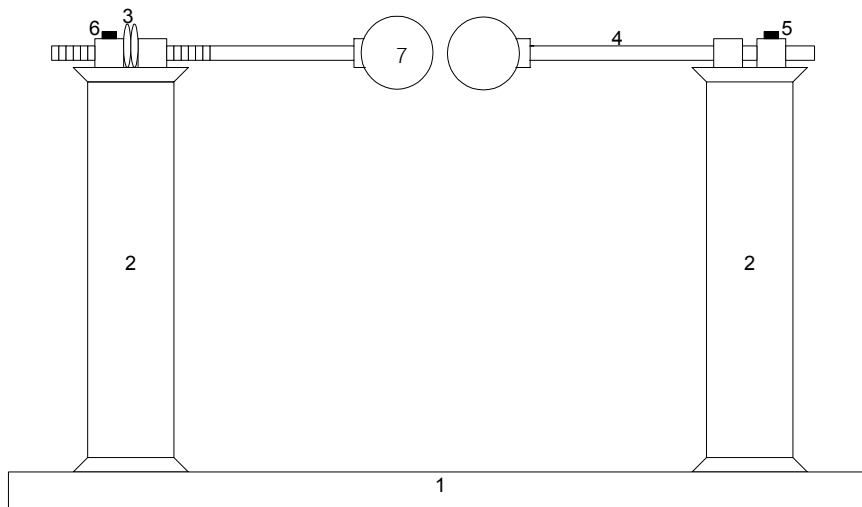
บทที่ 4

การทดลองผลของความชื้นต่อแรงดันเบรกดาวน

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย ชุดทดลอง การเตรียมชุดทดลอง การทดลองและเก็บข้อมูล โดยทำการทดลองด้วยแรงดันอิมพัลส์ไฟฟ้ารูปคลื่นมาตรฐาน 1.2/50 μs และแรงดันกระแสสลับให้กับแก๊พทรงกลม ที่ระยะแก๊พต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลกระทบของความชื้นที่มีต่อการเกิดเบรกดาวนของแก๊พทรงกลม

4.1 ชุดทดลอง

ชุดทดลองที่ใช้ในการหาแรงดันเบรกดาวนในอากาศ ใช้ทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 cm ในการทดลอง เนื่องจากขีดจำกัดของหม้อแปลงทดสอบ แสดงตามรูปที่ 4.1

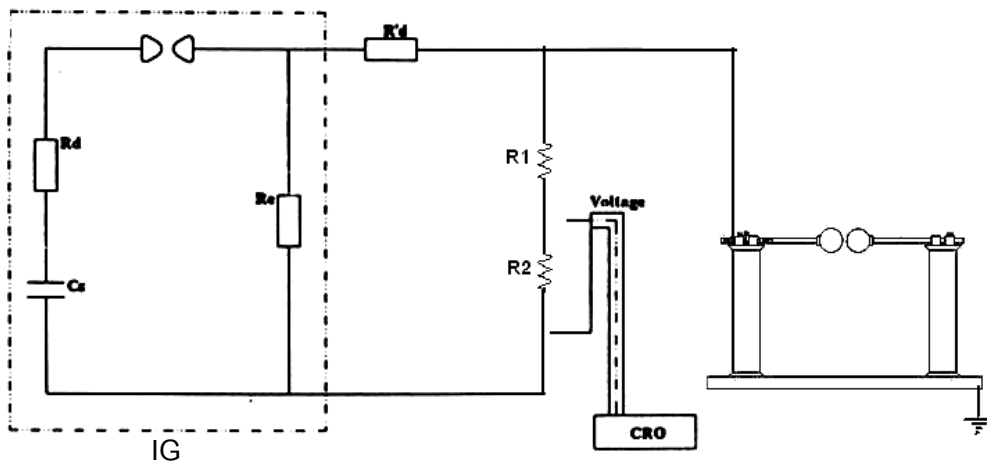


รูปที่ 4.1 ชุดทดลองแก๊พอากาศทรงกลมมาตรฐาน

1. ฐานเหล็ก
2. ฉนวนรองรับ
3. เกียร์ขับเคลื่อนทรงกลมเพื่อปรับระยะ
4. ก้านยึดทรงกลม
5. ที่ต่อสายแรงสูง
6. ที่ต่อสายกราวด์
7. ทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 25 cm ต่อกับแกนตัวนำ แนวนอน

4.2 การทดลองด้วยแรงดันอิมพัลส์

4.2.1 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.2 วงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์เพื่อวัดแรงดันเบรกดาวน์ของแกปทรงกลม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Control Room)

- เครื่องกำเนิดสัญญาณอิมพัลส์ รุ่น E Series 1400 kV 70kJ
- เครื่องวัดสัญญาณอิมพัลส์ รุ่น 721
- เครื่องวัดแรงดันอิมพัลส์ รุ่น 642

ทั้งหมด ออกแบบและประกอบสร้างโดย ผู้ผลิตจาก HAEFELY SWITCHZERLAND

ประกอบด้วย

IG = เครื่องกำเนิดสัญญาณอิมพัลส์ การต่อวงจร ใช้การต่ออนุกรม 1,2,4,8 ชั้น ขึ้นกับระยะของแกปทรงกลมมาตรฐาน

C_s = ค่าความจุไฟฟ้าภายในวงจร ค่าพลังงานสูงสุด 30 kJ

R_d = ค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมภายในวงจร 36 Ω

R_e = ค่าความต้านทานที่ต่อขนานภายในวงจร 1800 Ω

R'_d = ค่าความต้านทานที่ต่อภายนอก

VD(R1,R2) = เครื่องวัดแบ่งแยกแรงดัน

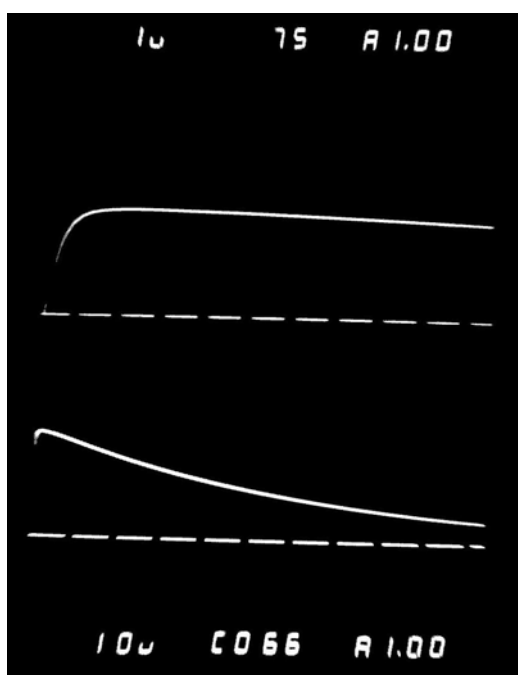
CRO = เครื่องวัดแรงดันอิมพัลส์

4.2.2 การเตรียมชุดทดลอง

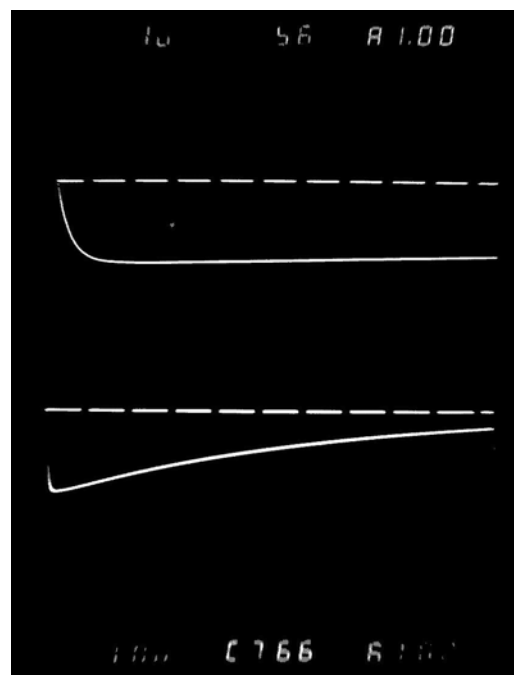
เลือกอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทดลอง ดังนี้

1. เลือกจำนวนชั้น ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์เพื่อใช้สร้างแรงดันได้เพียงพอกับแรงดันอิมพัลส์ที่ต้องการ โดยที่แต่ละชั้นนั้นจะสามารถสร้างแรงดันอิมพัลส์ได้สูงสุด 100 kV แต่เพื่อเป็นการยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ จึงกำหนดให้ใช้งานไม่เกิน 60 kV
2. ใช้โวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวต้านทาน ระดับแรงดัน 400 kV วัดแรงดันเพราะแรงดันของแกปทรงกลมนั้นไม่เกิน 300 kV
3. เลือกขั้วของแรงดันที่ต้องการสร้างโดยการกลับทิศของ Power Diode
4. เลือกค่าความต้านทานหน่วง R_g เนื่องจากในทางปฏิบัติรูปคลื่นที่ได้มักแตกต่างไปจากค่าทฤษฎี โดยเฉพาะค่าเวลาช่วงหน้าคลื่น และค่ายอดของแรงดัน อาจทำให้เกิดการแกว่งได้ ทำให้ไม่ได้รูปคลื่นที่ต้องการ ทั้งนี้เนื่องจากในวงจรมีความเหนี่ยวนำ ซึ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ จึงจำเป็นต้องมีความต้านทานหน่วง ในการทดลองนี้ใช้ค่า 616 Ω สำหรับการต่อ 1,2,4 ชั้น และ 808 Ω สำหรับการต่อ 8 ชั้น โดยดูได้จากรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์มาตรฐานจากการสอบเทียบก่อนทำการทดลอง

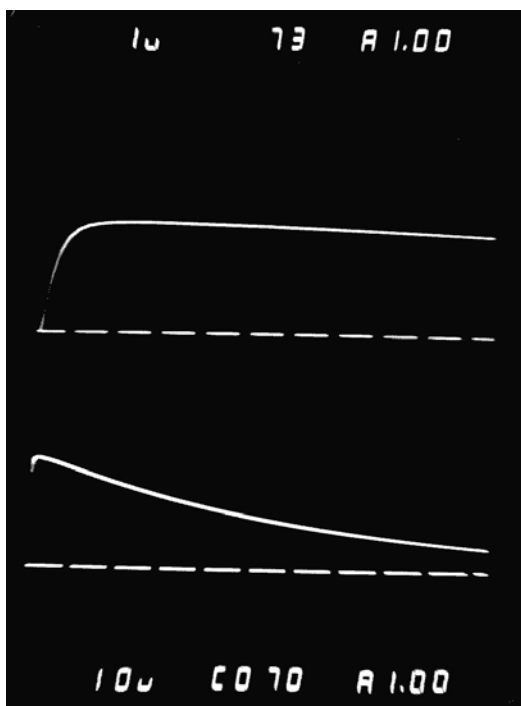
โดยวัดหน้าคลื่น และหางคลื่นให้ได้รูปคลื่นตรงตามที่มาตรฐานกำหนดแสดงตามรูปที่ 4.3 (ก - ฉ.) ได้ดังนี้



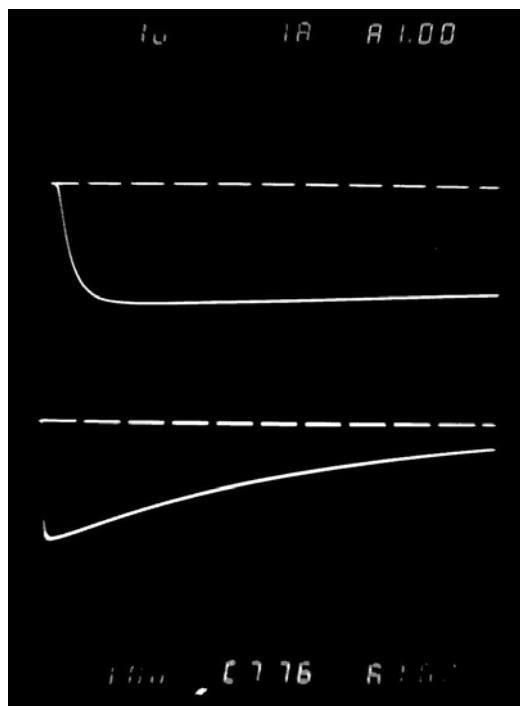
ก) ต่อแบบ 1,2 ชั้น ขั้วบวก 1.2/50 μ s



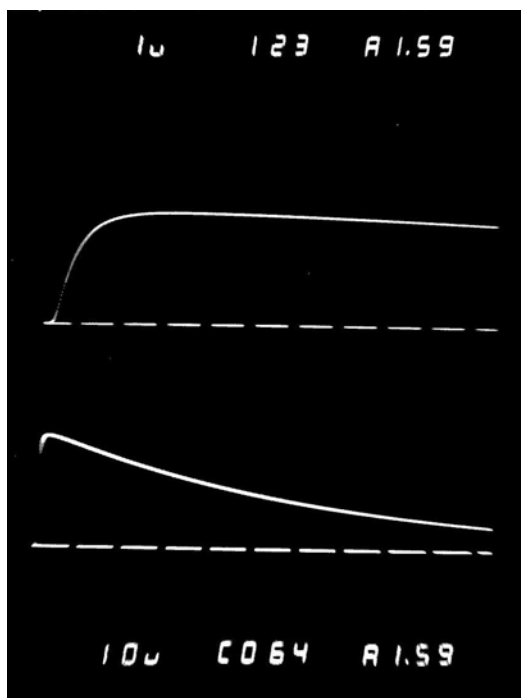
ข) ต่อแบบ 1,2 ชั้น ขั้วลบ 1.2/50 μ s



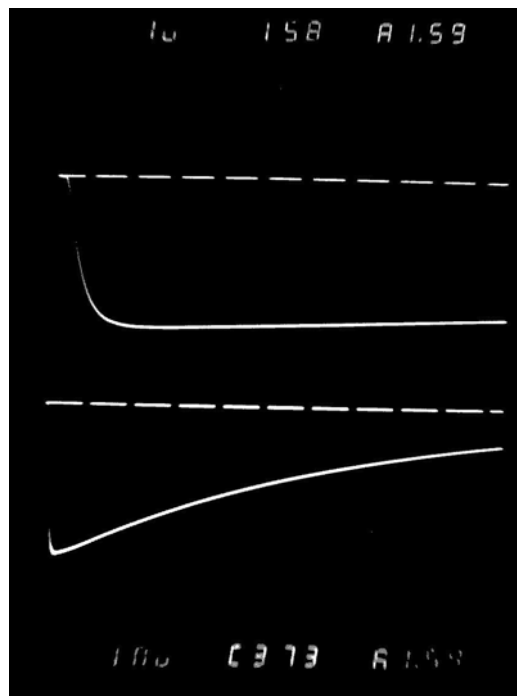
ค) ต่อแบบ 4 ชั้น ขั้วบวก 1.2/50 μs



ง) ต่อแบบ 4 ชั้น ขั้วลบ 1.03/50 μs



จ) ต่อแบบ 8 ชั้น ขั้วบวก 1.03/51.67 μs



ฉ) ต่อแบบ 8 ชั้น ขั้วลบ 1.03/51.67 μs

รูปที่ 4.3 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์จากการ Calibrate (ก-ฉ)

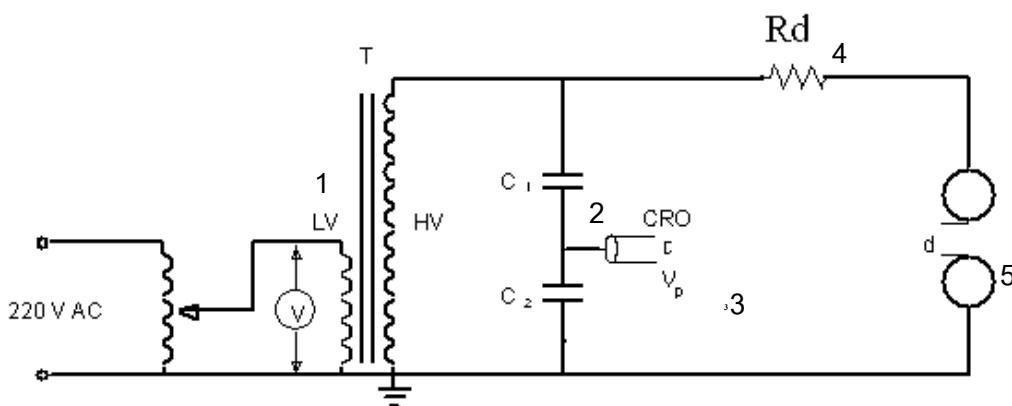
4.2.3 วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล

เนื่องจากการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของความชื้น การหาแรงดันเบรกดาวนของแกปอากาศทรงกลมจึงเลือกระยะแกปย่อยมาศึกษา 5 ระยะ ได้แก่ ระยะ 1,3,6,9,12 cm เพื่อดูผลของแรงดันเบรกดาวนที่เกิดขึ้นตามระยะแกปอากาศ เมื่อป้อนด้วยแรงดันอิมพัลส์ทั้งชั่วบวกและลบ ทำการตรวจสอบรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ โดยป้อนแรงดันที่ระดับต่ำที่ไม่เกิดเบรกดาวน วัดเวลาหน้าคลื่น และหลังคลื่น เพื่อเปรียบเทียบกับรูปคลื่นแรงดัน อิมพัลส์ฟ้าผ่ามาตรฐาน $1.2/50 \mu s$ บันทึกสภาวะอากาศขณะที่ทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน ความชื้นสัมพัทธ์ จากนั้นหาค่า $U_{50\%}$ ของแรงดันเบรกดาวน ด้วยวิธีปรับขึ้นและลงซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก โดยมีจำนวนครั้งที่ป้อนแรงดันขึ้นลงเป็น 20 ครั้ง แล้วบันทึกค่าแรงดันในแต่ละแกปอากาศ และนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจากวิธีปรับขึ้นลงมาหาค่า $U_{50\%}$ และ SD ซึ่งเป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงดันเบรกดาวน (ข้อมูลการทดสอบแรงดันเบรกดาวนที่ได้ทั้งหมด แสดงในภาคผนวก ง.)

ความชื้นที่นำมาวิเคราะห์นั้นใช้ค่าความชื้นสัมบูรณ์ซึ่งหาได้จากกราฟความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศในเทอมอุณหภูมิเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้งและเปียกของ Psychrometer จากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ กับ เปรอร์เซนต์ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าแรงดันเบรกดาวนที่บันทึกทั้งหมดนั้น ต้องแปลงไปเป็นค่าที่สภาวะมาตรฐาน โดยใช้ค่า ความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ และค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้น (จากหัวข้อ 3.1.2.3) ตามมาตรฐาน IEC 60052

4.3 การทดลองด้วยแรงดันกระแสสลับ

4.3.1 วงจรทดลองแรงดันกระแสสลับ



รูปที่ 4.4 วงจรทดลองแรงดันกระแสสลับ

ประกอบด้วย

1. หม้อแปลงทดสอบ พิกัด 200 kV 100 kVA
2. โวลต์จดีโวลต์เตอร์แบบตัวเก็บประจุ พิกัดแรงดัน 300 kV อัตราส่วนแรงดัน 5595.65 : 1
3. ดิจิตอลออสซิลอสโคปสำหรับบันทึกค่ายอดแรงดัน
4. ค่าความต้านทาน R_d 130 k Ω
5. ชุดทดลองแกปทรงกลมมาตรฐาน ขนาด 25 เซนติเมตร แนวนอน

4.3.2 วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล

การเบรกดาวนซ์ของแรงดันกระแสสลับนั้นจะทำให้แหล่งจ่ายแรงดันลัดวงจร ดังนั้นจึงต้องใช้ความต้านทานน้ำต่อคันเพื่อลดกระแสลัดวงจร โดยความต้านทานนี้มีค่าประมาณ 100 k Ω ถึง 1 M Ω โดยเลือกระยะแกปอากาศทรงกลมมาศึกษา 4 ระยะ ได้แก่ ระยะ 1,3,6,9 เซนติเมตร เนื่องจากหม้อแปลงทดสอบพิกัดแรงดันสูงสุด 200 kV บันทึกสภาวะอากาศขณะที่ทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน เปอร์เซนต์ความชื้นสัมพัทธ์ การป้อนด้วยแรงดันกระแสสลับให้กับแกปทรงกลมนั้นเราใช้วิธีแรงดันเพิ่ม โดยเพิ่มแรงดันไม่เร็วไป จนอ่านค่าจากเครื่องวัดไม่ได้ ค่าที่วัดได้จากการเบรกดาวนซ์หลายๆ ครั้ง จะนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อหาค่ากลาง โดยที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่สูงมากนัก ในที่นี้วัดแรงดันเบรกดาวนซ์ประมาณ 5-6 ครั้ง โดยการวัดครั้งแรกค่าที่ได้อาจต่ำกว่าปกติเนื่องจากอาจมีอะไรเกาะที่ผิวทรงกลม และแต่ละครั้งที่วัดแรงดันต้องทิ้งเวลาอย่างน้อย 30 วินาทีเพื่อให้ฉนวนคืนตัว บันทึกและคำนวณค่าเหมือนในการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ (ข้อมูลการทดสอบแรงดันเบรกดาวนซ์ที่ได้ทั้งหมด แสดงในภาคผนวก จ.)

4.4 การทำความสะอาดชุดทดลอง

ในการทดลอง ค่าแรงดันที่วัดได้จากการทดลองนั้นครั้งแรกมักจะมีค่าต่ำกว่าค่าอื่นๆ อันเนื่องมาจากฝุ่นละอองที่ผิวทรงกลม ดังนั้นก่อนและหลังการใช้งานแกปทรงกลมมาตรฐาน จึงควรขัดมันและเช็ด ผิวทรงกลมก่อนเสมอ

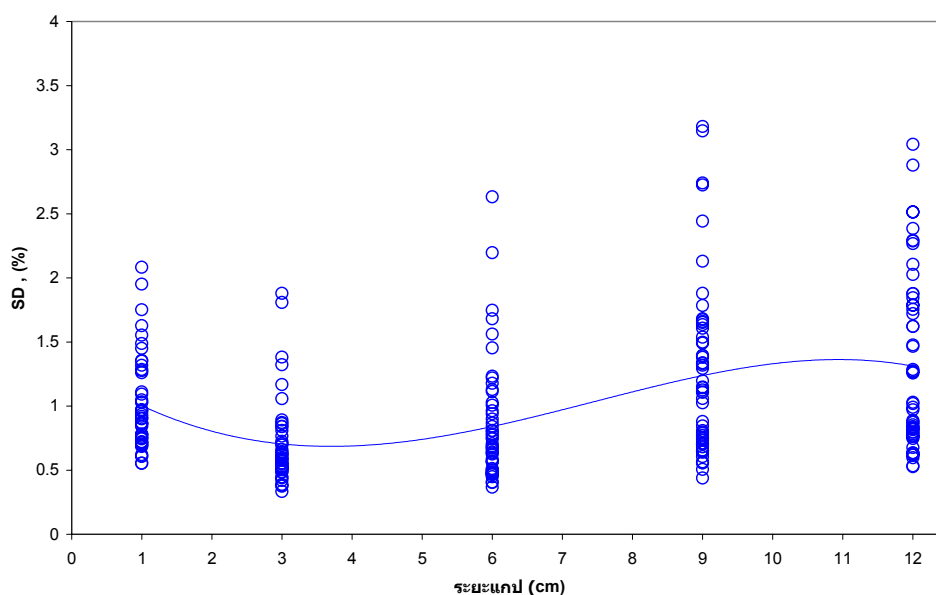
บทที่ 5

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

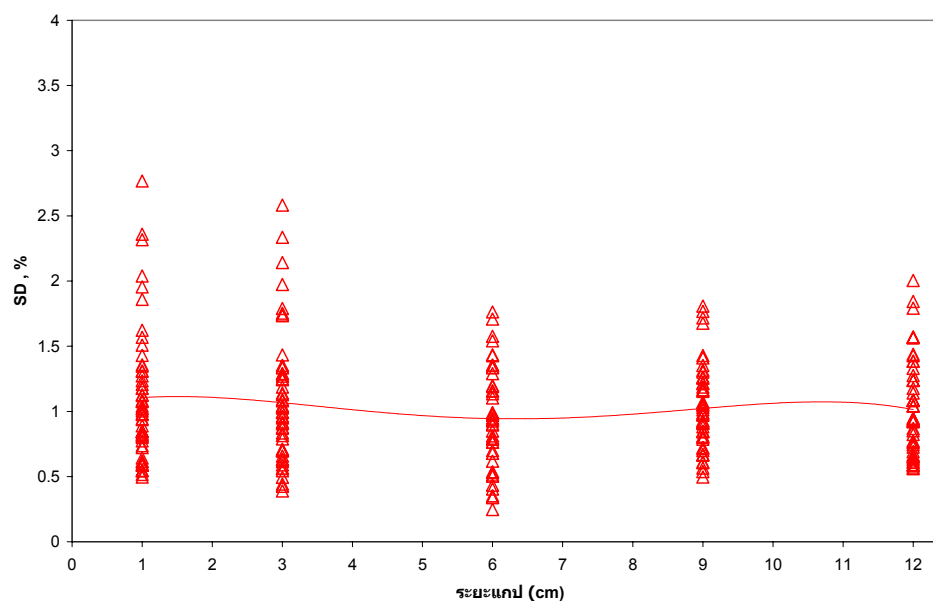
เนื่องจากข้อมูลจากการทดลองมีเป็นจำนวนมากและมีการซ้อนทับกัน ดังนั้นเพื่อให้การวิเคราะห์ข้อมูลง่ายขึ้นจึงแทนข้อมูลด้วยวิธีการเข้ารูป (Curve Fitting) โดยใช้การเข้ารูปแบบสมการเชิงเส้น (Linear Curve Fitting) และการเข้ารูปด้วยสมการพหุนาม (Polynomial Curve Fitting) เป็นเส้นกราฟหรือช่วงข้อมูลโดยเลือกข้อมูลบริเวณขอบของแต่ละระดับแรงดันมาคำนวณด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Estimations) ซึ่งแสดงวิธีการหาในภาคผนวก จ.

5.1 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง

รูปที่ 5.1 และ รูปที่ 5.2 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองหาแรงดันเบรกดาวน้อิมพัลส์ที่ระยะแกปต่างๆ ซึ่งพบว่าไม่ว่าจะเป็นแรงดันเบรกดาวน้อิมพัลส์ชั่วคราวหรือชั่วลบ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่าไม่ต่างกันมากนักคือมีค่า ประมาณ 1 % เมื่อเทียบกับค่า $U_{50\%}$



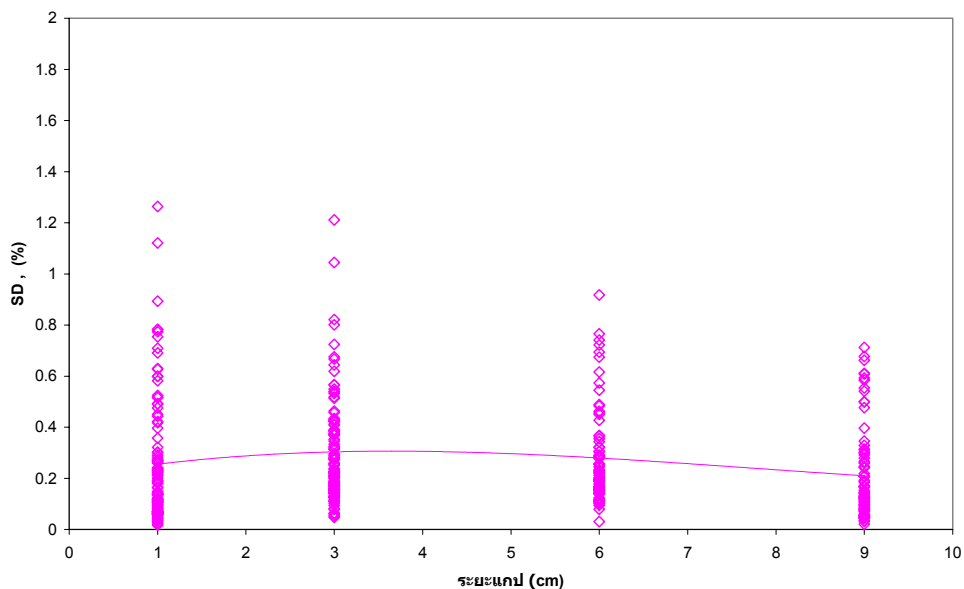
รูปที่ 5.1 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบด้วย แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราว ที่ระยะแกปต่าง ๆ



รูปที่ 5.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบด้วย แรงดันอิมพัลส์ชั่วพลบ ที่ระยะแกวต่าง ๆ

โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับแรงดันเบรกดาวนอิมพัลส์ชั่วพลบนั้นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าค่อนข้างจะคงที่ไม่ว่าจะทดลองที่ระดับแรงดันเท่าไรก็ตาม ในขณะที่ชั่วพลบนั้นจะมีค่าลดลงเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นจนถึงที่ระยะแกว ประมาณ 3 – 4 cm. โดยจะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุดประมาณ 0.5 % และจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามระดับแรงดันที่ป้อนจนมีค่ามากที่สุดที่แกว 12 cm.

จากผลการทดลองด้วยแรงดันกระแอสลับในรูปที่ 5.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองในระยะแกวต่างๆ แสดงให้เห็นว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.2-0.3 % เท่านั้นและมีค่าค่อนข้างจะคงที่ และมีค่าต่ำกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์มาก



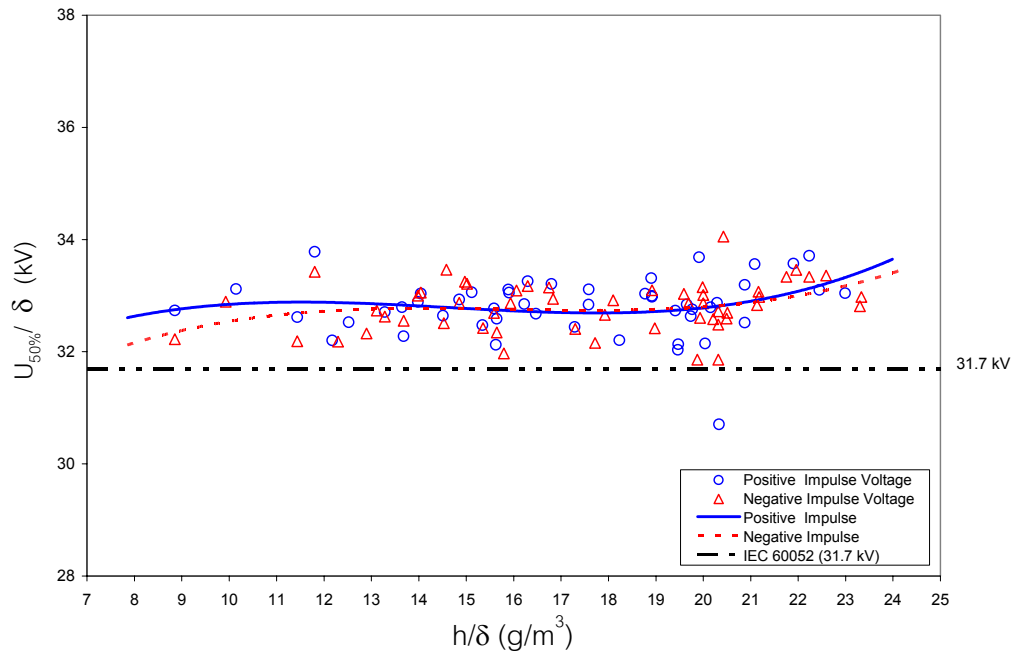
รูปที่ 5.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบด้วย แรงดันกระแสลับ ที่ระยะแกว่งต่าง ๆ

5.2 ผลของความชื้นต่อแรงดันเบรกดาวน

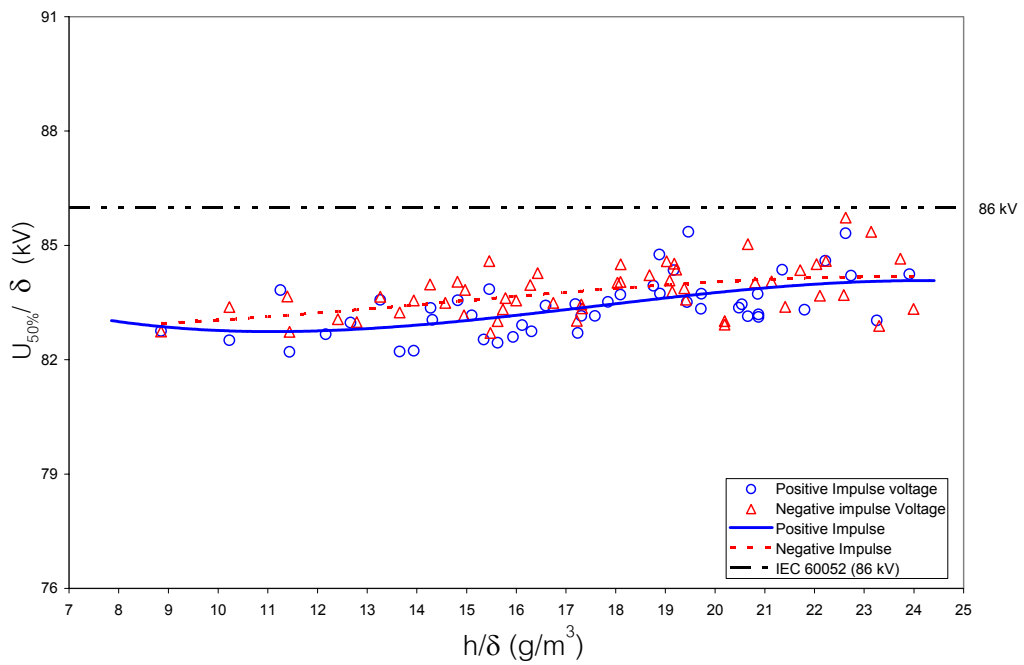
ผลการทดลองหาแรงดันเบรกดาวนของแกปทรงกลมมาตรฐานด้วยแรงดันอิมพัลส์ และแรงดันกระแสลับนั้นความชื้นที่นำมาวิเคราะห์ห้ใช้ค่าความชื้นสัมบูรณ์ ซึ่งหาได้จากกราฟ ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศในเทอมอุณหภูมิเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกของ Psychrometer จากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ กับเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์[12] ในรูปที่ 3.3 และค่าความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ จากสมการที่ 3.3

5.2.1 ผลการทดลองด้วยแรงดันอิมพัลส์

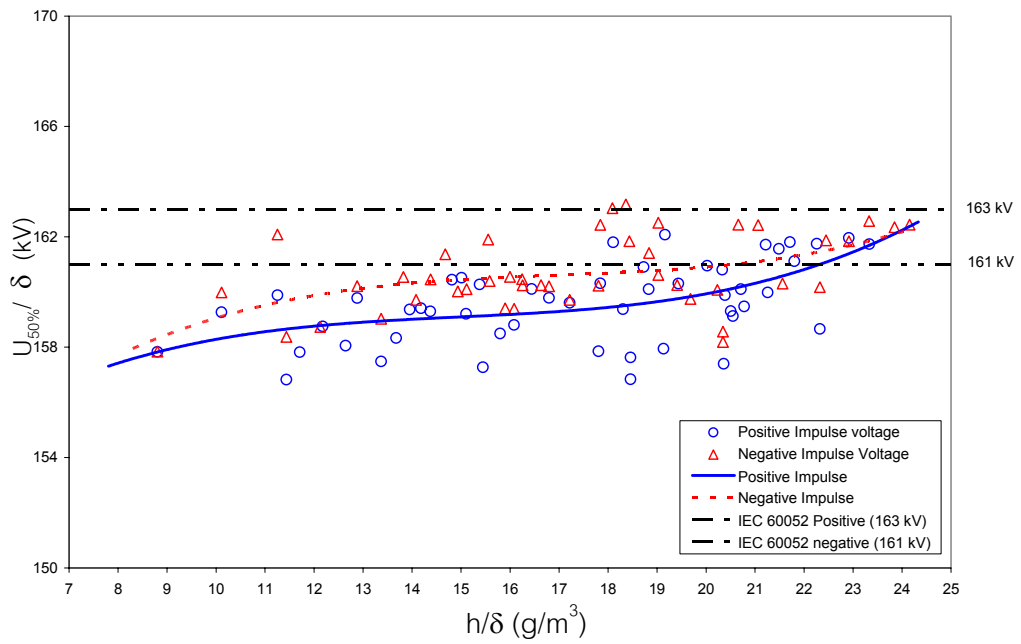
รูปที่ 5.4 ถึง รูปที่ 5.8 แสดงค่าแรงดันเบรกดาวน $U_{50\%}$ ของแกปทรงกลมกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่อความหนาแน่นสัมพัทธ์อากาศ (h/δ) ที่ระยะแกว่ง 1,3,6,9 และ 12 cm. โดยใ้การใช้การเข้ารูปข้อมูลด้วยสมการพหุนาม (Polynomial Curve Fitting) ในการวิเคราะห์ผลข้อมูล (ข้อมูลการทดสอบดูได้จากตาราง ภาคผนวก ง.)



