บทที่ 2

ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าปอร์ชเลน

2.1 รูปลักษณะสมบัติของลูกถ้วยฉนวน

รูปลักษณะสมบัติของลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าโดยทั่วไปมีดังต่อไปนี้

- มีปีกเป็นชั้น หรือครีบใต้ปีก เพื่อเพิ่มระยะรั่ว (ระยะรั่ว (Leakage Distance) หมายถึง ผลรวมของระยะที่สั้นที่สุดที่วัดไปตามผิวฉนวนระหว่างส่วนที่นำไฟฟ้าของลูกถ้วยที่ใช้ในการทดสอบวาบไฟตามผิวแห้ง ผิวที่อาบด้วยน้ำยาเคลือบกึ่งตัวนำให้รวมเป็นส่วนหนึ่งของระยะรั่วด้วย [5]) และระยะอาร์ก (ระยะอาร์ก (Arcing Distance) หมายถึง ระยะสั้นที่สุดผ่านตัวกลางที่ล้อมรอบลูกถ้วยระหว่างอิเล็กโตรด [5,6]) และยังให้พื้นผิวที่ยังคงสภาพแห้งอยู่ได้เมื่ออยู่ในสภาวะฝนตก

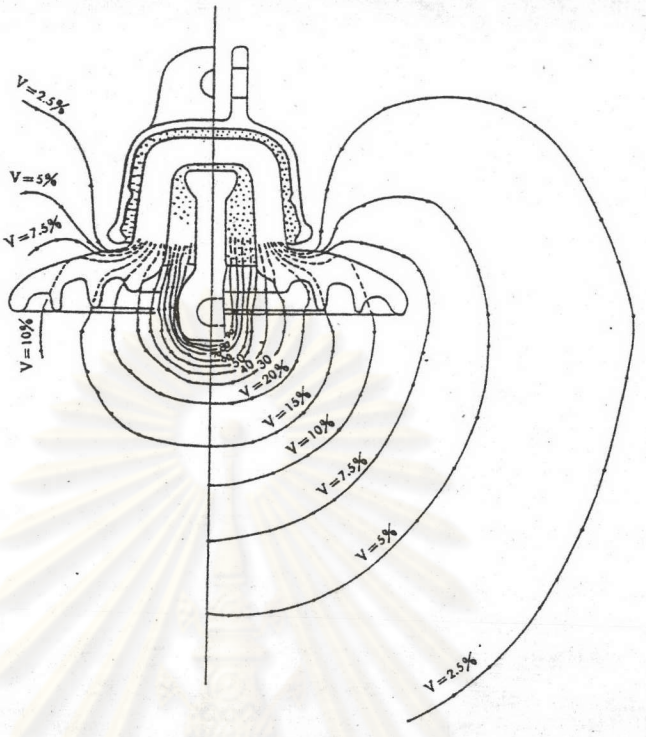
- ความกว้างของปีกชั้นลูกถ้วยฉนวน และความหนาของเนื้อลูกถ้วยฉนวน (ระหว่างอิเล็กโตรดด้านบน และด้านล่าง) ต้องมีความสัมพันธ์กันในด้านความคงทนต่อแรงดันเกิน คือ ความคงทนต่อแรงดันเกินที่ทำให้เกิดวาบไฟตามผิว (การเกิดวาบไฟตามผิว (Flashover) หมายถึง การเกิดดีสชาร์จบนผิวฉนวนแข็งที่ล้อมรอบด้วยฉนวนก๊าซ จะทำให้เสียสภาพการฉนวนไปชั่วครู่แล้วกลับคืนสู่สภาพเดิม) จะต้องน้อยกว่าความคงทนต่อแรงดันเจาะผ่าน [7] (แรงดันเจาะผ่าน (Puncture Voltage) หมายถึง ค่ารูตมีนสแควร์ของแรงดันไฟฟ้าซึ่งในภาวะที่กำหนดจะเกิดการปล่อยประจุทำลายทะลุผ่านลูกถ้วย ทำให้เสียสภาพการฉนวนอย่างถาวร [5,6])

