บทที่ 6

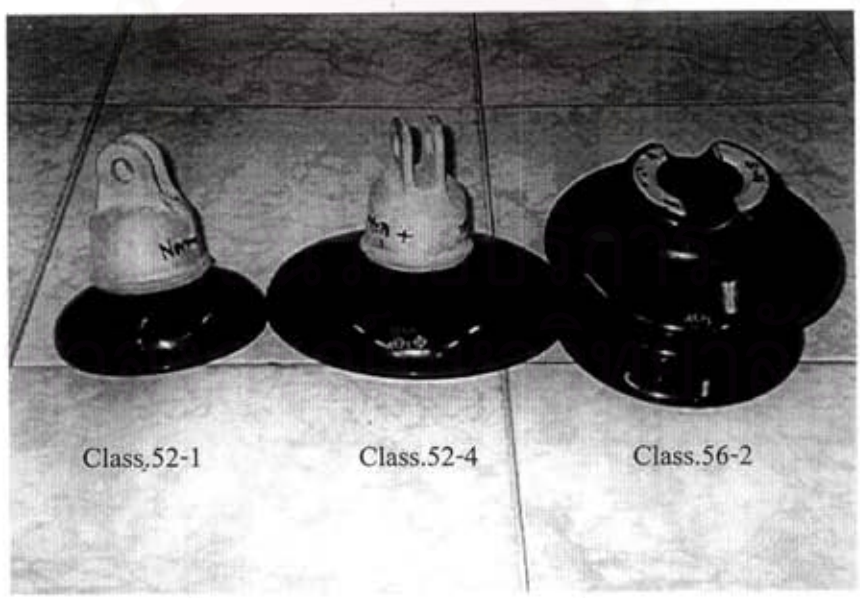
การทดสอบและวิเคราะห์ผล

การทดสอบแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันบนลูกถ้วยฉนวนมีรายละเอียดของกระบวนการและวิเคราะห์ผลการทดสอบ ดังต่อไปนี้

6.1 การทดสอบ

1) ตัวอย่างลูกถ้วยฉนวน

การทดสอบจะเลือกใช้ลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนที่มีความหนาของเนื้อพอร์ซเลนตามแนวระยะเจาะทะลุผ่านเนื้อฉนวนแข็งน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของระยะวาบไฟตามผิวซึ่งเป็นลูกถ้วยฉนวนประเภท B [1] การเลือกใช้ลูกถ้วยฉนวนดังกล่าวด้วยเหตุผลคือมีโอกาสเจาะทะลุได้ง่ายเมื่อได้รับแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน ลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนที่ใช้ในการทดสอบคือ ANSI Class. 52-1 , 52-4 และ 56-2 ดังรูปที่ 6.1 ทั้งสาม Class.ของลูกถ้วยฉนวนจะมีสองเนื้อพอร์ซเลน คือ ชนิดอลูมินาและชนิดธรรมดา ชนิดละ 10 ลูก



รูปที่ 6.1 ภาพลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนที่ใช้ในงานวิจัย

2) ลำดับขั้วแรงดัน

ขั้วของแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันจะมีผลต่อการเกิดเจาะทะลุต่างกัน โดยการทดสอบจะป้อนขั้วของแรงดันที่มีผลต่อการเกิดเจาะทะลุน้อยกว่าเป็นลำดับแรก และลำดับต่อมาเป็นขั้วแรงดันที่มีผลต่อการเกิดเจาะทะลุมากกว่า ลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน Class. 52-1 และ 52-4 มีลำดับการทดสอบขั้วแรงดันคือ ขั้วบวกและตามด้วยขั้วลบ ส่วน Class. 56-2 คือ ขั้วลบและตามด้วยขั้วบวก[15] และแต่ละขั้วแรงดันจะทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันจำนวน 16 ครั้ง

3) ลักษณะการติดตั้งลูกถ้วยฉนวน

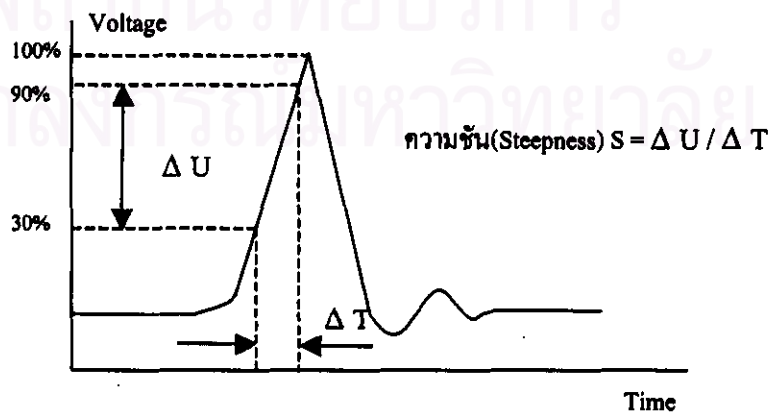
การติดตั้งลูกถ้วยฉนวนในการทดสอบจะเป็นไปตามเอกสารอ้างอิง [15]

4) อุปกรณ์วัดแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน

ส่วนประกอบของวงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันที่มีความสำคัญ คือ อุปกรณ์ในส่วนของการวัดแรงดัน ซึ่งจะต้องมีความรวดเร็วในการติดตามแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันได้ทัน โดยในการทดสอบทางผู้วิจัยใช้ออสซิลโลสโคปที่มี Rise time ไม่เกิน 10 ns ของบริษัท LeCroy ความถี่ 1 GHz รุ่น 9384M และอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทานมีชีลด์ ของบริษัท HAEFELY มีเวลาตอบสนอง 13.7 ns และมีความต้านทาน R_1 , R_2 และ R_g เท่ากับ 20 kΩ , 120 Ω และ 400 Ω ตามลำดับ

5) การวัดความชัน

การวัดความชันของแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันจะคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างแรงดันและเวลา ในช่วง 30% ถึง 90% ของค่าสูงสุดของแรงดัน ดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 ตัวอย่างภาพการคำนวนความชัน

6) ความชัน

ความชันที่ใช้ในการทดสอบแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันบนลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนจะเริ่มต้นทดสอบที่ความชัน 2500 kV/μs ถ้าหากให้ผลการเปรียบเทียบความคงทนทางไฟฟ้าระหว่างเนื้อพอร์ซเลนไม่ชัดเจนจะเพิ่มความชันเป็นลำดับไป