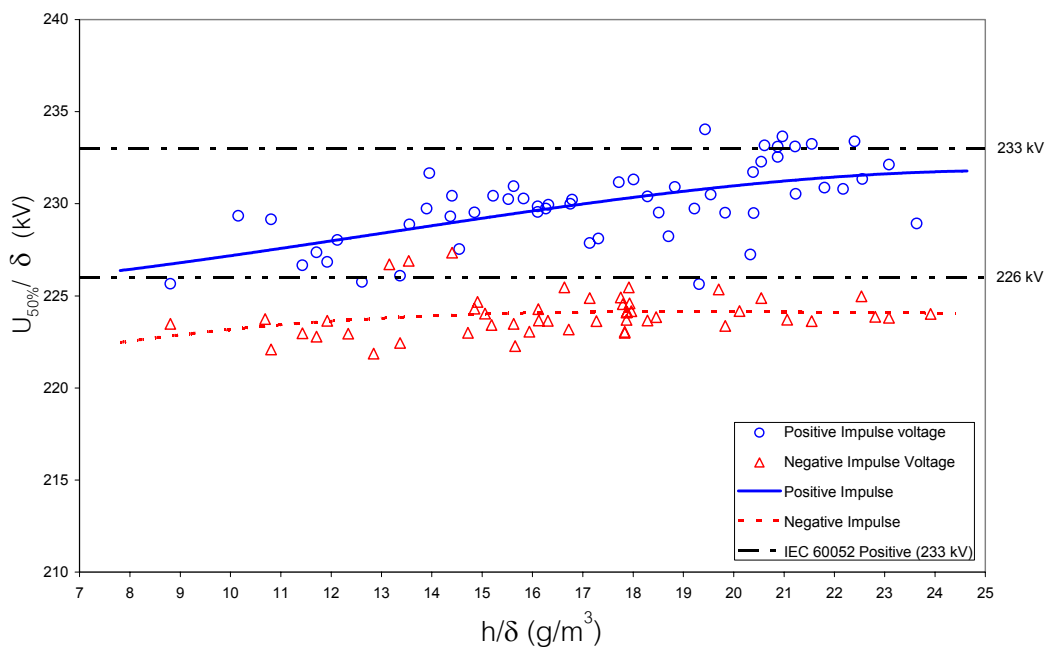
รูปที่ 5.4 ผลการทดลองแรงดันเบรกดาวนอิมพัลส์ ระยะแกป 1 cm. ที่ความชื้นค่าต่าง ๆ



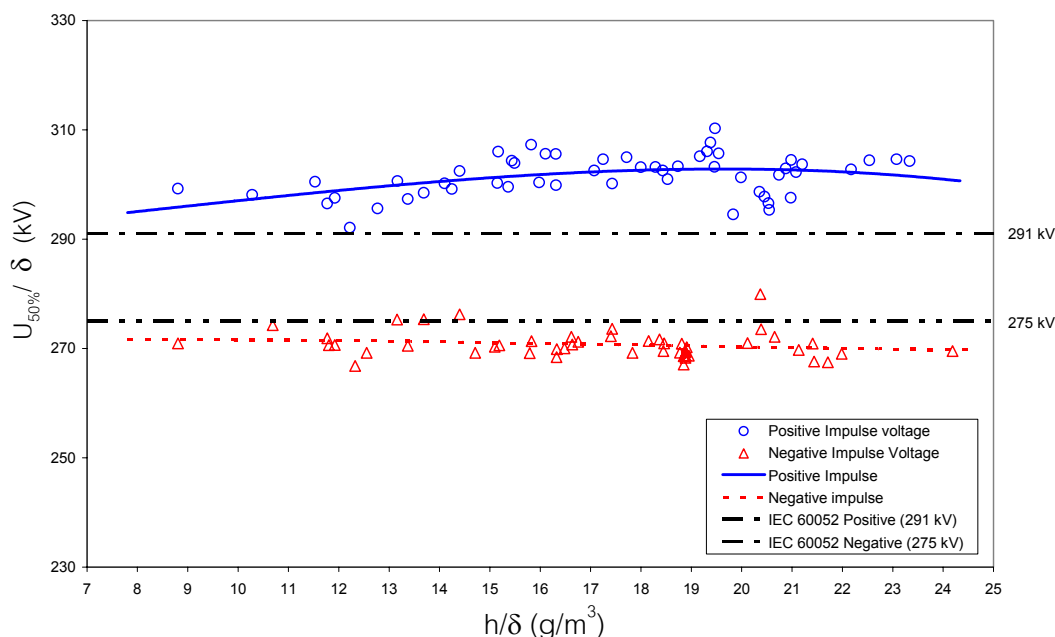
รูปที่ 5.5 ผลการทดลองแรงดันเบรกดาวนอิมพัลส์ ระยะแกป 3 cm. ที่ความชื้นค่าต่าง ๆ



รูปที่ 5.6 ผลการทดลองแรงดันเบรกดาวนิมพัลส์ ระยะแกป 6 cm. ที่ความชื้นค่าต่าง ๆ



รูปที่ 5.7 ผลการทดลองแรงดันเบรกดาวนิมพัลส์ ระยะแกป 9 cm. ที่ความชื้นค่าต่าง ๆ



รูปที่ 5.8 ผลการทดลองแรงดันเบรกดาวนัอิมพัลส์ ระยะแกป 12 cm. ที่ความชื้นค่าต่าง ๆ

จากผลการทดลองพบว่า แรงดันเบรกดาวนัของแกปทรงกลมมาตรฐานจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่า h/δ เพิ่มขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะโมเลกุลของน้ำในอากาศมีลักษณะคล้ายก๊าซที่จับอิเล็กตรอนได้ดีเพราะมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบอยู่ ทำให้อากาศที่มีความชื้นมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูง

ในกรณีที่แกปมีขนาดเล็ก ๆ จากการทดลองคือ ระยะแกป 1 cm. นั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นค่าแรงดันที่เกิดเบรกดาวนัจะค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้น โดยที่แรงดันเบรกดาวนัอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วคราวมีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อเพิ่มระยะแกปให้กว้างขึ้นเป็น 3 cm. จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าแรงดันจะมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามความชื้นที่เพิ่มขึ้น แต่ค่าแรงดันการเกิดเบรกดาวนัยังคงมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วคราว เมื่อระยะแกปทรงกลมอยู่ที่ 6 cm. ค่าแรงดันยังคงเพิ่มขึ้นตามความชื้น แต่ค่าแรงดันเบรกดาวนัของอิมพัลส์ชั่วคราวนั้นมีค่าสูงกว่าแรงดันเบรกดาวนัของอิมพัลส์ชั่วคราวเล็กน้อย จนเมื่อระยะแกปทรงกลมเป็น 9 cm. ค่าแรงดันเบรกดาวนัของอิมพัลส์ชั่วคราวกลับตกลงมาต่ำกว่าแรงดันเบรกดาวนัของอิมพัลส์ชั่วคราว อันเนื่องมาจากระยะแกปกว้างขึ้นทำให้อากาศเริ่มมีค่าไม่ค่อยสม่ำเสมอ ค่าแรงดันเบรกดาวนัที่เกิดขึ้นสำหรับอิมพัลส์ชั่วคราวจึงมีค่าสูงกว่าแรงดันเบรกดาวนัของอิมพัลส์ชั่วคราว โดยที่ชั่วคราวค่าแรงดันเบรกดาวนัเริ่มคงที่เมื่อ

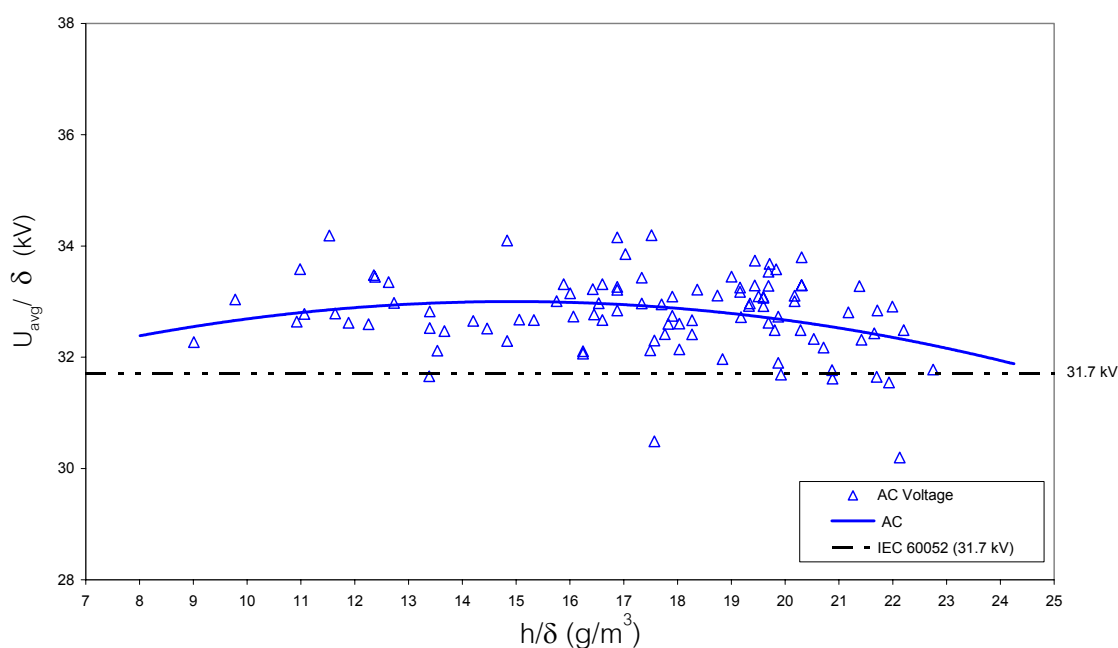
ความชื้นสูงเกินกว่า 16 g/m^3 ในขณะที่ค่าแรงดันเบรกดาวน้อิมพัลส์ชั่วคราวยังคงเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น

สำหรับที่ระยะแก๊ป 12 cm. ระยะห่างกว้างมาก ค่าแรงดันเบรกดาวน้อิมพัลส์ชั่วคราวที่เกิดขึ้นสำหรับอิมพัลส์ชั่วคราวจึงมีค่าสูงกว่าแรงดันเบรกดาวน้อิมพัลส์ชั่วคราวของแรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวอย่างเห็นได้ชัดเจน เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นจะสังเกตเห็นได้ว่าแรงดันเบรกดาวน้อิมพัลส์ชั่วคราวมีค่าคงที่ทั้งอิมพัลส์ชั่วคราวและชั่วคราว

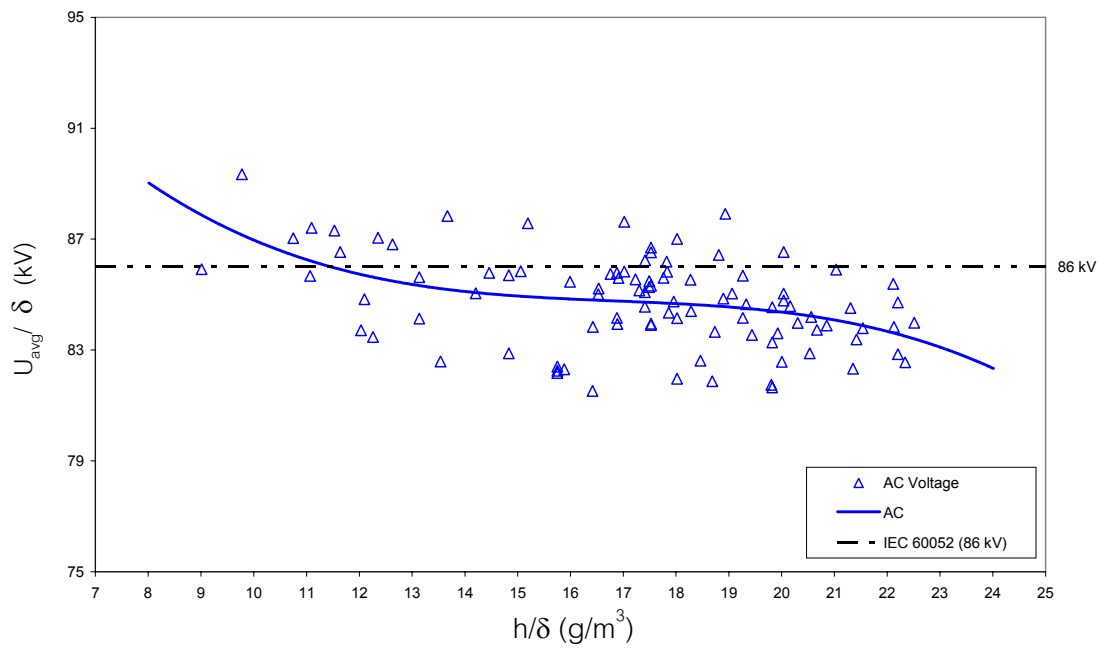
5.2.2 ผลการทดลองด้วยแรงดันกระแสสลับ

ผลการทดลองแรงดันเบรกดาวน้อิมพัลส์ของแก๊ปทรงกลมมาตรฐานด้วยแรงดันกระแสสลับนั้น ใช้วิธีการวิเคราะห์และการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเหมือนการทดลองแรงดันเบรกดาวน้อิมพัลส์ด้วยแรงดันอิมพัลส์ แต่แรงดันที่นำมาวิเคราะห์เป็นแรงดันเฉลี่ย U_{avg} โดยทดลองแรงดันเบรกดาวน้อิมพัลส์ที่ระยะแก๊ป 1,3,6 และ 9 cm. (ข้อมูลการทดสอบดูได้จากตาราง ภาคผนวก จ.)

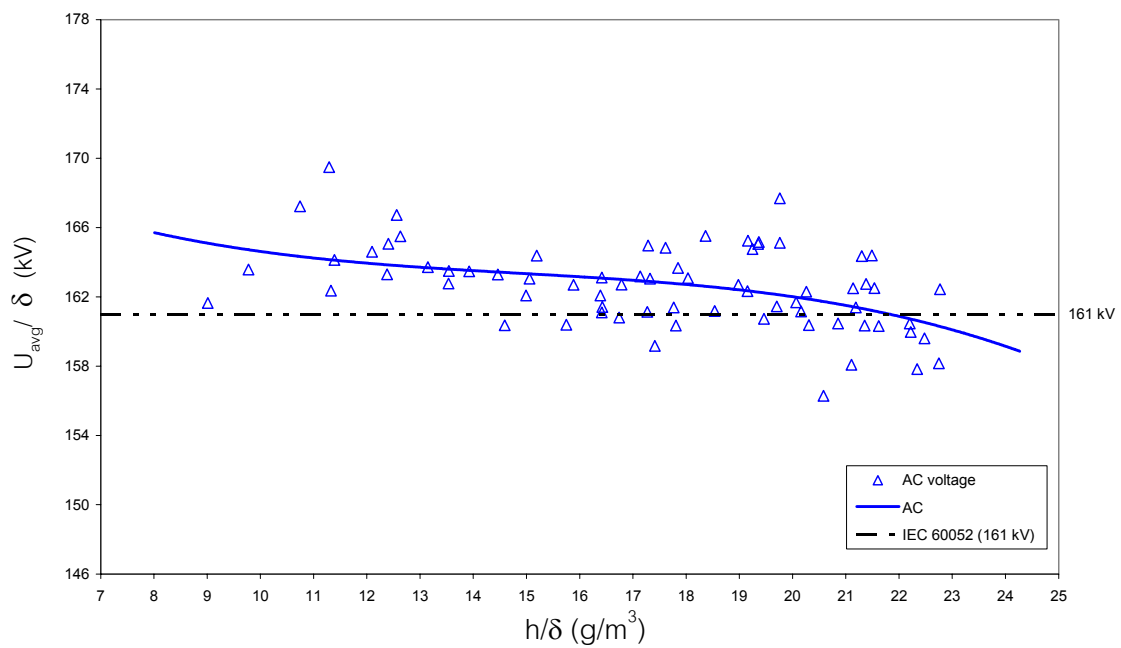
รูปที่ 5.9 ถึง รูปที่ 5.12 แสดงค่าแรงดันเบรกดาวน้อิมพัลส์ U_{avg} ของแก๊ปทรงกลมกับค่า h/δ ที่ระยะแก๊ป 1,3,6,9 cm. โดยใช้ในการเข้ารูปข้อมูลด้วยสมการพหุนาม (Polynomial Curve Fitting) ในการวิเคราะห์ผลข้อมูล



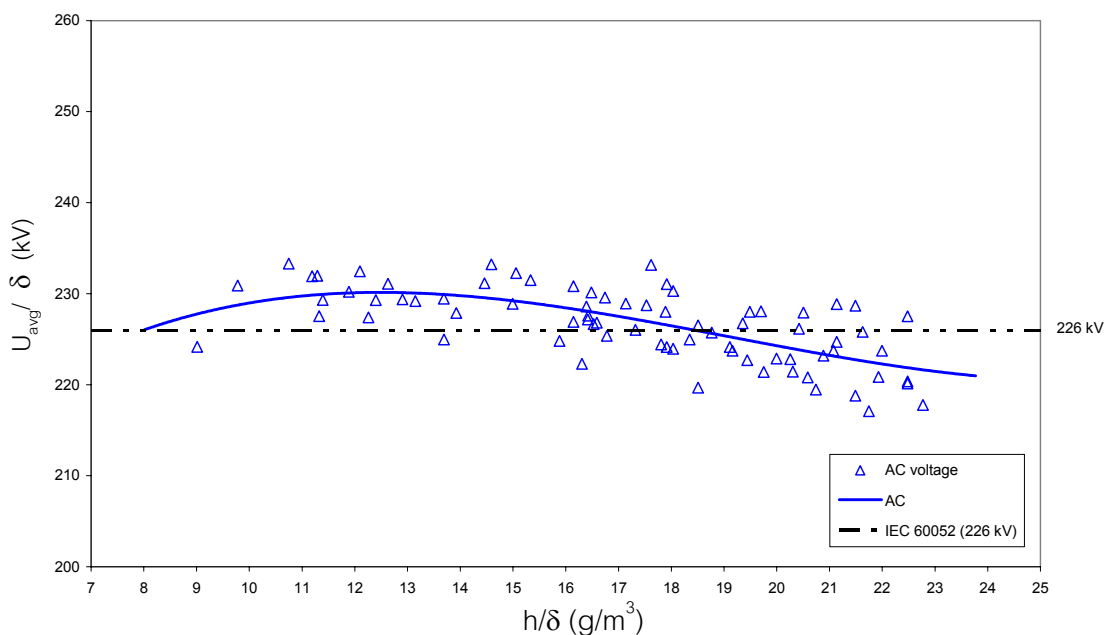
รูปที่ 5.9 ผลการทดลองแรงดันเบรกดาวน้อิมพัลส์กระแสสลับ ที่ระยะ 1 cm. ที่ความชื้นค่าต่าง ๆ



รูปที่ 5.10 ผลการทดลองแรงดันเบรกควาน์กระแสดลัด ที่ระยะ 3 cm. ที่ความชื้นค่าต่าง ๆ



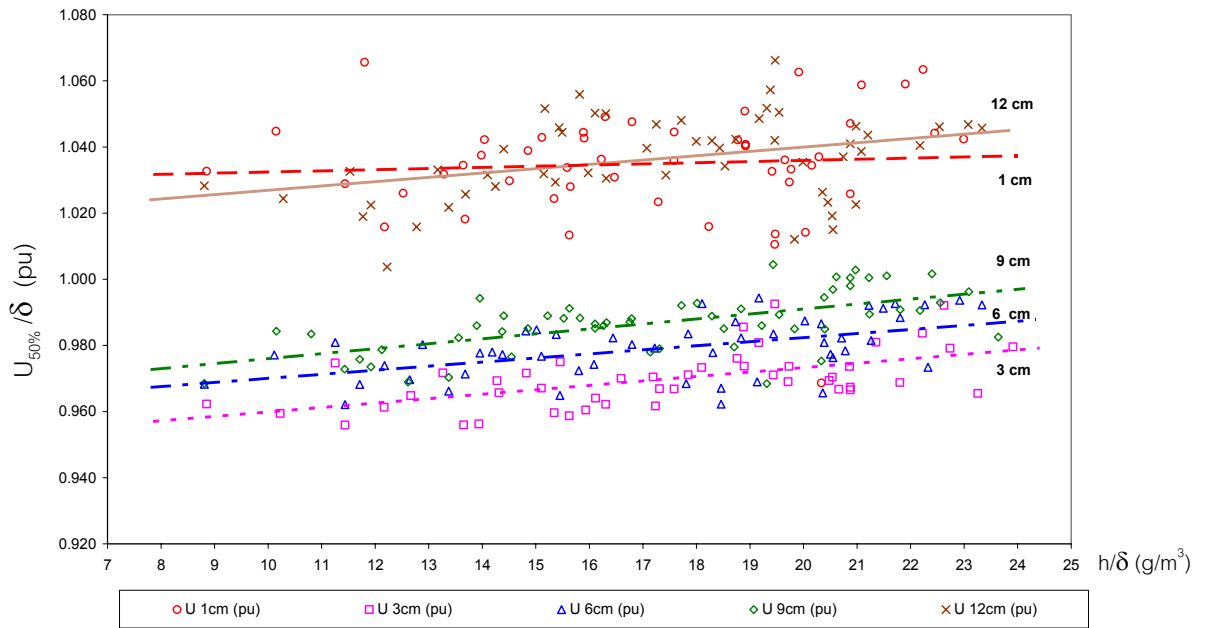
รูปที่ 5.11 ผลการทดลองแรงดันเบรกควาน์กระแสดลัด ที่ระยะ 6 cm. ที่ความชื้นค่าต่าง ๆ



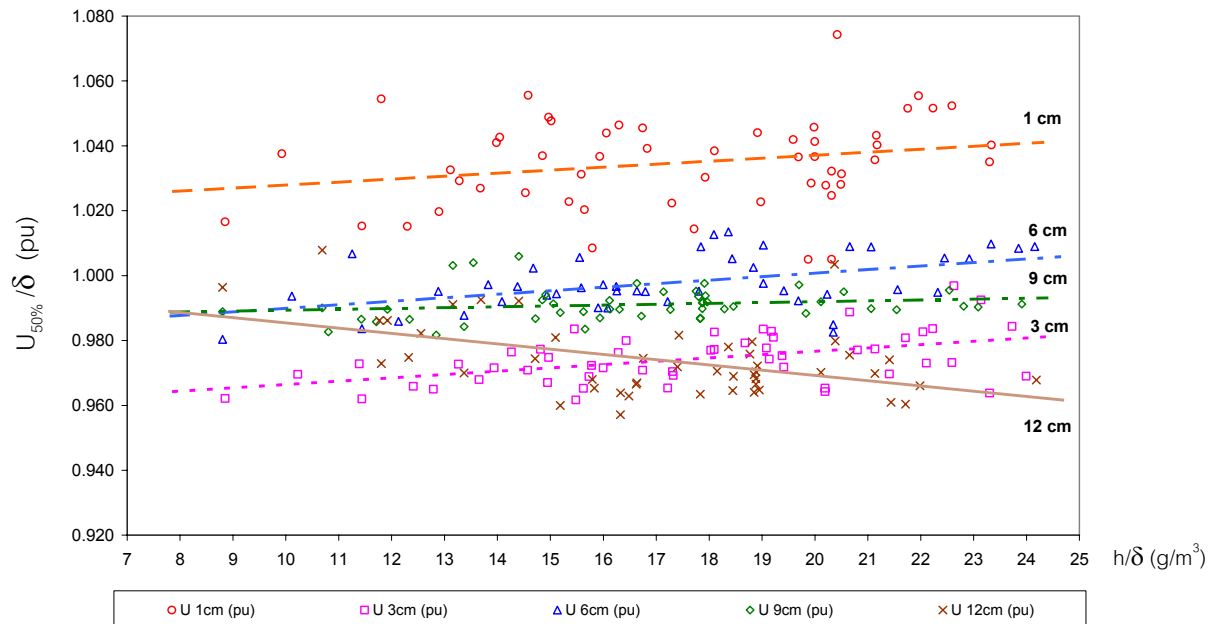
รูปที่ 5.12 ผลการทดลองแรงดันเบรกดาวนักระแสสลับ ที่ระยะ 9 cm. ที่ความชื้นค่าต่าง ๆ

จากผลการทดลอง พบว่าค่าแรงดันเบรกดาวนัของแกปทรงกลมมาตรฐาน จะมีค่าลดลงเมื่อค่าความชื้นเพิ่มขึ้น ซึ่งต่างจากการทดลองด้วยแรงดันอิมพัลส์ ในกรณีที่แกปมีขนาดเล็ก ๆ คือ ระยะแกป 1 cm. พบว่าเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นค่าแรงดันเบรกดาวนัจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือความชื้นไม่มีผลต่อการทดสอบแรงดันเบรกดาวนัที่แกปเล็ก ๆ แต่เมื่อเพิ่มระยะแกปให้กว้างขึ้นเรื่อย ๆ ผลปรากฏว่าเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น ค่าแรงดันเบรกดาวนัก็ลดลงต่ำลง

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความชื้นที่มีผลต่อแรงดันเบรกดาวนั ทำโดยการแปลงค่าแรงดันเบรกดาวนัที่ทดลองให้เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าแรงดันมาตรฐาน IEC ที่ระยะแกปต่าง ๆ (ตามภาคผนวก ค.) ดังแสดงในรูปที่ 5.13 ถึง รูปที่ 5.15 สำหรับแรงดันอิมพัลส์ชั่ววอก ชั่วลบ และแรงดันกระแสสลับ ตามลำดับ และใช้การวิเคราะห์ข้อมูลแบบเชิงเส้น (Linear Curve Fitting) เนื่องจากข้อมูลมีการกระจายที่ไม่กว้างมากนักเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งความสัมพันธ์ของความชื้นนี้ จะแสดงในรูปของค่าสัมประสิทธิ์ความชื้น (humidity coefficient)



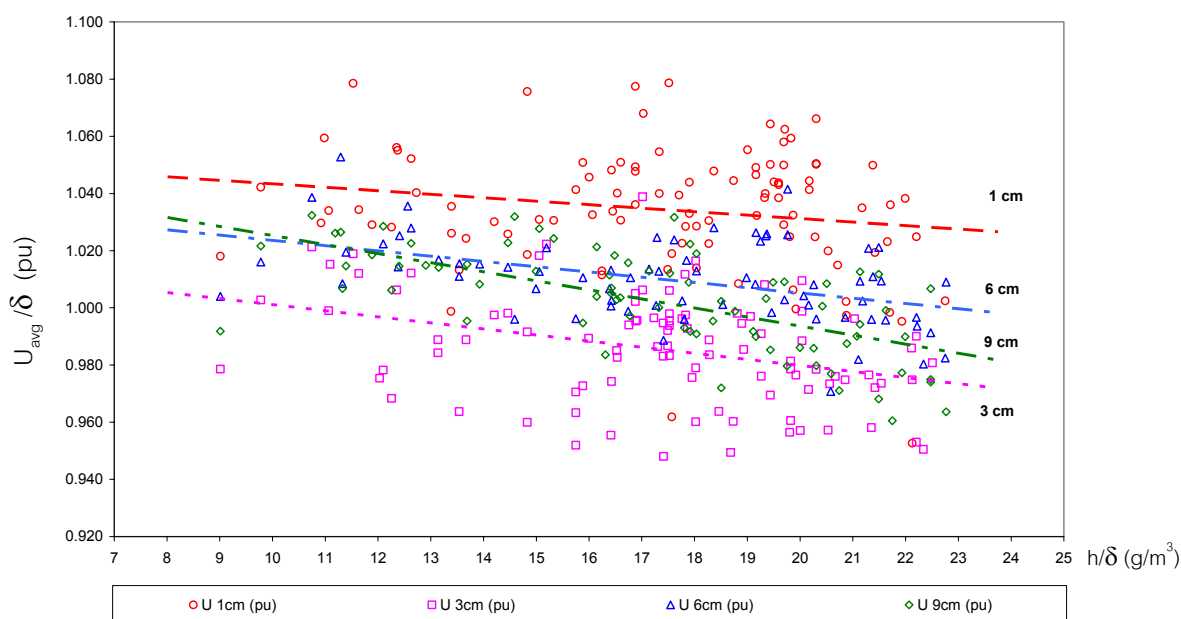
รูปที่ 5.13 แรงดันเบรกดาวนึมพัลส์ข้าวบวกในระบบเปอร์ยูนิต



รูปที่ 5.14 แรงดันเบรกดาวนึมพัลส์ข้าวลบในระบบเปอร์ยูนิต

จาก รูปที่ 5.13 แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันเบรกดาวนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น ตามระดับแรงดันที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มระยะแกปให้สูงขึ้น ต่างจากแรงดันอิมพัลส์ชั่วพลบในรูปที่ 5.14 ที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรกๆ และค่อย ๆ ลดลงตามระยะแกปที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่แกปสูง ๆ กลับมีค่าลดลงมากเมื่อความชื้นมีค่ามากขึ้น แสดงให้เห็นว่าความชื้นมีผลต่อแรงดันเบรกดาวนอิมพัลส์เมื่อระดับแรงดันสูงขึ้น และมีผลต่อแรงดันเบรกดาวนสำหรับแรงดันอิมพัลส์ชั่วพลบมาก ในกรณีที่ระยะแกปกว้างหรือที่ระดับแรงดันสูง

จากความสัมพันธ์ของความชื้นต่อการเกิดเบรกดาวนดังกล่าว ค่าแรงดันเบรกดาวนอิมพัลส์ชั่วพลบของแกปทรงกลมมาตรฐาน เพิ่มขึ้นตาม h/δ ด้วยอัตราเฉลี่ย 0.112 % ต่อ g/m^3 ส่วนแรงดันอิมพัลส์ชั่วพลบนั้น ค่าแรงดันเบรกดาวนของแกปทรงกลมมาตรฐาน เพิ่มขึ้น h/δ ด้วยอัตราเฉลี่ย 0.082 % ต่อ g/m^3 ที่ระยะแกป 1-9 cm. สำหรับที่แกปสูง ๆ คือ 12 cm. ค่าแรงดันเบรกดาวนของแกปทรงกลมกลับลดลงด้วยอัตรา 0.162 % ต่อ g/m^3



รูปที่ 5.15 แรงดันเบรกดาวนกระแสสลับในระบบเปอรูญนิต

ในรูปที่ 5.15 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นตามระดับแรงดันที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มระยะแกปค่าแรงดันเบรกดาวนมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าความชื้นมีผลต่อการทดสอบแรงดันกระแสสลับที่ทุกระดับแรงดัน จากความสัมพันธ์ดังกล่าวค่าแรงดันเบรกดาวนของแกปทรงกลมมาตรฐานนั้นมียัตราลดลงตาม h/δ ด้วยอัตราเฉลี่ย 0.208 % ต่อ g/m^3

ความสัมพันธ์ของแรงดันเบรกดาวนตามความชื้นสัมบูรณ์ในรูปของสัมประสิทธิ์ความชื้น จากผลการทดลองในรูปที่ 5.13- 5.15 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1

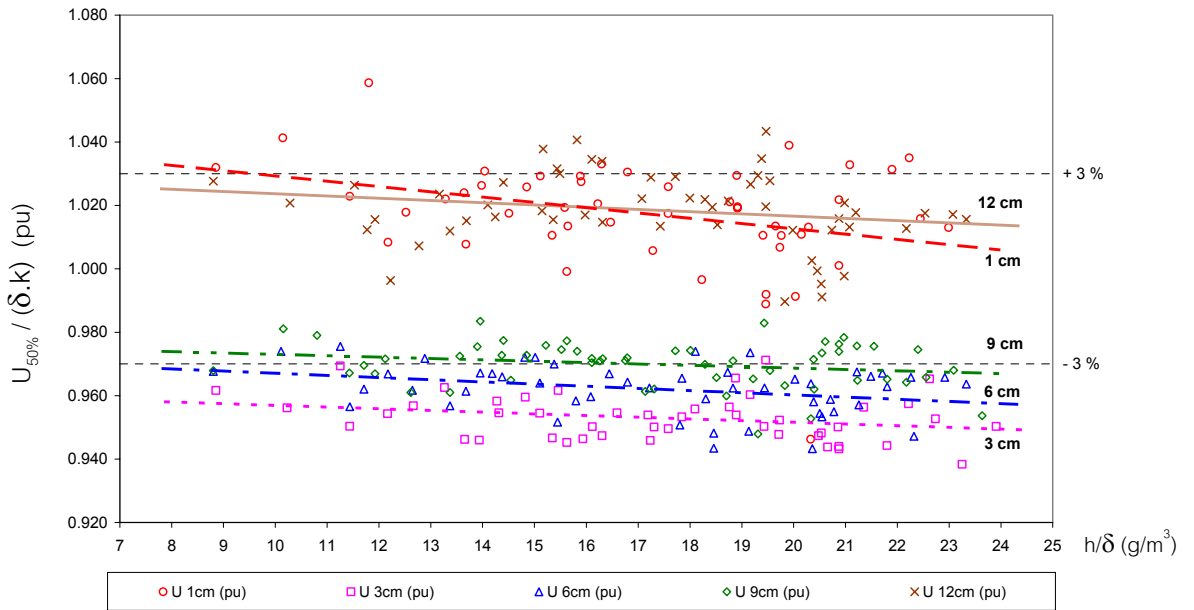
ตารางที่ 5.1 สัมประสิทธิ์ความชื้นที่ได้จากการทดลอง (% ต่อ g/m^3)

ระยะแกป (cm) \ รูปคลื่น	แรงดันอิมพัลส์ ชั่วคราว	แรงดันอิมพัลส์ชั่วพล	แรงดันกระแสสลับ
1	0.03	0.09	-0.12
3	0.13	0.10	-0.21
6	0.12	0.11	-0.18
9	0.15	0.03	-0.32
12	0.13	-0.16	na
เฉลี่ย	0.112	0.082	-0.208

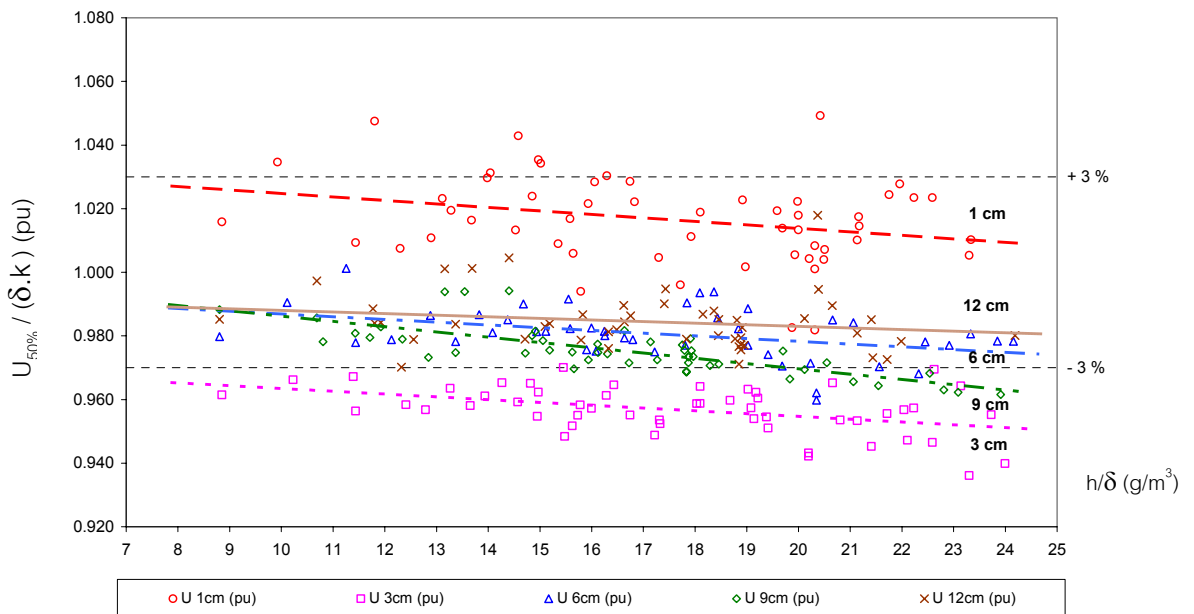
5.3 ตัวประกอบแก้ไขความชื้น (Humidity Correction Factor,k)

การวัดแรงดันด้วยแกปทรงกลมมาตรฐานนั้นได้มีการคำนึงถึงผลของความชื้นในบรรยากาศด้วยโดยใช้ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นแปลงเป็นค่าตามที่มาตรฐาน IEC 60052 กำหนด ดังนั้นจึงนำค่าแรงดันเบรกดาวนที่ได้จากการทดลอง มาแปลงค่าด้วยตัวประกอบแก้ไขความชื้นตามมาตรฐาน IEC 60052 (คำนวณจากสมการ 3.3) แล้วแสดงผลเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ ดังแสดงตามรูปที่ 5.16 ถึง รูปที่ 5.18 (+3% และ - 3% เป็นความแม่นยำของการวัดด้วยแกปทรงกลมมาตรฐาน)

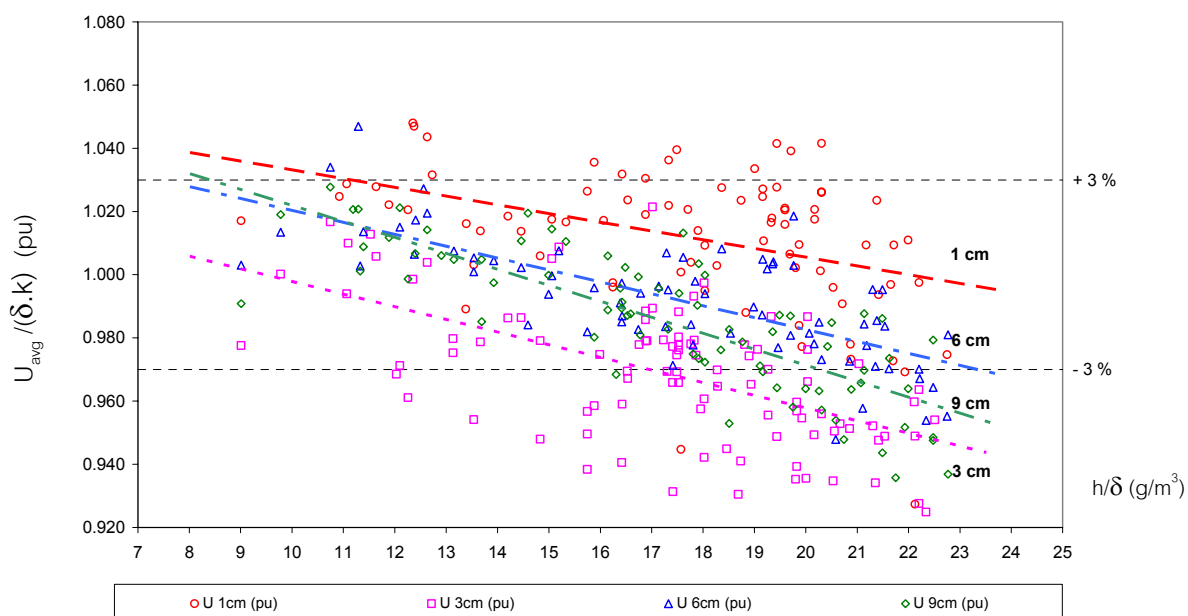
จากรูปที่ 5.16 และ 5.17 ผลการทดลองด้วยแรงดันอิมพัลส์ ในช่วง h/δ ไม่เกิน $15 g/m^3$ ซึ่งเป็นค่าที่มาตรฐาน IEC กำหนดไว้ ค่าแรงดันเบรกดาวนที่แปลงด้วยค่า k ตามมาตรฐานยังคงใช้ได้อยู่ แม้จะยังไม่ดีนัก แต่หลังจากช่วงที่ h/δ มีค่าเกิน $15 g/m^3$ ปรากฏว่าค่าแรงดันเบรกดาวนที่แปลง กลับลดลงเรื่อย ๆ เมื่อค่าความชื้นเพิ่มขึ้น และแรงดันเบรกดาวนอิมพัลส์ชั่วพลนั้นลดลงมากกว่าชั่วคราว โดยเฉพาะที่ความชื้นสูง ๆ