- ผิวของลูกถ้วยฉนวนโค้งไปตามเส้นศักย์เท่า (Equipotential Lines) เพื่อทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าตามผิวลูกถ้วยฉนวนมีค่าน้อยที่สุด [7] ดังรูปที่ 2.1 [8]

- ผิวของลูกถ้วยฉนวนต้องเคลือบเพื่อทำให้ผิวมัน สิ่งสกปรก และฝุ่นละอองเกาะผิวได้ยาก และเมื่อฝนตกก็จะถูกชะล้างออกได้ง่าย ทำให้สามารถทนต่อแรงดันเกินได้สูงขึ้น สารที่ใช้เคลือบผิวลูกถ้วยฉนวนต้องมีสัมประสิทธิ์การขยายตัว (Coefficient of Expansion) เท่ากับเนื้อปอร์ชเลน

- เนื้อวัสดุต้องไม่ดูดซึมความชื้น ทำให้มีความคงทนต่อแรงดันเกินได้สูง มิฉะนั้นจะ

เกิดการเจาะทะลุได้ เมื่อป้อนแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน และมีความคงทนต่อแรงกลได้สูง



รูปที่ 2.1 เส้นศักย์ไฟฟ้าเท่าของลูกถ้วยแขวน

จากรูปที่ 2.1 แสดงถึงเส้นศักย์ไฟฟ้าเท่าของลูกถ้วยแขวน จะเห็นได้ว่าการที่ผิวของลูกถ้วยแขวนโค้งไปตามเส้นศักย์ไฟฟ้าเท่า เพื่อให้ความเครียดสนามไฟฟ้าตามผิวลูกถ้วยแขวนมีค่าน้อยที่สุด ทำให้ลูกถ้วยฉนวนคงทนต่อแรงดันเกินที่ทำให้เกิดวาบไปตามผิวได้สูงขึ้น

2.1.1 <u>ลูกถ้วยแขวน</u>

ลูกถ้วยแขวนเป็นลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าแรงสูง สามารถห้อยแขวนต่อกันเป็นพวงได้ ส่วนบนของลูกถ้วยแขวนจะมีฝาครอบโลหะ มีรู หรือช่องที่จะไปห้อยเกี่ยวกับก้านที่อยู่ด้านล่างของลูกถ้วยแขวนลูกบนได้ ในกรณีที่จะยึดสายไฟฟ้าที่มีแรงดันสูงขึ้น จำนวนลูกถ้วยแขวนในพวงก็จะมีมากขึ้น เพื่อให้สามารถทนแรงดันได้สูงขึ้น ดังนั้นลูกถ้วยจึงรับแรงดึง เนื่องจากน้ำหนักของสายไฟที่อยู่ด้านล่าง และน้ำหนักของพวงลูกถ้วยที่อยู่ด้านล่าง ลูกถ้วยแขวนมีข้อได้เปรียบลูกถ้วยฉนวนแบบอื่นหลายประการ เช่น

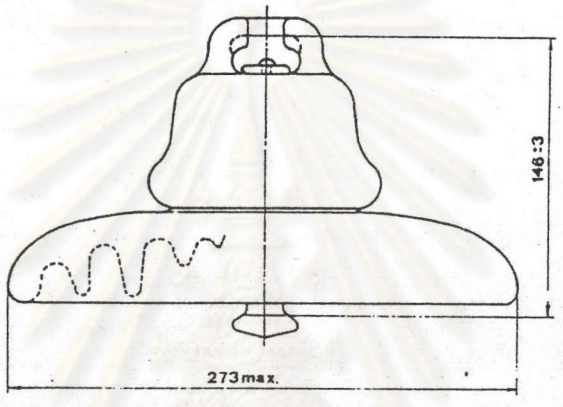
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1). ลูกถ้วยแต่ละลูกได้รับการออกแบบให้ทนแรงดันไม่มาก แต่สามารถใช้กับระบบแรงสูงได้ โดยการต่อลูกถ้วยเพิ่มเป็นพวงตามระดับแรงดันที่ต้องการ