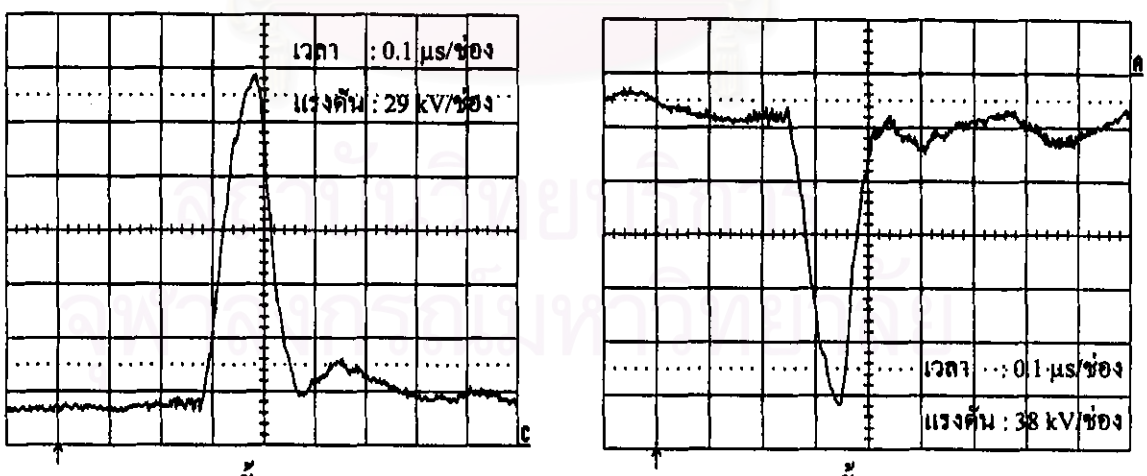
7) ช่วงระยะเวลาระหว่างการป้อนแรงดัน

ช่วงระยะเวลาระหว่างการป้อนแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันแต่ละครั้งนั้นจะอยู่ในช่วง1–2 นาที[15] แต่ในการวิจัยนี้จะพิจารณาขนาดกระแสที่ไหลเข้าหม้อแปลงแรงสูงที่จ่ายแรงดันให้กับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันให้มีขนาดกระแสน้อยประกอบด้วย โดยช่วงระยะเวลาระหว่างการป้อนแรงดันยังคงอยู่ในช่วงเวลาทดสอบดังกล่าว

6.2 ผลการทดสอบลูกถ้วยแขวนพอร์ซเลน Class. 52-1

6.2.1 ผลการทดสอบเบื้องต้น

จากผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน 2500 kV/μs โดยมีช่วงระยะเวลาของการทดสอบแต่ละแรงดันอิมพัลส์เท่ากับ 1 นาที พบว่าเนื้อพอร์ซเลนชนิดธรรมดาและชนิดอะลูมินาสามารถทนต่อการทดสอบที่ความชันดังกล่าว โดยไม่มีลูกถ้วยใดเกิดเจาะทะลุ ดังในภาคผนวก ก (ตารางที่ 1 - 4) รูปที่ 6.3 เป็นตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน 2500 kV/μs

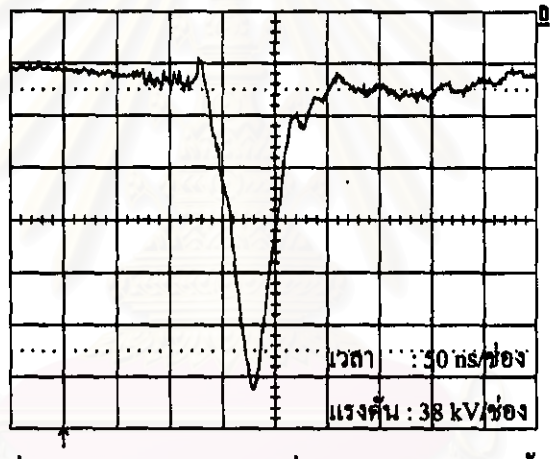


รูปที่ 6.3 ตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน 2500 kV/μs เนื้อพอร์ซเลนชนิดธรรมดา

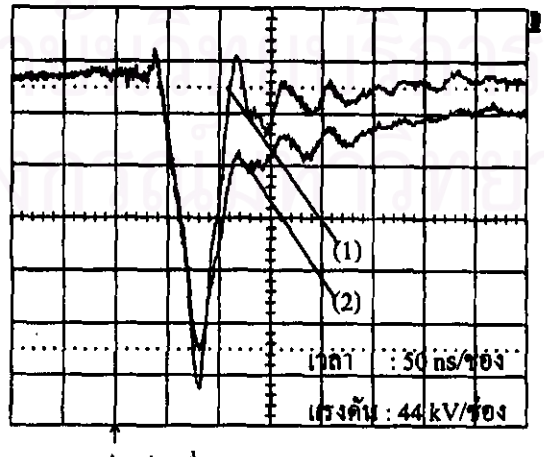
จากการทดสอบที่ความชัน 2500 kV/μs ไม่สามารถเปรียบเทียบความคงทนทางไฟฟ้าของเนื้อฉนวนพอร์ซเลนทั้งสองชนิดได้ ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบเพิ่มเติมที่ความชัน 5500 kV/μs กับ

ถูกถ้วยชุดเดิม โดยมีช่วงระยะเวลาของการทดสอบแต่ละแรงดันอิมพัลส์เท่ากับ 2 นาที ซึ่งผลปรากฏว่าไม่มีถูกถ้วยใดเกิดเจาะทะลุอีกเช่นกัน ดังในภาคผนวก ก (ตารางที่ 5 - 8) รูปที่ 6.4 เป็นตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน 5500 kV/μs

ต่อมาจึงทำการทดสอบที่ความชัน 6500 kV/μs ซึ่งมีช่วงระยะเวลาของการทดสอบแต่ละแรงดันอิมพัลส์เท่ากับ 2 นาทีโดยใช้ถูกถ้วยชุดเดิม (ผ่านการทดสอบที่ความชัน 2500 และ 5500kV/μs) ผลปรากฏว่าเนื้อฉนวนพอร์ซเลนชนิดอะลูมินาเกิดเจาะทะลุเฉพาะขั้วลบจำนวน 5 ลูก หรือคิดเป็น 50% ส่วนเนื้อฉนวนพอร์ซเลนชนิดธรรมดาเกิดเจาะทะลุเฉพาะขั้วลบเช่นกันจำนวน 3 ลูกหรือคิดเป็น 30% ดังในภาคผนวก ก(ตารางที่ 9 - 12) รูปที่ 6.5 เป็นตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันขณะเกิดวาบไปตามผิวและขณะเกิดเจาะทะลุที่ความชัน 6500 kV/μs



รูปที่ 6.4 ตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน 5500 kV/μs เนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินา



รูปที่ 6.5 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันโดยเปรียบเทียบระหว่างขณะเกิดวาบไฟตามผิว(1) และขณะเกิดเจาะทะลุ(2) ที่ความชัน 6500 kV/μs เนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินา

6.2.2 ผลการทดสอบเพิ่มเติม

จากผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันที่ 6500 kV/μs เนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินามีความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ต่ำกว่าเนื้อพอร์ซเลนชนิดธรรมดา ดังนั้นเพื่อยืนยันผลการทดสอบจึงได้ทดสอบเพิ่มเติมอีก 2 ชุดโดยไม่ได้ผ่านการทดสอบที่ความชัน 2500 kV/μs และ 5500 kV/μs มาก่อน เนื่องจากลูกถ้วยฉนวนสามารถทนต่อการทดสอบที่ความชันดังกล่าว

1) การทดสอบเพิ่มเติมชุดที่ 1

ผลการทดสอบปรากฏว่าเนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินาเกิดเจาะทะลุเฉพาะขั้วลบจำนวน 6 ลูก จากจำนวน 10 ลูกหรือคิดเป็น 60% ส่วนเนื้อฉนวนพอร์ซเลนชนิดธรรมดาเกิดเจาะทะลุเฉพาะขั้วลบอีกเช่นกันจำนวน 2 ลูกหรือคิดเป็น 20% ดังในภาคผนวก ก (ตารางที่ 13 - 16)