รูปที่ 5.16 แรงดันเบรกตาวานิมพัลส์ข้าวบวก เมื่อแปลงค่าด้วยตัวประกอบแก้ไขความชื้น (k) ในระบบเปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.17 แรงดันเบรกตาวานิมพัลส์ข้าวลบ เมื่อแปลงค่าด้วยตัวประกอบแก้ไขความชื้น (k) ในระบบเปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.18 แรงดันเบรกดาวนักระแสสลับ เมื่อแปลงค่าด้วยตัวประกอบแก้ไขความชื้น (k) ในระบบเปอร์ยูนิต

ส่วนผลการทดลองด้วยแรงดันกระแสสลับตามรูปที่ 5.13 นั้นในช่วงที่ h/δ ไม่เกิน 15 g/m^3 การแปลงค่าแรงดันเบรกดาวนั กลับทำให้แรงดันเบรกดาวนัลดลงอย่างเห็นได้ชัด และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อ h/δ เกิน 15 g/m^3 เนื่องจากอัตราของค่าสัมประสิทธิ์แก้ไขความชื้นนั้นเป็นค่าที่ลดลงจากที่แสดงใน รูปที่ 5.18

5.4 ผลของความชื้นที่มีต่อระยะแกปอากาศ

เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันเบรกดาวนัที่เกิดขึ้นจากรูป 5.13 – 5.15 จะเห็นได้ว่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันเบรกดาวนัจากการทดลองเกินค่าที่มาตรฐานที่กำหนดไว้คือ $\pm 3\%$ เมื่อระยะแกปเปลี่ยนไป ซึ่งอาจมีผลของระยะแกปมาเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้นจึงนำแรงดันเบรกดาวนัที่ได้จากการทดลองกับค่าแรงดันเบรกดาวนัตามมาตรฐาน IEC 60052 [1] มาเปรียบเทียบกันให้อยู่ในรูปของ $\%U_b$ ตามสมการ

$$\%Ub = \frac{(U_{50\%/\delta} - U_{IEC})}{U_{IEC}} \times 100 \quad (5.1)$$

แล้วเขียนกราฟโดยแทนระยะแกปด้วย % S/D เมื่อ

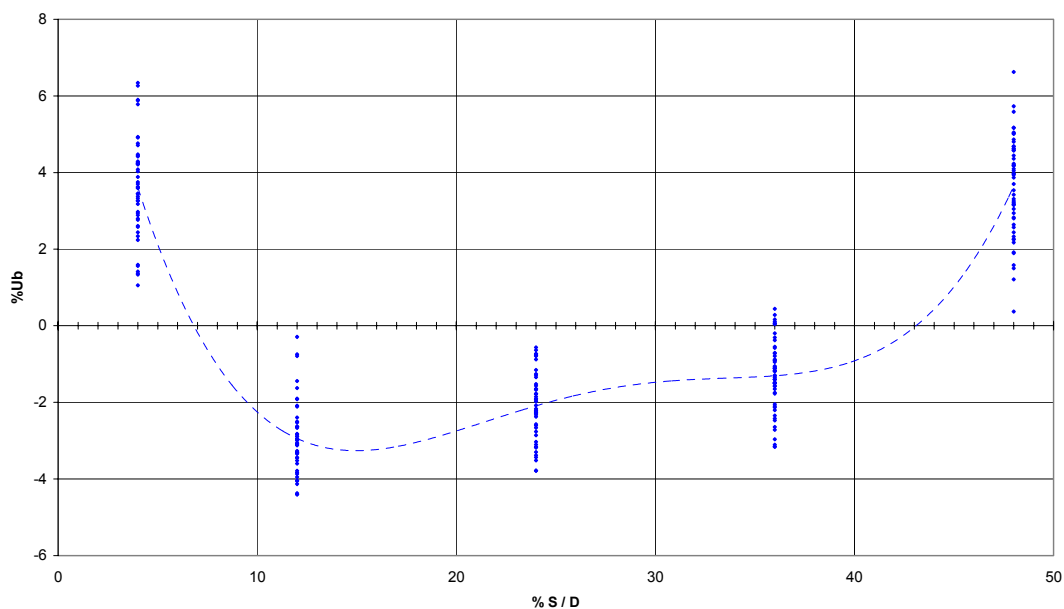
$$\% S/D = \frac{\text{ระยะแกป (cm)}}{25 \text{ cm}} \times 100 \%$$

เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลม

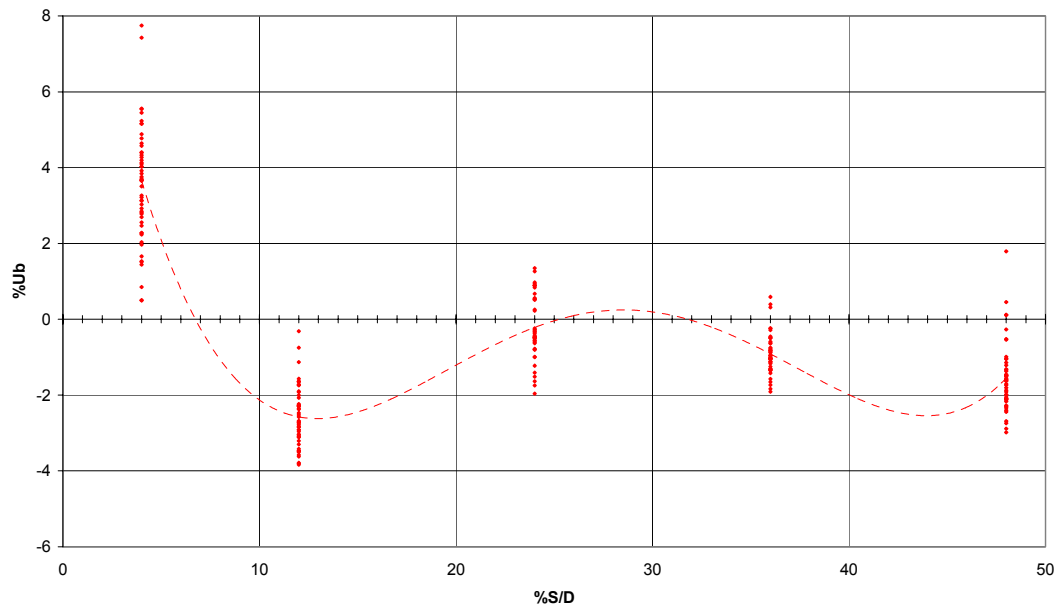
$$= \frac{\text{ระยะแกป (cm)}}{25 \text{ cm}} \times 100 \% \quad (5.2)$$

25 cm

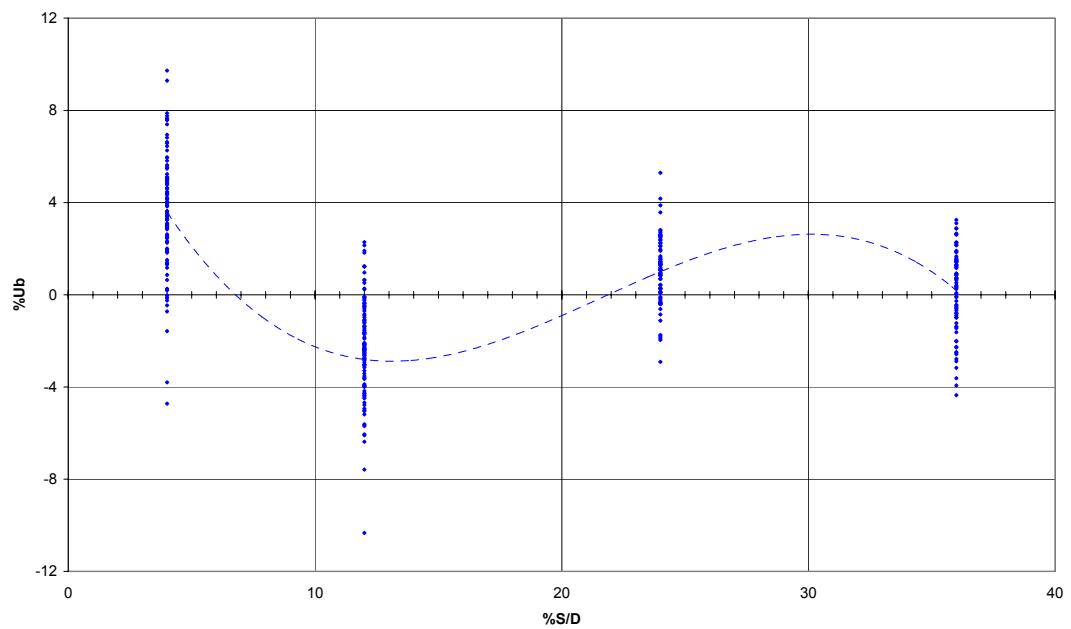
ดังแสดงในรูปที่ 5.19 ถึง 5.21



รูปที่ 5.19 เปอร์เซนต์ค่าแรงดันเบรกตารนิมพัลส์ชั่วคราว เทียบกับค่ามาตรฐาน (%Ub) กับ %S/D



รูปที่ 5.20 เปรเซ็นต์ค่าแรงดันเบรกคาน์นิมพัลส์ขั้วลบเทียบกับค่ามาตรฐาน (%Ub) กับ %S/D



รูปที่ 5.21 เปรเซ็นต์ค่าแรงดันเบรกคาน์กระแสดลั้บ เทียบกับค่ามาตรฐาน (%Ub) กับ %S/D

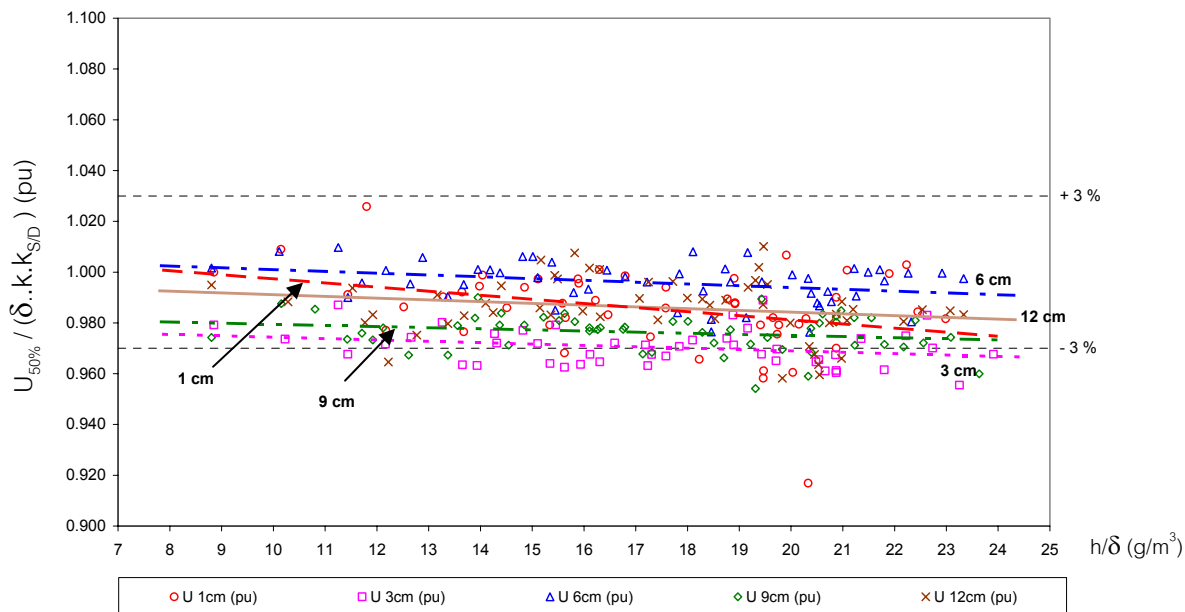
จากรูปที่ 5.19 ถึง รูปที่ 5.21 พบว่าที่แกบ 3 cm. หรือ % S/D ประมาณ 10-20 % ค่า $%U_b$ จะต่ำกว่าค่าที่มาตรฐาน IEC 60052 กำหนดไว้คือไม่เกิน 3% ทั้งแรงดันอิมพัลส์และแรงดันกระแสสลับ แต่เปลี่ยนแปลงตามระยะแกบ และจะสังเกตได้ว่าเมื่อระยะแกบเพิ่มขึ้น ความชื้นมีผลต่อแรงดันเบรกดาวร่น้อยลง จนเมื่อระยะแกบสูงๆ กลับมีค่าสูงขึ้น โดยเฉพาะแรงดันอิมพัลส์ ชั่วบวกรวมจะมีผลมากกว่าแรงดันอิมพัลส์ชั่วลบและแรงดันกระแสสลับ อาจเป็นผลมาจากกระบวนการสตริมเมอร์มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะแกบ

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอให้ใช้ แฟคเตอร์ $K_{S/D}$ ในการแก้ไขผลของระยะแกบที่มีต่อแรงดันเบรกดาวร่นของแกบทรงกลมมาตรฐานขนาด 25 cm. โดยแสดงตามสมการในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าแฟคเตอร์แก้ไขผลระยะแกบอากาศ

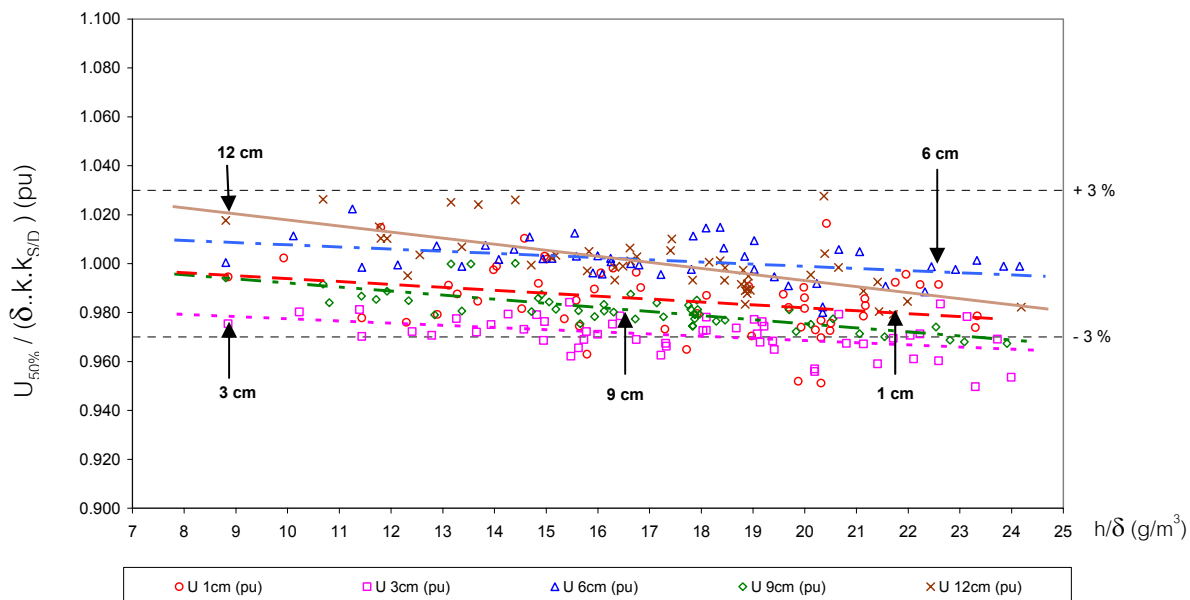
แรงดันรูปคลื่น	$K_{S/D}$
อิมพัลส์ชั่วบวก	$1 + [7.22 - 1.15 \times (\%S/D) + 0.036 \times (\%S/D)^2 - 0.0003 \times (\%S/D)^3]$
อิมพัลส์ชั่วลบ	$1 + [5.22 - 1.26 \times (\%S/D) + 0.051 \times (\%S/D)^2 - 0.0006 \times (\%S/D)^3]$
กระแสสลับ	$1 + [12.05 - 2.61 \times (\%S/D) + 0.14 \times (\%S/D)^2 - 0.0022 \times (\%S/D)^3]$

รูปที่ 5.22 ถึง รูปที่ 5.24 แสดงแรงดันเบรกดาวร่นอิมพัลส์และแรงดันเบรกดาวร่นกระแสสลับที่แปลงค่าตามมาตรฐาน IEC 60052 และแก้ไขผลของระยะแกบแล้ว แสดงในรูปของค่าเปอร์เซ็นต์



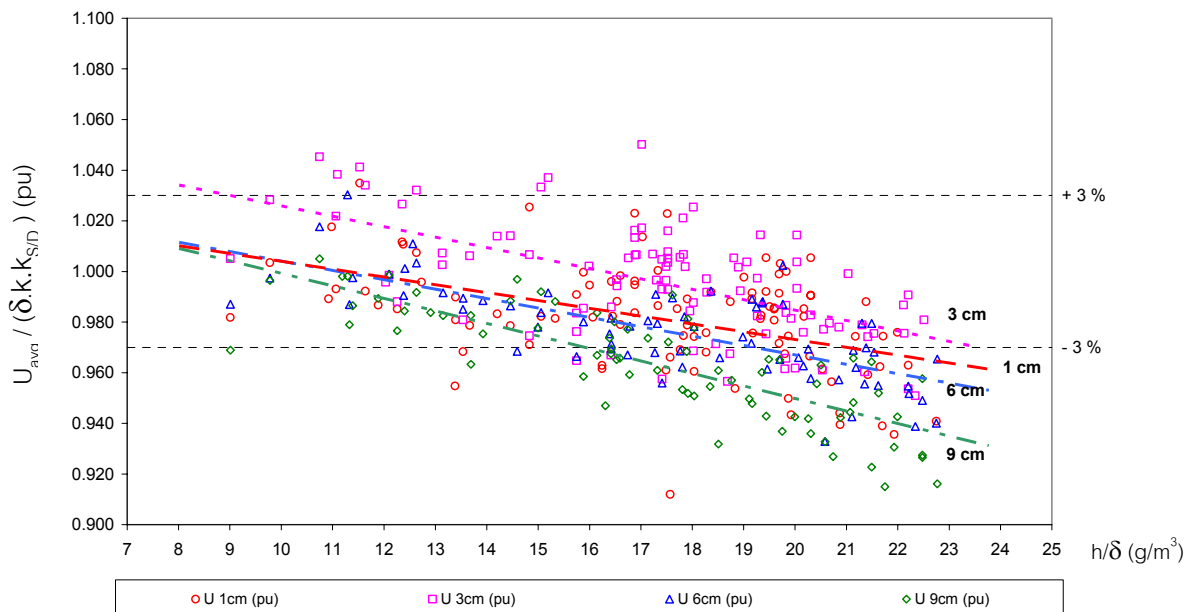
รูปที่ 5.22 แรงดันเบรกคาวานิมพัลส์ชั่วคราว เมื่อแปลงค่าตามมาตรฐาน IEC

และแก้ผลของระยะแกว่ง ในระบบเปอร์ยูนิต



รูปที่ 5.23 แรงดันเบรกคาวานิมพัลส์ชั่วคราว เมื่อแปลงค่าตามมาตรฐาน IEC

และแก้ผลของระยะแกว่ง ในระบบเปอร์ยูนิต



รูปที่ 5.24 แรงดันเบรกดาวนักระแสสลับ เมื่อแปลงค่าตามมาตรฐาน IEC

และแก้ผลของระยะแคบ ในระบบเปอร์ยูนิต

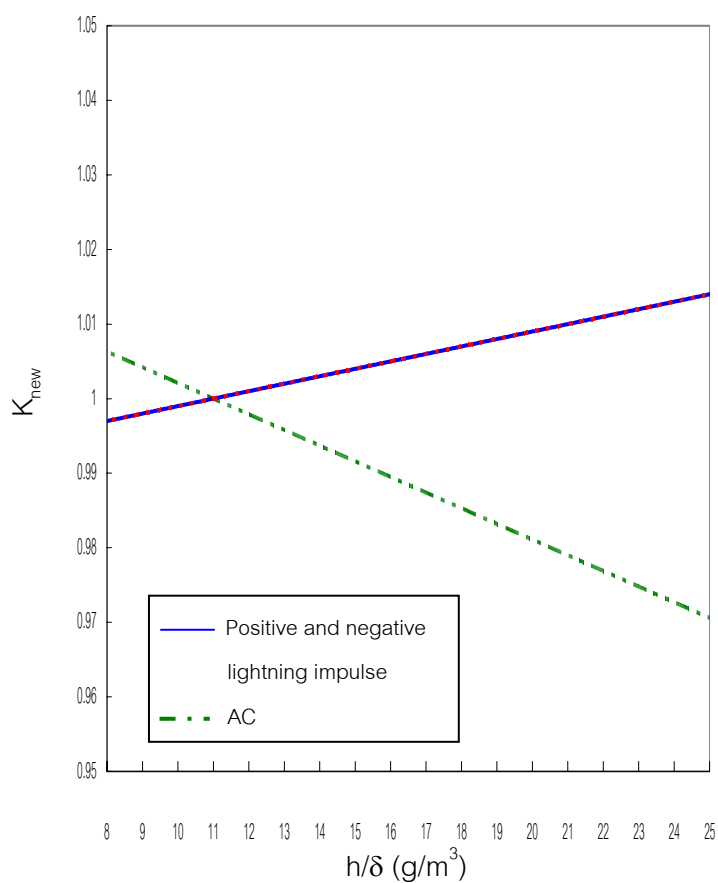
จะเห็นได้ว่าเมื่อเราแก้ผลระยะแคบ แล้วค่าแรงดันเบรกดาวนักรยังคงอยู่ในช่วงค่าที่ยังยอมรับได้คือ $\pm 3\%$ สำหรับแรงดันอิมพัลส์ และแรงดันกระแสสลับที่ h/δ ไม่เกิน 15 g/m^3 ดังนั้นในงานวิจัยต่างๆ จึงถือว่าความขึ้นไม่คอยมีผลต่อแรงดันเบรกดาวนักรมากนักสำหรับแคบทรงกลมมาตรฐาน แต่ถ้าพิจารณาที่ h/δ เกินกว่า 15 g/m^3 แล้วจะพบว่าที่ความขึ้นสูงๆมีผลต่อแรงดันเบรกดาวนักรอย่างมาก

5.5 ตัวประกอบแก้ไขความขึ้นใหม่ (k_{new})

จากการวิเคราะห์จึงอาจสรุปได้ว่าการใช้ค่าตัวประกอบแก้ไขความขึ้นตามที่มาตรฐาน IEC กำหนดนั้น ใช้แก้ไขได้ไม่ตึงเมื่อค่า h/δ สูงเกินกว่า 15 g/m^3 จึงควรใช้ค่าตัวประกอบการแก้ไขความขึ้นค่าใหม่ที่สามารถแก้ผลของความขึ้นได้ในภูมิภาคที่มีค่าความขึ้นสูงๆ ที่ได้จากการทดลอง และที่ h/δ เท่ากับ 11 g/m^3 จะไม่มีการแก้ไขผลความขึ้นเนื่องจาก ที่ภาวะมาตรฐานความขึ้นสัมบูรณ์มีค่าเท่ากับ 11 g/m^3 และความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์เท่ากับ 1 โดยที่ค่าตัวประกอบการแก้ไขความขึ้นใหม่ที่ k_{new} เพื่อปรับแก้นี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.25

ตารางที่ 5.3 ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นที่เสนอ k_{new} ในฟังก์ชันของ h/δ

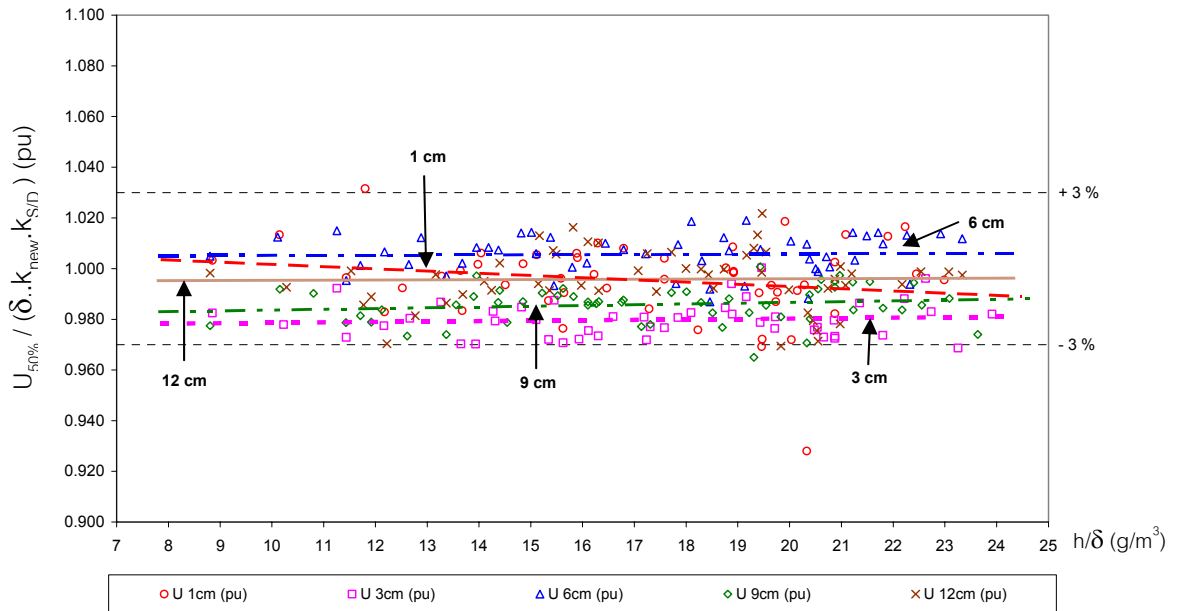
แรงดันรูปคลื่น	k_{new}	Humidity Range (g/m^3)
อิมพัลส์ชั่ววอก	$1 + 0.001 (h/\delta - 11)$	$8 \leq h/\delta \leq 25$
อิมพัลส์ชั่วลบ	$1 + 0.001 (h/\delta - 11)$	
กระแสสลับ	$1.015 - 0.002 (h/\delta - 11)$	
หมายเหตุ	งานวิจัยนี้ทำการทดลองในช่วง h/δ เท่ากับ $8 - 25 g/m^3$	



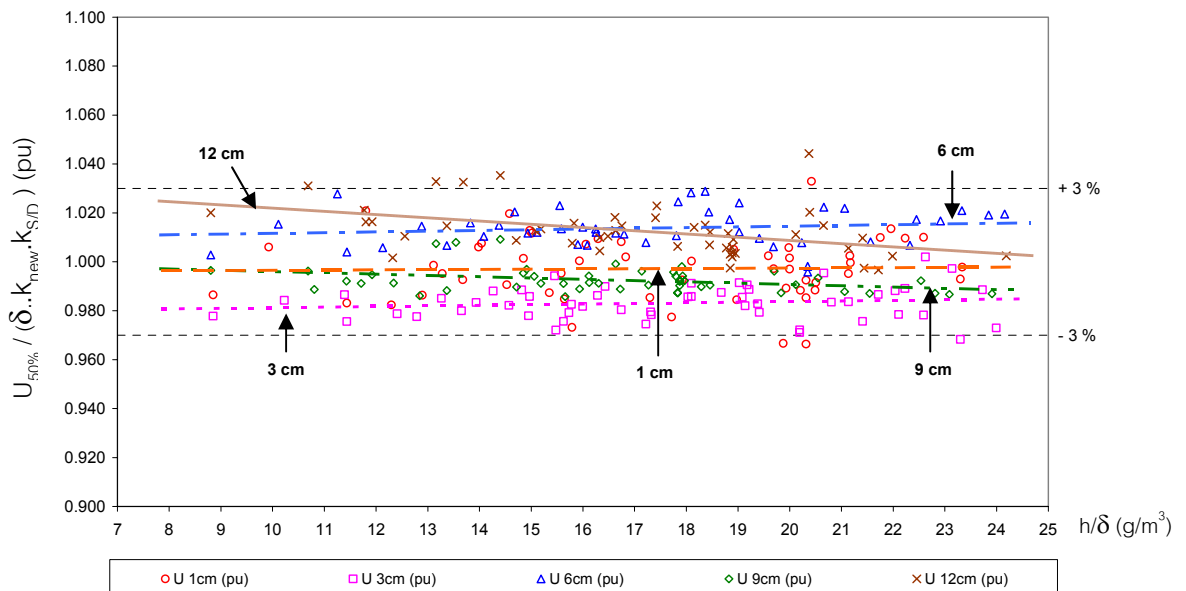
รูปที่ 5.25 ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นที่เสนอสำหรับการทดสอบด้วย

แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 1.2/50 μs และ แรงดันกระแสสลับ

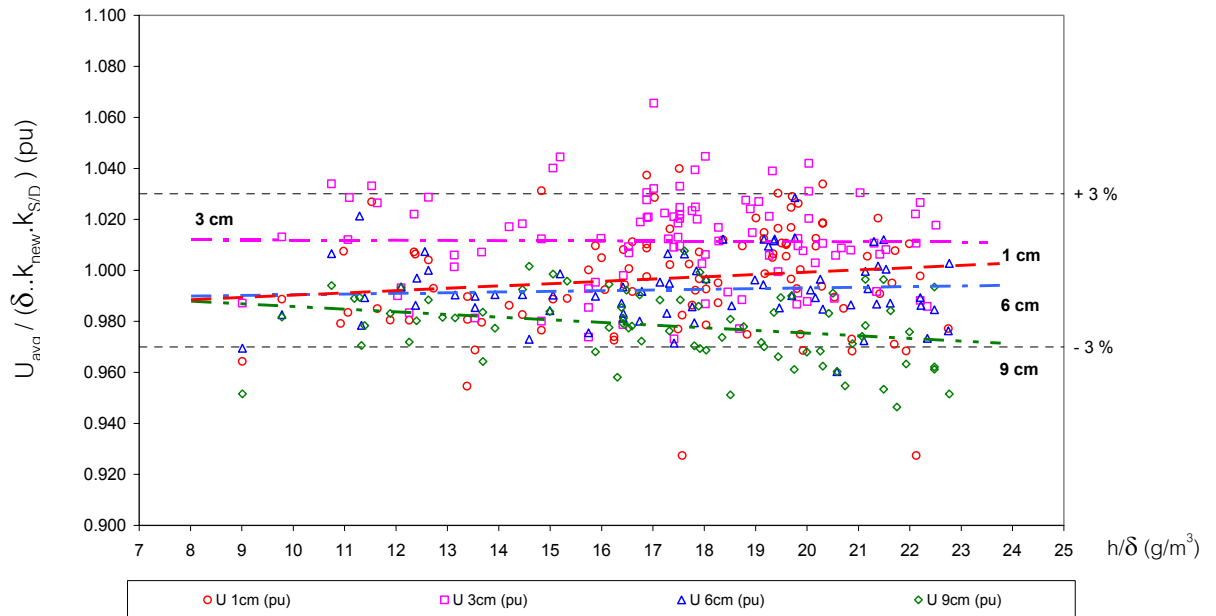
กราฟแสดงค่าแรงดันเบรกดาวนีย์ เมื่อ ใช้ตัวประกอบแก้ไขความชื้นที่เสนอ และ แก้มผลของความชื้นที่มีต่อแกปอากาศ (% S/D) แล้ว แสดงไว้ในรูปที่ 5.26 – 5.28



รูปที่ 5.26 แรงดันเบรกดาวนีย์อิมพัลส์ขั้วบวก เมื่อแปลงค่าด้วยตัวประกอบแก้ไขความชื้นที่เสนอ และแก้มผลของความชื้นที่มีต่อแกปอากาศ ในระบบเปอร์ยูนิต



รูปที่ 5.27 แรงดันเบรกดาวนีย์อิมพัลส์ขั้วลบ เมื่อแปลงค่าด้วยตัวประกอบแก้ไขความชื้นที่เสนอ และแก้มผลของความชื้นที่มีต่อแกปอากาศ ในระบบเปอร์ยูนิต



รูปที่ 5.28 แรงแดันเบรกดาวนั้กระแสลับ เมื่อแปลงค่าด้วยตัวประกอบแก้ไขความชื้นที่เสนอ และแก้ผลของความชื้นที่มีต่อแก๊ปก๊าซ ในระบบเปอร์ยูนิต

จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นที่เสนอ สามารถแก้ผลของความชื้นได้ดีกว่ามาก โดยเฉพาะช่วงสำหรับการทดลองด้วยแรงดันอิมพัลส์ ส่วนการแก้ผลของความชื้นสำหรับกระแสลับนั้นยังคงใช้ได้เช่นกัน

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

การวัดแรงดันสูงด้วยแกปทรงกลมมาตรฐานที่ภาวะอากาศต่างๆ ของห้องทดลองไฟฟ้าแรงสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อวิเคราะห์ถึงผลของความชื้นที่มีต่อการเกิดแรงดันเบรกดาวนซ์ของแกปทรงกลม โดยใช้แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 1.2/50 μ s และแรงดันทดลองกระแสสลับ สามารถสรุปได้ว่า

1. ในกรณีที่ระยะแกปมีขนาดแคบๆ หรือที่แรงดันเบรกดาวนซ์ค่าต่ำๆ พบว่าความชื้นไม่ค่อยมีผลต่อแรงดันเบรกดาวนซ์ที่เกิดขึ้น ทั้งในกรณีของแรงดันเบรกดาวนซ์อิมพัลส์ฟ้าผ่ารูปคลื่นมาตรฐาน 1.2/50 μ s. ชั่วบวก ชั่วลบ หรือแรงดันเบรกดาวนซ์กระแสสลับ

2. จากผลการทดลอง พบว่าค่าแรงดันเบรกดาวนซ์อิมพัลส์ชั่วบวกของแกปทรงกลมมาตรฐาน จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าความชื้นเพิ่มขึ้นตามระยะแกป และมีค่าคงที่เมื่อระยะแกปกว้างๆ

3. สำหรับแรงดันอิมพัลส์ชั่วลบนั้นค่าแรงดันเบรกดาวนซ์ของแกปทรงกลมมาตรฐานเพิ่มขึ้นตามความชื้นและระยะแกปจนถึงระยะแกปค่าหนึ่ง แรงดันเบรกดาวนซ์จะเริ่มคงที่และที่ระยะแกปกว้างๆ ค่าแรงดันเบรกดาวนซ์ก็ลดลงต่ำลง

4. สำหรับการทดลองด้วยแรงดันกระแสสลับค่าแรงดันเบรกดาวนซ์ของแรงดันกระแสสลับมีค่าลดลงเมื่อความชื้นสูงขึ้น

5. การใช้ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้น ตามที่มาตรฐาน IEC 60052 กำหนดยังคงใช้ได้สำหรับการทดลองด้วยแรงดันอิมพัลส์ที่ h/δ ไม่เกิน 15 g/m^3 ส่วนการทดลองที่ h/δ มากกว่า 15 g/m^3 การแก้ไขผลของความชื้นยังไม่ดีนัก ส่วนแรงดันกระแสสลับนั้นไม่สามารถนำมาใช้แก้ไขได้ จึงเสนอให้ใช้ค่าตัวประกอบแก้ไขความชื้นใหม่ให้เหมาะสมสำหรับการทดลองในสภาวะอากาศที่มีความชื้นสูง

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาผลความชันของแรงดันเบรกดาวน์ด้วยการทดสอบแรงดัน กระแสตรงหรือรูปคลื่นแรงดันแบบอื่นนอกเหนือจากรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 1.2/50 μs เช่นรูปคลื่นแรงดันความชันสูง (Steep front Impulse) ที่เวลาเบรกดาวน์อยู่ในช่วงน้อยกว่า 1 μs เพราะการเกิดความบกพร่องในระบบไฟฟ้ามาจากหลายสาเหตุไม่ใช่มาจากฟ้าผ่าเท่านั้น และลักษณะรูปคลื่นฟ้าผ่าจริงก็แตกต่างจากรูปคลื่นมาตรฐาน ซึ่งจากงานวิจัยในอดีตพบว่าเมื่อผลต่อแรงดันเบรกดาวน์ในแถบทรงกลมมาตรฐานนี้เช่นกัน ดังนั้นควรมีการศึกษาวิจัยในประเด็นนี้เพิ่มเติม

2. ผลการศึกษานี้ทำที่ทรงกลมขนาด 25 cm. ϕ ควรทำที่ทรงกลมขนาดใหญ่กว่านี้เพื่อยืนยัน K_{new} ที่เสนอและโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลของ %S/ D.