2). ในกรณีเกิดการแตก หรือเสียหายเราสามารถเปลี่ยนแต่เพียงลูกที่เสียหายลูกเดียว แทนที่จะเปลี่ยนทั้งพวง

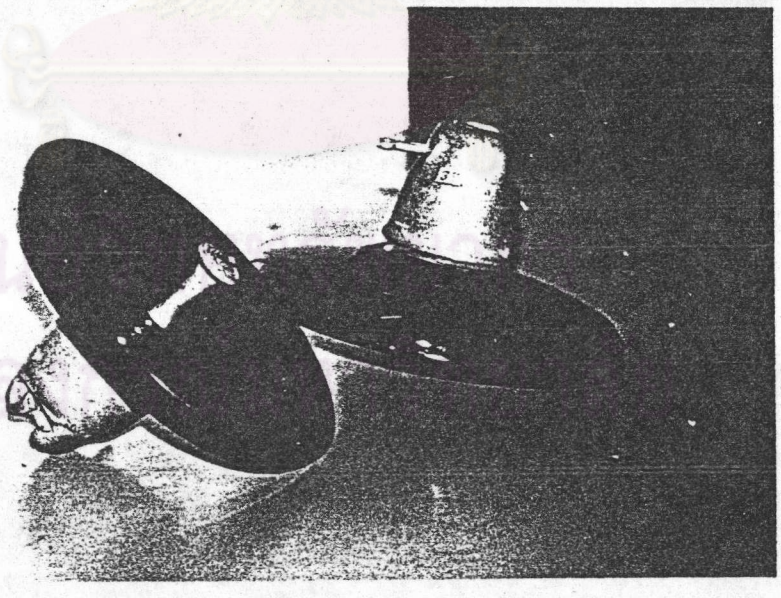
3). มีความเครียดทางกลในขณะที่เกิดการแกว่ง เนื่องจากลมพัดน้อยกว่าลูกถ้วยก้านตรง และลูกถ้วยก้านตรงคอคัน เพราะพวงลูกถ้วยสามารถโค้งงอให้ตัวได้ เนื่องจากการนำลูกถ้วยแต่ละลูกมาต่อกัน

ลูกถ้วยแขวนมีลักษณะรูปร่าง และมิติ ดังรูปที่ 2.2 a) และ b)



a)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร



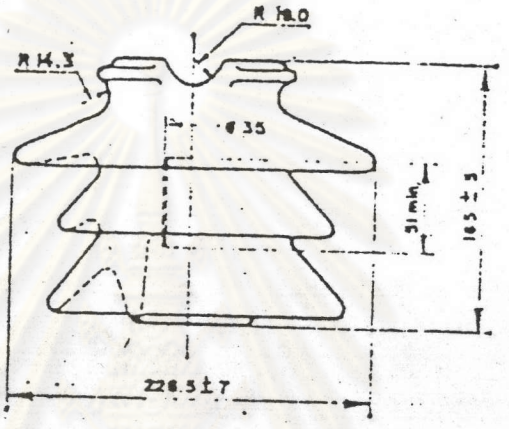
b)