2) การทดสอบเพิ่มเติมชุดที่ 2

การทดสอบเพิ่มเติมชุดนี้จะใช้เฉพาะเนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินา เนื่องจากเป็นเนื้อพอร์ซเลนที่อยู่ในสายงานผลิตทั่วไปจึงสามารถนำมาทดสอบได้ทันทีส่วนเนื้อพอร์ซเลนชนิดธรรมดาทางบริษัทต้องผลิตเป็นกรณีพิเศษจึงมีจำนวนลูกถ้วยจำกัด ผลการทดสอบปรากฏว่าเนื้อฉนวนพอร์ซเลนชนิดอะลูมินาเกิดเจาะทะลุเฉพาะขั้วลบจำนวน 5 ลูกหรือคิดเป็น 50% ดังในภาคผนวก ก(ตารางที่17 และ18)

6.2.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบทั้งหมดทั้งเนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินาและชนิดธรรมดา สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6.1 และ 6.2

ตารางที่ 6.1 สรุปผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันของลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนClass.52-1

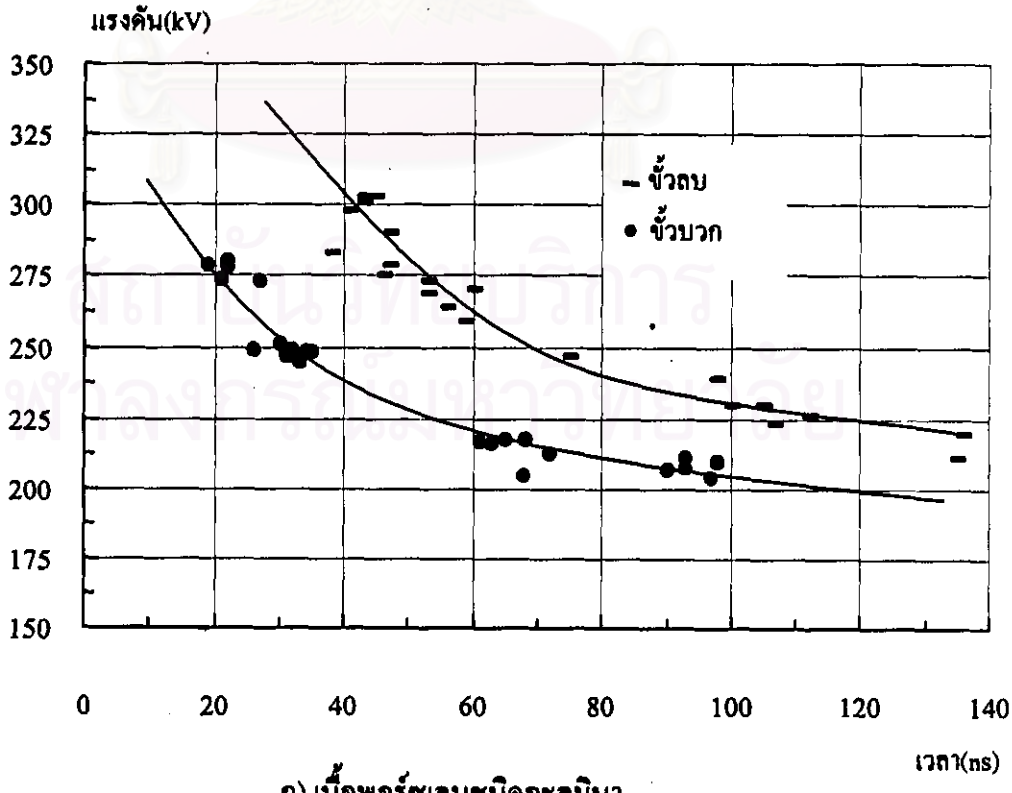
เนื้อพอร์ซเลน		ความชัน(kV/μs)						จำนวนเจาะทะลุ	%เจาะทะลุ
		2500		5500		6500			
		บวก	ลบ	บวก	ลบ	บวก	ลบ		
ชนิดอะลูมินา	ชุด 1	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	5/10	16/30	53%
	ชุด 2	-	-	-	-	0/10	6/10		
	ชุด 3	-	-	-	-	0/10	5/10		
ชนิดธรรมดา	ชุด 1	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	3/10	5/20	25%
	ชุด 2	-	-	-	-	0/10	2/10		

ตารางที่ 6.2 แรงดันเฉลี่ยที่เกิดวาบไฟตามผิวและเจาะทะลุของลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนClass.52-1

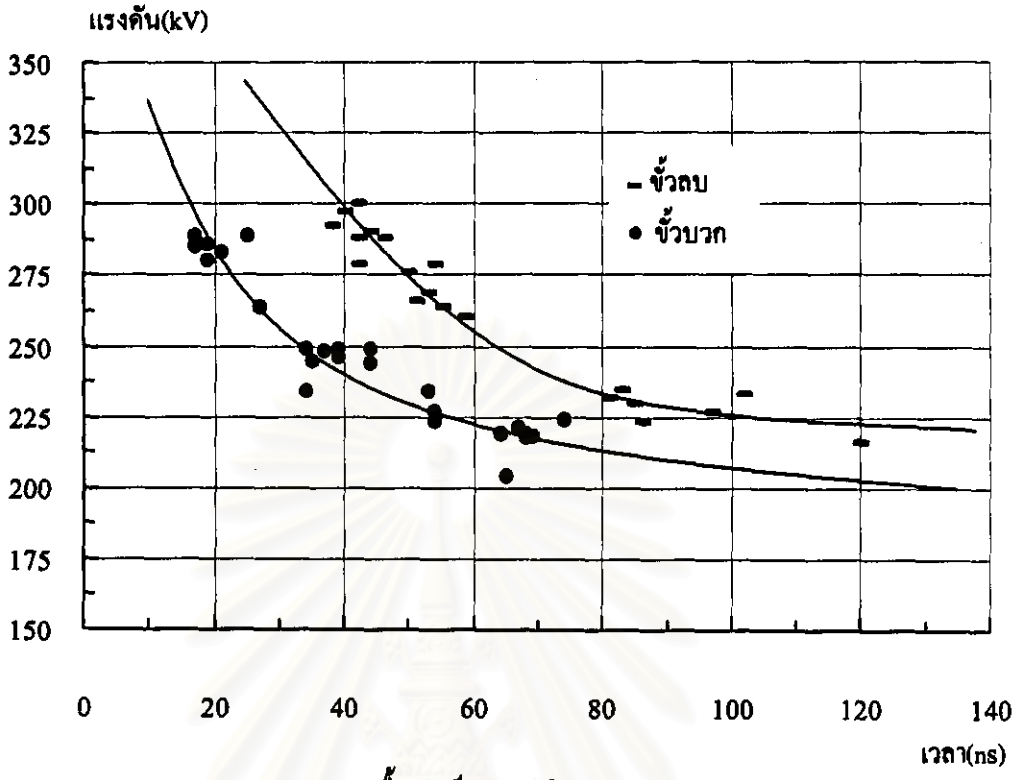
เนื้อพอร์ซเลน		ความชัน(kV/μs)					
		2500		5500		6500	
		บวก	ลบ	บวก	ลบ	บวก	ลบ
ชนิดอะลูมินา	วาบไฟตามผิว	210	232	250	260	281	300
	เจาะทะลุ	-	-	-	-	-	235
ชนิดธรรมดา	วาบไฟตามผิว	200	235	247	263	280	298
	เจาะทะลุ	-	-	-	-	-	231

จากตารางที่ 6.1 จะสังเกตุพบว่าลูกถ้วยฉนวน Class. 52-1 ทั้งสองเนื้อจะเกิดเจาะทะลุเฉพาะขั้วลบเท่านั้นเนื่องจากขั้วลบเกิดวาบไฟตามผิวได้ยากกว่าขั้วบวกและค่าแรงดันวาบไฟตามผิวขั้วลบสูงกว่าขั้วบวกเช่นกัน

จากกราฟของแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันที่บันทึกได้จากออสซิลโลสโคป สามารถนำมาเขียนกราฟลักษณะแรงดัน-เวลาเฉพาะการเกิดวาบไฟตามผิวผ่านอากาศของลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนทั้งสองเนื้อขั้วบวกและลบ ดังรูปที่ 6.6 ส่วนลักษณะแรงดัน-เวลาของการเจาะทะลุไม่อาจเขียนกราฟได้ เนื่องจากข้อมูลการเกิดเจาะทะลุมีจำนวนน้อยและเกิดเจาะทะลุที่ความชัน 6500 kV/μs เท่านั้น



ก) เนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินา



ข) เนื้อพอร์ซเลนชนิดธรรมดา

รูปที่ 6.6 กราฟลักษณะแรงดัน-เวลาเฉพาะการเกิดวาบไฟตามผิวผ่านอากาศของลูกถ้วยฉนวนClass. 52-1

สิ่งหนึ่งที่สำคัญคือกราฟลักษณะแรงดัน-เวลาของขั้วลบอยู่สูงกว่าขั้วบวกของทั้งสองเนื้อพอร์ซเลน แสดงว่าเมื่อเกิดแรงดันอิมพัลส์บนลูกถ้วยฉนวน ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวของขั้วบวกจะต่ำกว่าขั้วลบ ทั้งนี้เป็นไปตามทฤษฎีการเกิดเบรกดาวน์ของฉนวนกาซระหว่างอิเล็กโตรดที่มีสนามไฟฟ้ากระจายแบบไม่สม่ำเสมอ เช่น โลหะปลายแหลมกับระนาบ ที่ค่าแรงดันเบรกดาวน์ขั้วลบ (โลหะปลายแหลม)จะสูงกว่าขั้วบวก จึงทำให้ขั้วลบมีโอกาสเกิดเจาะทะลุได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 6.1 จากข้อมูลที่ได้นำเสนอมา พบว่าเนื้อพอร์ซเลนชนิดธรรมดามีความคงทนทางไฟฟ้ามากกว่าเนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินาเมื่อทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันและทั้งสองเนื้อพอร์ซเลนเกิดเจาะทะลุภายในครอบโลหะเท่านั้น

6.3 ผลการทดสอบลูกถ้วยแขวนพอร์ซเลน Class. 52-4

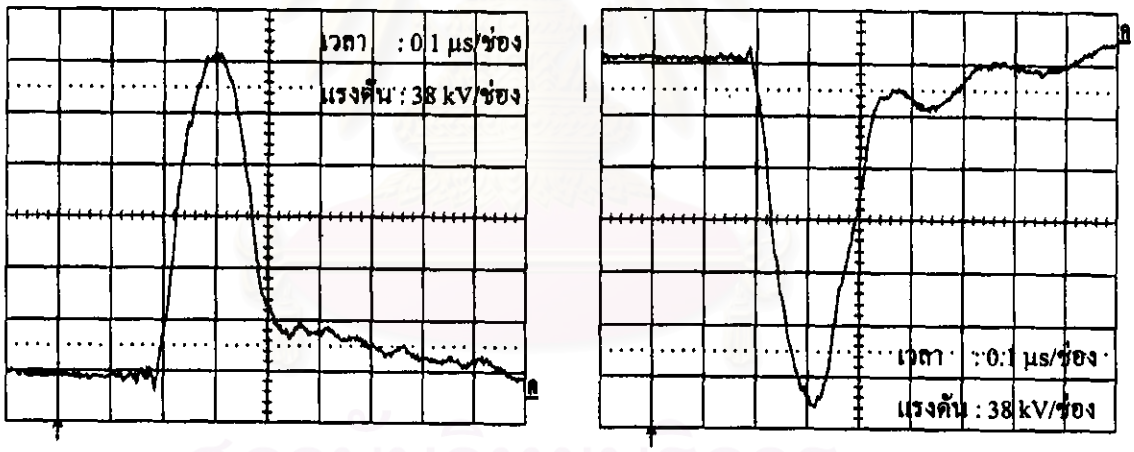
6.3.1 ผลการทดสอบเบื้องต้น

จากผลการทดสอบลูกถ้วยแขวนพอร์ซเลน Class. 52-4 ปรากฏว่าที่ความชัน 2500 kV/μs สามารถทำให้ลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนเกิดเจาะทะลุได้ โดยที่เนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินาเกิดเจาะทะลุ

ขั้วบวกจำนวน 1 ลูกและขั้วลบจำนวน 4 ลูก ดังในภาคผนวก ข(ตารางที่ 1 และ 2) รวมทั้งหมด 5 ลูก หรือคิดเป็น 50% ส่วนเนื้อพอร์ซเลนชนิดธรรมดาเกิดเจาะทะลุขั้วบวกจำนวน 2 ลูกและขั้วลบ จำนวน 3 ลูก ดังในภาคผนวก ข (ตารางที่ 3 และ 4) รวมทั้งหมด 5 ลูกหรือคิดเป็น 50% รูปที่ 6.7 เป็นตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน 2500 kV/μs ส่วนรูปที่ 6.8 เป็นตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันขณะเกิดเจาะทะลุที่ความชัน 2500 kV/μs

6.3.2 ผลการทดสอบเพิ่มเติม

เนื่องจากเปอร์เซ็นต์การเกิดเจาะทะลุทั้งเนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินาและชนิดธรรมดาเท่ากัน ไม่สามารถเปรียบเทียบความคงทนทางไฟฟ้าได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดสอบเพิ่มเติมขึ้นอีก 2 ชุด โดยการทดสอบเพิ่มเติมนี้จะใช้เฉพาะเนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินา เนื่องจากเป็นเนื้อพอร์ซเลนที่อยู่ในสายงานผลิตทั่วไปจึงสามารถนำมาทดสอบได้ทันที ส่วนเนื้อพอร์ซเลนชนิดธรรมดาทางบริษัทต้องผลิตเป็นกรณีพิเศษจึงมีจำนวนลูกถ้วยจำกัด



ขั้วบวก ขั้วลบ

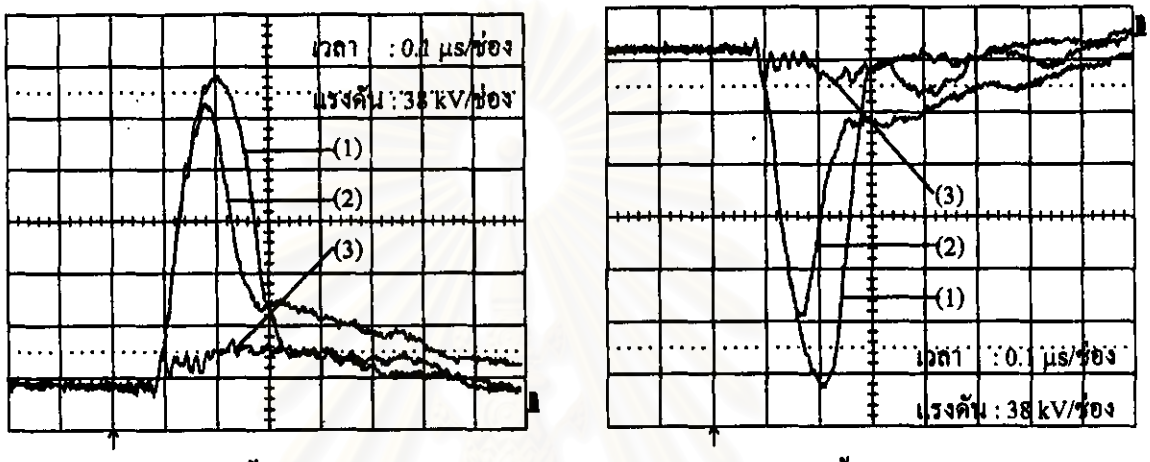
รูปที่ 6.7 ตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน 2500 kV/μs เนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินา

1) การทดสอบเพิ่มเติมชุดที่ 1

ผลการทดสอบปรากฏว่าเนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินาเกิดเจาะทะลุขั้วบวกจำนวน 5 ลูกและขั้วลบจำนวน 2 ลูก รวมทั้งหมด 7 ลูกหรือคิดเป็น 70% ดังในภาคผนวก ข (ตารางที่ 5 และ 6)

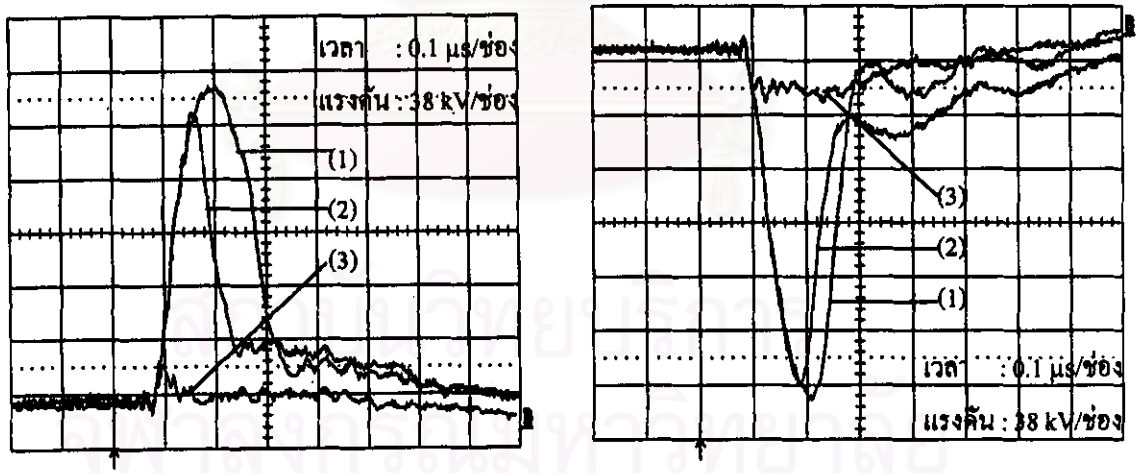
2) การทดสอบเพิ่มเติมชุดที่ 2

การทดลองเพิ่มเติมชุดนี้จะทดสอบขั้วลบและตามด้วยขั้วบวกเพื่อศึกษาผลของขั้วแรงดันต่อการเกิดเจาะทะลุ ซึ่งผลการทดสอบปรากฏว่าเนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินาเกิดเจาะทะลุขั้วลบจำนวน 6 ลูกและขั้วบวกจำนวน 2 ลูก รวมทั้งหมด 8 ลูกหรือคิดเป็น 80% ดังในภาคผนวก ข (ตาราง ที่ 7 และ 8)



ขั้วบวก ขั้วลบ

ก) เนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินา



ขั้วบวก ขั้วลบ

ข) เนื้อพอร์ซเลนชนิดธรรมดา

รูปที่ 6.8 ตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันโดยเปรียบเทียบระหว่างขณะเกิดวาบไฟตามผิว(1) ขณะเกิดเจาะทะลุ(2)และหลังจากเกิดเจาะทะลุ(3) ที่ความชัน 2500 kV/µs

6.3.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบทั้งหมดทั้งเนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินาและชนิดธรรมดาClass.52-4 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6.3 และ 6.4 และจากกราฟของแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันที่บันทึกได้จากออสซิลโลสโคป สามารถนำมาเขียนกราฟลักษณะแรงดัน-เวลาเฉพาะการเกิดวาบไฟตามผิวผ่านอากาศของลูกถ้วยฉนวนทั้งสองเนื้อขั้วบวกและขั้วลบ ดังรูปที่ 6.9 ส่วนลักษณะแรงดัน-เวลาของการเกิดเจาะทะลุเนื้อลูกถ้วยนั้นไม่อาจเขียนกราฟได้ เนื่องจากข้อมูลการเกิดเจาะทะลุมีจำนวนน้อยและได้ทำการทดสอบที่ความชัน 2500 kV/μs เท่านั้น

ตารางที่ 6.3 สรุปผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันของลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนClass.52-4

เนื้อพอร์ซเลน		ความชัน(kV/μs) 2500		รวมเกิดเจาะทะลุ	%รวมเกิดเจาะทะลุ
		บวก	ลบ		
ชนิดอะลูมินา	ชุด 1	1/10	4/9	5/10	67%
	ชุด 2	5/10	2/5	7/10	
	ชุด 3*	2/4	6/10	8/10	
ชนิดธรรมดา	ชุด 1	2/10	3/8	5/10	50%

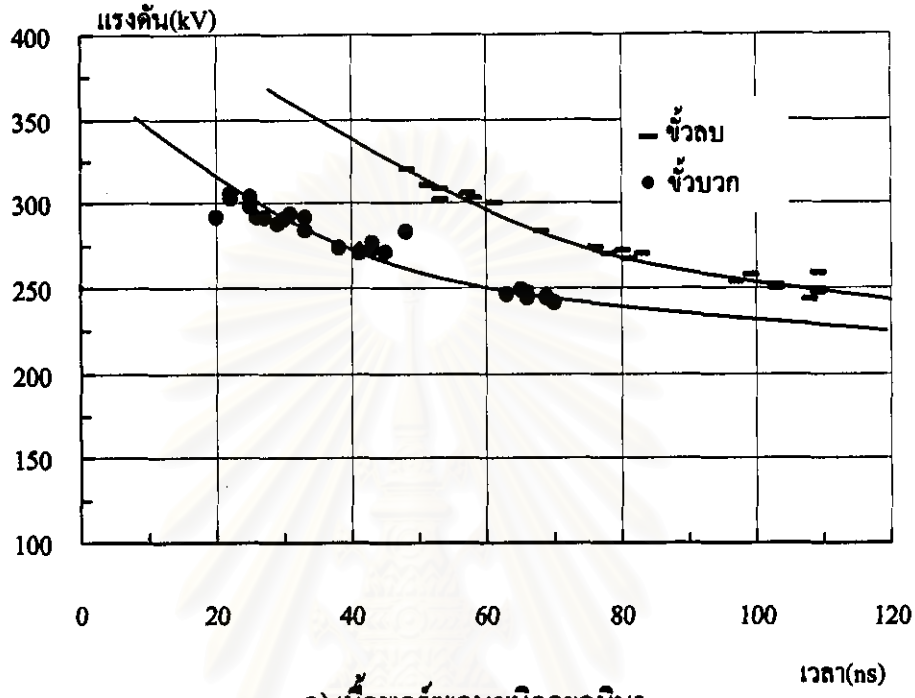
* ทดสอบขั้วลบและตามด้วยขั้วบวก

ตารางที่ 6.4 แรงดันเฉลี่ยที่เกิดวาบไฟตามผิวและเกิดเจาะทะลุของลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนClass. 52-4