เอกสารอ้างอิง

1. IEC 60052. International Standard Voltage Measurement by Means of Standard Air Gaps, 3rd Edition, 2002.
2. Gourgoulis, D.E.; Mikropoulos P.N.; and Stassinopoulos C.A.. Sparkover Voltage of Sphere Gaps Under Standard Lightning and Switching Impulse Voltages. IEE Proc.-Sci. Meas. Technol., 143, N 3, (May 1996) : 187-194.
3. Gourgoulis, D.E.; and Stassinopoulos C.A.. Sparkover Breakdown of Sphere Gaps Stressed by Standard Impulse Voltages. IEE Proc.-Sci. Meas. Technol., 144, N. 6, (November 1997) : 187-194.
4. Jose G., and Fernando H. Study of the Breakdown Voltage of the Air in High Altitude, Applying Lightning Impulse (1.2/50 us) Under Conditions of Controlled Humidity and Temperature. High Voltage Engineering Symposium, 22-27 August 1999 Conf. Pub. No. 467, 1999.
5. De Salles C.; Pennachi J.P.; and Martinez M.L.B.. A New Proposal to Determine the Humidity Correction Factor for Lightning Impulse Tests and Application to Commercial Configurations. IEEE Bologna PowerTech Conf. Proc., 2, (23 -26 June), 2003.
6. Petcharak K.. Applicability of the Streamer Breakdown Criterion to Inhomogeneous Gas Gaps. Diss. ETH No. 11192. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 1995.
7. สำรวัย สังข์สะอาด. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. กรุงเทพมหานคร คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
8. IEC 60-1. International Standard High-Voltage Test Technique, 2nd Edition, (n.p.): 1989.
9. คมสัน เพ็ชรรักษ์. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการวัดแรงดันสูง. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
10. Kuffel E.; and Abdullah M. High Voltage Engineering. First Edition, (n.p.): Pergamon Press, 1970

11. Steven C.C.;and Raymond P.C. Numerical Method for Engineers:With Software and Programming Applications. Fourth Edition,(n.p.): McGraw-Hill Companies.,2002
12. Giuseppe Zingales. Study of the Breakdown Voltage of the Air in High Altitude,Applying Lightning Impulse (1.2/50 us) Under Conditions of Air Humidity Measurement for H.V. Tests.. High Voltage Engineering Symposium,22-27 August 1999 Conf. Pub. No. 467. 1999.
13. Calva P.A.; Cabrera G.P.; Mejia J.; Portillo A.R.; Perez E.; Espino F.P.;and Fonseca J. Study of the Breakdown Voltage of the Air in High Altitude,Applying Lightning Impulse (1.2/50 us) Under Conditions of Air Humidity Measurement for H.V. Tests.. High Voltage Engineering Symposium,22-27 August 1999 Conf. Pub. No. 467. 1999.
14. Kuffel, E.; Zaengl, W.; and Kuffel, J. High Voltage Engineering Fundamentals 2nd edition, Oxford: Newnes, 2000.
15. Ravindra, A., and Wolfgang, M. High Voltage Insulation Engineering: Wiley Eastern Ltd., New Age International Publishers ., 1995.
16. Vibholm, S.; and Thyregod, P. A Study of the Up-and-Down Method for non-Normal Distribution Functions. IEEE Trans on Electrical Insulation .23, n.3(June 1988): 357-364.
17. Montanari, G.C.; Mazzanti, G.; Cacciari, M.; and Fothergill J.C. In Search of convenient Techniques for Reducing Bias in the Estimation of Weibull Parameter for Uncensored Tests.. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation,vol.1, No.3.(June 1997) :306-313.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลความชื้นจากกรมอุตุนิยมวิทยาในรอบ 5 ปี

ค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และความดันอากาศ (มิลลิบาร์) ในบริเวณกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย จากกรมอุตุนิยมวิทยาในรอบ 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2542 – 2546 (ค.ศ. 2000 - 2004) แสดงในตารางต่อไปนี้

ตาราง ก.1 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ปี พ.ศ. 2543

Daily Mean Relative Humidity (%)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2000												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
1	62	54	78	73	74	77	73	74	84	82	62	68
2	62	54	70	76	71	72	82	73	80	78	54	66
3	60	55	65	76	72	84	83	79	85	76	57	63
4	60	55	74	75	79	89	80	72	83	80	60	62
5	63	55	74	75	79	84	80	71	87	81	60	63
6	74	54	76	76	77	79	86	70	79	83	66	60
7	75	55	76	72	71	74	81	72	75	81	66	62
8	78	54	76	70	69	75	71	80	68	86	65	62
9	78	56	73	74	66	77	74	84	69	75	65	64
10	76	64	75	80	66	71	73	75	66	76	57	67
11	78	74	72	80	66	70	75	73	69	81	62	71
12	75	73	55	81	71	63	82	69	75	76	65	66
13	78	76	52	80	74	70	78	73	70	81	62	62
14	78	75	57	92	82	72	79	75	71	82	61	65
15	77	79	66	90	82	67	76	71	80	87	63	63
16	76	75	56	84	72	79	79	65	68	84	58	65
17	72	75	58	83	75	83	76	69	60	82	62	65
18	76	77	66	81	79	84	75	73	75	73	66	64
19	74	75	70	78	80	82	73	77	86	78	69	62
20	62	76	72	83	77	79	82	69	82	75	67	61
21	58	76	67	75	83	80	80	71	81	77	62	62
22	59	74	70	82	85	80	75	73	80	81	61	61
23	60	75	72	86	83	83	74	82	77	80	64	57
24	54	75	84	74	79	82	72	87	80	79	63	56
25	60	70	68	77	74	81	71	79	80	80	66	56
26	59	74	64	75	72	76	65	77	75	80	80	69
27	54	60	64	75	76	89	66	77	78	78	74	61
28	56	58	66	76	71	81	66	73	88	86	67	63
29	56	74	82	74	68	75	69	83	88	85	67	60
30	58		76	74	74	74	75	80	80	86	66	63
31	56		75		82		71	77		83		61

ตาราง ก.2 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ปี พ.ศ. 2544

Daily Mean Relative Humidity (%)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2001												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
1	56	66	77	79	82	73	72	70	69	83	81	70
2	59	72	75	77	89	70	67	69	66	84	85	69
3	59	75	74	72	88	76	69	69	68	86	81	81
4	57	78	75	73	88	78	70	70	69	82	75	85
5	65	75	66	73	78	70	75	85	80	87	75	75
6	71	71	69	73	76	73	67	91	79	84	65	71
7	71	75	76	72	72	86	84	83	81	85	68	67
8	78	79	74	71	70	85	80	80	73	87	65	69
9	75	76	82	72	77	76	87	69	79	86	61	61
10	76	86	89	78	72	72	81	79	76	88	61	62
11	77	71	92	76	71	79	79	73	71	82	64	63
12	73	66	94	72	79	77	77	74	78	81	62	65
13	75	63	84	76	76	69	68	76	80	82	64	71
14	83	69	80	70	66	73	70	81	76	80	72	70
15	76	60	74	73	71	68	73	64	78	83	67	61
16	64	53	73	74	90	68	72	74	80	72	63	63
17	59	51	72	68	81	76	70	76	68	76	63	66
18	62	56	70	72	78	69	69	76	81	83	60	68
19	63	71	81	69	75	63	69	66	85	89	60	65
20	61	74	78	63	77	62	67	71	80	79	57	61
21	78	77	81	66	79	70	66	70	84	70	59	61
22	77	77	89	67	73	74	74	67	84	68	58	56
23	74	75	80	67	76	68	74	69	88	88	64	54
24	73	62	75	70	72	66	71	67	87	88	64	53
25	74	51	76	70	71	77	66	65	90	83	65	57
26	73	71	73	76	77	76	71	67	89	85	48	61
27	74	73	71	72	80	74	73	70	87	85	55	64
28	73	74	68	70	77	81	69	71	87	85	61	63
29	74		66	76	71	77	69	72	86	82	67	60
30	61		70	79	72	75	66	68	82	80	68	58
31	69		76		70		73	72		83		59

ตาราง ก.3 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ปี พ.ศ. 2545

Daily Mean Relative Humidity (%)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2002												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
1	60	59	76	69	70	73	75	75	73	79	81	81
2	53	76	76	73	73	75	75	75	72	82	80	80
3	53	78	76	71	83	80	79	79	72	78	70	78
4	58	74	76	69	75	76	84	70	74	81	63	76
5	61	74	81	68	75	78	80	70	71	84	62	69

Daily Mean Relative Humidity (%)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2001												
DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA
6	58	73	76	70	75	75	75	73	74	80	63	75
7	55	76	85	74	74	76	82	71	68	86	67	79
8	56	74	80	73	70	74	79	69	68	64	63	80
9	59	78	66	67	80	74	78	72	75	62	64	75
10	61	75	69	68	83	72	77	68	80	58	61	68
11	62	76	77	71	92	82	79	69	81	57	73	65
12	70	74	75	74	78	79	74	73	80	64	79	71
13	75	76	76	63	81	77	77	71	73	66	78	68
14	76	74	79	67	81	76	76	72	69	64	84	68
15	72	73	79	70	75	75	83	74	67	69	82	67
16	75	70	78	71	77	77	84	75	72	76	82	68
17	74	71	78	70	77	73	84	74	67	82	80	66
18	69	71	78	70	81	75	83	76	75	75	75	67
19	67	72	69	69	77	73	82	70	83	77	71	73
20	76	64	62	69	91	79	77	67	82	76	71	73
21	76	73	73	68	82	79	79	84	78	75	68	71
22	65	73	72	71	77	80	76	80	90	83	76	60
23	60	74	74	66	73	84	66	71	88	76	88	61
24	63	75	63	70	72	82	68	77	85	82	78	65
25	72	74	71	77	78	85	65	82	86	77	81	65
26	75	78	75	81	77	82	68	82	77	81	76	70
27	78	75	75	80	73	88	70	74	81	93	69	79
28	75	76	72	74	74	86	73	69	78	88	68	68
29	65		72	69	78	77	78	76	80	80	72	69
30	56		74	71	76	76	83	75	79	81	70	67
31	59		75		77		76	74		87		66

ตาราง ก.4 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ปี พ.ศ. 2546

Daily Mean Relative Humidity (%)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2003												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
1	67	56	76	75	73	71	91	68	79	88	62	56
2	69	55	77	69	71	71	81	68	72	77	62	58
3	62	59	76	64	72	70	84	68	72	77	61	57
4	62	65	78	68	70	77	75	78	70	64	45	56
5	63	54	69	67	66	72	78	74	74	69	62	58
6	66	57	71	69	67	72	86	72	79	73	64	54
7	69	55	67	71	65	68	85	75	72	86	71	57
8	66	60	74	75	70	63	82	75	65	85	67	59
9	64	70	79	75	70	64	85	73	67	76	64	59
10	63	75	66	72	79	67	74	74	73	75	61	62
11	65	78	71	72	76	65	70	73	74	76	61	65
12	60	75	74	71	79	68	74	78	76	80	57	61

Daily Mean Relative Humidity (%)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2001												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
13	64	75	71	72	85	63	86	74	85	83	61	57
14	65	76	78	71	69	65	85	78	82	78	62	56
15	69	74	71	73	69	61	77	71	81	81	64	56
16	71	76	74	70	67	70	75	78	79	71	67	56
17	73	76	73	69	69	78	68	89	83	69	64	55
18	78	77	74	67	68	76	69	86	82	73	65	60
19	72	73	73	71	71	71	69	76	83	64	72	55
20	60	73	73	68	72	69	72	75	85	68	74	54
21	69	76	76	71	74	71	68	79	87	66	73	55
22	71	73	74	72	75	79	69	78	78	65	59	58
23	76	76	84	69	68	86	79	76	80	81	60	62
24	74	72	77	72	70	78	86	82	83	87	62	60
25	69	76	78	71	72	64	90	77	84	83	59	64
26	73	75	86	68	67	78	91	71	83	76	63	63
27	77	72	73	65	63	77	81	72	88	72	60	55
28	78	73	75	65	62	78	77	69	86	69	55	60
29	73		79	76	63	78	78	61	84	64	54	61
30	57		75	67	66	88	79	73	87	58	57	60
31	59		77		70		88	88		62		54

ตาราง ก.5 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ปี พ.ศ. 2547

Daily Mean Relative Humidity (%)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2004												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
1	58	77	69	73	75	68	67	79	76	81	55	58
2	60	77	67	70	74	67	68	68	88	84	55	54
3	57	80	75	70	79	63	69	81	88	74	54	55
4	60	80	80	68	78	64	68	78	84	70	55	56
5	59	77	77	73	88	76	71	81	82	74	55	55
6	54	78	79	71	83	80	69	80	77	77	56	49
7	55	85	67	69	78	86	76	72	70	74	55	51
8	58	92	56	67	80	83	77	71	66	70	58	54
9	63	74	54	71	76	79	73	83	68	67	64	54
10	70	66	55	71	75	85	79	80	69	67	73	56
11	80	61	76	71	72	82	69	75	69	76	68	57
12	84	54	78	72	65	84	71	71	70	72	68	58
13	82	57	80	74	70	81	65	65	83	67	64	54
14	72	56	79	64	70	85	74	63	82	66	64	57
15	79	56	77	69	78	77	65	66	73	64	65	51
16	79	58	76	60	63	76	59	69	73	66	76	55
17	77	68	73	58	76	73	62	70	85	60	65	57
18	77	73	72	58	73	83	66	76	85	56	58	58
19	75	77	77	66	71	90	68	89	79	57	56	49

Daily Mean Relative Humidity (%)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2001												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
20	78	80	80	67	79	81	68	78	78	58	62	58
21	80	78	74	68	92	71	66	73	86	60	53	54
22	70	80	79	67	85	66	76	76	78	63	46	65
23	66	81	76	69	68	67	82	68	75	63	53	66
24	57	78	62	71	68	64	77	68	72	62	53	59
25	56	74	63	70	68	69	82	68	76	61	59	66
26	61	68	67	68	74	69	75	71	73	50	65	57
27	59	68	72	71	74	69	76	70	73	54	64	56
28	63	74	76	84	70	74	75	74	61	61	59	53
29	69	73	75	71	70	71	73	76	68	60	62	53
30	79		74	67	67	70	72	74	80	61	60	57
31	81		73		68		76	79		57		56

ตาราง ก.6 ข้อมูลอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ปี พ.ศ.2543

Daily Mean Dry Temperature (Celsius)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2000												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
1	28.4	25	25.7	30.7	30.4	29	30.2	29.9	27.9	28.1	27.6	29.8
2	28.5	23.9	26.3	31.1	30.2	29.7	28.2	30.1	28.6	29	25.9	30.6
3	29.5	25.2	28.7	31.3	30.7	27.6	28.8	28.7	27.3	29.9	25.5	30
4	29.3	25.8	29.1	31.8	28.8	26.6	29.1	28.9	27.6	28.2	25.1	28.3
5	29.7	26.8	30.2	31.4	28.7	28	29	29	26.8	28.1	25.5	27.7
6	28.2	27.5	29.9	30.8	29.3	29.6	27.4	29.5	27.9	27.8	25.8	27.6
7	28.4	27	30.5	31.5	30.4	30.3	28.4	29.4	28.5	28.1	26.4	27.8
8	28.2	27.1	30.3	31.3	31.2	29.7	29.3	28.6	29.5	27.2	27.5	28.7
9	28.3	27.5	30.4	31.5	31.3	29.6	29.3	27.8	28.9	28.8	27.9	29.1
10	28.9	28.1	30	28.3	31.5	30.1	29.1	29.4	29.3	29.3	28.2	29.2
11	28.9	28.1	30.1	27.8	31.1	29.9	28.1	30.7	28.7	28.4	29	29.2
12	28.7	28.5	30.4	28.2	30.5	30.3	27	30.8	28.5	28.6	29.1	28.9
13	28.3	28.3	30	27.8	29.9	29.6	28.2	30.3	29.4	28.1	28.3	29.4
14	28.8	29	30.1	26	29.3	30.4	28.2	29.6	29.4	28.3	28.9	28.9
15	28.5	28.9	29.8	26.7	29.2	30.6	28.2	28.6	28.3	27.2	29.8	27.8
16	28.2	29.3	30.5	28.2	29.9	29.1	28.1	29.6	29.4	27.6	29.3	28.8
17	28.4	28.8	30.5	27.4	29.6	28.4	28.5	29.7	30	27.5	28.7	29.2
18	28.4	28.5	30.7	28.3	29.5	27.9	29.3	29.4	28.6	28.7	27.8	29
19	27.2	29	30.7	28.8	29.4	28.7	29	28.3	27.9	28.9	28.6	29.5
20	26.5	29	30.6	28.6	29.1	28.2	28.2	29.6	28.5	29.9	29.7	30
21	27.3	29.4	30.6	30.1	28	28.4	28.1	29.6	28.7	30	27	29.9
22	27.8	29.8	30.8	28.2	28	28.6	28.5	29.2	28.4	28.6	25	28.8
23	28.1	29.7	31.3	28.2	28.7	28.2	28.8	27	29	28.6	25.7	27.7
24	28.8	30.2	27	30	29.5	27.8	29.5	26.4	28.4	28.4	27.8	25.6
25	29.6	29.6	29.5	30	30.3	28.2	29	28.2	28.9	28.9	29.2	25.4

Daily Mean Dry Temperature (Celsius)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2000												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
26	29	28.7	29.5	30.3	30.2	28.3	29.7	28.5	28.9	28.8	27.4	26
27	25.7	27.4	29.4	30.6	29.5	27.3	29.9	28.7	29	29.3	29.3	26.6
28	25.1	29.8	30.3	30.1	30.7	28.3	29.8	28.4	26.9	28	30.1	26.5
29	25.4	28.1	28.8	30.5	31.6	29.5	29.6	27.2	27.4	27.8	29.6	28.6
30	25.8		29.6	30.5	31.1	30.1	29.2	28.3	28.6	27.2	29.7	29.5
31	26.5		30.1		28.9		30.1	28.2		27.5		29.3

ตาราง ก.7 ข้อมูลอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ปี พ.ศ.2544

Daily Mean Dry Temperature (Celsius)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2001												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
1	27.5	29.7	30	30	29.3	31.2	29.5	29.6	30.5	28.1	28.4	28.1
2	27.3	29.3	30.4	30.5	27.5	31.5	29.6	29.2	31	28.1	26.8	28.6
3	27.6	29.6	30.6	31.2	27.7	30	29.8	29.8	30.9	27.6	28.7	28.1
4	28.2	29.4	30.5	31.4	27.7	29.8	29.9	30.6	30.9	28.3	29.9	26.6
5	28.6	29.5	30.9	31.4	30.2	30.1	29.3	27.5	29.3	27.9	29.7	27.8
6	27.4	29.7	31.2	31.3	30.9	30.1	30.1	26.8	29.5	28.3	30.6	28.9
7	28.8	30.1	30.3	31.5	31.6	28.2	28.4	28.3	29.2	27.9	29.3	29.5
8	28.5	29.5	29.9	31.6	30	28.2	29	28.9	30.1	27.9	30	29.3
9	29.1	29.4	27.2	31.9	28.9	29.8	28	29.6	28.4	28	29.7	28.5
10	29.5	26.7	24.5	31.8	29.7	29.8	28.2	28.1	28.6	26.6	28.8	28.3
11	29.2	27.8	23.8	31.9	29.8	28.2	29.2	28.6	29.8	27.9	26.8	28.6
12	29.3	29.3	23.9	31.1	28.8	28.9	28.7	28.9	29.2	28.7	27.3	28.5
13	29.1	30.8	24.8	31.4	29.7	29.2	30	28.6	28	28.5	28	28.8
14	27.5	28.8	26.9	32.1	31	29.4	29.9	27.9	29	29.5	25.1	28.2
15	28.2	28.7	28.5	31.2	30.2	29.3	29.8	29.6	29.2	28.8	23.4	27.3
16	28.2	27.5	29.3	31	26.8	29.5	29.9	28.4	30.7	30.5	24.5	27.9
17	27.6	27	30.5	32.2	28.9	28.9	29.5	28.4	31.4	29.7	25.4	29.5
18	27.7	28.1	30.6	32.1	28.9	30	29.9	28.6	28.9	27.6	25.6	29.7
19	28.7	28.7	28.2	32.4	29.6	30	30.2	30.2	28	26.8	25.2	29.9
20	30.4	29.3	28.5	32.6	29.1	30.5	30.3	29.2	28.8	28.5	25	29.6
21	28.3	29.4	28.5	32.5	29.3	29.3	29.9	29.5	28.3	29.7	24.5	28.6
22	28.5	29.5	27.3	32.4	30.4	29	29.2	29.9	28.3	29.7	24.5	24.9
23	29.5	29.7	29	32.7	29.3	30.1	29.3	30.1	27.3	25.8	25	23
24	29.7	30.2	29.6	32.4	29.8	29.9	30.8	30.4	28	26.9	25.9	23.7
25	29.5	29.8	29.9	32.3	30.2	29	31.1	30.9	27.6	28	26.4	24
26	29.5	29.4	30.6	30.8	29.4	28.8	30.7	30.5	27.5	27.9	26.3	24.6
27	29.2	29.8	30.2	30.8	29	29	30.5	29.4	27.5	27.7	25.5	25.6
28	29.7	30.1	31	32.4	29.2	28.1	30.5	29.5	27.5	27.9	26	26.8
29	28.4		31.4	31.5	30.2	29.5	30.2	29.6	27.9	28.4	26.7	26.1
30	28.5		31.2	29.6	30.4	29.6	30.6	29.9	28.8	28.6	27.7	25.2
31	28.9		30.9		30.7		29.5	29.6		27.8		25.3

ตาราง ก.8 ข้อมูลอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ปี พ.ศ.2545

Daily Mean Dry Temperature (Celsius)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2002												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
1	26.2	28.7	29.6	31.2	30.4	30.9	30.5	30.5	29	29.2	28.2	27.9
2	25.8	28.2	29.7	31.3	31	30.1	30.6	30.4	28.9	28.9	28.2	28.3
3	24.3	27.7	29.4	31.3	29	29.9	29.7	29.2	28.5	29.5	28.4	29
4	24.4	28.4	29.7	31.7	30.2	29.9	29.5	29.7	28.5	28.5	26.3	29.8
5	24.8	28.5	28.6	31.3	30.5	29.8	29.9	29.1	29.7	28.3	25.5	30.3
6	26.2	28.4	29	31	30.5	30.1	30.3	28.7	29	28.8	25.8	29.1
7	26.1	28.2	25.3	31.1	31.6	30.4	29.5	29.5	30.1	26.2	27.6	28.8
8	25.8	28.7	23.7	31	31.9	31.1	30.5	30	29.7	28.3	28	28.9
9	26.1	28.6	26.7	32.2	30	30.9	30.7	28.8	28.7	28.4	27	28.2
10	26.4	28.8	28.7	32.2	29	31.2	30.9	29.2	28.6	28	28.7	27.1
11	26.9	28.8	29.1	32	27.1	29.2	30.8	29.9	28	27.5	28.3	28.4
12	27.2	29.7	29.2	28.4	29.3	29.4	30.9	29	28.9	28.4	29.2	28.1
13	27.6	29.4	29.5	30.9	29.3	29.5	30.6	29.2	29.4	28.6	29.3	28
14	27.1	29.4	29.5	31.3	29.7	29.8	30.8	28.4	29.8	29.3	28.3	27.8
15	27.6	29.4	29.5	31.3	30.3	30.9	29.6	29	29.4	29.6	29.7	28.9
16	28.1	29	29.9	31.7	29.2	30.5	29.5	27.9	28.9	29.6	29.7	29
17	27.9	29.6	29.8	32	28.8	30.4	28.8	28.1	29.5	29.4	29.4	29.4
18	28.5	29.6	29	31.7	28.3	30.3	28.5	28.4	28.3	30.1	29.1	30.1
19	28.7	29.9	30.6	32	30	30.4	29	28.3	28	29.9	29	29.7
20	28.8	30	31.2	31.8	26.7	29	30.4	28.9	28.3	30.1	29.2	30
21	29.3	29.1	30.2	32.2	28.3	29.6	30	27.2	28.4	29.5	30.3	29.6
22	29.4	29.2	30.4	32	29.4	29.6	30.3	28.7	26.3	28.4	28.5	28.5
23	28.2	29.5	30.3	31	30.4	28.2	29.9	29.9	26.8	29.3	26.8	28.8
24	28.8	29.7	30.5	30.7	31.1	29.4	30.2	28.8	27	27.9	28.3	29.2
25	28.3	29.5	31.3	29.7	30.4	28.5	30.1	28.8	27	29.2	27.7	29.4
26	28.3	28.1	30.9	29	30.5	29.6	30.6	28.5	29.2	27.7	27.6	29.2
27	28.4	29.4	31.2	29.5	30.7	28.8	30.2	30.2	28.8	26.2	28.5	28.2
28	28.4	29.5	31.3	31.2	30	29.1	29.8	29.8	29.7	27.2	28.7	25.8
29	28.8		31	31.7	29.5	29.9	28.3	28.3	28.6	29.2	28.5	26.8
30	28.1		30.8	31.3	30	30.1	28.3	28.2	28.6	29.1	29.7	28.8
31	28.4		30.8		30.4		29.5	28.2		27.7		29.2

ตาราง ก.9 ข้อมูลอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ปี พ.ศ.2546

Daily Mean Dry Temperature (Celsius)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2003												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
1	29.5	29.2	30	30.1	29.4	30.6	26.2	30.4	27.7	27.3	29.9	27.5
2	29.3	29.5	30.3	30.8	30.9	30.2	28.3	30.2	28.7	29.3	29.9	26.8
3	29	29	30.4	31.4	30.7	29.5	28.4	30.3	28.4	29	30.3	27.2
4	27.2	28.3	30.2	31.8	32	28.6	30.5	28.4	28.5	30	30.3	27.4
5	28	26.7	31.1	32	32.9	30.4	28.4	29.5	28.9	30.2	30.2	28

Daily Mean Dry Temperature (Celsius)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2003												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
6	28.3	25.7	30.7	31.5	33.3	30.3	27.7	29.5	28	30.1	30.7	29.1
7	28.5	26.8	31.2	31.1	33.6	31.1	28.3	29.6	29.4	27.9	29.7	29
8	27	27.7	30.5	31.5	32.2	31.9	28.6	29.7	29.8	28.7	30.2	28.9
9	27.1	28.4	28	31.4	30.5	30.9	28.1	30.4	29.6	30	30.5	29.3
10	26.6	29	29.6	31.4	29.2	31.5	29.8	30.3	29.1	30.5	30.9	29.2
11	25.8	29.8	29.2	31.2	29.8	31.5	29.9	29.9	28.9	30.3	30.5	28.9
12	25.2	29.1	29.3	31.2	29.5	30.7	30.1	29.6	28.7	29.6	29.6	29.3
13	24.9	29.5	29.2	31.8	27.8	30.8	27.9	30.3	27	28.4	27.3	27.1
14	25.2	28.8	26.4	32.1	30.2	31.6	27.9	30.1	27	28.7	29.1	25.7
15	26.3	29.6	28.8	31.3	31.1	31.7	29.4	31	28	27.6	30.5	25.1
16	26.5	29.6	29.5	30.9	30.6	29.8	29.7	30.5	28.8	28.6	30.5	25
17	26.6	29.7	29.9	31.7	30.3	28.5	30.6	27.7	28.1	28.8	30.4	26.8
18	26.9	29.7	30.2	31.5	30.6	29.4	31.7	27.9	28.8	29.2	29.9	26.9
19	27.1	29.9	30.4	31.7	30.5	29.4	30.9	29.3	27.6	29.5	29.8	27
20	26.9	30.1	30.5	32.2	30.4	29.8	30.3	29.1	27.2	29.7	30.1	23.6
21	27.2	29.5	29.6	31.8	29.7	30.4	30.3	28.6	27	29.9	30.2	22.9
22	28	29.7	29.6	31.9	30	29	29.7	29.1	28.7	29.6	31	23.5
23	27.8	29.7	27.4	32.2	30.7	27.3	28.1	28.9	29	27.3	29.3	25.9
24	27.6	30.2	28.3	30.7	30.1	28.8	27.6	28.1	28.4	26.3	29.9	27.4
25	28.5	29.6	28.2	30.8	29.9	30.5	26.5	28.1	28.1	27.5	30.6	28
26	28.4	29.6	26.6	32	30.9	28.8	27.2	29.3	27.7	28.8	30	27.7
27	28.3	30.4	29.4	32	31	29.3	28.4	29.1	27	29.4	29.8	26.2
28	28.5	30.3	29.6	31.9	31	29	29.3	29.9	28	29.1	28.6	25.9
29	27.7		28.2	29.2	31	28.6	28.7	31	28.2	29.9	27.7	26.8
30	27.8		29.1	31.2	30.8	27.2	29	29.2	27.3	29.9	27.5	27.1
31	28.7		29.1		30.5		30	26.4		29.9		27.8

ตาราง ก.10 ข้อมูลอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ปี พ.ศ.2547

Daily Mean Dry Temperature (Celsius)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2004												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
1	28	29.4	30	31.1	31.8	30.8	30.9	28.3	30.2	27.7	30.8	28
2	28	29.3	30.6	31.4	31.5	31.5	30.8	29.2	27.5	27.2	30.1	28.6
3	28.4	29.3	30.4	31.3	30.9	31.9	31.3	27.7	26.8	28.1	30.2	29
4	28.9	29.3	30	31.2	30.4	31.5	31	28.6	27.8	29.3	30.3	28.8
5	29.2	29	29.5	31.3	28.4	30.2	30.9	28.4	28.5	29.4	30.6	27.9
6	29	28.6	29.3	31.7	28.4	30.4	31.3	28	29	28.6	31.3	27.4
7	28.3	26.6	29.5	31.7	30.4	28.7	30.9	29.6	28.9	29.3	31.1	26.8
8	28.6	23.3	28.6	31.9	30	28.9	28.6	29.7	29.3	29.8	31.1	24.9
9	28.3	24	28.4	31.8	30.4	29	29.6	27.4	29	30.7	31.4	25.6
10	28.5	25.2	30	31.5	30.4	28.4	28.2	27.8	28.9	30.4	30.6	26.4
11	28.1	26.8	29.8	31.7	30.7	28.7	29.3	28.3	30.2	29.4	31.3	27.1

Daily Mean Dry Temperature (Celsius)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2004												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
12	25.4	28	30	32.1	30.8	28.1	28.9	29.1	29.4	28.7	31.9	27.4
13	25.5	26.1	30.3	31.6	30.5	28.5	30.1	29.7	27.3	30.4	31.9	26.9
14	27.8	25.4	30.2	32.3	30.4	27.2	29.3	30	27.4	30.7	32.3	26.1
15	28	26.8	30.2	32.6	30	28.8	30.5	29.3	28.4	30.3	31.4	26.5
16	28	27.4	30	33	30.5	28.8	31.8	29.3	29.1	30.2	29.5	26.5
17	28.5	28.1	29.9	32.3	28.9	28.6	31.2	29.8	28.1	30.3	29.8	27.5
18	28.4	28.4	30	32.9	31	27	30.2	28.9	27.9	29.8	29.4	27.5
19	28.8	28.3	29.9	32.7	30.7	26.9	30.4	26.5	28.1	30.3	29.1	27.6
20	28.4	28.2	29.6	32.7	29.5	28.9	29.8	28.6	28.6	30.5	28.4	26.4
21	27.8	28.7	30.1	31.5	26.5	30.6	30	29.6	27.4	30.7	27.7	27.2
22	27.1	28.7	30.3	32.5	26.1	30.5	28.8	29	29.2	30.4	27.6	27.1
23	27.7	28.5	31	32.9	29.7	29.4	28.3	30.4	30.1	29.8	27.1	27.5
24	27.3	28.9	31.6	32.4	30.2	30.1	28.9	30.6	30.3	30.1	28.9	28.1
25	24.4	29.2	31	32.2	30.2	29.7	28.1	30.6	29.8	30.3	29.1	28
26	25.6	29.2	31.2	32.7	29.7	29.5	28.7	30.5	30.5	29.6	28.1	28.1
27	27	29.2	30.9	32.5	29.9	29.9	28.3	30.4	30.7	28.7	28.4	28
28	27.9	28.9	30.9	28.2	30.7	29	28.6	29.9	31.3	29.9	29	27.7
29	28.8	29.4	31	30.7	31.1	29.9	29.1	29.8	30	31.4	29	26.9
30	28.7		31.1	32.4	31.5	30.4	29.1	29.9	27.8	31	29.2	27.4
31	28.8		31.1		30.6		28.7	29.2		30.8		26.9

ตาราง ก.11 ข้อมูลความดันอากาศ (มิลิบาร์) ปี พ.ศ. 2543

Daily mean pressure (milibar)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2000												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
1	1010	1015	1011	1006	1009	1004	1004	1007	1007	1012	1010	1010
2	1010	1016	1012	1006	1010	1004	1003	1007	1006	1011	1012	1011
3	1010	1015	1011	1007	1009	1004	1003	1007	1008	1010	1013	1011
4	1009	1012	1010	1006	1010	1006	1003	1007	1009	1009	1014	1011
5	1010	1011	1008	1006	1011	1007	1004	1007	1009	1010	1012	1011
6	1010	1010	1008	1007	1011	1008	1006	1007	1008	1010	1010	1011
7	1010	1010	1008	1009	1010	1008	1007	1006	1008	1010	1010	1011
8	1010	1010	1009	1007	1008	1008	1006	1007	1008	1008	1010	1010
9	1010	1010	1009	1006	1007	1008	1004	1007	1007	1007	1011	1009
10	1009	1010	1009	1008	1005	1008	1004	1008	1005	1007	1012	1010
11	1009	1010	1008	1009	1004	1008	1006	1007	1004	1007	1011	1011
12	1009	1009	1008	1008	1004	1008	1008	1008	1007	1007	1010	1010
13	1009	1008	1008	1007	1004	1008	1008	1009	1009	1005	1009	1010
14	1008	1008	1008	1006	1005	1007	1006	1009	1008	1005	1009	1011
15	1009	1009	1008	1008	1006	1006	1004	1008	1007	1008	1009	1012
16	1010	1009	1007	1008	1006	1005	1005	1006	1008	1009	1010	1013
17	1010	1009	1006	1009	1005	1006	1007	1005	1010	1008	1010	1012
18	1011	1010	1006	1009	1006	1007	1007	1007	1009	1006	1010	1010

Daily mean pressure (millibar)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2000												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
19	1011	1009	1008	1008	1005	1006	1006	1007	1009	1007	1010	1009
20	1012	1009	1007	1007	1005	1007	1007	1005	1009	1007	1009	1010
21	1014	1009	1009	1007	1006	1007	1008	1003	1010	1007	1011	1011
22	1013	1009	1008	1008	1008	1008	1007	1003	1010	1007	1012	1011
23	1012	1009	1009	1008	1008	1009	1006	1004	1011	1007	1012	1012
24	1011	1009	1010	1007	1008	1007	1006	1005	1010	1009	1010	1012
25	1012	1009	1010	1006	1007	1007	1007	1005	1010	1010	1009	1013
26	1013	1009	1011	1006	1007	1007	1007	1006	1009	1010	1011	1013
27	1015	1011	1011	1007	1007	1007	1005	1006	1008	1010	1011	1012
28	1015	1011	1010	1008	1006	1007	1005	1008	1008	1010	1010	1011
29	1015	1010	1010	1010	1006	1005	1006	1007	1009	1009	1010	1010
30	1016		1009	1010	1005	1005	1007	1006	1011	1009	1011	1010
31	1016		1008		1005		1007	1006		1009		1010

ตาราง ก.12 ข้อมูลความดันอากาศ (มิลลิบาร์) ปี พ.ศ. 2544

Daily mean pressure (millibar)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2001												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
1	1010	1008	1012	1010	1009	1008	1007	1007	1007	1009	1012	1011
2	1010	1007	1012	1008	1008	1009	1005	1005	1006	1009	1012	1010
3	1011	1008	1011	1008	1007	1009	1003	1007	1006	1009	1011	1011
4	1011	1009	1011	1008	1009	1008	1003	1008	1007	1010	1010	1010
5	1011	1009	1011	1008	1009	1006	1003	1008	1007	1010	1011	1010
6	1012	1008	1010	1010	1009	1005	1004	1006	1009	1009	1012	1010
7	1010	1007	1009	1010	1008	1006	1005	1006	1010	1009	1011	1010
8	1009	1008	1009	1008	1008	1006	1006	1007	1010	1009	1011	1011
9	1010	1009	1011	1008	1008	1006	1008	1008	1008	1010	1011	1012
10	1009	1010	1012	1009	1007	1006	1009	1007	1008	1011	1011	1011
11	1008	1009	1012	1009	1008	1007	1008	1007	1008	1011	1011	1011
12	1009	1009	1011	1009	1007	1008	1007	1007	1009	1010	1010	1012
13	1010	1009	1012	1010	1006	1008	1006	1008	1008	1008	1011	1013
14	1010	1011	1012	1012	1006	1008	1006	1009	1009	1007	1013	1014
15	1012	1012	1012	1012	1006	1007	1007	1009	1009	1008	1015	1015
16	1013	1014	1010	1010	1007	1006	1008	1007	1009	1009	1015	1014
17	1013	1013	1008	1008	1008	1006	1008	1005	1008	1009	1014	1013
18	1012	1012	1008	1007	1008	1006	1007	1006	1008	1010	1014	1014
19	1011	1011	1009	1006	1007	1006	1007	1007	1008	1012	1015	1014
20	1010	1009	1008	1005	1006	1005	1006	1007	1007	1011	1015	1015
21	1010	1008	1007	1004	1006	1004	1004	1006	1008	1009	1015	1015
22	1009	1008	1008	1005	1006	1004	1005	1005	1008	1007	1014	1017
23	1009	1009	1008	1006	1006	1004	1007	1006	1008	1008	1014	1018
24	1009	1009	1007	1007	1005	1005	1006	1006	1008	1008	1012	1017
25	1008	1008	1007	1007	1004	1005	1006	1006	1007	1008	1011	1017

Daily mean pressure (millibar)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2000												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
26	1008	1010	1005	1008	1006	1005	1006	1005	1007	1009	1013	1018
27	1008	1012	1005	1008	1007	1005	1006	1004	1007	1010	1014	1018
28	1009	1012	1006	1006	1007	1007	1007	1004	1008	1010	1012	1018
29	1011		1006	1007	1006	1007	1008	1003	1009	1010	1011	1017
30	1011		1008	1009	1006	1007	1008	1004	1009	1011	1011	1016
31	1009		1009		1007		1009	1006		1012		1015