รูปที่ 2.2 a) รูปร่าง และมิติของลูกถ้วยแขวน แบบ 52-3

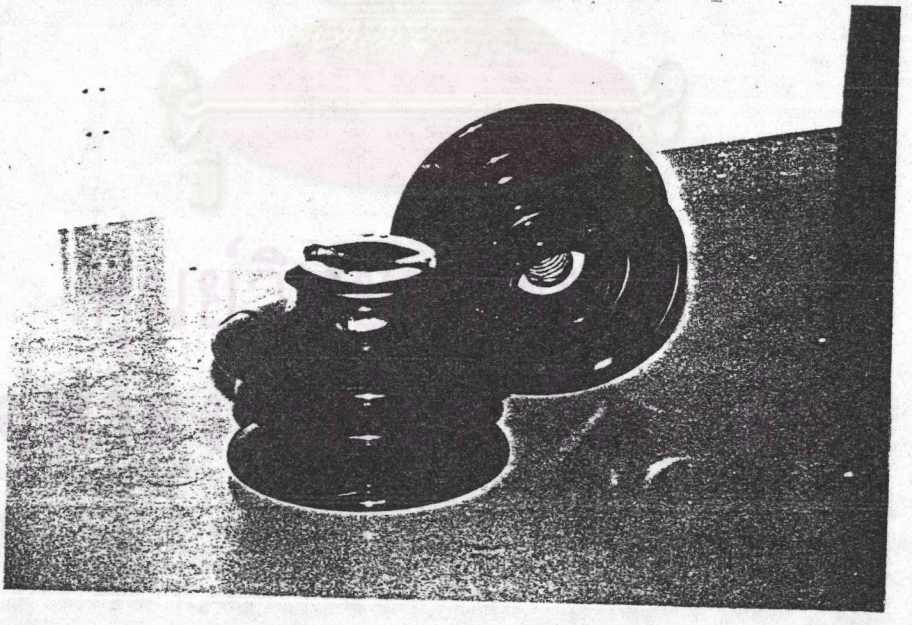
b) ตัวอย่างลูกถ้วยแขวนที่ใช้ในการศึกษา

2.1.2 ลูกถ้วยก้านตรง

ลักษณะทั่วไปของลูกถ้วยก้านตรงเป็นลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าที่ใช้ยึดสายไฟฟ้าแรงสูงแบบตริงอยู่กับที่โดยพาดสายไฟฟ้าให้อยู่ในร่องพาดสายที่อยู่ส่วนบนของลูกถ้วยก้านตรง ตัวลูกถ้วยก้านตรงจะประกอบด้วยปีกหลายชั้น ด้านล่างมีรูใส่ก้านโลหะยึดเป็นเกลียว ดังนั้นลูกถ้วยจึงรับแรงกดเนื่องจากน้ำหนักของสายไฟ และรับโมเมนต์ดัด เนื่องจากการแกว่งของสายไฟในขณะที่มีลมพัด ซึ่งมีลักษณะรูปร่าง และมิติดัง รูปที่ 2.3 a) และ b)



a)



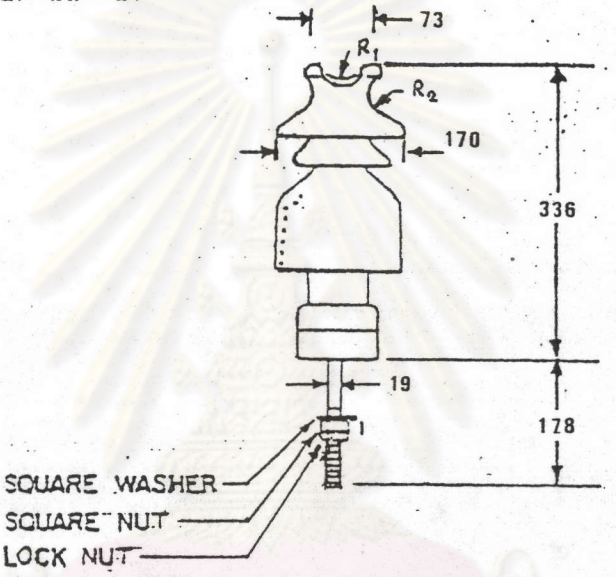
b)