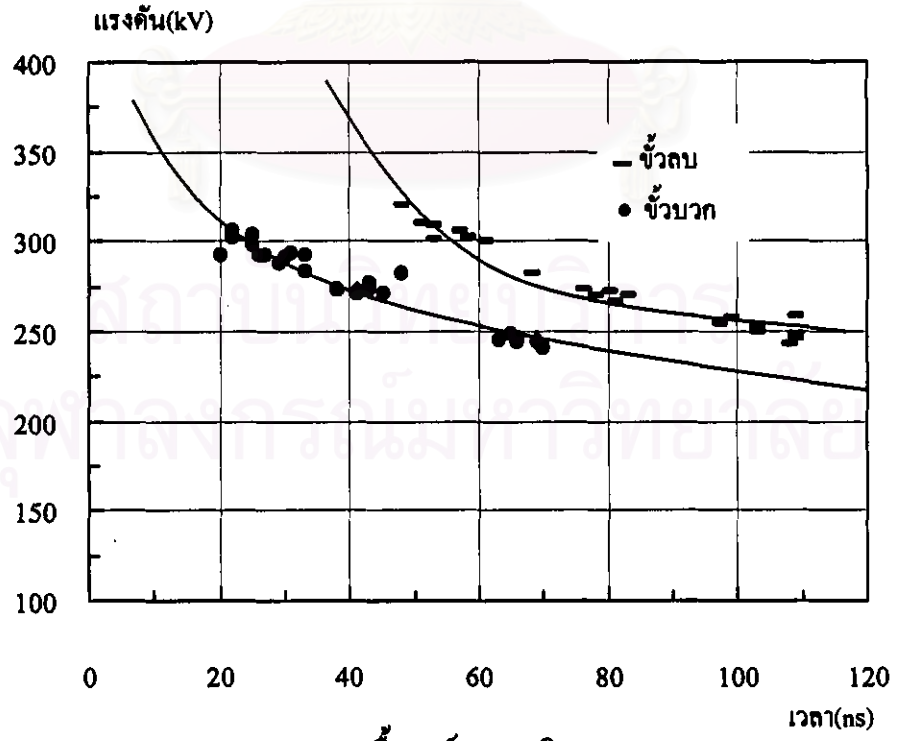
เนื้อพอร์ซเลน		ความชัน(kV/μs) 2500	
		บวก	ลบ
ชนิดอะลูมินา	วาบไฟตามผิว	248	260
	เจาะทะลุ	232	230
ชนิดธรรมดา	วาบไฟตามผิว	242	263
	เจาะทะลุ	200	235

จากตารางที่ 6.3 และ 6.4 จะพบว่าลูกถ้วยฉนวนทั้งสองเนื้อพอร์ซเลนเกิดเจาะทะลุทั้งขั้วบวกและขั้วลบโดยขั้วลบเกิดเจาะทะลุมากกว่าขั้วบวกและแรงดันที่เกิดเจาะทะลุระหว่างลูกถ้วยฉนวน Class. 52-1 กับ 52-4 พบว่าใกล้เคียงกัน แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะความหนาของเนื้อพอร์ซเลนภายในครอบโลหะเท่ากันนั่นเอง ส่วนแรงดันวาบไฟตามผิวที่ความชันแรงดันอิมพัลส์เท่า

กัน (2500 kV/μs) ลูกถ้วยฉนวน Class. 52-4 จะมีแรงดันวาบไฟตามผิวมากกว่า 52-1 ซึ่งเป็นผลมาจากการมีระยะทางวาบไฟตามผิวเพิ่มขึ้น



ก) เนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินา



ข) เนื้อพอร์ซเลนชนิดธรรมดา

รูปที่ 6.9 กราฟลักษณะแรงดัน-เวลาเฉพาะการเกิดวาบไฟตามผิวผ่านอากาศของลูกถ้วยฉนวน Class. 52-

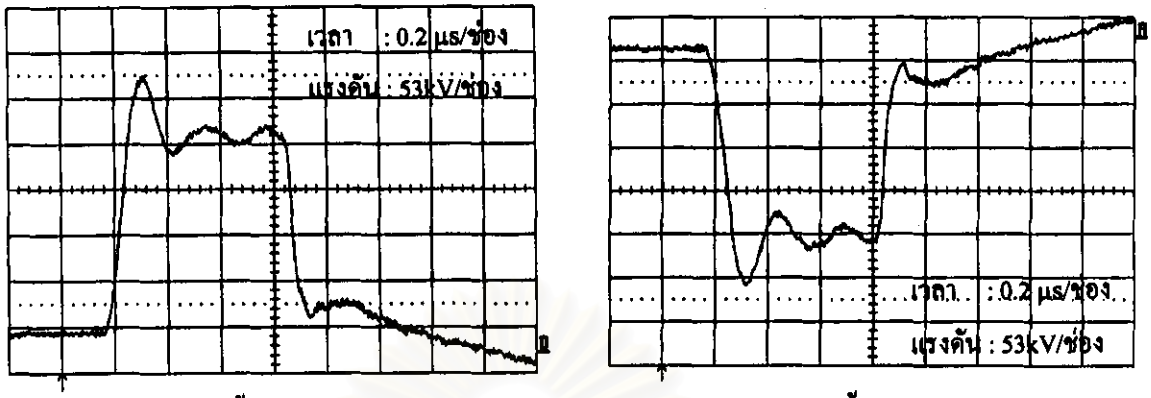
จากรูปที่ 6.9 ก) และข) กราฟลักษณะแรงดัน-เวลาขั้วบวกและขั้วลบของเนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินาและชนิดธรรมดาไม่แตกต่างกันนัก ซึ่งหมายถึงระยะหรือมิติภายนอกของทั้งสองเนื้อพอร์ซเลนเท่ากัน ส่วนกราฟลักษณะแรงดัน-เวลาของขั้วลบสูงกว่าขั้วบวกทั้งสองเนื้อพอร์ซเลน แสดงว่าเมื่อเกิดแรงดันอิมพัลส์บนลูกถ้วยฉนวน ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวของขั้วบวกจะต่ำกว่าขั้วลบ ดังเหตุผลที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 6.2.3 ซึ่งมีผลทำให้ขั้วบวกมีโอกาสเกิดเจาะทะลุน้อยกว่าขั้วลบและสอดคล้องกับตารางที่ 6.3 จากข้อมูลการทดสอบพบว่าเนื้อพอร์ซเลนชนิดธรรมดามีความคงทนทางไฟฟ้ามากกว่าเนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินาเมื่อทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันและทั้งสองเนื้อพอร์ซเลนเกิดเจาะทะลุภายในครอบโลหะเท่านั้น