ตาราง ก.13 ข้อมูลความดันอากาศ (มิลิบาร์) ปี พ.ศ. 2545

Daily mean pressure (millibar)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2002												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
1	1015	1014	1010	1012	1006	1008	1006	1006	1006	1010	1011	1011
2	1018	1014	1010	1011	1007	1006	1007	1006	1008	1010	1012	1012
3	1018	1013	1009	1009	1007	1005	1007	1006	1007	1009	1013	1012
4	1017	1012	1009	1007	1007	1005	1007	1005	1006	1009	1014	1011
5	1016	1012	1010	1008	1006	1006	1006	1005	1006	1009	1014	1011
6	1015	1012	1011	1009	1006	1006	1005	1007	1007	1009	1013	1012
7	1016	1012	1013	1009	1006	1006	1004	1007	1006	1011	1012	1012
8	1016	1012	1015	1009	1007	1005	1004	1007	1007	1012	1012	1012
9	1016	1011	1014	1008	1008	1005	1005	1008	1007	1013	1013	1014
10	1015	1011	1013	1007	1007	1006	1004	1008	1007	1013	1011	1015
11	1012	1013	1012	1008	1006	1008	1004	1009	1008	1011	1011	1015
12	1011	1013	1012	1011	1007	1008	1006	1009	1008	1010	1011	1016
13	1010	1013	1011	1010	1008	1007	1006	1009	1010	1010	1010	1017
14	1010	1012	1011	1009	1009	1007	1005	1008	1010	1011	1008	1016
15	1011	1013	1009	1010	1009	1006	1005	1007	1011	1011	1008	1015
16	1011	1013	1008	1009	1007	1007	1006	1006	1010	1010	1009	1014
17	1010	1013	1009	1009	1008	1007	1009	1006	1008	1009	1011	1012
18	1009	1015	1012	1008	1008	1006	1010	1005	1008	1008	1011	1011
19	1010	1015	1012	1010	1006	1006	1010	1005	1009	1008	1010	1009
20	1011	1015	1010	1009	1006	1007	1009	1005	1009	1010	1010	1008
21	1011	1015	1009	1007	1007	1006	1010	1008	1008	1010	1010	1008
22	1011	1016	1008	1007	1008	1007	1009	1008	1008	1010	1011	1010
23	1012	1014	1007	1008	1008	1009	1010	1009	1008	1010	1011	1011
24	1012	1012	1007	1008	1008	1009	1008	1010	1008	1010	1011	1011
25	1011	1012	1007	1008	1009	1009	1007	1010	1010	1010	1012	1011
26	1010	1012	1008	1008	1008	1009	1006	1009	1010	1010	1013	1010
27	1011	1011	1008	1008	1008	1008	1006	1008	1010	1010	1014	1010
28	1013	1010	1008	1008	1008	1009	1006	1009	1011	1009	1014	1012
29	1014		1009	1007	1008	1008	1006	1010	1011	1010	1013	1013
30	1014		1009	1006	1008	1006	1006	1008	1010	1010	1012	1012
31	1015		1010		1008		1006	1006		1011		1011

ตาราง ก.14 ข้อมูลความดันอากาศ (มิลิบาร์) ปี พ.ศ. 2546

Daily mean pressure (milibar)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2003												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
1	1012	1013	1009	1009	1009	1005	1009	1008	1008	1008	1011	1013
2	1014	1013	1008	1007	1008	1005	1010	1006	1008	1008	1012	1013
3	1015	1013	1008	1007	1007	1007	1010	1004	1007	1009	1012	1012
4	1015	1015	1007	1007	1006	1008	1008	1005	1007	1009	1011	1011
5	1014	1016	1007	1007	1005	1008	1008	1005	1009	1009	1011	1012
6	1014	1015	1008	1009	1005	1008	1008	1005	1009	1009	1010	1011
7	1015	1012	1008	1011	1005	1008	1007	1006	1008	1010	1010	1012
8	1015	1011	1010	1009	1006	1008	1007	1007	1005	1010	1010	1012
9	1014	1011	1012	1009	1009	1007	1009	1006	1005	1010	1009	1012
10	1015	1010	1013	1010	1010	1006	1008	1006	1006	1009	1010	1012
11	1015	1011	1012	1011	1008	1007	1007	1007	1007	1008	1011	1012
12	1016	1010	1013	1010	1008	1008	1006	1007	1007	1008	1012	1013
13	1015	1011	1014	1009	1008	1008	1008	1007	1007	1009	1013	1014
14	1015	1012	1015	1009	1007	1008	1009	1007	1007	1010	1012	1014
15	1015	1012	1012	1009	1007	1006	1009	1006	1007	1011	1011	1014
16	1015	1011	1011	1011	1008	1005	1009	1006	1008	1012	1010	1013
17	1015	1011	1012	1011	1008	1006	1009	1007	1009	1011	1010	1013
18	1016	1012	1012	1009	1008	1008	1007	1007	1009	1010	1010	1013
19	1015	1011	1011	1007	1009	1007	1005	1005	1009	1010	1010	1015
20	1013	1011	1009	1007	1010	1007	1005	1004	1009	1010	1010	1018
21	1012	1012	1011	1008	1009	1006	1005	1007	1010	1010	1011	1018
22	1011	1012	1012	1009	1008	1006	1004	1009	1010	1011	1012	1016
23	1010	1011	1012	1009	1007	1008	1005	1009	1009	1012	1013	1015
24	1009	1010	1011	1008	1007	1008	1006	1006	1009	1011	1013	1013
25	1010	1009	1012	1008	1008	1007	1007	1006	1009	1011	1012	1012
26	1011	1010	1012	1008	1007	1008	1009	1008	1009	1011	1012	1013
27	1012	1010	1011	1008	1004	1009	1010	1010	1008	1013	1011	1015
28	1013	1010	1010	1008	1003	1008	1009	1010	1007	1014	1012	1016
29	1014		1009	1009	1004	1009	1009	1009	1007	1012	1013	1017
30	1014		1010	1010	1004	1008	1009	1009	1008	1011	1013	1016
31	1014		1010		1005		1009	1009		1010		1014

ตาราง ก.15 ข้อมูลความดันอากาศ (มิลิบาร์) ปี พ.ศ. 2547

Daily mean pressure (milibar)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2004												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
1	1013	1009	1009	1011	1006	1010	1005	1005	1006	1012	1010	1013
2	1013	1009	1007	1011	1007	1010	1005	1006	1009	1012	1011	1013
3	1013	1009	1007	1012	1007	1008	1006	1007	1010	1012	1011	1012
4	1013	1009	1009	1012	1007	1008	1006	1008	1009	1011	1011	1012
5	1014	1010	1010	1011	1008	1006	1007	1008	1009	1011	1011	1013

Daily mean pressure (milibar)												
STATION : BANGKOK METROPOLIS YEAR : 2004												
DATA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SET	OCT	NOV	DEC
6	1014	1013	1011	1009	1009	1006	1008	1008	1009	1012	1011	1015
7	1014	1014	1013	1009	1009	1007	1009	1007	1009	1011	1011	1016
8	1014	1015	1016	1009	1008	1007	1010	1007	1008	1011	1011	1016
9	1014	1016	1014	1009	1007	1007	1009	1008	1009	1011	1010	1014
10	1014	1016	1010	1010	1008	1007	1009	1008	1010	1012	1011	1014
11	1013	1015	1009	1010	1008	1007	1009	1008	1010	1012	1011	1015
12	1014	1015	1010	1008	1006	1008	1008	1009	1010	1013	1012	1016
13	1013	1015	1010	1007	1005	1007	1009	1009	1012	1013	1012	1014
14	1012	1013	1010	1007	1006	1006	1007	1008	1011	1013	1011	1012
15	1012	1012	1010	1008	1007	1007	1008	1007	1009	1013	1010	1011
16	1012	1012	1010	1008	1007	1007	1008	1006	1009	1012	1011	1012
17	1011	1010	1010	1007	1008	1008	1008	1007	1010	1011	1013	1012
18	1011	1010	1009	1006	1007	1009	1007	1008	1009	1011	1013	1011
19	1011	1011	1008	1009	1006	1008	1006	1006	1009	1010	1013	1010
20	1011	1012	1007	1010	1006	1009	1005	1005	1010	1011	1013	1010
21	1011	1011	1008	1009	1007	1009	1005	1006	1011	1011	1013	1011
22	1012	1010	1008	1007	1007	1009	1007	1008	1011	1012	1013	1010
23	1012	1011	1008	1007	1007	1007	1007	1008	1009	1012	1013	1010
24	1013	1011	1007	1008	1007	1007	1007	1008	1009	1013	1012	1012
25	1014	1011	1007	1008	1008	1007	1006	1007	1009	1013	1012	1012
26	1013	1010	1008	1008	1008	1006	1006	1005	1010	1013	1013	1011
27	1011	1010	1010	1007	1010	1006	1006	1005	1009	1013	1014	1011
28	1010	1010	1011	1009	1010	1007	1007	1005	1008	1012	1014	1012
29	1009	1010	1010	1008	1008	1006	1008	1006	1010	1011	1013	1013
30	1010		1010	1006	1008	1004	1007	1007	1012	1011	1012	1012
31	1010		1011		1009		1006	1006		1010		1014

ภาคผนวก ข

Maximum Likelihood Parameter Estimation

Maximum Likelihood Parameter Estimation หรือ MLE เป็นวิธีทางคณิตศาสตร์วิธีหนึ่งที่ใช้ในการหาพารามิเตอร์ของฟังก์ชันความน่าจะเป็นจากชุดข้อมูลใดๆ วิธี MLE จะให้ค่าพารามิเตอร์ โดยไม่ขึ้นกับชนิดการกระจายของข้อมูลข้อควรระวังในการหาพารามิเตอร์ด้วยวิธีนี้คือจะให้ผลที่คลาดเคลื่อนมากถ้าข้อมูลที่ใช้คำนวณหาพารามิเตอร์มีจำนวนน้อย [18] และการจะนำพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากวิธีนี้ไปใช้นั้น ควรจะรู้แน่นอนก่อนว่าข้อมูลมีฟังก์ชันความน่าจะเป็นแบบใด

การคำนวณพารามิเตอร์ทำได้โดย ถ้าสมมติให้ x เป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องที่มีฟังก์ชันความน่าจะเป็น $f(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ โดย $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ เป็นพารามิเตอร์ในฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่ต้องการทราบค่า x_1, x_2, \dots, x_R เป็นเหตุการณ์ที่เป็นอิสระต่อกัน R เหตุการณ์ จะได้ Likelihood Function; L และ Logarithmic Likelihood Function; $\ln(L)$ ดังสมการที่ (ข.1) และ (ข.2) ตามลำดับ

$$L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k \mid x_1, x_2, \dots, x_R) = \prod_{i=1}^R f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \quad (\text{ข.1})$$

$$\ln(L) = \sum_{i=1}^R \ln(f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)) \quad (\text{ข.2})$$

ค่า $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ คาดเดาหาได้โดยให้ $\frac{\partial L}{\partial \theta_j}$ หรือ $\frac{\partial \ln(L)}{\partial \theta_j}$ มีค่าเท่ากับ 0 โดย j มีค่าเท่ากับ 1 ถึง k จากนั้นคำนวณหาพารามิเตอร์โดยใช้กระบวนการ iteration

ภาคผนวก ค

แรงดันเบรกความถี่ของแกปทรงกลมมาตรฐาน

ตาราง ค.1 แรงดันเบรกความถี่อิมพัลส์ขั้วลบ กระแสสลับ และ กระแสตรง ของแกปทรงกลม
มาตรฐาน จากตารางที่ 2 ของ IEC 60052 (2002)

Gap cm.	Sphere Diameter cm											
	2	5	6.25	10	12.5	15	25	50	75	100	150	200
0.05	2.8											
0.10	4.7											
0.15	6.4											
0.20	8.0	8.0										
0.25	9.6	9.6										
0.30	11.2	11.2										
0.40	14.4	14.3	14.2									
0.50	17.4	17.4	17.2	16.8	16.8	16.8						
0.60	20.4	20.4	20.2	19.9	19.9	19.9						
0.70	23.2	23.4	23.2	23.0	23.0	23.0						
0.80	25.8	26.3	26.2	26.0	26.0	26.0						
0.90	28.3	29.2	29.1	28.9	28.9	28.9						
1.0	30.7	32.0	31.9	31.7	31.7	31.7	31.7					
1.2	(35.1)	37.6	37.5	37.4	37.4	37.4	37.4					
1.4	(38.5)	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9					
1.5	(40.0)	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5					
1.6		48.1	48.1	48.1	48.1	48.1	48.1					
1.8		53.0	53.5	53.5	53.5	53.5	53.5					
2.0		57.5	58.5	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0			
2.2		61.5	63.0	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5			
2.4		65.5	67.5	69.5	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0			
2.6		(69.0)	72.0	74.5	75.0	75.5	75.5	75.5	75.5			
2.8		(72.5)	76.0	79.5	80.0	80.5	81.0	81.0	81.0			
3.0		(75.5)	79.5	84.0	85.0	85.5	86.0	86.0	86.0	86.0		
3.5		(82.5)	(87.5)	95.0	97.0	98.0	99.0	99.0	99.0	99.0		
4.0		(88.5)	(95.0)	105	108	110	112	112	112	112		
4.5			(101)	115	119	122	125	125	125	125		
5.0			(107)	123	129	133	137	138	138	138	138	
5.5				(131)	138	143	149	151	151	151	151	
6.0				(138)	146	152	161	164	164	164	164	
6.5				(144)	(154)	161	173	177	177	177	177	
7.0				(150)	(161)	169	184	189	190	190	190	
7.5				(155)	(168)	177	195	202	203	203	203	
8.0					(174)	(185)	206	214	215	215	215	
9.0					(185)	(198)	226	239	240	241	241	
10.0					(195)	(209)	244	260	265	266	266	266
11.0						(219)	261	286	290	292	292	292
12.0						(229)	275	309	315	318	318	318
13.0							(289)	331	339	342	342	342
14.0							(302)	353	363	366	366	366

ตาราง ก.2 แรงดันเบรกความถี่อิมพัลส์ชั่วคราว ของแก๊ปทรงกลมมาตรฐาน
จากตารางที่ 3 ของ IEC 60052 (2002)

Gap cm.	Sphere Diameter cm											
	2	5	6.25	10	12.5	15	25	50	75	100	150	200
0.05												
0.10												
0.15												
0.20												
0.25												
0.30	11.2	11.2										
0.40	14.4	14.3	14.2									
0.50	17.4	17.4	17.2	16.8	16.8	16.8						
0.60	20.4	20.4	20.2	19.9	19.9	19.9						
0.70	23.2	23.4	23.2	23.0	23.0	23.0						
0.80	25.8	26.3	26.2	26.0	26.0	26.0						
0.90	28.3	29.2	29.1	28.9	28.9	28.9						
1.0	30.7	32.0	31.9	31.7	31.7	31.7	31.7					
1.2	(35.1)	37.8	37.6	37.4	37.4	37.4	37.4					
1.4	(38.5)	43.3	43.2	42.9	42.9	42.9	42.9					
1.5	(40.0)	46.2	45.9	45.5	45.5	45.5	45.5					
1.6		49.0	48.6	48.1	48.1	48.1	48.1					
1.8		54.5	54.0	53.5	53.5	53.5	53.5					
2.0		59.5	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0			
2.2		64.0	64.0	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5			
2.4		69.0	69.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0			
2.6		(73.0)	73.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5			
2.8		(77.0)	78.0	80.5	80.5	80.5	81.0	81.0	81.0			
3.0		(81.0)	82.0	85.5	85.5	85.5	86.0	86.0	86.0	86.0		
3.5		(90.0)	(91.5)	97.5	98.0	98.5	99.0	99.0	99.0	99.0		
4.0		(97.5)	(101)	109	110	111	112	112	112	112		
4.5			(108)	120	122	124	125	125	125	125		
5.0			(115)	130	134	136	138	138	138	138	138	
5.5				(139)	145	147	151	151	151	151	151	
6.0				(148)	155	158	163	164	164	164	164	
6.5				(156)	(164)	168	175	177	177	177	177	
7.0				(163)	(173)	178	187	189	190	190	190	
7.5				(170)	(181)	187	199	202	203	203	203	
8.0					(189)	(196)	211	214	215	215	215	
9.0					(203)	(212)	233	239	240	241	241	
10.0					(215)	(226)	254	263	265	266	266	266
11.0						(238)	273	287	290	292	292	292
12.0						(249)	291	311	315	318	318	318
13.0							(308)	334	339	342	342	342
14.0							(323)	357	363	366	366	366

ภาคผนวก ง.

ข้อมูลการทดลองด้วยแรงดันอิมพัลส์

ง.1 ข้อมูลแรงดันเบรกคาวาน์อิมพัลส์ชั่วคราว

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลแรงดันเบรกคาวาน์ด้วยวิธีปรับขึ้นลง อิมพัลส์ชั่วคราว ที่ระยะแกป 1 cm.

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				U _{50%} / δ	%σ
H(%)	P(mmHg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
71	760	28	32.1	31.2	32.4	31.1	32.4	31.2	32.2	30.7	32.1	31.4	32.4	31.5	31.6	31.3	32.2	31.2	32.4	31.3	32.3	31.3	32.03	1.75
69	760	28.5	32.1	31.3	31.9	31.2	32.1	31.3	32.2	31.4	32.3	31.2	32.2	31.3	32.3	31.4	32.1	31.3	32.5	31.6	32.3	31.2	32.13	1.49
64	759	30.5	32.6	31.5	32.5	31.4	32.5	32.7	32.4	33.4	32.4	33.6	32.6	31.4	32.6	31.5	32.4	31.5	32.5	31.4	32.4	31.4	32.87	2.08
64	759	31	32.1	31.4	32.2	31.5	32.2	31.3	32.3	31.4	32.2	31.5	32.4	31.4	32.2	31.4	32.3	31.4	32.3	31.4	32.3	31.5	32.52	1.36
64	759	31	34.3	32.4	30.8	32.4	31	32.6	33.9	32.6	33.8	32.4	33.8	32.6	34.4	32.7	30.6	32.7	30.7	32.8	30.6	32.8	33.19	3.74
68	759.5	29	32.8	32.2	31.3	32.3	31.3	32.1	32.6	32.2	32.8	32.1	32.8	32.1	32.6	32.2	32.5	32.2	32.6	32.1	32.9	32.3	32.76	1.35
65.5	760	30	32.1	31.3	32.2	33.1	32.1	32.8	32.1	31.3	32.1	33.1	32.1	33	32.2	33	32.1	31.3	32.3	31.3	32.3	33.2	32.79	1.95
71	760	28.5	31.1	30.4	31.1	32.2	31.3	32.1	31.4	32.2	31.5	32.2	31.6	32	31.6	32	32.3	32.2	31.9	32.3	31.8	32.3	32.15	1.63
67	762	29	33	32.2	33	32	33.1	32.2	31.8	32	32.5	32.1	31.9	32.2	32.6	32	32.5	33.1	32.4	32.1	32.7	32.3	32.73	1.28
58	759	31	32.3	31.3	32.2	31.6	32.3	31.7	32.4	32.7	32.3	32.7	32.1	32.7	32.1	32.8	32.1	32.6	32.2	32.7	32.2	32.7	32.98	1.26
58	759	31	32.6	32.2	32.6	32.3	32.7	32.3	32	32.1	32.6	32.3	31.7	32.1	32.6	32.5	32.1	32.2	32.7	32.2	31.9	32.3	32.99	0.86
46.5	758	31.5	32	31.2	31.5	31.1	31.5	31.1	31.6	31.3	31.2	31.3	31.9	31.3	31.1	31.4	31.4	31.1	31	31.4	31.6	31.1	32.12	0.86
56	760.5	31	31.9	31.5	31.7	31.4	31.6	31.4	31.5	31.5	31.9	31.4	31.8	31.6	32	31.3	31.5	31.4	31.8	31.4	31.9	31.3	32.20	0.70
53	759	31	32.1	31.9	32.1	31.8	31.8	31.8	31.9	31.6	31.7	31.5	31.9	31.7	32	31.5	31.7	31.4	31.8	31.6	31.8	31.6	32.44	0.61
81	759	28	33.8	32.6	33.5	32.8	33.6	33.2	33.7	32.8	33.8	33.1	33.7	33.2	33.7	33	33.5	33	33.5	33.3	33.7	33.1	33.71	1.11
63	761	31.5	33	32.5	33.1	33.5	33	32.6	33.2	32.6	33.1	32.8	33.2	32.6	33	32.5	33.1	32.6	33.1	32.6	33	32.7	33.56	0.87
59.5	761	31.5	33	32.3	33	33.6	33	32.6	33	33.5	33.1	32.6	33.1	33.7	33	32.6	33	33.5	33	32.7	33.1	32.8	33.69	1.09

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				$U_{50\%} / \delta$	% σ
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
46	758.5	32	32.4	31.7	32.5	31.9	32.6	32	32.5	31.9	32.8	32	32.6	32	32.6	32	32.5	32.2	32.6	32.2	32.5	32.2	33.11	0.97
77	761	29.5	32.8	32.1	32.9	32.3	32.7	32.2	32.8	32.4	32.8	32.5	32.7	32.6	32.7	32.4	32.8	32.5	32.9	32.6	32.7	32.5	33.04	0.70
51	760	32	32.2	32	32.3	31.8	32.4	32	32.2	31.7	32.3	31.7	32.4	31.7	32.4	32	32.3	32	32.2	32	32.2	31.9	32.84	0.74
64	761.5	30	33	32.2	32.4	32.3	32.7	31.9	32.2	32.1	32.6	32.4	32.5	32.2	32.8	32.3	32.9	32.1	32.3	31.9	32.5	32	32.84	0.97
62.5	762	30.5	32.3	31.9	32.4	31.8	32.5	31.9	32.4	32	32.4	32	32.2	32	32.2	32.2	32.4	31.8	32	31.9	32.2	32	32.63	0.69
79.5	759.5	28.5	32.9	32.7	32.9	32.5	32.8	32.3	33	32.5	32.9	32.6	32.9	32.5	33	32.4	33	32.3	32.9	32.4	32.9	32.5	33.10	0.77
54	762	29	32.5	32.1	32.5	32.1	32.7	32.1	32.5	32.1	32.5	32.1	32.4	32.1	32.1	32.1	32.4	31.9	32.3	32	32.3	32	32.59	0.69
61	761	26	32.9	32.3	33.1	32.8	33	32.9	33.1	32.5	33.2	32.8	33.2	32.6	33	32.7	33.1	32.5	33	32.8	33	32.8	32.93	0.75
57	762	28	32.9	32.2	32.9	32.3	32.9	32.6	32.8	32.3	32.9	32.3	32.8	32.1	32.5	32.2	32.8	32.2	32.7	32.2	32.8	32.2	32.77	0.94
56.5	762	28.5	32.9	32.3	32.8	32.5	32.8	32.4	33	32.4	32.8	32.6	33.3	32.7	33.1	32.8	33.2	32.6	32.9	32.6	33	32.4	33.05	0.86
56	762	29	32.8	32.2	32.8	32.4	32.9	32.3	32.5	32.2	32.9	32.3	32.7	32.3	32.9	32.2	32.6	32.2	32.8	32.2	32.5	32.3	32.85	0.84
53	760.5	30	32.8	32.4	33.1	32.5	33	32.6	32.9	32.5	32.9	32.7	32.9	32.5	33.1	32.5	33	32.5	32.8	32.6	32.9	32.4	33.26	0.72
47	760.5	29	32.7	31.9	32.8	32.2	32.6	32.1	32.6	32	32.7	32	32.7	32.2	32.7	32.1	32.6	32.2	32.6	32.2	32.7	32	32.79	0.96
47	761.5	26	32.9	32.6	32.8	32.5	32.9	32.4	32.7	32.4	32.7	32.4	32.5	32.5	32.7	32.4	32.5	32.3	32.7	32.4	32.7	32.4	32.61	0.56
43	759	28	33.4	32.8	33.5	33.2	33.5	33.1	33.5	33.2	33.6	33.1	32.2	32.7	33.4	33.2	33.4	32.9	33.4	32.9	33.1	33	33.78	1.02
53	761.5	25.5	33.6	32.5	33.4	32.5	32.7	32.5	33	32.5	32.7	32.5	32.5	32.4	31.9	32.4	31.9	32.5	32.2	32.4	32.1	32.5	32.53	1.29
47	759	28.5	32.2	32.1	32.4	31.7	33	32.2	32.4	32.1	32.7	32.1	32.3	32	32.5	32	32.3	32	32.5	32.2	32.6	32.4	32.71	0.91
57.5	762	26	33	32.4	33.2	32.8	33	32.7	33.2	32.8	33	32.8	32.8	32.6	33.1	32.8	33.2	32.9	33	32.8	33.2	32	32.89	0.90
52	759.5	29	32.8	32.4	32.7	32.5	32.9	32.4	33	32.4	32.6	32.5	33	32.5	32.7	32.4	32.5	32.5	32.7	32.4	32.7	32.4	33.06	0.62
63	760.5	24.5	33	32.5	33.5	32.9	33.3	33	33.2	32.9	33.4	33	33.4	33.1	33.2	33	33.4	33	33.2	33.1	33.4	32.8	33.04	0.75
53	761	28	32.7	32	32.4	32.2	32.5	32.2	32.7	32.4	32.9	32.2	32.3	32.1	32.5	32.1	32.7	32.1	32.5	32.2	32.4	32.1	32.64	0.78
56	760.5	28	32.4	32.2	32.5	32	32.2	32	32.3	32	32.3	31.9	32.1	31.9	32.3	32	32.3	32.2	32.4	32.1	32.3	32	32.47	0.55
80	761	28	33.4	32.6	33.5	32.8	33.6	33.2	33.7	32.8	33.8	33.1	33.6	33.2	33.7	32.8	33.5	33	33.5	33.3	33.4	33.1	33.57	1.05
60	759	28	32.8	32.2	31.3	32.3	31.3	32.1	32.6	32.2	32.7	32.2	32.7	32.1	32.6	32.3	32.6	32.2	32.6	32.1	32.9	32.3	32.68	1.32
63	759	27.5	33	32.3	33.1	32.8	33	32.9	33.1	32.7	33.2	32.8	33.2	32.7	33.1	32.7	33.1	32.5	33	32.8	33	32.8	33.11	0.78
68	760	27	33.5	33	32.8	33.1	33.5	33	32.6	33.2	32.8	33.1	32.8	33.2	32.9	33.5	32.8	33.1	32.8	33.1	32.8	33.1	33.31	0.70

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				$U_{50\%} / \delta$	% σ
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
71	760	27.5	32.4	31.9	32.4	31.8	32.5	31.9	32.4	32	32.4	32	32.2	32	32.2	32.2	32.4	31.8	32	31.9	32.3	32	32.20	1.55
50	761	26	32.5	31.5	32.5	31.6	32.3	32.7	32.1	32.8	32.4	32.9	32.4	31.5	32.1	31.5	32.3	31.5	32.4	31.6	32.5	31.4	32.28	0.62
53	761.5	27	32.9	32.5	33.1	32.8	33	32.9	33.1	32.7	33.2	32.8	33.2	32.6	33	32.7	33	32.6	33	32.8	33	32.8	33.21	0.72
62	761.5	30.5	32.7	32.2	32.8	32.3	32.7	32.2	32.7	32.3	32.8	32.2	32.7	32.3	32.7	32.2	32.8	32.3	32.7	32.2	32.8	32.4	33.03	0.78
46	768.5	24.5	34.1	33.8	33.9	33.2	33.5	33.1	33.8	33.3	34	33.4	33.8	33.3	33.9	33.2	33.8	33.3	33.5	33.3	33.4	33.3	33.12	0.92
40	766	24.5	33	32.7	33.4	32.7	33.4	32.7	33.2	32.7	33	32.8	33.6	32.8	33.4	32.7	33.1	32.7	33.5	32.9	33.7	33	32.74	1.03

ตารางที่ ๓.2 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวน์ด้วยวิธีปรับขึ้นลง อิมพัลส์ข้าวบวก ที่ระยะแก๊ป 3 cm.

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				$U_{50\%} / \delta$	% σ
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
67	760	29	89.4	83.4	84.6	83.2	84.7	83	84.7	83	85.2	83.2	85	82.9	84.9	83	84.8	83	85.1	83.2	85.1	83.1	85.36	1.81
65	760	29	84.9	82.7	84.7	82.4	84.9	82.9	84.6	83	84.5	83	84.5	82.7	84.2	83	84.1	82.7	84.1	82.8	84.1	82.9	84.76	1.06
64	759	31	82.3	81.1	82.8	81.1	82.4	81.4	82	81.5	79.5	81.3	82	80.9	82.3	81.2	78.9	81.6	82.2	81	82.2	81.1	83.19	1.17
64	759	31	82.6	80.2	83.3	79.6	83.2	80	82.6	80.3	84.1	79.8	82.5	80.4	82.8	80.3	83	80.4	81.5	79.2	82	79.7	83.12	1.88
80	761	27	83.4	81	82.8	80.5	83.7	82.6	83.2	81.3	83.6	81.1	83.4	83.3	83.7	82	83.8	81.9	84.1	82.2	83.9	82.4	83.14	1.32
78.5	761.5	27.5	83.4	82.6	83.8	83.2	84.1	82.8	84.2	82.6	83.6	82.6	82.9	82.8	83.6	82.4	83.6	82.4	83.3	83.8	83.7	82.5	83.73	0.71
55.5	760	29.5	82.5	81.4	82	81.6	82.5	82	82.9	81.7	82.2	81.5	82.2	81.3	82.7	82.4	83.3	82.1	81	82.4	83.2	82.7	83.42	0.77
57.5	760	29.5	83.2	82.1	83	81.3	83.3	81.7	82.6	81.7	82.7	81	82.6	81.7	82.7	81.7	82.8	81.2	83.1	81.8	82.5	81.7	83.46	0.86
70	761	28	85.6	84.9	81.1	84	82.5	84	82.9	84.9	82.1	83	82.9	84.4	82.8	84.9	82.8	84.6	83.1	84.5	83	84.4	84.35	1.38
70	761	28.5	84.3	82.9	81.9	82.8	83.9	82.9	82.3	83.1	82.2	82.8	83.3	83	82.6	83.2	82.3	83	82.2	83.1	82.5	83.1	83.73	0.69
69	761.5	28.5	82.8	82.4	83.1	82.5	83	82.2	83	82.7	83.1	82.4	83.1	82.8	83	82.7	83.1	82.4	81.4	82.5	83.3	82.6	83.51	0.53

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																			$U_{50\%} / \delta$	% σ	
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20
68	761.5	29	82.6	81.7	82.7	81.7	82.7	82	82.5	81.8	82.7	82.9	82.6	81.8	82.8	83.5	82.7	82.3	82.9	82.2	81.5	82.3	83.34	0.63
58	760	31	82.9	82.3	81.1	82	81.6	81.9	82.8	82.1	82.7	82	82.5	82	81.5	82.3	81.5	82.3	81.5	82.1	82.6	82	83.74	0.59
46	758	31.5	82.6	81.5	80.5	81.4	82.1	81.6	82.1	81.6	82.1	81.8	82.2	81.6	82.4	82.1	82.4	81.6	82.2	81.7	81.4	82	83.85	0.58
58	760	30	82.4	81.6	82.4	81.8	82.5	81.8	82.3	81.9	82.5	81.8	82.5	81.7	82.6	81.6	82.4	82	82.5	82.1	82.6	81.8	83.52	0.44
53	758	31	81.7	80.3	81.4	80.8	81.5	80.9	81.8	80.9	81.4	81.6	81.3	81.7	81.3	82	81.3	80.9	81.5	81	81.6	81	83.15	0.51
81	759.5	28	83.3	81.9	83.8	82.8	84.1	83.2	83.9	84.9	84	83.4	83.9	83.5	84.1	83.7	84	83.7	83.9	83.7	84	84.2	84.60	0.73
48	758.5	31.5	81.2	80.2	81.1	80.7	81.1	80.7	81.3	80.9	81.2	81	81.3	80.7	81.3	80.9	81.2	80.9	81.1	80.9	81	80.8	82.90	0.33
78	761	29	84.3	83.5	84.6	85.2	84.7	84	84.8	84.1	84.1	83.9	84.7	83.8	84.6	83.9	84.7	84.1	84.7	83.9	84.4	84	85.32	0.51
71	761.5	30	82.1	81.4	82.4	81.7	82.4	81.9	82.3	81.8	82.4	81.8	82.7	82	82.6	81.7	82.4	81.6	82.5	81.9	82.7	81.7	83.31	0.49
65	761.5	30.5	82.7	81.9	82.3	81.9	82.2	82.1	82.7	81.8	82.3	81.8	82.5	82	82.8	81.5	82.1	81.3	82.3	81	82.8	82.1	83.46	0.59
63	761.5	31	82.5	81.4	81.8	81.5	82.7	81.6	82.3	81.8	82.3	81.8	82.2	81.5	81.9	81.5	81.9	81.4	82.3	81.5	82.3	81.4	83.36	0.50
52.5	760	32	82.7	81.5	82.2	81.6	81.8	81.6	82.2	82	82.3	81.4	81.9	81.6	82.2	81.5	82.2	81.4	81.9	81.4	81.5	80.8	83.71	0.53
50	760	32	82.1	81.8	80	81.5	79.5	81.5	80.3	81.2	80	81	80.5	81.1	79.8	81.4	80.4	80.8	80.5	81.2	80.3	81.2	82.70	0.87
74	761	30	83.4	81.8	83.1	82.1	83.2	82.7	83.4	83.1	83.2	82.8	83.1	82.9	83.3	82.9	83.3	83	83	82.5	83.3	82.4	84.21	0.52
80	759.5	29	82.6	81.2	82.5	81.4	82.5	81.5	82.3	81.7	82.2	81.1	82.2	81.4	81.7	81.6	81.7	81.5	82.7	81.7	82.5	81.5	83.03	0.62
55	762	29	82.2	81.1	82.5	81	81.8	81.2	81.9	81.4	82.3	81.4	82.2	81.4	82	81.2	82.2	81.2	82.1	81.6	82.2	81.5	82.60	0.58
59.5	762	27	82.8	82.1	83.1	82.2	83	81.2	82.9	81.9	83.2	82.1	80.9	82.5	81.1	82.6	81.6	82.6	81.6	82.5	81.5	82.5	82.53	0.84
53	760	30	82.7	81.2	82.2	80.8	82.1	80.8	81.7	80.3	82.2	81	81.7	80.4	81.9	81.1	81.8	81	81.5	80.6	81.6	81	82.75	0.81
47	760	29	82	80.6	82.2	80.8	81.7	80.8	81.6	80.6	81.4	80.8	81.5	80.6	81.2	80.7	81.7	80.6	81.3	80.6	81.2	80.6	82.21	0.65
47	761.5	26	82.3	82	82.3	81.8	82.3	81.7	82.6	81.6	82.4	82	82.6	81.8	82.6	81.9	82.1	81.9	82.2	81.7	82.3	81.8	82.21	0.39
41	759	28	82.8	82.2	83.2	82.4	83.5	81.9	83.2	84.3	84	83.3	83.5	82	83.2	82	83.9	82.1	82.9	82	82.8	82.4	83.82	0.89
50	761.5	26	82.5	82.2	83.3	82.4	83	82.5	82.5	82.2	83	82.5	83	82.5	82.5	82.1	82.8	82	82.9	82.2	82.9	82.1	82.67	0.45
47	760	28.5	82.9	81.9	83.1	82.7	83.1	82	82.9	82.3	83	82.2	82.9	82.1	82.8	82.4	82.7	82.1	82.8	82.4	83.2	82.5	83.57	0.49
55.5	762	27	82.4	81.8	82.4	83.1	82.5	83.1	82.5	82.8	82.6	83.1	82.7	83	82.7	83.3	82.5	82.9	82.4	83	82.6	82.8	83.05	0.42
51	759.5	29	82.8	82.3	83.1	82	83.1	81.8	82.6	82	82.5	81.8	82.9	81.9	82.6	81.8	82.8	82.2	82.8	82.2	82.5	82.3	83.56	0.53
64	760	24.5	83.9	83	83.9	83	83.7	83	83.5	83.4	83.9	83.4	83.7	83.2	83.8	83.4	83.6	83.3	83.7	83.3	84	83.3	83.36	0.38

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																			$U_{50\%} / \delta$	% σ	
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20
52	760	29	82.6	82.1	82.7	82.2	82.6	81.8	82.8	81.8	82.4	81.7	82.4	81.5	82.2	81.4	82.4	81.4	82.3	81.6	81.8	81.6	83.17	0.55
57	760	28	82.4	81.1	82.3	81.4	82	81.5	81.8	81.3	82.1	81.2	82	81.1	81.9	81.2	81.7	81.1	82.1	81.2	82	81.1	82.45	0.55
87	758	28	83.6	82	83	82.2	83.7	83.6	83.3	82.1	83.6	82	83.6	83.4	83.7	83	83.8	82.2	84.1	83.2	83.9	83.7	84.24	0.84
78	761	28	84	83.4	84.2	83	83.7	83.1	84	83	84.6	83.1	84	83	84	83.2	83.8	83	84.1	83.2	84.5	83.7	84.36	0.64
68	760	27	82.6	82	82.7	81.7	82.7	82	83.1	82.5	82.7	83.1	82.6	82	82.8	83.9	82.7	82.3	83	82.5	82	83	83.15	0.62
50.5	761	26.5	82.9	82.4	83.3	82.4	83	82.5	82.5	82.2	83	82.5	83.1	82.5	83	82.5	82.7	82.3	82.8	82.4	82.9	82.4	82.97	0.37
54	761.5	27	82.4	81.4	82.5	81.4	81.8	81.3	81.9	81.4	82.3	81.4	82.6	81.6	82.4	81.5	82.2	81.4	82.2	81.6	82.2	81.5	82.24	0.55
62	762	30.5	83.3	82	83.3	82.4	83.4	82.6	83	82	82.5	81.8	82.8	82.1	82.9	82.1	83.2	82.1	82.7	82.7	83.1	82.7	83.94	0.60
45	768.5	25	83.9	82.7	84	83.2	83.8	82.7	83.9	82.7	84	83.2	83.9	82.8	83.8	82.9	84	83.1	84.2	82.9	84	83	82.51	0.66
40	766	24.5	84	83	84	83	84.4	83.2	84.2	82.9	83.6	83	83.9	83	83.4	83.1	84.5	83.3	84	83	84.6	82.9	82.76	0.71

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลแรงดันเบรกควานด้วยวิธีปรับขึ้นลง อิมพัลส์ข้าวบวก ที่ระยะแกป 6 cm.