รูปที่ 2.3 a) รูปร่าง และมิติของลูกถ้วยก้านตรง แบบ 56-2

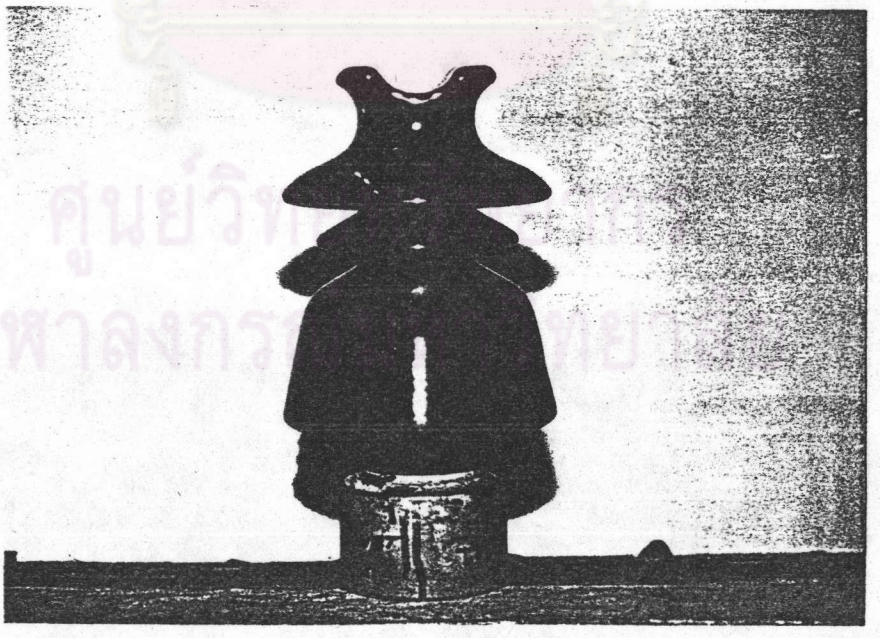
b) ตัวอย่างลูกถ้วยก้านตรงที่ใช้ในการศึกษา

2.1.3 ลูกถ้วยก้านตรงคอตัน

ลักษณะทั่วไปของลูกถ้วยก้านตรงคอตันมีลักษณะการติดตั้งใช้งานคล้ายกับลูกถ้วยก้านตรง แต่ลูกถ้วยก้านตรงคอตันมักใช้ในบริเวณที่มีฝุ่นละออง หรือสิ่งเปรอะเปื้อนมาก เนื่องจากลูกถ้วยประเภทนี้มีระยะรั่วมากกว่าลูกถ้วยก้านตรงธรรมดา และมีพื้นที่ผิวที่ชะล้างสิ่งสกปรกโดยน้ำฝนหรือใช้น้ำฉีดได้ง่าย จากลักษณะการติดตั้งใช้งานดังนั้นลูกถ้วยจึงรับแรงกด เนื่องจากน้ำหนักของสายไฟ และรับโมเมนต์ดัด เนื่องจากการแกว่งของสายไฟในขณะที่มีลมพัด ซึ่งมีลักษณะรูปร่างและมิติดังรูปที่ 2.4 a) และ b)



a)



b)

รูปที่ 2.4 a) รูปร่าง และมิติของลูกถ้วยก้านตรงคอตัน แบบ NGK Cat. No. DA-69001
b) ตัวอย่างลูกถ้วยก้านตรงที่ใช้ในการศึกษา

2.2 ส่วนผสมของเนื้อปอร์ชเลน

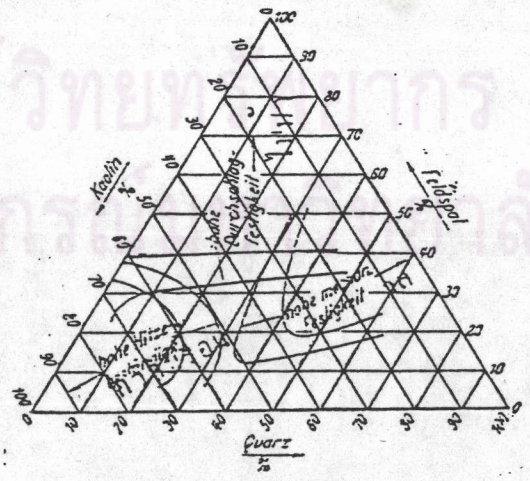
ปอร์ชเลนจัดเป็นเซรามิกชั้นสูง ที่ไม่ดูดซึมความชื้นมีเนื้อสีขาว และโปร่งแสงเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี คงทนต่อแรงกล และความร้อนได้สูง ทั้งยังเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีอีกด้วย

ปอร์ชเลนที่ดีควรมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น (Coefficient of Linear Expansion) ประมาณ 0.03×10^{-4} /°C มีความคงทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) อยู่ระหว่าง 7,000-9,000 lb/in^2 และมีความคงทนต่อแรงกด (Compressive Strength) ถึง 100,000 lb/in^2 [1]