6.4 ผลการทดสอบลูกถ้วยก้านตรงพอร์ซเลน Class. 56-2

6.4.1 ผลการทดสอบเบื้องต้น

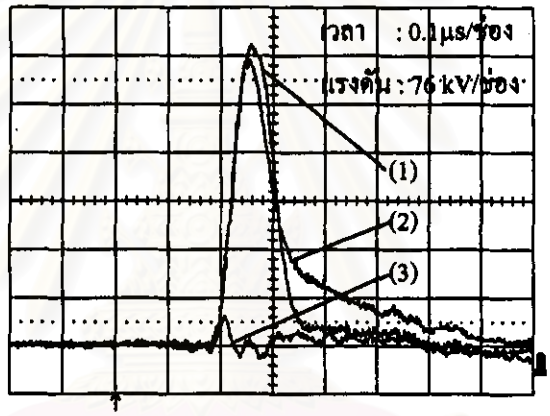
จากผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน 2500 kV/μs ทั้งขั้วลบและขั้วบวกของลูกถ้วยก้านตรง Class. 56-2 พบว่าเนื้อฉนวนพอร์ซเลนชนิดอะลูมินาและชนิดธรรมดาสามารถทนต่อการทดสอบที่ความชันดังกล่าว โดยไม่มีลูกถ้วยใดเกิดเจาะทะลุ ดังในภาคผนวก ค(ตารางที่ 1 และ 4) ซึ่งมีเหตุผลมาจากความหนาของเนื้อฉนวนพอร์ซเลนระหว่างอิเล็กโตรดนั่นเอง รูปที่ 6.10 ตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน 2500 kV/μs ซึ่งจะพบว่าต้องใช้เวลาระยะหนึ่งก่อนจะเกิดวาบไฟตามผิวซึ่งมีสาเหตุมาจากการมีระยะทางวาบไฟตามผิวมากขึ้น ต่อมาผู้วิจัยได้เพิ่มความชันของแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันเป็น 9200 kV/μs โดยมีช่วงระยะเวลาห่างของการทดสอบแต่ละแรงดันอิมพัลส์เท่ากับ 2 นาที ซึ่งผลการทดสอบปรากฏว่า เนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินาเกิดเจาะทะลุเฉพาะขั้วบวกเท่านั้นจำนวน 6 ลูก หรือคิดเป็น 60% ส่วนเนื้อพอร์ซเลนชนิดธรรมดาเกิดเจาะทะลุขั้วลบจำนวน 1 ลูก และขั้วบวกจำนวน 1 ลูก รวมทั้งหมด 2 ลูกหรือคิดเป็น 20% ดังในภาคผนวก ค(ตารางที่ 5 - 8) รูปที่ 6.11 เป็นตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันและขณะเกิดเจาะทะลุที่ความชัน9200 kV/μs

นอกจากนี้ทางผู้วิจัยยังได้ทดสอบเพิ่มเติมเกี่ยวกับช่วงเวลาห่างระหว่างแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน โดยจะพบว่าช่วงเวลาห่างระหว่างแรงดันอิมพัลส์น้อยจะทำให้แรงดันอิมพัลส์เกิดวาบไฟตามผิวได้เร็วขึ้น ดังรูปที่ 6.12 อันเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดวาบไฟตามผิวครั้งก่อน ทำให้เวลาล่าช้าในการเกิดเบรกดาวน์ (Time lag) สั้นลง การที่มีแรงดันอิมพัลส์ปรากฏบนลูกถ้วยฉนวนนานเกินไปจะส่งผลให้ความคงทนทางไฟฟ้าของลูกถ้วยฉนวนลดลง[11]

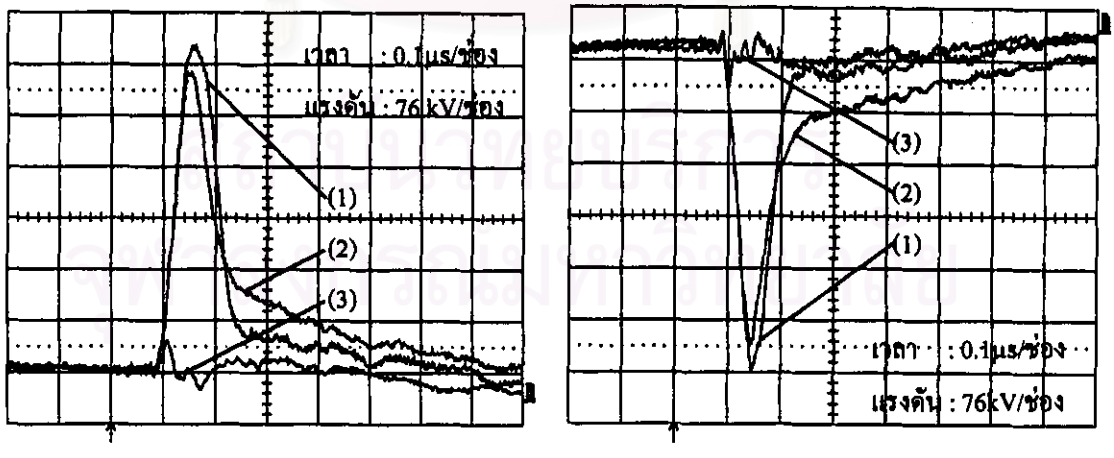


ขั้วบวก ขั้วลบ

รูปที่ 6.10 ตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน 2500 kV/µs เนื้อพอร์ซเลนชนิดธรรมดา



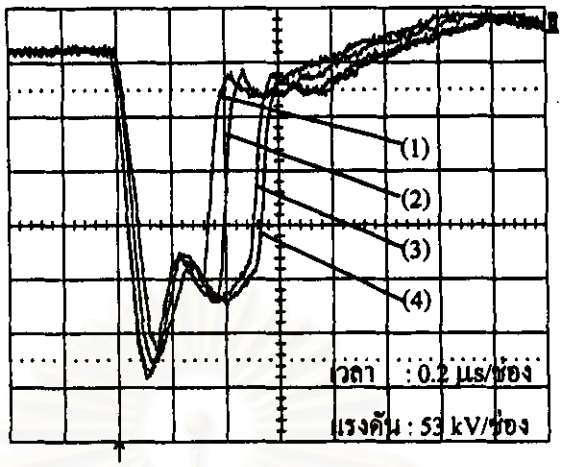
ก) เนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินา(ขั้วบวก)



ขั้วบวก ขั้วลบ

ข) เนื้อพอร์ซเลนชนิดธรรมดา

รูปที่ 6.11 ตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันโดยเปรียบเทียบระหว่างขณะเกิดวาบไฟตามผิว (1) ขณะเกิดเจาะทะลุ(2)และหลังจากเกิดเจาะทะลุ(3) ถูกถ้วยฉนวน Class.56-2 ที่ความชัน9200kV/µs



รูปที่ 6.12 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันโดยมีระยะเวลาห่างระหว่างแรงดันดังนี้ เวลา 30 วินาที (1) เวลา 60 วินาที (2) เวลา 90 วินาที (3) เวลา 120 วินาที(4)

6.4.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบทั้งเนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินาและชนิดธรรมดา สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6.5 และ 6.6

ตารางที่ 6.5 สรุปผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันของลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนClass.56-2