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				$U_{50\%} / \delta$	%σ
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
70	759	29	157.6	149.3	158.1	152.8	158.9	149.9	157	159	158.5	149	159.1	150.3	158.8	150.5	158.6	150.3	159.2	156	158.3	151	157.40	2.63
64	760	29.5	158.3	154.5	151.4	153.9	158.1	154.6	157.8	154.1	157.8	154.8	158.3	154.3	157.6	154.4	157.4	154.6	158.3	155	150.9	155.8	157.94	1.45
60	760	30	160.6	159	156.2	152.5	156.3	153	156.5	153	156.7	152.8	156.4	152.3	156.9	152.1	156	151.1	156.9	152.4	156.7	153.1	157.63	1.68
60	760	30	156.6	152.3	156.6	152.4	156.2	152.1	156.4	152.7	155.8	152.2	156	153.2	155.4	152	155.4	152.4	155.8	153	156.2	152.3	156.84	1.22
63.5	759	31	158.8	154.6	158.6	155.2	158.4	155.1	157.3	154.6	157	159	158	155.4	158.1	155.4	158.2	155.1	158	155.4	157.1	155.4	160.10	1.01
79	758	28	159.4	155.3	159	162	159.2	161.3	159.3	161.9	160.1	155.7	159	161.3	158.8	161.4	158.7	162.5	158.5	161.3	158.9	161.8	161.80	1.23
75	758	28.5	161.3	158.3	161.3	158.5	160.9	158.3	160.5	158	161.3	158.6	162.1	159.3	156	159	161.2	158.7	160.6	158.5	157	158.9	161.71	1.03
73	758	29	159.1	155.2	159.4	155.3	159	155.7	159.2	155.2	159.2	156	159	155.9	159.6	155.9	159.4	155.8	159	155.8	159.5	155.8	159.98	1.18
70	758	29	159.2	155.7	159	155.6	159.1	155.5	159	155.6	159	155.8	159.5	155.7	159	155.8	158.7	155.4	158.9	156	159.1	155.4	159.88	1.12
66	759	30	160	156.6	159.5	156.7	159.1	156.7	159.3	156.7	159.3	157.6	159.4	156.6	159.8	156.7	158.8	155.6	159.2	157	159	155.3	160.81	0.96
65	759	30	159.3	156.7	159	157.3	159.2	157.4	159.3	157.4	159.3	156.5	159.2	156.8	159.1	157	159.6	157.1	159.3	157.1	158.8	156.3	160.95	0.75
63	759	31	159.4	153.1	157.8	152.1	157.2	152.9	156.1	156.8	156.2	157.2	157	153.2	158.7	153.2	158.3	153.1	158.3	153.3	158.3	153.5	159.13	1.56
80.5	758	27.5	164	160.2	151.9	160.9	152	159.3	163.5	159.3	162.4	159.4	154.3	159.9	162.8	159.5	162.8	159.1	162.3	159.4	163.7	159.3	161.57	2.20
81	758	28	164.3	159.1	162.6	159.9	154.5	159.5	163.4	159.9	155.5	159.2	164	160	157.5	159.8	157	161.3	155.8	158	162.4	160.6	161.75	1.75
76	762	28	158.7	154.3	157.5	159.3	158.1	159.9	158.2	159.7	158.1	159	158.3	158.9	158.2	158.8	158.3	157	158.1	158.7	157.8	159.1	159.47	0.74
75	762	28	159.3	157.6	159.2	157.6	159.3	158.7	157.9	156.5	157.3	157.8	159.1	157.3	158.5	157.6	158.7	157.7	158.6	157.9	158.3	157.8	159.31	0.49
59.5	760	30	158.8	155.6	157.9	155.2	157.6	156.2	157.7	155.9	157.6	155.9	157.4	155.9	157.5	155.8	157.2	155.9	157.4	155.5	157.8	156.2	159.38	0.66
70	761	28	163.1	160.4	161.9	160.3	162.2	159.8	161.2	160.2	161.6	158.8	161.3	159.7	161.5	160.2	161.1	159.6	161.1	159.5	161.2	158.8	162.08	0.71
46	758.5	31	159.5	152.2	156.4	153.9	157.7	156.4	158.6	156.6	157.8	156.6	159.1	157	159	156.7	158.6	156.6	158.1	155.2	157.7	157	160.51	1.13
68	760	27.5	162.6	158.3	162.9	158.6	161.2	157.8	161.1	159	161.3	160.2	161.3	159	161	160.5	160.9	159.6	161.5	159.9	161.8	160.6	161.80	0.87
44.5	758	32	157.6	155.7	156.9	155.9	154.9	156.5	155.1	156.5	155.6	156.3	155.9	156.5	156	156.3	156.1	157	155.9	156.5	155.8	156.7	160.28	0.41
58	760	30	158.6	155.9	157.9	157	158	156.6	159.1	157.3	157.7	156.6	158.4	157.5	158.3	156.5	158.4	157.8	158.7	157	158.8	157.2	160.31	0.56
53	758	31.5	156.1	152.1	154	152.4	154.6	152.8	154.8	152.8	155.4	153.1	154.8	153.6	154.3	153.8	154.8	153.7	155	154	155.3	154.1	157.85	0.69

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																			$U_{50\%} / \delta$	% σ	
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20
49	759	31.5	158.6	156.3	157.5	155.8	157.4	155.8	157	155.8	156.7	156.1	156.3	156.1	155.7	156.3	157.2	155.6	156.7	155.3	157.1	156.4	160.11	0.51
48.5	759	32.5	156	154.4	155.9	155.4	155.8	155.4	155.8	154.6	155.9	154.7	156.8	155.4	156	154	156	154.4	156.6	155.2	156	155.4	159.61	0.48
79	761	29	161.1	159.4	161.3	159.9	161.4	158.6	160.4	159.2	161.3	159.5	158	159.6	160.9	159.5	161.2	159.5	159.7	159.4	161.2	159.4	161.96	0.63
79	759	28.5	158.9	155	158.3	155.3	157.7	155.3	158.2	155.9	157.7	156.4	157.5	155.2	156.4	156.1	157.6	154.9	157.6	155.7	157.3	155.3	158.66	0.81
56.5	762	28	158	155.2	157.2	156.1	157.4	154.6	156.4	155.2	156.8	155.3	157.3	155.6	156.8	155.5	156.8	155.6	156	154.3	156.8	155.4	157.27	0.64
59.5	762	27.5	158.3	156.8	158.3	156.8	158.9	156.4	158	156.9	158	156.4	158.2	156.8	158.3	157.2	158.4	156.6	158.2	157.2	158.2	157.9	158.49	0.50
46	759.5	29	156.9	155	156.8	155.2	156.4	155.3	157	154.7	153.9	155.2	153.1	155.9	154.2	155.6	154.2	155.8	154.6	155.7	154.4	156	157.48	0.68
47	761.5	26	156.3	152.9	157.8	155.1	156.9	154.9	157.7	155.5	157.3	157	157.7	156.1	157.6	156.9	157.8	155.9	157.7	156.7	157.6	156.8	156.83	0.81
41	759	28	159.4	156.6	159.7	156.7	158.3	157.2	158.1	157.6	159.6	157.5	159	156.7	159	157.5	159	157.4	158.2	157.5	159.1	157.5	159.88	0.63
49	761.5	27	158	156	157.1	159.5	158.2	155.9	158.6	156.1	158.1	155.9	158.1	156.1	158.3	157.1	157.1	156.6	157.8	156.2	158.1	157.4	158.05	0.67
47	760	28	158.6	157.7	159.4	158	159.2	157.2	159.2	157.5	158.7	157.3	158.2	157.8	158.4	157.7	158.8	156.9	159.4	157.5	158.8	157.4	159.78	0.50
55	762	27	159.7	158	159.3	158.6	159.4	158.6	160	158.6	159.3	158.6	158.9	158.6	158.8	157.9	159.9	158	158.4	158	158.4	158.3	159.41	0.40
51	760	29	159.6	157.5	158.4	157.4	159.3	157.7	159.3	158.4	159.3	157.7	159.2	157.6	158.6	157.8	158.6	158	158.6	157.3	158.5	157.6	160.45	0.47
64.5	760.5	24.5	160.8	158.2	160.4	158.4	160.1	159.1	160.5	159.7	161	158.4	160	158.8	160.8	158.5	160.4	159.6	160	158.8	160.4	159.5	159.30	0.57
48	759.5	26	157.7	156.2	158.2	156.2	158.6	156.8	157.7	156.9	158	155.8	157.7	155.7	157.2	156.4	157.8	156.2	158.6	157.1	158.3	156.7	157.82	0.59
52	760	29	158.2	157	158.2	157	158.2	156.6	157.4	156.8	157.2	156.1	157.5	156.8	157.5	156.2	157.8	156.2	157.2	156	158	156.1	159.21	0.48
51	761.5	28	160.6	158.2	160.6	157.4	159.5	157.3	158.4	156.3	158.4	156.8	158.2	156.4	158.3	156.6	158.7	157.6	159	156.8	158.5	158.2	159.37	0.78
57	760	28.5	158.6	156.8	157.6	156.7	157.6	156.8	157.8	156	157.1	156.3	157.4	155.8	157.5	156	157.6	156.6	157	156.1	157.5	156.4	158.80	0.47
90	758	27	162	159.7	161.3	159.9	161.4	159.7	160.4	159.2	161.3	160.2	158.7	159.6	160.9	159.5	161.2	160	159.7	159.4	161.2	159.4	161.74	0.57
71	761	28	160	158.1	159.3	158.6	159.4	158.5	160	158.4	160.3	158.6	158.9	158.6	160	158.3	159.9	158.2	158.4	158	158.6	158.3	160.31	0.47
65	762	29	160.2	157.5	158.4	157.4	159.3	157.7	159.3	158.4	159.3	158	159.2	157.6	158.9	157.9	158.6	157.9	158.4	158	158.5	157.5	160.10	0.48
82	761	27.5	159.9	158	159.1	162	159.2	161	159.3	161.9	160.1	157.7	159	161.2	158.8	161.4	158.7	161.9	158.5	161.3	158.9	161.8	161.12	0.90
63	759	27.5	159.7	157.7	159.2	157	159.3	157.6	159.7	157	158.8	157	159.1	157.7	160.2	156.9	158.9	157.5	158.3	157.4	156	160	159.79	0.77
50	761	26	159.8	158	159.1	157.9	159.3	157.7	159.3	158.4	159.3	157.7	159.2	157.6	158.6	157.8	158.6	158	158.6	157.3	158.5	157.9	158.75	0.45
53	761.5	27.5	158.3	157.1	158.2	157	158.2	156.6	157.4	156.8	157.8	156.7	157.5	156.8	157.5	156.6	157.8	156.6	157.2	156.9	158	157.5	158.33	0.37
62	762	30	161.9	157.4	160.6	158	160.1	158.1	159.8	157.4	158.3	157.6	160.1	157.8	157.9	157.5	159.8	157.7	159.9	157.4	158.2	157.8	160.90	0.84

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				$U_{50\%} / \delta$	%σ
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
44.5	768.5	25	162	160.4	161.7	160	161.2	160.1	161.4	160.5	161.2	160.1	161.5	160.4	162	161	161.8	160.7	161.7	160.3	162.5	160.5	159.27	0.47
41	766	24	160.8	157.6	160.8	157.9	160.9	158.1	159.8	158.4	160.9	158.7	161.4	158.8	161.7	158.6	162	158.4	160.7	157.9	160.9	157.9	157.83	0.94

ตารางที่ ง.4 ข้อมูลแรงดันเบรกคาวนด์ด้วยวิธีปรับขึ้นลง อิมพัลส์ข้าววก ที่ระยะแกป 9 cm.

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				$U_{50\%} / \delta$	%σ
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
66	759	30	224	218	233	217	225	218	227	217	226	215	227	215	225	232	229	216	227	216	226	231	227.24	2.73
61	760	30.5	228	218	226	218	225	218	222	219	224	219	225	216	224	219	226	219	225	218	224	218	225.64	1.65
65	760	29.5	236	227	218	227	236	231	221	226	237	227	237	227	239	226	238	226	237	227	239	229	234.03	2.74
60	760	31	228	218	226	217	226	235	226	236	231	221	231	221	230	223	229	219	230	222	229	221	230.50	2.44
59	760	31	229	219	227	220	230	222	234	220	229	220	229	221	229	220	226	231	228	220	229	221	229.73	2.13
64	759	31	230	225	230	225	219	224	232	226	231	225	231	225	231	226	235	225	231	226	231	225	232.54	1.68
75	758	28.5	230	224	230	226	231	226	230	227	231	226	231	227	231	236	230	236	231	227	230	236	233.11	1.49
74	758	29	233	227	234	227	235	227	232	227	233	227	233	226	233	228	224	226	233	226	233	227	233.25	1.54
72	758	29	233	226	233	227	234	227	234	226	233	226	236	226	234	226	233	227	233	226	233	226	233.65	1.66
64	759	31	227	220	226	234	227	232	227	221	226	232	228	224	228	232	226	233	227	234	227	233	233.10	1.78
63	759	31	233	228	222	227	221	226	231	226	231	227	231	228	222	227	231	227	224	227	232	227	232.28	1.50
62.5	759	31	231	227	230	226	231	227	232	227	221	227	229	228	221	226	222	229	224	227	225	227	231.72	1.38
79.5	758	27	233	226	234	226	233	226	232	236	233	227	236	227	232	241	233	227	233	226	233	226	233.16	1.88
81.5	758	28	233	225	233	228	236	226	233	227	235	226	233	226	236	226	232	228	233	227	231	235	233.38	1.67

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				$U_{50\%} / \delta$	% σ
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
86	758	28	231	225	231	225	229	225	218	223	230	224	229	226	228	226	227	225	227	223	226	223	228.93	1.40
82	759	27	233	226	234	226	230	225	231	226	229	226	231	226	230	226	232	227	230	227	228	231	230.54	1.20
70	757	28.5	227	219	224	229	226	228	226	228	226	228	226	223	225	228	226	228	227	222	224	229	229.51	1.13
74.5	761	28	226	220	225	231	227	229	227	230	226	231	227	230	227	226	228	229	227	230	228	226	229.49	1.11
48	759	31.5	225	219	224	220	228	224	228	224	230	224	226	223	227	224	227	224	225	224	223	224	229.85	1.15
48	759	31.5	226	220	225	223	225	224	226	223	226	223	225	224	222	223	226	223	225	228	226	224	229.55	0.81
54	761	28.5	231	223	230	227	232	225	228	227	228	233	228	232	230	226	227	226	228	225	228	227	230.43	1.14
53.5	761	29	228	225	228	226	228	230	228	225	228	231	229	226	229	226	229	226	227	226	229	226	230.25	0.75
53	761	29.5	229	226	227	225	231	226	228	226	228	227	228	226	229	225	229	227	229	226	225	226	230.28	0.73
44	758	31	229	220	228	224	228	225	220	223	228	223	228	222	228	222	224	223	224	222	223	220	229.32	1.33
53	759.5	30.5	226	225	229	222	227	225	227	225	227	225	227	226	227	225	227	225	226	225	227	225	230.22	0.64
53	759.5	30	229	225	228	224	229	225	227	225	226	225	226	226	227	224	227	225	225	225	227	225	229.94	0.66
57	760	28	230	228	231	228	231	230	231	228	230	228	229	227	228	228	228	227	229	227	228	227	230.95	0.61
50	761	31	227	224	227	224	227	225	228	225	227	224	228	224	227	224	225	223	226	224	227	224	229.74	0.71
62	761	29.5	228	226	228	227	228	226	227	226	226	226	227	224	227	226	226	226	227	226	226	225	229.52	0.44
57.5	761	27	234	227	232	227	232	227	231	227	228	226	230	227	229	227	228	226	229	226	227	226	229.53	1.03
46	759.5	29	224	220	223	221	225	222	225	222	224	222	225	221	224	223	225	222	224	221	224	222	226.09	0.71
47	762	26	228	224	228	226	228	226	228	225	226	225	227	226	227	226	227	226	227	226	228	226	226.66	0.51
56	760	24	233	227	231	226	228	227	231	228	230	228	229	227	230	227	231	229	230	228	229	227	228.03	0.80
55	761.5	25	225	219	226	232	227	227	228	224	227	225	228	225	227	226	226	225	228	226	227	226	225.75	1.06
58	761	26.5	227	226	230	226	228	227	228	226	228	225	229	224	226	225	226	224	229	226	229	225	227.54	0.77
40.5	758.5	27.5	227	225	230	227	228	226	228	226	228	226	228	227	228	226	227	226	226	225	227	225	229.15	0.57
48	759.5	26	228	225	230	225	228	225	228	224	228	226	227	225	227	226	227	226	227	226	226	225	227.36	0.65
55	759	24	227	224	228	226	230	225	228	225	229	225	228	226	230	227	230	227	230	228	228	225	226.84	0.85
51	759.5	28.5	230	225	228	226	229	225	230	227	229	226	229	226	228	227	229	227	229	226	229	227	230.42	0.70
51	761.5	28	231	228	229	226	229	226	229	227	230	226	229	226	230	228	260	226	230	227	231	228	231.66	3.18

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				$U_{50\%} / \delta$	% σ
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
49	760	28	228	223	228	225	228	225	229	226	229	227	229	226	228	227	228	227	229	228	231	228	229.74	0.79
59	760	29	228	223	226	223	226	223	225	225	226	223	225	223	226	225	226	225	226	223	226	224	227.87	0.65
61	758.5	28	229	226	229	226	226	225	230	226	229	226	229	226	228	226	229	226	227	226	229	227	229.99	0.68
71	760	26	227	226	228	225	228	225	228	227	228	227	229	226	229	226	228	228	229	227	229	227	228.11	0.56
87	758	27	235	227	221	227	234	231	224	228	233	227	233	227	232	226	232	226	233	227	232	229	231.35	1.64
84	758	28	232	226	232	227	233	227	231	226	230	228	236	226	232	226	231	227	230	226	231	227	232.12	1.29
61	760	29	228	222	228	231	227	233	227	222	227	230	228	224	228	232	226	232	227	232	227	231	231.16	1.39
62	760	29	228	221	226	232	227	232	227	221	226	232	228	226	228	232	226	233	227	233	227	233	231.31	1.61
63	760.5	29	226	220	225	231	227	229	227	230	226	231	227	230	227	226	228	229	227	230	228	226	230.40	1.11
65	762	29	230	227	229	228	229	228	229	227	231	228	230	228	230	226	229	228	229	227	229	227	230.91	0.56
82	761	27.5	233	228	231	227	233	226	232	226	231	226	232	226	231	226	233	227	232	226	233	226	230.87	1.32
81	761	28	230	227	230	228	231	227	231	227	230	227	230	227	230	227	231	228	230	227	231	227	230.80	0.74
52.5	761	27	229	227	228	227	228	226	229	228	230	226	229	226	230	224	229	226	229	226	230	226	228.88	0.76
63	760.5	29	226	225	228	224	228	226	228	225	227	223	228	224	227	223	225	222	227	223	225	223	228.22	0.88
46	768	24.5	232	228	232	228	232	229	233	231	233	229	233	228	262	229	232	229	233	228	233	229	229.35	3.15
41	766	24	231	226	230	225	229	225	232	226	231	226	232	225	231	226	229	226	233	225	232	224	225.65	1.34

ตารางที่ ๓.5 ข้อมูลแรงดันเบรกความถี่ด้วยวิธีปรับขึ้นลง อิมพัลส์ข้าวบวก ที่ระยะแกป 12 cm.

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																			U _{50%} / δ	%σ	
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20
61.5	760	30.5	312	301	312	304	311	301	310	302	307	300	294	300	307	300	311	300	310	301	308	302	310.27	1.72
61	760	30.5	301	293	300	309	300	309	300	308	300	293	297	293	300	292	299	309	300	294	301	312	306.05	2.03
66	760	29	298	292	286	292	304	291	299	308	299	310	299	308	299	307	300	313	301	308	300	308	305.14	2.38
59.5	760	31	295	292	297	310	294	300	295	301	294	304	313	302	294	301	312	302	312	302	311	301	307.67	2.27
60	760	31	313	301	312	300	312	297	293	304	293	301	312	300	312	304	294	287	293	286	293	286	305.68	3.04
64	759	31	310	302	295	303	293	290	295	297	295	302	296	302	296	301	296	289	296	289	295	289	302.92	1.85
70	758	29.5	303	300	306	300	304	300	306	312	307	300	293	300	293	299	291	287	292	299	292	299	304.47	2.11
68.5	758	29.5	298	293	298	294	289	282	285	278	284	291	301	308	300	292	284	292	284	291	293	291	296.58	2.52
68	758	30	293	284	292	297	293	284	293	284	291	299	292	285	292	299	292	286	291	300	292	299	297.58	1.79
65	759	31	302	293	286	287	285	292	298	294	299	308	315	311	301	305	302	294	302	294	285	293	303.69	2.88
63	759	31	299	287	295	287	296	288	291	286	281	287	279	287	293	286	296	286	293	287	293	286	295.36	1.79
78.5	758	27	306	299	305	300	293	283	290	284	290	284	291	299	307	299	301	299	305	297	291	295	298.67	2.51
82	758	28	297	290	297	306	297	307	298	310	299	312	299	305	290	289	295	304	297	304	310	306	304.43	2.29
79	759	27	299	290	294	300	298	300	296	290	296	290	297	291	298	294	296	301	298	291	298	291	297.77	1.27
70	757	28.5	292	286	292	296	293	289	293	297	293	290	285	288	291	288	292	286	290	288	283	287	294.52	1.26
78	761	27.5	301	295	302	298	301	297	303	297	301	296	300	302	300	297	300	298	300	301	303	301	301.77	0.78
48	759	31.5	301	293	303	297	301	304	300	303	300	298	300	297	296	299	298	300	293	298	295	298	305.62	1.02
48.5	759	31	301	296	300	306	302	303	299	305	300	296	300	301	300	303	300	302	299	301	299	303	307.26	0.84
52	761	30	302	295	299	295	299	295	300	295	297	293	286	290	287	291	298	304	299	293	297	301	300.37	1.62
50	761	30	293	286	293	286	292	287	292	298	292	301	308	300	297	298	294	291	296	300	296	300	299.56	1.88
46	759	31.5	295	294	295	293	303	294	300	305	303	294	300	296	294	296	290	295	301	296	299	306	304.34	1.48
56	760.5	30.5	308	304	310	305	308	305	300	305	298	293	283	291	299	302	299	292	299	301	300	291	304.98	2.29
54	761	30.5	301	298	299	291	300	293	300	292	302	295	302	295	304	295	286	292	302	299	303	300	302.54	1.62

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																		$U_{50\%} / \delta$	% σ		
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			19	20
44	760	32	302	294	303	299	303	299	292	299	306	298	294	297	294	298	304	298	303	297	302	298	306.02	1.27
56.5	760	28	302	296	303	301	303	300	304	300	302	301	303	300	303	300	301	300	301	300	300	298	303.93	0.63
50	759	31	305	296	303	299	301	294	299	297	299	296	301	299	301	298	305	297	299	297	300	297	305.58	0.97
67	760	29	299	297	301	295	300	296	301	299	304	300	301	296	303	296	305	300	301	296	295	299	303.22	0.99
57	761.5	27.5	300	298	300	296	293	298	302	295	301	296	300	299	300	299	301	298	301	296	299	295	300.26	0.82
46	759.5	29	298	290	297	290	295	292	297	290	296	291	294	292	294	292	295	290	295	292	292	292	297.33	0.88
47	762	26.5	296	290	297	292	300	292	296	291	297	293	299	292	300	292	297	292	297	302	299	302	296.51	1.29
59	760	24	300	293	300	294	297	295	298	294	298	294	300	295	299	294	298	297	297	294	300	295	295.60	0.82
60	760.5	23	300	293	301	294	290	296	289	297	302	295	293	296	290	295	301	293	289	290	288	293	292.08	1.47
58.5	761	26	298	295	299	294	297	295	298	302	296	303	299	300	298	302	298	302	298	299	298	300	299.16	0.83
42	759	28	298	295	298	297	301	296	299	297	299	297	300	295	291	295	302	299	291	300	293	299	300.49	1.03
56	759	24	298	294	301	295	301	297	299	297	302	299	299	295	298	294	301	298	300	297	301	297	297.54	0.82
51	759.5	28.5	301	296	300	297	301	299	304	298	302	298	299	296	301	296	298	296	303	296	298	296	302.46	0.85
50	760.5	28.5	298	295	296	295	301	297	298	295	298	296	299	295	299	297	298	297	298	295	297	294	300.19	0.60
48	759.5	28	299	295	299	297	299	296	298	295	299	298	299	295	298	296	298	297	299	295	299	298	300.64	0.53
60	760	29	298	295	298	294	298	296	297	293	297	295	296	293	296	294	298	296	300	297	298	295	300.18	0.63
61	758.5	28.5	302	299	301	298	301	299	303	299	301	298	303	301	303	299	301	300	301	300	302	299	304.63	0.53
76	760	26	301	298	300	295	300	298	302	304	300	304	302	303	301	296	299	296	303	298	301	298	300.96	0.89
90	758	27	299	293	300	293	304	292	299	308	299	309	300	307	301	307	300	308	301	308	300	306	304.30	1.76
89	758	27	300	295	301	310	296	300	295	301	295	304	310	302	290	304	310	302	309	302	307	301	304.61	1.88
62	760.5	29	300	297	302	299	301	299	303	297	301	296	300	302	300	298	301	297	301	296	302	296	303.14	0.76
63	760.5	29	301	296	301	297	301	304	300	303	301	299	300	297	296	299	298	300	298	301	293	301	303.18	0.87
63.5	760.5	29	299	296	299	296	300	295	300	296	300	297	300	297	301	297	302	299	303	296	300	299	302.55	0.75
77	761	28	300	298	300	298	300	297	302	303	300	303	302	303	301	296	299	296	303	298	301	297	302.25	0.80
73	761	28	300	298	300	296	300	296	300	296	300	297	300	297	301	297	302	297	300	298	300	298	301.30	0.62
81	761	28	304	299	303	298	303	299	303	299	301	298	303	301	303	299	301	300	301	300	302	299	302.77	0.64

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				$U_{50\%} / \delta$	%σ
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
63	759	27	300	297	299	297	299	296	298	296	300	295	303	296	300	294	300	295	299	296	300	297	299.88	0.77
53	761	27	299	295	299	295	298	296	297	294	297	295	296	294	296	295	298	296	300	297	300	296	298.47	0.62
62	760.5	29.5	300	295	300	297	302	298	301	297	300	297	301	300	301	297	300	296	301	300	300	297	303.32	0.68
48	768	24	304	298	305	300	305	304	306	304	306	300	303	299	301	298	303	302	303	300	303	301	298.10	0.83
41	766	24	304	300	305	300	304	301	306	299	304	300	307	301	305	300	304	301	305	301	304	301	299.22	0.80

ง.2 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวน้อิมพัลส์ชั่วพล

ตารางที่ ง.6 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวน้อด้วยวิธีปรับขึ้นลง ชั่วพล ที่ระยะแกป 1 cm.

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				$U_{50\%} / \delta$	%σ
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
90	759	27	31.9	30.7	31.8	30.9	31.7	31.9	31.7	32.8	33.6	32.7	33.4	32.5	33.8	32.8	33.5	32.8	33.4	32.7	33.6	32.8	32.81	2.73
74.5	760	28	33.1	32.2	33	34	33.8	32.9	33.9	34.3	33.5	34.3	33.7	34.2	34	34.2	34	33.6	34.2	33.8	34	33.6	34.05	1.56
72.5	760	28	32.1	31.1	31.9	31.5	31.7	31.5	31.8	31.5	31.2	31.4	31.8	31.4	31.7	31.2	31.7	31.4	31.5	31.4	31.8	31.2	31.86	0.73
72	760	28.5	31.6	31.3	31.7	31.2	31.8	31.4	31.1	31.2	32	31.2	32	31.1	31.6	31.3	31.5	31.9	31.8	31.2	31.7	31.2	31.86	0.97
72	760	28.5	32	31.1	31.7	32.3	32.8	32.3	32.1	32.4	32.1	32.4	31.9	32.3	32.7	32.2	32.7	33.5	32.8	32.2	33	32.3	32.72	1.55
72	760	28.5	31.9	31	32.1	32.3	32.5	32.5	32.1	32.8	32.2	32.9	32.2	31.9	32.4	31.7	32.2	31.9	32.1	31.6	32.2	31.6	32.48	1.35
65	760.5	30	33	32.4	33.1	32.7	33.1	32.6	32.9	32.7	33	32.5	32.1	32.5	33	32.6	32.2	32.5	32	32.6	32.4	32.6	33.15	0.95
65	760	30	32.4	32	32.4	32.1	32.5	32.1	32.4	32	32.4	32.1	32.5	32.1	32.4	32.5	32.4	32.6	32.3	32.6	32.4	32.2	32.86	0.60
64	760	30	32.3	32.1	32.3	32.6	32.4	31.9	32.3	32.5	32.3	32.5	33	32.5	32	32.5	32.2	32.5	32.2	31.9	32.3	32	32.86	0.85
65	760	30	32.4	32.2	32.6	32.9	32.5	33	32.7	32.2	32.6	32.2	32.5	32.9	32.4	32.3	32.6	32.4	31.9	32.2	32.5	32.3	33.01	0.85
68.5	759	29.5	32.8	31.6	32.2	31.8	32.3	32.1	32.5	32	32.2	32	32.3	31.9	32.3	32.1	32.4	32.2	32.3	31.9	32.3	32.1	32.69	0.68

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				$U_{50\%} / \delta$	% σ	
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
68.5	759.5	29.5	32.1	31.9	31.3	31.9	32.1	32	32.2	32.7	32.1	32.5	32.2	32.7	32.3	31.9	31.6	31.9	32.3	31.8	32.4	31.8	32.59	1.09	
65.5	762	29	32.4	32.1	31	32	32.5	31.9	31.6	32	32.6	31.8	32.4	31.9	32.3	31.9	32.7	31.7	32.3	31.8	32.7	31.9	32.42	1.29	
58	759	31	32.9	32.2	32.8	32.1	32.5	32.1	32.4	32	32.4	32.2	32.6	32.1	32.4	32.8	32.4	32.7	32.4	32	32.8	32.2	33.10	0.81	
47	758	31.5	30.8	30.4	30.8	31.9	31	31.5	31	31.4	31	31.2	31.1	30.5	31	30.4	30.9	32.8	31	31.4	32.3	31.7	31.97	1.93	
56	760.5	30.5	31.9	31	32.1	31.4	32.3	31.6	31	31.3	31.9	31.2	32.2	31	32.2	31.3	32	31.4	31.7	31.4	31.7	31.3	32.16	1.33	
53	758.5	31	31.9	31.5	32.1	31.4	32	31.5	32	31.4	31.8	31.5	31.8	31.6	32	31.4	32.1	31.5	31.8	31.5	31.4	31.9	32.41	0.80	
81	759	28	31.5	31.1	31.6	32.4	33.5	32.5	33.7	33	33.5	33	33.8	33.2	33.7	33.1	33.5	32.9	33.6	32.9	33.5	33.2	33.34	2.12	
65	761	31.5	31.9	31.5	31.9	31.5	32.3	33	32.2	33	32.2	32.9	33.9	33	32.5	33.1	33.8	33.1	32.6	32.9	32.8	33.2	33.33	1.96	
46.5	758.5	32	32.6	31.7	32.7	31.8	32.6	31.9	32.6	31.9	32.5	31.9	32.6	32	32.6	32.1	32.6	32.1	32.5	32.1	32.5	32.1	33.09	1.01	
76	761.5	30	32.6	32.2	32.7	32.3	32.9	32.3	32.7	32.4	32.6	32.3	32.7	32.3	32.7	32.2	32.8	32.3	32.6	32.2	32.8	32.3	32.98	0.72	
52	760	32	32.5	31.4	32.4	31.5	32.5	31.5	32.4	31.6	32.2	31.6	32.5	31.6	32.1	31.6	32.1	31.5	32.1	31.5	32	31.6	32.66	1.20	
64	762	30.5	32.6	32.2	32.5	32.1	32.4	31.8	32.6	31.8	32.5	31.8	31.9	31.8	32.2	31.8	31.9	31.9	32.2	31.8	31.9	31.8	32.58	0.85	
80	759.5	28.5	33.7	32.4	33.4	32.5	33.2	32.4	33.2	32.4	33.5	32.6	33.5	32.6	33.3	32.5	33.4	32.5	33.5	32.5	33.5	32.4	33.36	1.41	
54	762	29	32.3	31.8	32.2	31.9	32.1	31.8	32.1	31.8	32.1	31.9	32.1	32	32.3	31.9	32	31.8	32	31.9	32.1	31.9	32.34	0.45	
61	761	26	33.4	32.2	33.5	32.6	33.3	32.4	32.9	32.4	33	32.5	33.2	32.4	32.8	32.6	33.2	32.5	33.2	32.5	32.8	32.7	32.87	1.10	
60	762.5	26	34	33	33.6	33	33.9	33.1	33.5	33.2	33.7	33.1	33.9	33.2	33.7	33.4	34	33.1	34	33.3	33.6	32.9	33.46	1.06	
60	762.5	26.5	33	32.1	33.1	33.4	33	33.9	33	33.7	33.2	32.3	32.8	33.7	33	33.3	32.8	33.3	33.1	33.6	32.9	33.9	33.21	1.43	
57	762	28	32.8	32	32.4	31.9	33	32.1	32.8	32.2	32.6	32.1	33.1	32.3	32.9	32	33	32.1	32.9	32.1	32.5	32.2	32.69	1.21	
55	762	29	33.1	32	32.7	32.1	33	32.2	33.1	32.2	33	32.2	32.5	32.2	33	32.3	33	32.2	32.5	32.2	32.5	32.3	32.86	1.10	
53	760.5	30	33	32.3	33	32.3	33	32.3	32.8	32.2	33.3	32.5	32.6	32.2	32.9	32.2	33.2	32.4	33	32.4	32.9	32.4	33.17	1.09	
46.5	760.5	28.5	32.7	32.3	32.8	32.2	32.6	32.2	32.5	32.1	32.5	32.1	32.6	32.2	32.5	32	32.7	32	32.6	32.1	32.6	32.2	32.73	0.77	
47	761.5	26	32.3	31.6	32.3	31.8	32.3	31.9	32.3	31.8	32.3	32	32.4	32.1	32.4	32	32.3	32.1	32.4	32	32.4	32.1	32.18	0.73	
43	759	28	33.3	32.4	33.2	32.2	33.4	32.9	33.4	32.9	33.2	32.6	33.3	33.1	33.3	33	33.3	32.8	33.2	33.1	33.3	33.1	33.43	0.99	
53	761.5	26	32.5	32	32.4	32	32.4	32.2	32.4	32.2	32.3	32	32.4	32.2	32.4	32.2	32.5	32.1	32.6	32	32.6	32.2	32.32	0.60	
47	759	28.5	32.7	31.8	32.5	31.8	32.5	31.9	32.6	32.2	32.6	32.1	32.1	31.8	32.5	31.8	32.4	31.9	32.6	32.2	32.3	31.8	32.63	0.95	
57.5	762	26	33	33	33.3	32.6	33	33	33	33	32.5	33.2	32.8	32.9	32.9	33.5	32.7	33	32.7	33.4	32.9	33.2	32.9	33.00	0.77

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				$U_{50\%} / \delta$	% σ
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
51.5	759.5	29	32.9	32.7	32.8	32.6	32.7	32.6	33.1	32.6	33.1	32.8	32.9	32.7	33	32.9	32.9	32.7	32.8	32.5	33	32.4	33.25	0.58
63	760.5	24.5	33.3	33	33.4	33	33.2	32.9	33.2	33	33.4	33	33.3	33	33.3	33.2	33.4	32.9	33.2	32.7	33.2	33	33.05	0.58
53	760	28	32.4	32	32.4	32	32.3	31.9	32.5	32	32.4	32	32.3	32	32.3	32	32.4	32	32.3	32.1	32.4	32	32.51	0.60
56	760	28	32.3	31.9	32.4	32	32.2	32	32.2	32	32.2	31.9	32.3	31.9	32.2	31.9	32.3	32	32.2	31.9	32.3	31.9	32.42	0.52
77	758	28	32.9	32.5	32.8	32.4	32.9	32.4	32.7	32.5	32.8	32.5	32.8	32.5	32.9	32.5	32.8	32.5	32.8	32.5	32.9	32.5	33.07	0.55
80	759	28	33	31.1	32.8	32.4	33.5	32.5	33.7	33	33.5	33	33.8	33.2	33.7	33.1	33.5	32.9	33.6	32.9	33.5	32.9	33.46	1.86
77	759	28	33	32	32.4	31.9	33	32.1	32.8	32.2	32.6	32.1	33.1	32.3	32.9	32	33	32.1	32.9	32.1	32.5	32.2	32.83	1.21
82	761	27	32.8	32	32.9	32.4	33	32.5	33	32.7	33	32.7	32.9	32.7	33.1	32.7	33	32.7	33.1	32.9	33.1	32.8	32.98	0.83
61	759	28	32.2	33.5	32.6	33.3	32.4	32.9	32.4	33	32.5	33.2	32.4	32.8	32.6	33.2	32.5	33.2	32.5	32.8	32.6	32.8	33.14	1.02
65	759	27	32.9	32.5	32.9	32.6	32.8	32.6	32.8	32.5	32.9	32.5	32.7	32.4	32.9	32.6	32.9	32.5	32.8	32.5	32.8	32.5	32.94	0.52
70	760	27.5	33	32	32.8	32.5	32.8	32.6	32.7	32.5	32.8	32.5	32.7	32.4	32.9	32.5	32.9	32.6	32.8	32.5	32.8	32.6	32.92	0.64
50.5	761	26	32	31.1	32.1	32.3	32.5	32.5	32.1	32.8	32.2	32.9	32.2	31.9	32.4	31.7	32.2	31.9	32.1	31.6	32.2	31.6	32.18	1.31
53	761.5	27	32.2	31.6	32.9	32.3	32.8	32.3	32.1	32.4	32.1	32.4	31.9	32.3	32.7	32.2	32.7	32.9	32.8	32.3	32.8	32.3	32.55	1.08
75	761.5	27.5	33	30.9	32.7	31.2	32.4	30.9	31.9	32.5	33.8	32.8	32.3	32.9	33.2	32.4	32	32.7	33	32.7	31.9	32.7	32.60	2.28
62	761.5	30.5	32.7	32.1	32.8	32.2	32.7	32.3	33	32.2	32.7	32.3	32.8	32.2	32.7	32.3	32.9	32.1	32.7	32.1	32.8	32.3	33.03	0.93
45	768.5	24.5	33.5	33.1	33.7	33	33.9	33.1	33.4	33.2	33.3	33.1	33.2	33.1	33.8	33.2	33.4	33.1	33.7	33.1	33.3	33.1	32.89	0.81
40	766	24.5	33	32.1	32.9	32.2	32.9	32.2	32.9	32.3	32.8	32.2	32.9	32.1	32.8	32.2	32.8	32.2	32.8	32.2	32.9	32.3	32.23	1.08

ตารางที่ ๗.7 ข้อมูลแรงดันเบรกความถี่ด้วยวิธีปรับขึ้นลง อิมพัลส์ข้าวลบ ที่ระยะแก๊ป 3 cm.