ปอร์ชเลนที่ทำเป็นลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าจะประกอบไปด้วยส่วนผสมของดินเหนียว เกาลิน ดินขาว (China Stone) บอลเคลย์ (Ball Clay) พลาสติกเคลย์ (Plastic Clay) หินฟันม้า (Feldspar) และหินแก้ว (Quartz) หรืออะลูมินา [5,6,9,10] คุณสมบัติของปอร์ชเลนที่สำคัญทั้งสาม คือ

- ทนความร้อน
- ทนแรงกล
- ทนแรงดันไฟฟ้า

คุณสมบัติที่สำคัญทั้งสามขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมขององค์ประกอบ 3 อย่าง คือ ดินขาว หินฟันม้า และหินแก้ว ดังไดอาแกรมในรูปที่ 2.5 [9]



รูปที่ 2.5 ไดอาแกรมแสดงคุณสมบัติของปอร์ชเลน ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของ ดินขาว หินฟันม้า และหินแก้ว

ในทางภาคปฏิบัติลูกถ้วยฉนวนปอร์ชเลนจะประกอบไปด้วย [9]

- ดินเหนียว ประมาณ 20-30 %
- ดินขาว ประมาณ 15-25 %
- หินฟันม้า ประมาณ 35 %
- หินแก้ว ประมาณ 20%

ในกรณีที่ต้องการให้ปอร์ชเลนแข็งแรงทนแรงกลได้มากขึ้นอาจใช้อะลูมินา ผสมแทนหินแก้ว

ลูกถ้วยฉนวนปอร์ชเลนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีเนื้อวัสดุชนิดต่าง ๆ เป็นส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 2.1 เนื่องจากลูกถ้วยแต่ละแบบรับแรงทางกลต่างชนิดกัน

ตารางที่ 2.1 เนื้อวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของลูกถ้วยก้านตรง ลูกถ้วยก้านตรงคอตัน และลูกถ้วยแขวน (ที่มา : ข้อมูลจาก บริษัท อาเซี่ยน อินซูเลเตอร์ จำกัด)

เนื้อวัสดุ	แบบลูกถ้วยฉนวน		
	ลูกถ้วยก้านตรง	ลูกถ้วยก้านตรงคอตัน	ลูกถ้วยแขวน
บอลเคลย์	7 %	10 %	10 %
พลาสติกเคลย์	36 %	30 %	30 %
เกาลิน	7 %	10 %	10 %
ควอร์ตซ์	20 %	5 %	5 %
หินฟันม้า	30 %	30 %	30 %
อะลูมินา	–	15 %	15 %

2.3 ระยะอาร์กแห้ง (Dry-Arcing Distance)

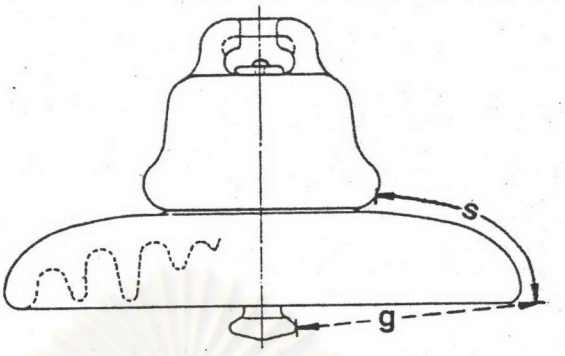
ระยะอาร์กแห้ง หมายถึง ระยะสั้นที่สุดผ่านตัวกลางที่ล้อมรอบลูกถ้วยระหว่างอิเล็กโตรด ในการทดสอบการวาบไฟตามผิวแห้ง [5] ระยะอาร์กแห้งของลูกถ้วยฉนวนแต่ละชนิดจะมีเปอร์เซนต์ของระยะในอากาศ และระยะตามผิวที่แตกต่างกันตามรูปลักษณะและการใช้งานของลูกถ้วยฉนวน โดยที่

ระยะอาร์กแห้ง (D) = ระยะส่วนที่เป็นอากาศ (g) + ระยะส่วนที่เป็นผิว (s)