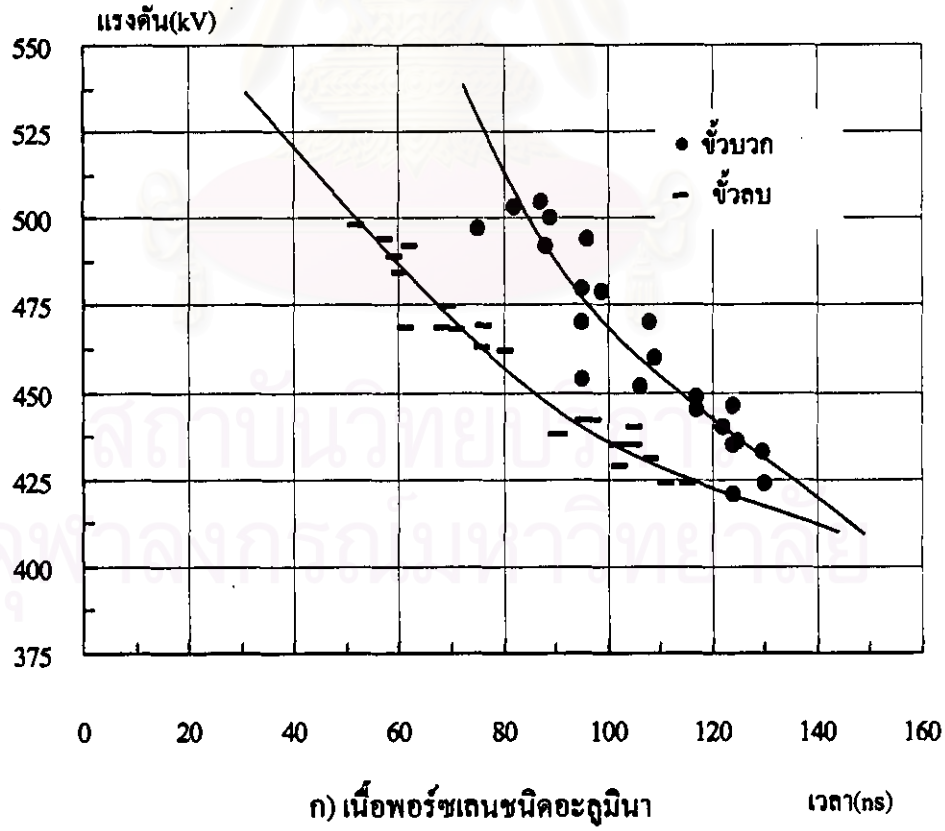
เนื้อพอร์ซเลน	ความชัน(kV/µs)				จำนวนเจาะทะลุ	%เจาะทะลุ
	2500		9200			
	ลบ	บวก	ลบ	บวก		
ชนิดอะลูมินา	0/10	0/10	0/10	6/10	6/10	60%
ชนิดธรรมดา	0/10	0/10	1/10	1/9	2/10	20%

ตารางที่ 6.6 แรงดันเฉลี่ยที่เกิดวาบไฟตามผิวและเจาะทะลุของลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนClass.56-2

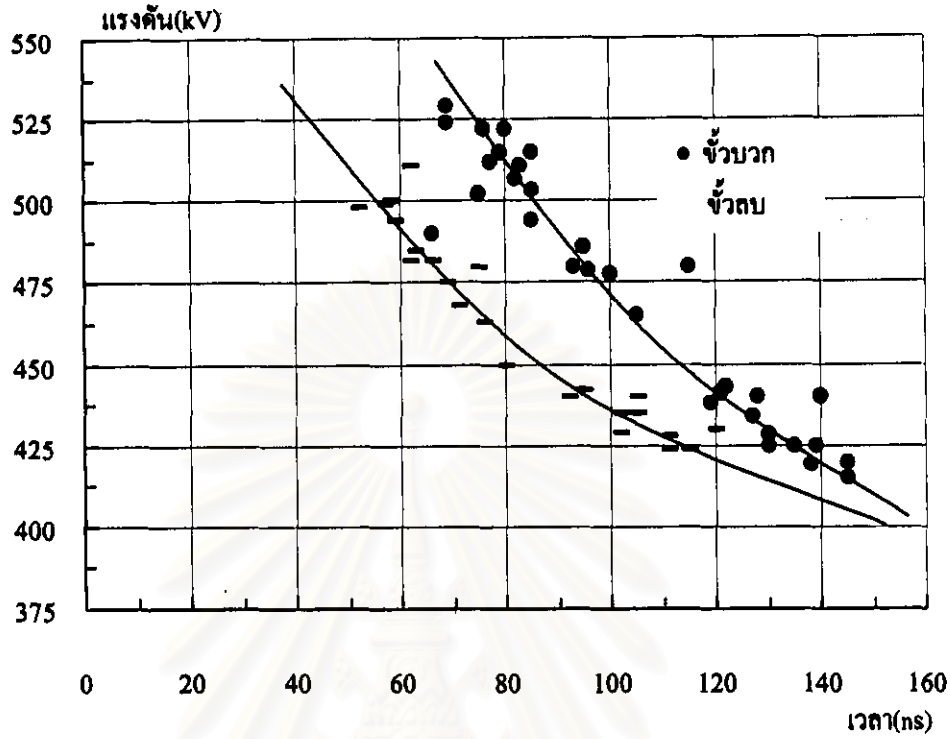
เนื้อพอร์ซเลน		ความชัน(kV/µs)			
		2500		9200	
		ลบ	บวก	ลบ	บวก
ชนิดอะลูมินา	วาบไฟตามผิว	315	328	495	506
	เจาะทะลุ	-	-	-	444
ชนิดธรรมดา	วาบไฟตามผิว	310	325	498	524
	เจาะทะลุ	-	-	485	458

จากรูปคลื่นของแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันที่บันทึกได้จากออสซิลโลสโคป สามารถนำมาเขียนกราฟลักษณะแรงดัน-เวลาเฉพาะการเกิดวาบไฟตามผิวผ่านอากาศของลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนทั้งสองเนื้อขั้วบวกและลบ ดังรูปที่ 6.13 ส่วนลักษณะแรงดัน-เวลาของการเจาะทะลุเนื้อลูกถ้วยฉนวนไม่อาจเขียนกราฟได้ เนื่องจากข้อมูลการเกิดเจาะทะลุมีจำนวนน้อยและเจาะทะลุที่ความชัน 9200 kV/μs เท่านั้น

จากตารางที่ 6.5 จะสังเกตุพบว่าลูกถ้วยฉนวนทั้งสองเนื้อพอร์ซเลนจะเกิดการเจาะทะลุที่ความชันสูงถึง 9200 kV/μs ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาของเนื้อฉนวนพอร์ซเลนมากกว่าลูกถ้วยแขวน Class. 52-1 และ 52-4 นั่นเอง โดยมีขนาดของแรงดันเจาะทะลุประมาณ 450 kV ดังตารางที่ 6.6 เนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินามีเปอร์เซ็นต์การเจาะทะลุมากกว่าชนิดธรรมดา นั่นหมายความว่าความคงทนทางไฟฟ้าของเนื้อพอร์ซเลนชนิดธรรมดามากกว่าเนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินาเมื่อทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันซึ่งผลการทดสอบเป็นไปในแนวทางเดียวกันทั้งสาม Class. คือ 52-1 , 52-4 และ 56-2



ก) เนื้อพอร์ซเลนชนิดอะลูมินา



ข) เนื้อพอร์ซเลนชนิดธรรมดา

รูปที่ 6.13 กราฟลักษณะแรงดัน-เวลาเฉพาะการเกิดวาบไฟตามผิวผ่านอากาศของลูกถ้วยฉนวน Class. 56-2

จากกราฟลักษณะแรงดัน-เวลาของรูปที่ 6.13 พบว่าขั้วบวกอยู่สูงกว่าขั้วลบทั้งสองเนื้อพอร์ซเลนทำให้ขั้วบวกมีโอกาสเกิดเจาะทะลุมากกว่าขั้วลบซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 6.5 และจะพบว่ากราฟลักษณะแรงดัน-เวลาทั้งขั้วบวกและขั้วลบของทั้งสองเนื้อพอร์ซเลนจะมีจุดตัดกันจุดหนึ่ง