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				U _{50%} / δ	%σ
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
90	759	27	84.7	79.5	83.2	79.8	82.8	87	84	79.9	83.6	80.8	82.8	80.3	85.3	79.7	82.4	80.9	83.9	80.4	82.6	80.9	82.89	2.48
90	759	27.5	83.2	79.3	82.2	86.1	84.4	81.1	84.4	80.1	84	80.6	84.2	80.6	84.2	81.4	84.3	80.6	83.5	80.8	84.3	81.3	83.33	2.33
89	759	27.5	84.4	80.8	84.4	79.9	83.5	85.5	83.5	86.3	84.2	81.4	85.1	81.8	82.9	85.9	83.5	85.1	83.2	86	83.7	85.6	84.65	2.14
67.5	759.5	29.5	82.5	80.5	82.5	81.7	80.3	81.2	82.4	80.8	81.4	81.8	81.7	81.2	82.3	81.4	82.2	81.3	82.3	81.5	82.4	81.3	82.92	0.78
67.5	759.5	29.5	82.3	81	81.9	81.5	82.4	81.5	82	81.2	82	81.4	82.4	81.2	82.4	81.3	82.1	81.4	81.9	81.1	82.2	81.3	83.01	0.57
80	761	27	87.2	83.8	85.5	83.9	85.9	84	82.7	83.7	86.1	84	85.4	83.7	83.9	83.8	85.5	83.5	84.5	84.1	85.9	84.4	85.03	1.12
71	762	28	84.4	81.6	83.5	82.3	84.5	82.7	83.9	81.6	84.3	81.5	83.4	82.1	83.9	83.4	84.1	83.2	81.8	83.3	81.3	82.4	83.58	1.22
70	762	28	83.8	82.5	84	81	84.3	82.3	83.6	82.6	84.1	82.4	84.2	82.7	83.1	82.4	83.2	82.5	84.5	83.5	82.7	84	83.79	1.07
55	760.5	29.5	88.2	85.2	80.6	83.5	81.7	84.3	82.3	83.8	81.3	82.5	82	83.6	82.4	83.7	82.3	83.9	82	83.5	82.4	82.3	84.27	1.34
54.5	760.5	29.5	84.5	81.2	84	80.9	83.7	81.8	83.1	81.8	83.6	81.9	83.9	82.1	83.3	82.7	83.7	82.3	82.8	82.4	83.2	82.4	83.96	1.08
65	762	29.5	82	79.6	81	83.4	81.2	83.1	82.2	83.6	82.4	83.3	85	83.2	85.5	83.5	82.5	84.4	82.2	84.7	82.5	81.6	83.88	1.72
64	762	29.5	83.2	81.3	83.4	82.1	83.7	82.2	84.5	82.1	83.2	82.2	84.6	82.2	83.3	82	84.8	82.3	84.7	82	84.1	83	84.08	1.29
62.5	762	30	83.9	80	84.1	82.9	85.2	83.1	85.2	80.4	85	82.1	83.3	83	83.5	83.3	84.2	82.9	85.2	82.1	84.5	83	84.52	1.73
59	760	30.5	84	81.7	82.8	81.9	83.1	82.2	82.7	82.2	83.4	82.3	83.6	82.5	84.2	82.2	83.1	82.5	83	82.7	83.1	80.6	84.22	0.92
59	760	31	83.8	82	83.2	82.2	82.6	82.2	82.8	82.5	82.9	82	82.7	82.3	83.6	82.5	83.5	82.2	82.6	82.1	83.8	82.5	84.37	0.64
46	758	31.5	85	81.4	83.9	82	83.5	81.7	84.1	82.2	82.5	81.9	84.2	82.2	83.4	81.8	82	81.7	82.6	81.8	82.3	82	84.59	1.03
57	760.5	30.5	83.6	81.3	81.8	81.2	84	81.9	83.9	81.6	83.6	81.6	82.9	81.7	84	81.7	83.8	81.8	83.7	82.2	83.2	81.6	84.02	1.23
53	758	31	83.8	81.1	83.3	81.3	82.8	81	81.4	81.1	82.2	81.2	82.4	81.2	81.4	80.9	81.4	80.9	81.4	80.9	81.2	80.9	83.45	0.82
71.5	758.5	30	82.5	80.9	82.9	82	83	82.3	83.1	82.3	82.7	84.3	82.8	83.8	82.9	83.9	83	83.7	83	84	83.4	82.5	84.51	0.94
82	760	28.5	85	83.6	85.1	83.9	85.1	84	85.2	83.5	84.8	84.1	85.1	84.2	83.6	84.4	83.7	84.1	85.1	84.2	84.7	83.9	85.36	0.68
47	758.5	31.5	83.6	81.6	80.2	81.8	82.8	81.4	82.2	81.6	80.9	81.4	81.2	81.7	81.2	81.6	82.5	81.8	81	81.6	81	82.3	83.62	0.73
78	761	29	84.1	81.5	82.9	82.3	83	84.6	87.8	84.8	86.9	85	83.7	84.8	85.5	84.8	86.3	84.9	85.8	85.1	85.7	84.6	85.73	1.78
72	761.5	30	83.3	81.2	82.1	81.9	83.6	81.7	82.9	82.1	82.4	81.9	82.8	82	82.6	82.1	84	82.2	83.3	81.9	83.2	82	83.68	0.84

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																		$U_{50\%} / \delta$	$\% \sigma$		
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			19	20
64	761.5	31	83.2	81.4	83.3	82	83.4	81.4	83.2	81.8	83.3	82.1	83.6	81.6	83.4	81.8	82.4	81.9	83.1	81.9	83.8	82	84.03	0.97
52.5	760	32	83.7	81.6	83.4	81.5	83.5	81.4	82.2	81.5	81.8	81.6	82.5	81.9	82.2	81.3	83.2	81.4	82.7	81.3	81.9	81.6	84.04	0.85
48.5	759	32.5	81.3	80.2	81.3	80.1	80.9	80.1	81.2	80	81.2	80.3	82.5	80.5	82	80.3	80.9	80.2	81.5	80.3	82	80.7	83.02	0.90
74.5	761.5	29.5	84.2	82.9	84.9	82.8	84	83.1	84.7	83.2	84.4	82.5	84.5	82.4	84.3	82.4	83.5	82.5	84.3	82.4	83.9	83.1	84.59	1.02
80	759.5	28.5	84.1	81.4	83.5	81.3	82.7	82	84.1	82.1	84	82	82.4	81.9	83.2	82	83.4	82.1	83.5	81.9	83.8	82	83.70	1.05
55	762	28.5	82.3	81	82.3	81.5	82.4	81.3	82.7	81.6	82.1	81.7	82.3	81.5	82.1	81.8	82.8	81.8	82.2	81.8	82.2	81.7	82.70	0.56
58	762.5	27	84.1	81.3	84.9	81.9	83.8	82.5	82.8	82.2	83	81.8	82.9	82.6	82.8	82.5	84	82.6	84.1	82.8	83	82	83.16	1.03
61	762	27	83.2	81	83.3	82.4	84	82.8	83.1	82.7	83.1	82.9	83.2	82.9	83.4	83	83.7	83	83.2	83	83.1	82.7	83.32	0.70
52	760	30	84.3	81	82	81.1	82.2	81.4	84.2	81.1	83.2	81.4	82	81.4	83.9	81.4	82.3	81.2	82.6	81.3	83.6	81.9	83.55	1.19
47	760	29	82.5	80.5	81.7	82.4	81.9	82.6	82.1	82.4	82.3	82.6	82	82.5	81.7	82.4	81.7	82.6	81.9	82.6	81.8	82.6	83.24	0.62
47	761.5	26	83.1	82.3	83.1	82.2	82.7	82.3	83.1	82.2	82.9	82.4	82.9	82.4	82.9	82.5	83	82.4	82.7	82.4	82.5	82.3	82.73	0.36
41.5	759	28	82.4	82.3	83.3	81.9	83.3	82.1	82.8	82.8	82.7	82.4	83.2	82.3	83.2	82.2	83.8	82	83.4	82.3	83.6	82.3	83.66	0.69
51	761.5	26	83.9	82	84	82.6	83.6	83	83.6	83	83	82	82.9	82.5	82.8	82.1	84	82.5	84.1	82.4	83.6	82.3	83.06	0.81
47	760	28.5	82.9	82.1	82.8	82.1	83.1	82.3	82.9	82.4	83	82.7	82.8	82.8	83.2	82.6	83	82.5	83.2	82.4	82.8	82	83.65	0.44
56.5	762	27	83.2	82.7	83.8	83	83.5	83	83.7	83.2	84.4	83.1	83.2	82.7	83.7	83.1	84.1	83.1	81.5	82.9	82	83.2	83.49	0.79
51.5	759.5	29	83	81.9	83.2	82.6	83.2	82.2	83.2	82.3	83.1	82.4	83.2	82.1	83.1	82.5	82.7	82	82.7	82.3	83.3	82.3	83.83	0.55
64	760.5	24.5	84.9	83.8	84.9	84.3	84.6	84.2	84.9	84.2	84.4	84.2	84.4	83.1	84.6	83.4	84.3	83.8	84.2	83.7	84.2	83.3	83.97	0.58
52.5	760	28.5	83	82.3	83.6	82.7	83.9	82.7	83.5	82.7	83.1	82.3	83.3	82.4	83.3	83.6	83.8	82.4	83.7	82.8	83.7	82.6	84.05	0.66
57	760	28	82.8	81.9	82.8	81.8	82.6	82	82.8	81.8	82.2	81.8	82.6	81.8	82.1	81.6	82.6	81.7	82.7	81.9	82.6	81.6	83.01	0.52
79	758	28	84	82.4	83.4	82.4	83.7	82.2	84.5	82.1	84.1	82.2	84.6	82.2	83.3	82.5	84.8	82.3	84.7	83.3	84.1	83	84.35	1.14
78	759	28	83	82.1	82.8	82.1	82.6	82	82.8	82	82.2	82	82.6	82.4	83	82.1	82.9	82.2	83	82	83.2	82	83.39	0.49
77	759	28	83.4	82	83.4	82.1	83.7	82.2	84.5	82.1	83.2	82.2	84.6	82.2	83.3	82	84.8	82.3	84.7	82	84.3	83.2	84.06	1.24
61	759	28	83	81.8	82.8	81.9	83.1	82	82.7	81.9	83.4	82.1	83.6	82.5	83.3	82.2	83.1	82	83	81.9	82.7	82	83.49	0.70
67	760	27	83.6	82	83.2	82.6	83.3	82.2	82.8	82.5	82.9	82	82.7	82.3	83.6	82.5	83.5	82.5	82.9	82.1	83.8	82.9	83.35	0.63
70	760	27	85	81	84	82	83.5	85.5	83.5	86.3	83.9	82.9	85.1	81.8	82.9	85.9	83.5	85.1	83.2	85.4	82.7	85.6	84.50	1.75
51	761	26.5	83.1	82.2	82.8	82.1	83.1	82.3	82.9	82.4	83	82.7	82.8	82.8	83	82.6	83	82.5	83.2	82.4	82.8	81.9	82.99	0.43

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				U _{50%} / δ	%σ
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
54	761.5	27	84	82.5	84	81	84.3	82.3	83.6	82.6	84.1	82.4	84.2	82.7	83.1	82.4	83.3	82.5	84	83.5	82.7	84	83.55	1.03
62	762	30	82.2	82.1	82.9	82.7	83	82.9	83.5	82.5	83.2	82.4	83.4	83.2	83.5	83.1	83.5	86.1	83.2	85.7	83.3	85.7	84.58	1.31
45	768.5	25	86.4	82.9	84	83.3	86.2	83.5	85.7	83.2	84.3	83.3	84.2	83.6	85.7	83.6	84.8	83.3	85.7	83.6	86.1	82.9	83.38	1.43
40	766	24.5	83.4	82.2	84	83	84.4	83	84.2	82.9	83.6	83	83.9	83	83.7	83.1	84.5	83.3	85	83	84.6	82.9	82.74	0.87

ตารางที่ ๖.๘ ข้อมูลแรงดันเบรกคาวนด์ด้วยวิธีปรับขึ้นลง อิมพัลส์ข้าวลบ ที่ระยะแกป 6 cm.

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				U _{50%} / δ	%σ
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
88	759	28	166	158.8	161.6	158.8	165	158.3	159.7	158.1	162.1	158.3	161.9	158.3	164.2	158.8	160.9	158.1	164	159.6	161	158.7	162.44	1.36
87	760	28	163.1	158.2	160.9	157.7	164.6	158.1	164.6	158.3	161.2	158.1	162.1	158.7	163.6	159.2	166.5	158	163.2	159.2	161.1	158.2	162.35	1.67
85	759	28	161.3	158.3	162.6	158.6	162	158.6	163.7	158.4	162.6	160.2	163.6	159.1	162.5	159.2	161.9	158.3	163	158.7	163.3	158.8	162.57	1.29
70	759.5	29	156.9	153.2	157.3	153.7	159.3	153.6	160.3	154.3	158	154.9	160.2	154.6	158.1	155.2	159	154.3	158.3	154.4	158	153.6	162.42	1.54
70	759.5	29	158	154.4	157.7	154.5	156.5	155.7	159.4	154.5	157	154.3	159.2	155.1	153.9	154.4	158	154.6	156.7	154.4	156.9	154.6	158.56	1.09
80	761	27	165	160.1	164.3	159.2	165.6	160.2	163.4	160.4	162.7	160.2	163.8	159.7	161.9	160	161.6	160.6	162	160	160.9	159.8	158.19	1.09
74	762	28	162.8	157.4	160.3	158	159.6	157.2	160.2	157.9	159.5	158.3	159.7	158.4	158.8	158.2	159	158.4	158.6	157.9	159.4	158.3	162.44	0.55
72	762	28	160.4	157.5	159.5	158.2	159.2	158	160.2	157.9	158.7	158.2	159.8	158.4	157	158.1	160.1	158.5	157.3	158.1	158	158.3	160.07	0.56
71	762	28	159.7	158.2	159.7	158.2	159.3	158.5	159.2	158.3	160.5	158	159	158	158.8/	158.3	160.2	158.4	161.4	158	161.3	158.2	159.75	0.69
56	761	29	161	156.6	158.6	156.6	160.5	157.3	158.5	157.7	159.7	157.9	160.8	158	158.6	158.1	161.1	156.5	158.2	158	160	157.2	160.25	0.87
56	760.5	29	158.9	157.1	160.3	157.3	159.5	157.9	157	158.2	157.4	158.3	156.9	157.6	160.4	157.3	160.5	157.4	159.2	157.8	156.8	158.7	160.46	0.76
62	762	30	160.2	155.3	161.8	156.5	161.1	156.7	159.9	156.9	161	157.8	158.4	157.2	158.6	156.8	158.8	157.2	159.6	158	158.4	157.4	160.61	1.07
60	761	30	163.9	157.2	162.3	157.9	159	157.6	159.4	157.9	161.6	158.4	158.8	157.9	158.8	158.1	162.5	158.5	163.6	158.3	157.4	158.4	161.84	1.16
59.5	760	30.5	162.1	157.9	159.9	157.7	158.9	157.7	159.9	157.6	160	157.5	159.4	158.5	157.6	158.1	157.3	157.7	156.6	157	161.1	157.2	161.41	0.75

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				$U_{50\%} / \delta$	% σ
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
67	760	28	166.8	159.8	162.3	161.1	161.6	159.3	161.3	159.9	164.4	160.5	164.7	160	160.5	160	161.1	159.2	160.6	158.9	169.9	159	163.17	1.59
66	760	28	161.3	159	165.6	159.7	164	159.9	163.7	159.8	160.8	160	164.5	159.8	163.4	159.4	161.1	159.5	164	159.7	164	159.1	163.04	1.36
45	758	32	156.8	156	159.5	155.6	161.1	156.2	161.8	156.4	160.6	156.7	160.8	157	155.7	157.1	155.8	159.6	156.1	159.9	155.8	156.8	161.90	1.34
58	760	30	159.8	157.7	164.1	158.3	163.8	158.2	162.9	158	159.5	158.4	161.3	157.6	158.7	157.8	159.1	157.8	162.9	158.6	162.7	157.8	162.43	1.43
53	758	31.5	160.8	156	160.4	155.8	157.8	155	155.9	154.7	156	154.5	155.6	155.1	157.4	154.5	156.4	155.2	157.6	155.2	158.9	155.1	160.23	0.99
51	759	31	161.3	155.8	159.9	156.2	156.6	155.9	158.6	155.6	156.7	156.2	156.9	155.6	158	155.6	156.9	155.8	156.5	155.3	157.8	156.3	160.24	0.74
48.5	759	32.5	156.4	153.4	155.6	154.8	155.9	153.3	155.6	154.1	157.6	154.4	157.1	155	156.8	154.7	156.2	154.7	156.8	154.8	158.8	155.7	159.71	0.90
79	761	29	159.3	157.5	161	158.3	162.5	159.1	162.5	157.5	162.7	158.4	163	158.7	159.2	158.8	159.7	158.9	162.4	158.6	161.3	158.7	161.84	1.15
80	759	28.5	159.1	156.9	160.4	156.9	161.3	157.7	160.3	158	158.3	155.8	161.9	156.3	157.9	155.7	159.5	155.7	157.9	155.5	161.4	155.6	160.17	1.33
56.5	762	28.5	157.6	155.5	158.6	155.7	159.8	155.4	158.4	156.3	160.8	158	159.4	157.4	158.1	157.5	159.9	157.4	157.9	157.6	160.4	157.7	159.41	0.98
57	762	28	158.4	158	158.4	158	160.4	158.2	160.3	158.1	161.2	158.2	159.4	158.5	163.1	158.9	161.4	158.4	160.3	158.3	158.5	158.3	160.40	0.89
52	760	30	161.9	155.6	157.7	156.1	157.7	155.7	157.2	155.9	161.3	156.1	158.6	156.2	162	156.8	160.6	156.3	161	156.1	159.1	156.1	160.55	1.31
46	759.5	29	159.6	157.1	159.1	157.6	154.9	157.3	155.5	158.1	155.7	156.8	155.6	157.8	155.9	157.3	156.6	157	155.3	156.9	155.2	157.1	159.03	0.70
47	761.5	26	158.9	158.1	159.6	157.1	158.7	157.4	158.4	158	158.4	157.1	158.2	157.5	158.6	158	158.9	157.4	158.3	158	158.4	158	158.37	0.39
41	759	28	162.6	159.7	161.5	159.6	161.3	159.6	160.1	158.8	160.1	158.8	161.3	159.8	160.9	158.8	161.6	159.2	160.8	160.1	161.2	159.3	162.08	0.58
47	761.5	27	158.9	157.4	159	157.3	158.3	158.2	158.6	157.7	158.4	157.1	158.3	157.6	158.7	157.5	158.6	157	158.7	157.1	158.3	157	158.73	0.41
47	760	28	158.7	157.7	159.6	157.6	159.6	158.2	159.4	158.3	159.1	158.1	159.7	157.7	159.2	157.8	159.1	157.8	159.7	157.7	159.5	157.8	160.21	0.51
54	760	27.5	159.5	158.6	159.8	158.7	159.6	158.8	159.1	158.6	159.2	158.6	159.3	159.1	159.3	158.8	159.7	158.8	159.7	159.1	159.3	158.9	160.46	0.24
50.5	759.5	29	159.3	159.1	159.4	158.9	159.9	158.5	159.8	158.4	159.5	158.9	159.5	158	159.4	158.8	159.6	159	159.7	158.5	159.9	158.4	161.37	0.35
67	760.5	24.5	160.6	159	160.7	160.2	160.7	159.9	160.7	160.5	160.7	160.6	160.9	159.6	160.3	160.1	161	160	161.4	160	160.9	160.2	160.03	0.34
52	759.5	29	158.2	156.4	159	156.2	158.7	155.8	158.9	157.6	159.3	157.7	160.1	156.9	159.2	157.7	158	156.5	158.3	156.8	159.1	157.1	160.10	0.76
50.5	761	28	161.4	158.6	161	157.1	161.2	157.9	158.8	158.1	159.1	158.5	161.2	157.3	159.4	158.3	160.8	158	161	157	160.7	157.7	160.55	0.91
57	760	28.5	158.7	157.3	157.6	156.1	157.8	157.2	157.8	157.1	159.1	156.2	158.9	157.8	158	156.7	157.6	157.4	158	156.6	158.2	156.7	159.39	0.50
83.5	761	27	159	157.3	160.2	158.1	161.1	159.1	161.5	157.5	161.4	158.4	161	158.2	159.9	158.4	159.7	158.9	160.7	158.6	161.3	158.6	160.30	0.85
82	761	28	162	159	160.7	160.2	160.7	159.9	160.7	160.5	160.7	160.7	160.9	159.7	160.2	160.1	161	159.9	161.4	160	160.9	160.2	161.87	0.34
63	759	27.5	159.4	158	159.6	157.6	159.6	158.2	159.4	158.3	159.1	158.1	159.7	157.7	159.2	157.8	159.1	157.8	159.7	157.7	159.5	157.8	160.21	0.50

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				$U_{50\%} / \delta$	% σ
H(%)	P(Hg)	T($^{\circ}$ C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
53	761.5	27.5	162	158.4	159.5	158.2	159.2	158	160.2	157.9	158.7	158.2	159.8	158.4	157	158.1	160.1	158.5	157.3	158.1	158	158.3	159.71	0.54
62	762	30	161	157.6	161.8	157.7	159.4	158.8	162.2	158.3	162.1	159.1	162.4	159.2	163	159.4	163.4	158.8	160.9	159	162.1	158.8	162.51	1.15
44.5	768.5	25	161.9	160.2	162.4	160.9	164.4	161.1	163.1	161.6	164.7	160.4	162.9	160.5	161.9	160.2	161.7	160.7	161.6	161	162.4	161.8	159.98	0.79
41	766	24	161	157.4	160.8	157.9	160.9	158.1	159.8	158.4	160.4	158.4	161.4	158.8	161.7	158.6	162	158.9	161.1	157.9	160.9	158	157.84	0.95

ตารางที่ ๙.9 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวน์ด้วยวิธีปรับขึ้นลง อิมพัลส์ข้าวลบ ที่ระยะแก๊ป 9 cm.

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																				$U_{50\%} / \delta$	% σ
H(%)	P(Hg)	T($^{\circ}$ C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
84	758	28	226	217	222	218	221	217	220	216	223	218	221	227	223	218	223	218	221	230	225	216	223.81	1.69
83	758	28	224	216	222	218	224	218	224	217	223	219	224	219	222	225	224	217	224	220	224	217	223.86	1.38
82	758	28	225	219	224	218	220	226	224	220	228	221	224	220	225	222	218	220	224	219	225	221	224.98	1.28
87	758	28	223	218	222	218	222	218	227	220	223	219	221	218	226	218	225	216	220	228	226	216	224.02	1.67
79	759	27.5	222	217	224	216	220	221	217	226	220	228	226	219	228	220	221	217	221	229	221	218	223.70	1.81
78.5	759	28	228	218	222	219	227	220	222	219	222	217	223	217	226	218	223	219	221	220	222	219	223.62	1.23
71	757	28.5	223	217	226	220	226	221	218	221	218	223	218	220	218	224	219	223	219	221	219	220	224.18	1.19
70	757	28.5	221	218	223	216	224	219	221	216	224	219	223	217	220	218	224	216	222	217	222	218	223.36	1.30
60	760	30	224	219	220	218	221	219	223	220	218	220	218	222	219	222	218	222	218	222	219	221	223.84	0.74
73	762	28.5	228	221	226	221	229	221	222	220	223	221	223	221	223	222	226	220	222	221	227	220	224.88	1.13
68	762	29	227	222	223	221	227	223	225	221	225	222	221	222	220	221	227	222	223	221	225	221	225.35	0.92

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																			$U_{50\%} / \delta$	% σ	
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20
48	759	31	222	214	219	214	220	218	221	214	219	215	219	215	219	215	221	217	219	217	219	215	222.27	1.09
47.5	759	31.5	221	214	220	217	221	215	222	215	219	215	222	218	219	218	219	214	218	216	219	218	223.05	1.12
54	759	30	230	220	230	220	227	219	225	219	222	220	224	219	221	219	220	217	221	218	220	218	225.46	1.46
56	760	27.5	227	220	226	221	225	221	222	221	222	221	227	221	224	220	225	221	224	221	225	222	224.67	0.95
55	761	28	224	221	226	221	225	220	225	221	222	220	221	220	225	221	224	221	223	220	222	220	224.04	0.89
63	760	28	229	219	222	219	221	219	221	220	226	220	223	220	221	219	221	220	227	220	221	220	223.63	0.97
61	760	28	224	220	222	221	222	221	221	221	221	220	222	220	221	219	222	220	221	220	221	220	223.17	0.38
44	759	32	223	215	221	217	220	216	221	215	220	216	221	216	219	215	220	216	219	217	218	215	223.41	1.02
53	760	30	220	219	225	219	223	219	219	219	220	219	220	219	221	219	220	219	220	219	221	219	223.64	0.71
57	760	28	221	219	221	219	221	220	223	220	221	221	223	221	223	220	222	222	223	221	222	222	223.48	0.56
51	761	30.5	219	214	220	219	224	219	222	219	220	219	220	219	224	219	222	219	220	219	222	219	223.66	0.98
48	758.5	31.5	223	218	220	218	219	216	223	217	218	218	219	217	225	216	224	216	219	218	219	218	224.27	1.14
60	761	29.5	224	220	226	221	224	220	226	219	224	220	224	220	226	221	221	220	225	221	224	222	225.46	1.05
57.5	761	27	225	219	225	220	225	223	225	222	226	221	225	222	225	222	225	221	225	221	223	222	224.30	0.91
46	759.5	29	222	218	219	217	221	219	221	218	222	218	220	217	220	218	222	218	220	217	221	219	222.44	0.73
47	762	26	225	221	225	221	224	222	224	223	224	221	224	221	224	220	225	220	225	221	225	221	222.96	0.81
57	760	24	226	222	226	222	224	222	226	222	224	222	226	222	225	221	226	221	226	222	226	223	222.95	0.85
56	761.5	25	225	220	225	220	223	221	224	221	224	221	223	221	223	220	225	221	224	221	223	221	221.86	0.75
57	761	27	224	220	223	220	222	220	224	220	222	221	223	221	223	220	223	221	224	221	223	221	223.00	0.62
40.5	758.5	27.5	221	217	221	217	220	217	222	217	220	218	222	218	222	218	222	219	221	221	223	220	222.08	0.91
48	759.5	26	222	220	221	220	222	221	224	219	222	221	223	221	223	221	224	222	225	222	223	222	222.79	0.67
55	759	24	225	221	225	222	226	223	226	225	226	223	226	222	226	224	225	223	224	223	225	222	223.64	0.72
51	759.5	28.5	228	224	228	223	225	223	225	222	225	224	227	224	227	223	225	223	225	222	225	223	227.34	0.73
51	762	27.5	229	225	226	224	226	223	229	224	227	225	227	224	228	224	226	225	226	223	227	224	226.90	0.72
48	760	28	227	223	228	223	228	223	224	223	224	223	227	223	228	223	224	222	226	223	224	223	226.71	0.87
59	760	29	223	220	224	220	222	221	222	222	223	219	223	220	224	222	223	221	225	221	222	221	224.88	1.04

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																		$U_{50\%} / \delta$	% σ		
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			19	20
61	758.5	29	224	220	224	219	221	218	224	220	224	218	224	220	225	220	223	221	223	219	224	219	224.92	0.89
73	760	26	226	222	224	223	227	221	229	223	224	223	224	223	224	222	227	223	224	222	224	221	224.55	0.61
85	758	28	222	219	221	219	221	220	223	220	221	221	223	221	223	221	223	220	223	221	222	223	224.17	1.05
78	759	27	223	220	226	221	224	220	226	219	224	220	224	220	226	221	221	220	225	221	224	222	224.14	0.98
74	762	28	224	221	225	222	224	221	226	219	224	220	224	220	226	221	221	220	225	221	224	221	224.10	0.85
70	762	28	224	222	223	221	223	220	224	220	224	221	224	220	226	221	221	220	225	220	222	220	223.70	0.97
65	762	29	223	221	224	221	224	220	226	219	224	220	224	220	226	221	221	220	225	221	223	221	224.59	0.54
83.5	761	27	223	220	223	221	222	221	223	219	222	221	223	221	222	221	223	222	224	222	223	221	223.05	0.61
54	761	27	222	221	224	221	222	221	224	219	222	221	223	221	223	221	224	221	222	220	223	221	223.00	1.03
63	760.5	29	224	219	225	219	224	219	221	218	224	220	221	219	221	219	224	219	223	219	220	219	223.67	1.35
47	768	25	228	222	230	222	230	224	229	224	229	223	229	223	229	223	228	224	229	223	229	224	223.74	1.17
41	766	24	229	222	229	224	229	224	228	224	228	223	228	224	228	223	229	224	228	223	229	224	223.48	1.04

ตารางที่ ง.10 ข้อมูลแรงดันเบรกคานด้วยวิธีปรับขึ้นลง อิมพัลส์ข้าวลบ ที่ระยะแกป 12 cm.

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																		$U_{50\%} / \delta$	% σ		
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			19	20
80	758	28	265	260	264	261	265	260	265	261	263	265	262	272	263	275	274	263	275	262	275	263	269.03	2.00
79	758	28	267	261	271	261	265	262	265	261	272	261	264	262	266	261	265	262	266	261	263	266	267.46	1.21
78	758	28	270	262	265	261	266	262	266	260	268	261	265	262	265	262	265	273	264	261	266	261	267.61	1.17
88	758	28	266	261	266	261	265	266	264	272	266	263	266	267	265	274	265	275	267	261	265	268	269.54	1.44

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																		$U_{50\%} / \delta$	% σ		
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			19	20
78	759	28	273	268	264	269	265	270	265	273	264	269	263	267	273	269	265	268	264	268	267	273	270.90	1.15
77	759	28	268	264	267	264	266	271	268	265	266	268	264	267	265	269	264	268	265	272	265	268	269.74	0.86
73	758	28.5	272	264	267	263	269	275	274	266	272	265	273	266	270	266	269	265	271	267	265	266	272.12	1.29
72	758	28.5	277	272	273	285	271	281	272	281	272	276	272	278	273	278	273	279	272	283	272	279	279.93	1.56
72	757.5	28.5	279	265	278	267	273	266	273	265	277	267	272	265	274	264	270	266	270	264	266	268	273.51	1.59
71	757	28.5	274	270	265	266	263	264	276	265	262	264	276	264	269	264	268	265	264	265	267	265	271.00	1.43
60	760	30	270	264	269	265	270	265	269	265	268	264	268	265	271	262	271	265	261	263	270	264	270.92	1.13
51.5	759	30.5	266	260	265	263	264	260	265	262	264	260	265	260	265	264	265	260	264	262	266	264	268.41	0.78
52	759	30.5	267	263	265	263	267	264	269	264	272	264	265	263	266	264	262	264	262	264	263	265	270.04	0.90
53	759	30	265	260	266	261	266	263	266	264	269	263	267	263	271	266	267	264	268	263	267	262	269.85	1.04
54	759	30	271	261	265	271	263	265	264	271	266	265	266	264	267	264	267	263	269	265	266	265	270.72	0.94
59	760	30	273	265	275	265	276	266	264	270	265	266	265	268	265	263	265	263	266	264	265	269	271.38	1.32
58	760.5	30	266	262	264	264	265	264	269	264	263	269	264	265	264	269	263	264	263	265	263	269	269.22	0.85
44	759	32	274	260	270	261	267	262	267	261	267	262	266	262	265	259	264	262	263	261	264	263	270.56	1.06
56	760.5	28.5	266	265	267	263	267	266	270	265	267	265	266	266	267	265	268	266	267	265	268	265	269.15	0.57
53.5	761	31	271	265	266	266	267	267	271	266	269	266	270	266	272	266	264	266	264	267	265	271	272.27	0.87
49.5	758.5	31.5	271	263	269	263	266	263	266	264	271	264	271	264	271	264	266	263	265	264	265	263	272.13	1.05
48.5	758.5	31	268	264	267	265	267	265	267	265	266	265	269	264	266	263	267	264	266	263	265	263	271.33	0.60
67	760	28	271	264	270	269	271	268	269	267	272	268	271	268	270	268	270	268	270	268	269	268	271.66	0.64
57	761.5	27	270	265	269	268	269	268	269	266	269	266	269	266	269	268	270	267	269	267	269	266	269.22	0.53
46	759.5	29	268	265	268	263	268	265	268	267	268	266	268	265	268	265	268	267	268	267	268	265	270.51	0.57
47	762	26.5	272	270	272	271	272	271	272	270	272	269	272	270	271	268	271	275	270	275	271	270	271.85	0.62
58	760	24	271	266	271	267	271	269	271	269	271	270	272	270	272	270	272	269	272	269	271	269	269.19	0.61
57	761	24	270	263	269	264	270	266	270	267	270	267	269	267	270	267	270	268	268	268	270	268	266.80	0.74
62	761	26	268	267	270	268	272	267	271	270	270	267	271	270	271	270	271	270	272	270	271	269	270.30	0.57
43	759	28	270	266	267	264	267	267	270	267	268	267	270	267	269	266	269	265	268	267	269	268	270.60	0.57

Atmosphere			Peak Voltage (kV)																		$U_{50\%} / \delta$	% σ		
H(%)	P(Hg)	T(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			19	20
55	759	24	272	267	272	268	272	270	272	271	274	271	272	270	272	271	272	272	273	270	272	271	270.65	0.59
51	759.5	28.5	275	269	275	272	275	271	273	271	274	270	274	272	274	272	277	273	274	272	274	270	276.24	0.72
50	761	28	277	271	276	271	273	271	274	271	275	272	273	271	275	271	276	272	274	271	273	272	275.34	0.64
48	760	28	278	271	273	271	272	271	273	272	275	271	273	271	273	271	273	272	273	271	275	272	275.29	0.46
60	760	29	272	269	273	268	271	269	269	268	272	268	273	268	272	268	271	269	270	269	271	269	273.57	0.63
61	758.5	28	272	266	270	267	272	266	268	266	268	266	272	266	267	266	269	266	270	265	272	266	271.23	0.85
77	760	26	267	266	267	266	267	266	268	267	271	268	273	269	270	266	270	268	271	269	271	267	269.25	0.76
90	758	27	271	261	265	271	263	265	264	271	266	265	266	264	267	264	266	263	269	265	266	264	268.29	0.94
89	758	27	274	270	265	266	263	264	272	265	262	264	272	264	269	263	268	264	265	264	266	265	268.74	1.09
86	758	27	270	264	269	265	270	265	269	265	268	264	268	265	271	262	271	263	270	264	270	264	269.35	1.09
82	758	28	274	263	265	263	264	264	265	262	266	263	266	260	266	264	268	262	271	264	272	264	268.68	1.08
72	762	28	267	263	266	263	267	264	269	265	272	264	268	263	266	264	262	264	262	264	263	266	267.07	0.95
71	762	28	270	262	268	263	268	265	268	267	268	266	268	265	268	265	268	267	268	265	268	265	268.58	0.69
64	762	29	270	265	270	267	269	267	269	266	269	266	269	264	269	265	270	265	269	265	269	264	270.23	0.77
54	761	27	273	265	278	267	273	266	273	265	277	267	272	265	274	264	270	266	270	264	271	268	270.85	1.57
60	760.5	30	271	266	267	263	264	263	266	263	267	264	266	263	267	263	270	264	262	266	263	267	269.52	0.93
47	768	25	278	272	278	273	282	272	284	273	283	272	282	272	283	272	283	273	282	272	284	273	274.26	1.84
41	766	24	276	270	274	269	277	270	278	271	276	272	279	272	277	271	279	270	281	271	277	270	270.94	1.39

ภาคผนวก จ.

ข้อมูลการทดสอบแรงดันกระแสลับ

จ.1 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนักระแสลับ

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนัด้วยวิธีแรงดันเพิ่ม ที่ระยะแกป 1 cm.