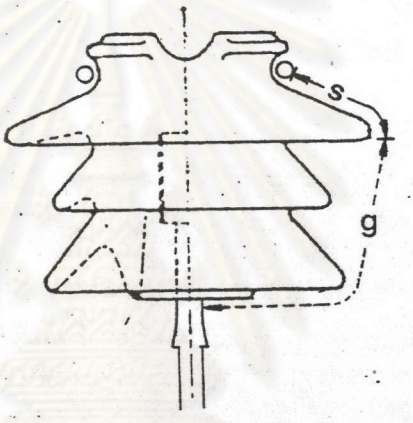
ลูกถ้วยฉนวนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีลักษณะระยะอาร์กแห้ง ระยะส่วนที่เป็นอากาศ และระยะส่วนที่เป็นผิวฉนวนที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 a) b) c) d) และ e) และค่าของระยะอาร์กแห้ง ระยะส่วนที่เป็นอากาศ และระยะส่วนที่เป็นผิวของลูกถ้วยฉนวนทั้ง 5 แบบ แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระยะอาร์กแห้ง ระยะส่วนที่เป็นอากาศ และระยะส่วนที่เป็นผิวฉนวนของลูกถ้วยฉนวน

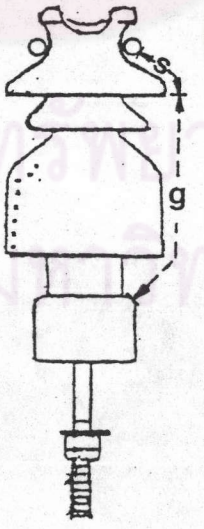
ลูกถ้วยฉนวน	ระยะอาร์กแห้ง (cm.)	ระยะส่วนที่เป็นอากาศ (cm.)	ระยะส่วนที่เป็นผิวฉนวน (cm.)
ลูกถ้วยแขวน	21.49	10.56	10.93
ลูกถ้วยก้านตรง	24.66	17.19	7.47
ลูกถ้วยก้านตรงคอตัน	26.23	19.77	6.46
ช่องแกปอิเล็กโตรด หัวครอบ-ก้านตรง	21.49	21.49	-
ลูกถ้วยแท่งผิวเรียบ	26.23	-	26.23



a)

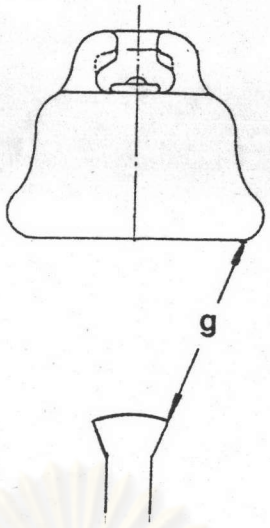


b)

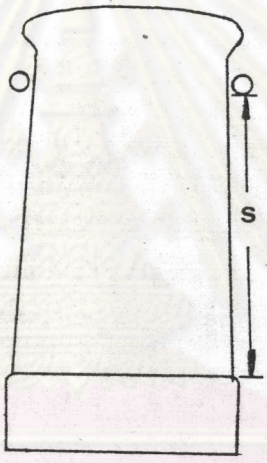


c)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



d)



e)

รูปที่ 2.6 ระยะอาร์กแห้งของลูกถ้วยฉนวน

2.4 ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า

อิเลคโตรดที่ลูกถ้วยฉนวนทำหน้าที่ยึด หรือรองรับน้ำหนัก มีลักษณะเป็นแบบอิเล็กโตรดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ เมื่อลูกถ้วยฉนวนได้รับแรงดันเกินที่สูงพอ เนื่องจากสาเหตุดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงทำให้เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน ดังนั้นการเกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน จึงเป็นปรากฏการณ์ของการเกิดเบรกดาวน์ของก๊าซในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีสตรีมเมอร์ แรงดันที่ทำให้เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนมีหลายรูปแบบ ซึ่งก็ให้ผลที่แตกต่างกัน ดังจะได้กล่าวในบทต่อไป