%RH	P (Hg)	T (K)	Um						%σ
			1	%σ	3	4	5	average	
60	758	31	32.06	32.09	32.24	32.27	32.28	32.19	0.33
60	758	31	32.33	32.33	32.29	32.35	32.35	32.33	0.08
60	758	31	32.31	32.29	32.34	32.50	32.32	32.35	0.26
47	758	32	31.20	31.11	31.32	31.32	31.31	31.25	0.30
47	758	32	31.31	31.27	31.29	31.29	31.32	31.30	0.06
73.5	759	28	32.52	32.66	32.64	32.68	32.71	32.64	0.23
73.5	759	28	32.81	32.67	32.68	32.71	32.83	32.74	0.23
82	759	27.5	29.32	29.27	30.18	30.26	30.53	29.91	1.93
81	760	28	31.54	32.32	32.26	32.29	32.44	32.17	1.12
77	761	28.5	30.23	30.91	31.75	31.78	31.97	31.33	2.35
75	761	28	32.03	32.02	32.18	32.35	31.70	32.06	0.75
68.5	759	29	30.08	30.40	31.80	31.95	31.93	31.23	2.92
68	758	29	31.92	31.97	31.98	32.02	32.01	31.98	0.13
82	761	27	31.78	32.47	32.55	33.03	33.36	32.64	1.84
76	761	28.5	31.56	31.55	31.81	32.83	32.18	31.99	1.68
73.5	761	28.5	32.05	31.64	31.60	31.87	32.08	31.85	0.70
68.5	761	29	32.21	32.24	32.37	32.63	32.26	32.34	0.53
68.5	761	29	31.31	31.38	31.48	31.69	31.75	31.52	0.61
66	760	30	32.23	32.24	33.22	32.94	33.15	32.76	1.48
66	760	30	32.31	33.03	31.96	33.29	33.15	32.75	1.77
66	760	30	33.01	32.91	33.43	33.44	33.43	33.24	0.79
61	758	29	31.47	32.25	31.86	32.05	31.90	31.91	0.90
72	761	28	32.80	33.82	32.66	33.95	33.74	33.39	1.83
71	761	28	30.97	33.93	33.83	34.33	34.19	33.45	4.19
70	761	28	32.85	32.93	32.95	32.61	33.52	32.97	1.02
67.5	761	27	33.54	33.61	33.76	33.89	33.80	33.72	0.42
65	761	27	33.82	33.88	33.92	34.02	33.96	33.92	0.22
60	761	28	32.41	32.54	32.73	33.37	33.66	32.94	1.65
57	761	29	32.39	32.48	32.68	32.69	32.68	32.58	0.43
78	760.5	26	33.02	33.10	33.53	33.66	33.53	33.37	0.86
77	761	26.5	33.76	34.30	34.22	34.22	33.52	34.00	1.01
78	760	28	32.88	33.11	32.82	33.07	32.89	32.95	0.39
74	760	28	31.91	31.89	32.26	32.52	32.26	32.17	0.83
67	761	29	33.19	32.86	32.84	32.79	32.81	32.90	0.50
85	759.5	27	32.52	32.56	32.72	32.78	32.81	32.68	0.40
81.5	759.5	27.5	30.74	32.45	32.91	33.50	33.17	32.55	3.33

%RH	P (Hg)	T (K)	Um						%σ
			1	2	3	4	5	average	
79	760	28	31.56	32.11	32.17	32.28	32.46	32.11	1.05
63	760	29.5	31.45	31.50	31.53	31.52	31.49	31.50	0.10
55.5	760	30.5	29.56	29.61	30.06	29.42	31.06	29.94	2.24
55.5	760	30.5	31.41	30.65	32.13	32.29	32.13	31.72	2.17
83	760	28	30.61	30.93	30.89	32.49	32.41	31.47	2.89
80	760	28	29.97	30.71	31.78	31.61	32.12	31.24	2.81
72	761.5	29	30.01	31.31	31.80	31.97	31.99	31.41	2.65
68	761.5	30	29.93	31.21	31.45	31.37	31.85	31.16	2.34
54	760.5	30	33.98	33.61	34.17	34.27	34.49	34.10	0.97
54	760.5	30	34.24	34.00	30.63	34.16	34.19	33.44	4.72
53.5	760.5	30	33.45	33.59	33.27	33.72	33.70	33.55	0.55
49	758	31	33.72	33.90	33.76	33.43	33.74	33.71	0.51
65	759.5	28	31.83	31.85	32.68	33.42	33.62	32.68	2.58
65	759.5	28	32.11	32.94	34.29	34.22	34.19	33.55	2.92
57	762	30	32.87	31.97	32.98	33.23	33.70	32.95	1.93
47	760	31.5	31.94	32.51	31.98	32.53	32.59	32.31	0.99
56	761	30.5	31.99	32.31	32.30	32.99	32.42	32.40	1.13
56	761	31.5	32.44	32.47	32.52	32.23	32.59	32.45	0.42
61	761.5	31	33.38	34.69	34.28	34.61	34.59	34.31	1.58
60	761.5	31	33.22	33.70	34.02	34.07	34.05	33.81	1.08
59.5	761.5	31	32.85	32.41	32.31	32.09	32.26	32.39	0.88
59	761.5	31	32.32	32.09	32.03	32.08	32.22	32.15	0.37
54	760	33	33.90	34.03	33.86	34.01	34.07	33.97	0.26
54	760	33	33.77	33.80	33.73	33.58	33.69	33.71	0.25
54	760	33	32.10	31.99	31.89	31.48	31.40	31.77	0.99
53	760	33	32.00	31.99	32.09	32.14	32.11	32.07	0.21
49	758.5	33	33.22	33.33	33.59	33.57	33.57	33.45	0.51
50	758.5	33	33.07	32.94	33.08	32.93	33.11	33.03	0.25
50	758.5	33	31.63	31.58	31.28	31.49	31.57	31.51	0.44
49	758.5	33	31.76	31.86	31.84	31.84	31.86	31.83	0.13
61.5	759	28	33.81	34.29	34.21	34.35	34.40	34.21	0.68
61.5	759	28	35.34	34.59	35.30	35.21	35.19	35.13	0.88
61.5	759	28	33.57	32.73	32.33	32.44	33.14	32.84	1.56
61.5	759	28	31.47	32.99	32.44	33.05	32.44	32.48	1.96
44	759	33	31.62	31.68	31.54	32.06	32.29	31.84	1.01
43.5	759	33	32.49	32.39	32.46	32.38	32.31	32.40	0.22
47.5	759.5	33	32.38	32.44	32.73	32.66	32.49	32.54	0.46
47.5	759.5	33	32.06	32.05	31.94	32.14	32.25	32.09	0.36
48	759.5	33	34.49	34.59	34.21	34.98	34.81	34.61	0.85
48	759.5	32.5	34.47	34.38	34.12	34.27	34.40	34.33	0.40
48	758.5	33.5	31.31	31.43	31.20	30.93	31.11	31.19	0.61
48	758.5	33.5	31.59	31.60	31.61	31.60	31.81	31.64	0.30
40	763	28	32.32	32.47	32.47	32.48	32.51	32.45	0.23
40.5	762.5	28	32.54	32.65	32.56	32.53	32.52	32.56	0.16
41	761.5	29	32.21	32.22	32.26	32.26	32.34	32.26	0.15

%RH	P (Hg)	T (K)	Um						%σ
			1	2	3	4	5	average	
41	760	29.5	32.18	32.09	32.04	32.11	32.16	32.11	0.18
55.5	761.5	24.5	33.25	33.92	33.86	33.41	33.59	33.61	0.86
55	762	25	36.38	36.35	36.23	36.12	36.27	36.27	0.29
54	762	25	33.60	33.43	33.58	33.63	33.47	33.54	0.26
43.5	760	30	30.75	31.05	31.32	31.28	31.32	31.14	0.79
44	760	30	31.67	31.57	31.40	31.70	31.64	31.59	0.39
55	760.5	25	33.43	33.37	33.42	33.26	33.43	33.38	0.21
45.5	759.5	31	34.56	34.68	34.89	34.88	34.72	34.75	0.40
45.5	759.5	31	31.78	31.41	31.49	31.59	31.93	31.64	0.67
54	763.5	24	32.72	32.79	33.22	33.26	33.27	33.05	0.82
53.5	763.5	24	35.25	35.93	35.95	36.07	36.03	35.85	0.83
53	764	23	35.17	34.99	35.14	34.98	35.04	35.06	0.25
49.5	764	24.5	35.06	35.58	34.91	35.18	35.13	35.17	0.71
50	761	21	32.67	32.77	32.64	32.82	32.90	32.76	0.32
59	762.5	24	33.27	33.17	33.24	32.98	33.36	33.20	0.44
52	763	27	33.95	34.14	33.96	34.10	34.10	34.05	0.26
52	763	27	32.51	32.50	32.37	32.47	32.35	32.44	0.23
60	760.5	25	33.81	33.87	33.76	34.38	34.00	33.96	0.73
61.5	760.5	25	32.74	33.02	33.05	33.05	32.84	32.94	0.43
60	761.5	26	32.82	33.66	33.04	33.66	32.76	33.19	1.33
83	761.5	25	33.83	33.72	33.79	34.03	33.88	33.85	0.35
76	763	27	31.07	31.03	31.45	31.69	31.79	31.41	1.11
66	763	28	30.86	30.88	32.16	30.28	30.86	31.01	2.24
54.5	761	26.5	32.28	32.27	32.48	32.36	32.39	32.35	0.27
55	761	27	32.30	32.33	32.70	32.49	32.60	32.48	0.53
56	761	27	32.25	32.31	32.34	32.40	32.44	32.35	0.23
55	761	28	32.34	32.47	32.30	32.50	32.40	32.40	0.26
56	761	28	32.00	32.22	32.68	32.34	32.64	32.38	0.88
66	760	28	32.60	32.66	32.63	32.78	33.53	32.84	1.20
67	760	28	32.60	32.83	32.97	33.23	32.80	32.89	0.71

ตารางที่ ๑.2 ข้อมูลแรงดันเบรกคาวาน์ด้วยแรงดันเพิ่ม ที่ระยะแกป 3 cm.

%RH	P (Hg)	T (K)	Um					%σ	
			1.00	2.00	3.00	4.00	5.00		average
59	758	31.5	78.94	80.24	80.98	81.11	81.96	80.65	1.40
59	758	31.5	81.71	81.48	81.94	82.64	83.02	82.16	0.79
59	758	31.5	82.44	81.02	82.84	82.69	82.98	82.39	0.96
47.5	758	32	78.54	80.83	80.45	79.50	81.09	80.08	1.32
47.5	758	32.5	83.80	83.15	83.55	82.78	83.21	83.30	0.47
73	759	28	82.61	83.47	84.87	84.61	84.76	84.06	1.17
73	759	28	85.26	85.75	85.83	86.05	86.36	85.85	0.47

%RH	P (Hg)	T (K)	Um						%σ
			1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	average	
73	759	28	84.53	84.68	84.76	84.87	85.90	84.95	0.64
83	759	27.5	81.93	84.10	83.67	82.74	82.75	83.04	1.03
81.5	760	28	77.90	80.50	81.53	82.52	82.24	80.94	2.31
81	760	28	81.70	84.86	83.52	86.02	85.45	84.31	2.05
76	761	28.5	78.50	83.09	83.25	84.16	84.76	82.75	2.99
77	761	28.5	76.52	73.62	79.53	81.82	81.81	78.66	4.52
75.5	761	28	81.95	82.71	84.27	83.60	83.59	83.22	1.09
75	761	28	80.51	82.03	81.67	81.35	82.55	81.62	0.94
68.5	759	29	81.52	81.27	83.40	83.64	83.99	82.77	1.54
68	758	29	77.28	81.84	82.27	79.78	83.64	80.96	3.07
82.5	761	27	83.94	83.85	82.91	82.88	84.14	83.55	0.72
81	761	27.5	80.89	83.26	83.78	83.62	84.22	83.15	1.58
76	761	28	80.96	81.60	81.42	81.89	82.62	81.70	0.76
74	761	28.5	80.00	83.60	83.81	83.57	83.92	82.98	2.02
69.5	761	29	80.99	82.34	83.24	82.72	83.50	82.56	1.20
66	760	30	81.60	83.03	83.01	83.43	82.81	82.78	0.84
61	758	29	77.38	79.60	80.02	80.84	81.39	79.85	1.93
71	761	28	81.02	82.33	82.26	83.13	84.60	82.67	1.60
69	761	26.5	80.99	84.42	85.18	85.72	86.36	84.53	2.49
64	761	27	81.85	84.06	84.79	85.15	85.52	84.27	1.73
60	761	28	81.79	82.85	83.27	83.80	83.63	83.07	0.96
57	761	29	82.42	83.69	83.17	84.12	84.16	83.51	0.88
75	761	26.5	85.06	85.00	85.48	85.82	86.27	85.53	0.62
79	760	27.5	84.21	84.68	85.09	85.16	85.71	84.97	0.66
75	760	28	82.06	82.57	82.83	83.31	83.69	82.89	0.77
67	761	29.5	81.30	79.48	80.96	81.51	82.77	81.20	1.46
87	759.5	27	79.73	84.53	84.40	85.05	85.01	83.74	2.70
83	759.5	27.5	83.11	83.24	84.13	84.69	85.03	84.04	1.02
64.5	760	29	80.02	80.56	82.48	82.21	82.26	81.50	1.39
62.5	760	29.5	79.88	81.12	80.35	80.99	80.71	80.61	0.63
56	760	30	79.36	79.39	79.45	80.00	80.94	79.82	0.84
55	760	30.5	79.41	79.86	80.09	80.57	80.36	80.06	0.56
82	760	28	71.64	79.23	81.22	83.78	84.08	79.99	6.34
81	760	28	79.96	80.43	81.07	81.45	82.87	81.16	1.38
71	761.5	29	78.33	80.07	80.27	80.18	80.38	79.85	1.07
68	761.5	30	74.37	79.22	79.86	80.44	82.81	79.34	3.90
57	760.5	30	85.92	87.61	89.33	88.35	88.07	87.86	1.43
57	760.5	30	86.81	87.66	87.33	87.52	88.81	87.63	0.84
55	760.5	30	88.13	87.94	87.58	86.91	87.69	87.65	0.53
54.5	760.5	30	87.15	87.79	88.01	87.47	87.11	87.51	0.45
49	758.5	31	85.95	85.74	86.63	87.39	87.20	86.58	0.85
65	759.5	28	86.03	88.40	88.86	88.28	89.84	88.28	1.58
65.5	760	28	84.28	86.33	86.21	87.45	87.75	86.40	1.58
63	761	29	84.32	87.55	88.55	87.51	89.06	87.40	2.11
58	761	30	89.40	89.82	88.60	88.80	89.00	89.12	0.55

%RH	P (Hg)	T (K)	Um						%σ
			1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	average	
57	761	30.5	88.78	89.49	89.40	89.52	89.76	89.39	0.41
57	762	30	86.35	86.56	85.94	88.09	88.23	87.03	1.21
57	762	30	84.82	86.97	86.48	89.52	89.76	87.51	2.40
47	760	31.5	80.88	81.27	81.45	81.61	80.24	81.09	0.68
47	760	31.5	81.32	81.64	82.37	81.87	81.29	81.70	0.54
47	760	31.5	77.88	79.56	79.95	81.35	81.93	80.13	1.99
57	761	30.5	79.57	82.46	80.63	82.17	81.15	81.19	1.45
57	761	30.5	83.96	79.07	83.79	83.67	83.44	82.79	2.52
56.5	761	30.5	83.81	83.58	83.89	84.18	84.32	83.96	0.35
56	761	31.5	77.99	78.23	79.95	80.69	80.55	79.48	1.62
55	761	32	86.11	85.61	86.20	86.14	87.13	86.24	0.64
57	761.5	31.5	87.16	87.33	87.20	87.23	88.34	87.45	0.57
56.5	761.5	31.5	86.28	88.22	86.85	87.53	87.31	87.24	0.84
56	761.5	32	82.65	82.47	81.42	82.07	82.36	82.19	0.58
56	761.5	32	83.99	83.58	83.26	83.17	83.20	83.44	0.42
53	760	33	84.29	85.15	86.14	86.65	86.53	85.75	1.18
53	760	33	87.98	87.88	87.46	87.10	88.67	87.82	0.68
51.5	759	32.5	83.09	82.32	81.92	82.75	82.00	82.41	0.60
52	759	32.5	80.03	81.22	81.10	80.78	80.64	80.75	0.58
48.5	758.5	32.5	86.23	86.26	87.19	86.72	87.48	86.78	0.64
49	758.5	32.5	86.68	86.53	86.41	86.71	86.79	86.62	0.18
49	758.5	32.5	82.08	82.05	82.54	82.33	82.59	82.32	0.31
50	758.5	32.5	83.33	83.75	83.34	83.28	83.41	83.42	0.22
61.5	759	28	86.76	88.24	88.85	89.16	90.20	88.64	1.43
62	759	28	91.73	91.35	92.00	92.25	92.09	91.88	0.38
62	759	28	86.52	82.60	86.84	86.26	85.64	85.57	2.01
61.5	759	28	85.41	85.44	85.20	85.54	85.76	85.47	0.24
43.5	759	33	80.71	81.72	81.05	81.47	81.91	81.37	0.60
48	759	33	78.53	79.90	79.95	80.68	80.33	79.88	1.02
48	759	33	83.11	82.53	81.52	81.62	82.48	82.25	0.82
48	759	33	86.41	85.88	87.55	88.57	89.23	87.53	1.61
48	759	33	86.02	86.61	86.81	87.24	85.61	86.46	0.75
40.5	762.5	28	84.44	85.47	85.57	85.48	85.82	85.35	0.62
41.5	761.5	29	82.25	82.74	82.63	83.16	83.95	82.95	0.78
41	760	29.5	81.24	82.57	81.80	82.38	82.25	82.05	0.65
56	761.5	24	82.10	84.98	85.05	84.98	85.86	84.59	1.71
44	760	30	80.96	81.46	81.59	81.57	82.05	81.52	0.48
55	760.5	25	87.03	87.01	86.84	87.50	87.22	87.12	0.29
45.5	759.5	31	80.24	80.83	80.66	80.91	81.79	80.88	0.70
45.5	759.5	31	85.40	87.56	86.68	87.62	87.19	86.89	1.05
54	763.5	24	87.42	86.91	88.33	87.77	88.30	87.75	0.68
53.5	763.5	24	91.10	91.50	91.37	92.69	92.71	91.87	0.95
53	764	23	88.87	88.27	88.77	89.19	89.42	88.90	0.49
50	764	24.5	89.66	91.50	91.45	91.82	92.80	91.44	1.24
50	761	21	85.47	84.57	85.68	85.85	85.57	85.43	0.58

%RH	P (Hg)	T (K)	Um						%σ
			1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	average	
59	762.5	23.5	85.05	87.20	87.75	87.81	88.55	87.27	1.52
51	763	27	88.16	88.07	87.01	88.12	87.68	87.81	0.55
51	763	27	85.25	82.71	85.37	85.37	85.40	84.82	1.39
56	760	26	80.25	81.10	81.53	81.65	82.58	81.42	1.04
61.5	760.5	25	84.24	84.84	84.20	85.24	86.49	85.00	1.10
60	761.5	26	83.63	83.93	84.83	84.47	85.53	84.48	0.89
83	761.5	25	83.44	83.10	83.13	83.87	84.25	83.56	0.60
76	763	27	75.78	75.76	78.34	76.52	78.43	76.97	1.73
66.5	763	28	81.79	82.43	82.68	82.22	81.67	82.16	0.52
54.5	761	26.5	84.55	84.98	84.81	84.62	84.76	84.75	0.20
55	761	27	84.95	85.01	85.33	84.89	86.48	85.33	0.78
56	761	27	83.71	84.45	88.40	85.69	86.16	85.69	2.11
55	761	28	85.33	85.20	85.77	85.99	89.20	86.30	1.92
55.5	761	28	85.78	86.38	87.29	88.10	88.45	87.20	1.29

ตารางที่ จ.3 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนีย์ด้วยแรงดันเพิ่ม ที่ระยะแกป 6 cm.

%RH	P (Hg)	T (K)	Um						%σ
			1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	average	
57	758	31.5	158.28	157.14	157.53	159.49	159.92	158.47	0.76
56.5	758	31.5	160.35	159.98	154.09	159.17	160.56	158.83	1.70
56	758	32	161.31	161.44	160.98	159.75	160.87	160.87	0.42
47.5	758	32	154.78	155.90	156.95	159.33	158.13	157.02	1.14
47.5	758	32	158.13	158.67	159.93	158.91	159.24	158.98	0.42
72	759	28	161.72	161.72	163.38	164.33	165.23	163.28	0.96
72	759	28	164.85	164.39	165.80	166.78	167.27	165.82	0.74
83.5	759	27	153.15	155.53	160.48	162.38	163.76	159.06	2.86
83	759	27	161.84	161.23	163.10	163.73	165.66	163.11	1.06
81	760	28	155.33	159.21	159.70	159.79	160.41	158.89	1.28
75	761	28.5	156.06	158.29	163.44	163.18	163.26	160.84	2.14
74	761	28	159.73	160.21	160.38	162.27	162.02	160.92	0.71
69	759	29	157.74	158.42	159.19	160.14	161.27	159.35	0.88
81	761	27.5	159.48	161.38	161.63	161.75	162.71	161.39	0.73
78	761	28	151.74	159.43	159.48	161.56	162.71	158.98	2.69
74	761	28.5	156.45	158.50	159.07	159.91	160.25	158.83	0.95
69.5	761	29	149.79	159.50	161.55	162.81	162.62	159.25	3.42
6	760	30	158.08	157.96	158.18	158.24	156.31	157.75	0.52
61	758	29	158.37	158.84	157.68	159.04	160.35	158.86	0.62
71	761	26	162.90	164.34	164.43	165.47	166.13	164.65	0.75
65	761	27	163.20	162.63	163.75	163.68	156.02	161.86	2.03
60	761	28	155.32	160.75	161.23	162.07	160.85	160.05	1.68
56.5	761	29	158.08	159.69	160.93	161.16	160.98	160.17	0.82

%RH	P (Hg)	T (K)	Um						%σ
			1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	average	
79	760.5	26	159.97	166.09	162.47	166.34	166.85	164.34	1.82
75	761	27	164.79	163.56	163.96	164.26	164.97	164.31	0.35
80	760	27.5	160.03	161.98	164.64	164.28	164.10	163.01	1.20
76	760	28	160.96	160.56	160.50	161.47	162.29	161.15	0.46
66	761	29.5	157.84	159.19	159.83	159.24	160.32	159.28	0.58
88	759.5	27	160.28	160.31	163.06	161.27	161.48	161.28	0.70
81	759.5	28	158.41	158.93	160.09	152.23	161.84	158.30	2.30
77	760	28	153.44	159.19	151.49	157.72	160.84	156.53	2.52
67	760	29	157.07	157.67	158.67	159.15	160.60	158.63	0.86
62	760	29.5	158.43	157.37	159.10	159.48	159.69	158.81	0.59
55	760	30.5	154.53	154.69	157.14	156.96	158.23	156.31	1.04
53	758	31.5	151.79	157.02	158.15	158.27	157.46	156.54	1.73
83	760	28	152.14	155.69	157.50	158.78	158.98	156.62	1.81
82	760	28	156.94	155.89	157.93	159.56	159.85	158.03	1.07
81.5	760	28	151.99	156.25	157.89	157.37	157.90	156.28	1.59
71	761.5	29.5	151.75	152.30	155.52	155.47	156.44	154.30	1.37
69	761.5	30	158.46	156.82	160.52	159.63	159.86	159.06	0.92
47	760	31.5	156.03	156.43	157.05	157.09	158.35	156.99	0.56
50	758.5	32	155.87	157.24	157.08	157.42	158.14	157.15	0.52
51	758.5	32	160.75	160.77	160.19	160.31	161.77	160.76	0.38
61	759	28	153.34	155.25	161.63	163.00	161.90	159.02	2.77
43.5	759	33	156.83	158.23	158.23	158.56	159.46	158.26	0.60
47	760	33	158.06	157.18	159.15	159.75	160.56	158.94	0.84
47.5	760	33	158.17	159.21	159.86	158.32	158.51	158.82	0.44
47.5	758.5	33.5	158.66	157.51	159.15	159.16	159.72	158.84	0.52
48	758.5	33.5	158.35	157.37	158.06	158.69	158.89	158.27	0.38
40.5	762.5	28.5	161.43	162.19	162.50	163.89	163.93	162.79	0.67
41.5	761.5	29.5	160.37	160.90	161.78	162.01	161.01	161.21	0.42
41.5	760	29.5	164.29	160.28	163.01	163.56	162.01	162.63	0.96
56	761.5	24	163.58	165.41	166.85	164.90	166.79	165.50	0.83
44	760	30	160.42	160.66	158.58	160.49	160.39	160.11	0.54
55	760.5	25	164.01	165.25	165.94	165.65	167.29	165.63	0.71
46	759.5	31	158.42	157.26	158.89	159.87	159.57	158.80	0.65
54	763.5	23.5	169.94	171.41	170.15	172.17	172.13	171.16	0.62
53	764	23	168.68	168.88	170.37	168.75	169.66	169.27	0.43
44	763.5	27	160.30	161.77	163.25	163.97	160.94	162.05	0.95
50	761	21	163.81	164.20	161.11	165.71	165.59	164.08	1.13
60	762.5	23.5	166.75	167.36	168.82	168.80	169.00	168.15	0.61
51	763	28	162.10	162.11	161.59	162.50	164.21	162.50	0.62
57	760	26	160.61	162.43	163.67	163.32	159.09	161.82	1.20
63	761	24.5	165.85	166.70	162.71	166.53	166.82	165.72	1.04
59	761.5	26	162.79	161.93	163.52	162.59	163.40	162.84	0.40
83	761.5	25	162.08	161.11	164.60	165.07	164.60	163.49	1.09
76	763	27	157.41	157.33	157.83	158.25	157.48	151.60	0.25
67.5	763	28	159.81	160.14	163.42	163.12	164.90	162.28	1.36

%RH	P (Hg)	T (K)	Um						%σ
			1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	average	
54	761	26	162.47	162.60	166.76	163.48	163.40	163.74	1.07
54	761	26.5	157.71	161.52	160.35	165.79	168.16	162.71	2.59
56.5	761	27	159.23	159.57	160.05	160.42	159.56	159.77	0.29
56	761	27	160.03	160.39	164.25	164.28	163.85	162.56	1.33
55	761	28	160.96	160.56	161.60	161.48	162.88	161.49	0.54
55.5	761	28	161.72	163.07	163.71	163.12	164.20	163.17	0.57
66	760	28	162.71	162.77	163.06	164.39	165.69	163.72	0.79
67	760	28	162.47	163.51	163.85	164.44	164.89	163.83	0.57

ตารางที่ ๑.4 ข้อมูลแรงดันเบรกดาวนด้วยแรงดันเพิ่ม ที่ระยะแกป 9 cm.

%RH	P (Hg)	T (K)	Um						%σ
			1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	average	
56	758	32	220.30	220.88	221.62	220.38	221.74	220.98	0.30
57	758	32	221.43	222.43	222.63	223.40	221.46	222.27	0.38
60	758	30	209.70	211.26	218.51	220.14	217.93	215.51	2.18
60	758	30	220.80	219.52	224.30	223.75	222.78	222.23	0.91
58	758	30	223.02	223.95	223.48	223.79	224.22	223.69	0.21
50	759	31	215.72	217.51	217.89	218.28	218.82	217.64	0.54
50	759	31.5	220.11	219.76	220.77	220.45	220.38	220.29	0.17
48	758	32	220.07	221.46	221.27	220.84	221.66	221.06	0.29
47.5	758	32	221.43	220.80	221.62	221.23	221.85	221.39	0.18
71	759	28	224.22	223.37	226.39	227.05	226.35	225.48	0.71
84	759	27	212.11	215.14	215.22	220.61	213.82	215.38	1.48
83	759	27	210.25	214.94	219.52	219.45	221.27	217.09	2.06
80	760	28	210.71	216.69	222.32	219.06	224.69	218.69	2.47
75	761	28.5	225.35	226.86	226.43	226.74	227.25	226.53	0.32
74	761	28	212.93	220.03	222.16	224.34	225.11	220.91	2.21
70.5	759	29	225.15	224.92	224.84	225.03	223.21	224.63	0.36
79	761	28	223.02	225.19	219.48	225.19	226.47	223.87	1.23
78.5	761	28	227.91	227.71	225.31	225.62	227.05	226.72	0.53
75	761	28.5	221.23	222.36	222.67	223.29	222.55	222.42	0.34
71.5	761	29	211.40	214.21	214.94	220.14	223.68	216.87	2.28
70	761	29	212.69	217.70	218.71	221.93	223.06	218.82	1.86
65	760	30	211.80	218.40	221.50	222.05	222.32	219.21	2.02
63	758	29	217.12	222.20	221.85	222.74	223.25	221.43	1.12
70	761	28	211.99	223.17	223.75	224.06	226.12	221.82	2.53
72	761	26	227.21	227.71	228.57	228.92	229.11	228.30	0.36
64	761	27	223.29	226.08	225.66	227.64	224.72	225.48	0.72
62	761	27.5	228.37	228.64	228.41	228.57	228.80	228.56	0.08
60	761	28	223.95	224.22	225.35	226.51	228.18	225.64	0.77
56.5	761	29	225.38	225.81	225.35	226.20	226.74	225.90	0.26

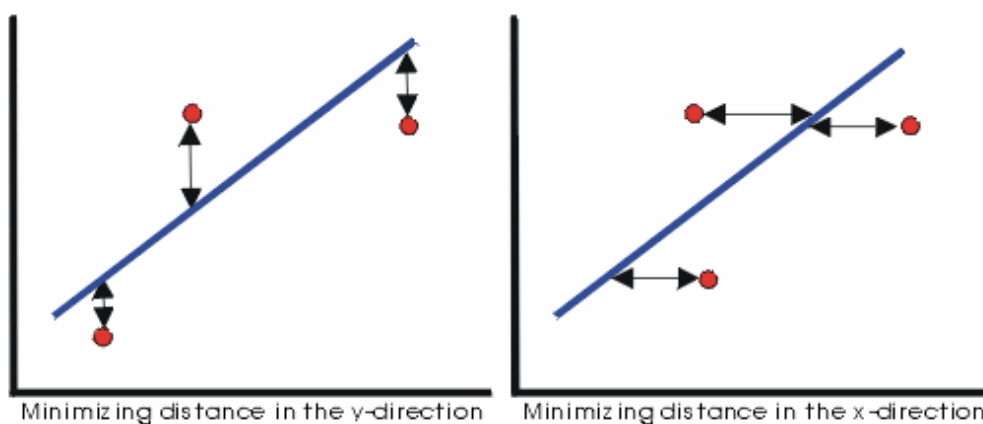
%RH	P (Hg)	T (K)	Um						%σ
			1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	average	
74	761	27	219.52	220.26	224.53	224.69	225.89	222.98	1.29
81.5	760	27	220.65	221.31	221.19	224.34	223.99	222.29	0.78
74.5	760	28	222.51	223.13	224.92	224.26	224.76	223.92	0.47
65	761	30	210.98	218.63	221.43	222.28	223.33	219.33	2.27
88	759.5	27	212.34	217.04	217.74	217.74	216.26	216.22	1.04
85	759.5	27	218.40	222.51	222.16	223.87	223.68	222.12	0.99
68	760	29	214.21	218.32	219.52	219.83	220.61	218.50	1.16
61	760	30	218.63	221.93	223.06	223.64	222.94	222.04	0.90
55	760	31	218.01	218.75	219.91	220.73	221.35	219.75	0.63
53	758	31.5	215.60	217.39	221.04	221.04	220.42	219.10	1.13
82	760	28	214.52	220.22	221.74	209.63	223.75	217.97	2.66
82	760	28	224.49	225.38	225.85	225.35	225.35	225.28	0.22
82	760	28	211.84	218.63	218.90	218.32	223.21	218.18	1.87
70	761.5	29.5	217.70	218.40	221.23	221.81	222.51	220.33	0.97
69	761.5	29.5	219.29	215.72	212.42	220.42	222.05	217.98	1.78
51	758.5	32	223.33	225.66	107.08	223.33	221.77	200.23	26.02
61	759	27.5	228.99	225.54	226.86	227.48	228.06	227.39	0.57
43.5	759	33	217.82	217.54	218.94	219.33	219.72	218.67	0.43
51	760	30.5	226.16	226.43	226.08	226.20	228.49	226.67	0.45
51	760	30.5	223.21	223.56	222.32	222.08	222.90	222.81	0.27
47.5	760	33	219.29	221.62	220.57	219.21	220.03	220.14	0.45
47	760	33	222.82	222.74	223.44	222.51	223.29	222.96	0.17
48	758.5	33.5	213.97	215.33	218.40	219.02	219.95	217.33	1.18
48	758.5	33.5	223.37	224.34	223.87	224.34	221.54	223.49	0.52
49	758	33	225.07	224.06	224.30	224.45	224.37	224.45	0.17
40.5	762.5	28.5	226.51	227.48	227.01	227.87	228.26	227.43	0.30
41	761.5	29	228.14	227.40	227.44	227.64	227.56	227.64	0.13
41	760	29.5	222.86	222.90	223.91	225.46	225.11	224.05	0.54
56	761.5	24	231.32	233.42	234.62	234.82	234.50	233.74	0.62
44.5	760	30	218.98	220.61	221.62	222.47	222.71	221.28	0.69
54	760.5	25	228.95	228.37	230.97	232.80	226.28	229.47	1.09
55	760.5	25	230.55	232.06	230.58	231.87	231.36	231.28	0.30
46	759.5	31	223.87	225.93	223.91	224.49	223.13	224.27	0.47
54	763.5	23.5	230.39	235.90	235.05	235.82	234.12	234.26	0.97
53	764	23	236.68	236.17	236.02	236.33	235.59	236.16	0.17
44	763.5	27	227.29	226.24	226.01	227.21	228.72	227.09	0.47
50	761	21	227.01	227.56	227.91	228.10	227.13	227.54	0.21
60	762.5	23	233.19	233.73	235.28	234.85	234.35	234.28	0.36
51	763	28	225.23	225.89	226.98	227.32	227.21	226.53	0.41
50	761	28	227.60	226.78	227.25	228.10	227.75	227.50	0.22
57	760	26	229.03	228.29	228.95	228.45	227.52	228.45	0.27
63	761	25	226.90	229.30	228.80	231.75	231.90	229.73	0.92
58	761.5	26	225.03	226.86	228.22	228.37	228.37	227.37	0.64
75	763	27	213.75	214.45	215.05	217.23	218.20	215.74	0.88
74	763	27	220.52	219.21	218.77	220.04	220.88	219.89	0.40

%RH	P (Hg)	T (K)	Um						%σ
			1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	average	
73	763	27.5	223.30	223.06	224.19	223.37	225.18	223.82	0.39
69	763	28	228.61	228.53	228.49	227.95	228.29	228.37	0.12
53	761	26	228.45	228.64	228.53	228.57	229.58	228.75	0.20
54	761	26	228.17	228.25	228.49	228.63	230.88	228.89	0.49
56	761	27	228.57	229.05	229.96	230.43	231.39	229.88	0.49
56.5	761	27	229.03	230.86	232.00	233.01	233.86	231.75	0.82
55	761	28	229.05	230.04	230.85	231.70	230.78	230.48	0.43
56	761	28	228.80	228.98	230.85	230.34	230.39	229.87	0.40

ภาคผนวก จ

Least Square Estimations

Least Square เป็นการทำให้ค่ากำลังสองของระยะทางจากจุดข้อมูลไปยังเส้นตรงมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งอาจเป็นระยะทางตามแนวแกนตั้งหรือแนวแกนนอนก็ได้ ถ้าเป็น Regression ตามแนวแกนนอนหรือแกน x คือ ส่วนเบี่ยงเบนของข้อมูลตามแนวแกน x กับเส้นตรงมีค่าน้อยที่สุด และกลับกันในกรณีแกน y วิธีนี้ใช้ได้กับชุดข้อมูลที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง [11]



รูปที่ ข.1 Least Square ตามแนวแกน y และ x

จ.1 Regression ตามแนวแกน y

สมมติว่ามีชุดข้อมูลอยู่ N ตัว ได้แก่ $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ ให้เส้นตรง $y = \hat{a} + \hat{b}x$ เป็นเส้นตรงที่ทำให้ค่ากำลังสองของระยะทางตามแนวตั้งจากจุดข้อมูลไปยังเส้นตรงนี้มีค่าน้อยที่สุด ตามสมการ

$$\sum_{i=1}^N (\hat{a} + \hat{b}x_i - y_i)^2 = \min(a, b) \sum_{i=1}^N (a + bx_i - y_i)^2 \quad (\text{จ.1})$$

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} - \hat{b} \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} = \bar{y} - \hat{b}\bar{x} \quad (\text{จ.2})$$

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N}}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2}{N}} \quad (\text{จ.3})$$

ข.2 Regression ตามแนวแกน x

สมมติว่ามีชุดข้อมูลอยู่ N ตัว ได้แก่ $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ ให้เส้นตรง $x = \hat{a} + \hat{b}y$ เป็นเส้นตรงที่ทำให้ค่ากำลังสองของระยะทางตามแนวนอนจากจุดข้อมูลไปยังเส้นตรงนี้มีค่าน้อยที่สุด ตามสมการ

$$\sum_{i=1}^N (\hat{a} + \hat{b}y_i - x_i)^2 = \min(a, b) \sum_{i=1}^N (a + by_i - x_i)^2 \quad (ข.4)$$

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} - \hat{b} \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} = \bar{x} - \hat{b}\bar{y} \quad (ข.5)$$

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N}}{\sum_{i=1}^N y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^N y_i\right)^2}{N}} \quad (ข.6)$$

ข.3 Correlation Coefficient

Correlation Coefficient ρ เป็นค่าที่บ่งบอกว่า Linear Regression นั้นให้สมการเส้นตรงที่พิตกับข้อมูลมากน้อยเพียงใด โดย ρ มีค่าตามสมการ

$$\rho = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (ข.7)$$

σ_{xy} คือ Covariance ของ x และ y σ_x คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ x σ_y คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ y ค่า Correlation Coefficient คาดเดา $\hat{\rho}$ ของข้อมูล N ตัว สามารถหาได้ดังนี้

$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2}{N} \right) \left(\sum_{i=1}^N y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^N y_i\right)^2}{N} \right)}} \quad (ข.8)$$

$\hat{\rho}$ จะมีค่าอยู่ในช่วง $[-1, 1]$ ถ้าค่า $\hat{\rho}$ มีค่าเข้าใกล้ 1 หรือ -1 แสดงว่าข้อมูลยิ่งมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง คือเป็นเส้นตรงที่มีความชันเป็นบวกและลบตามลำดับ แต่ถ้า $\hat{\rho}$ มีค่าเป็นศูนย์ แสดงว่าข้อมูลไม่มีแนวโน้มที่จะเรียงตัวเป็นเส้นตรงเลย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย พงษ์ศักดิ์ มฤคทัต เกิดวันที่ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2522 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2543 เข้าศึกษา ต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545