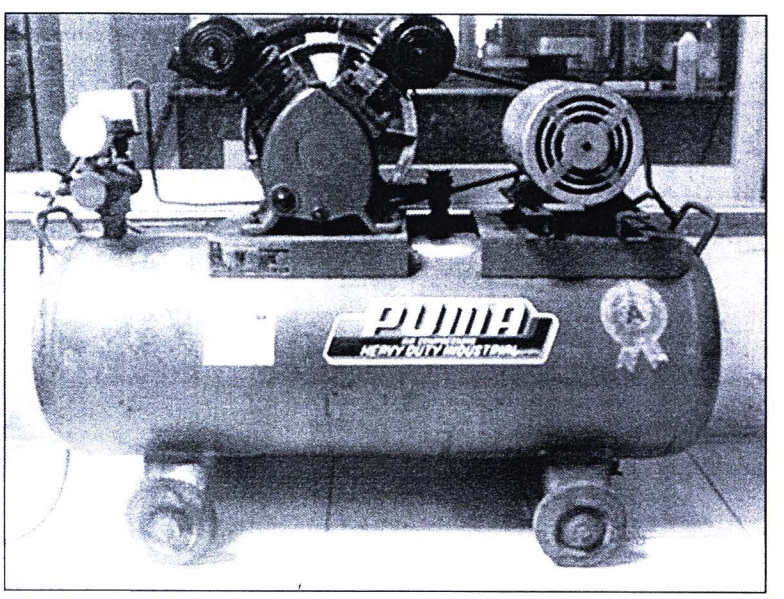
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

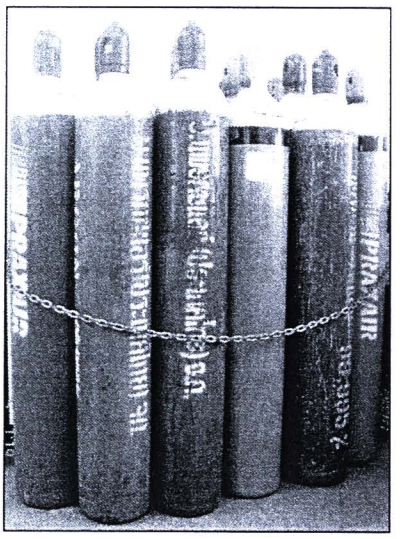
การหาข้อมูลแรงดันเบรกดาวน์ของก๊าซเพื่อหาค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าจะทดลองโดยใช้อิเล็กโตรดแบบปลายแหลม-ระนาบ ทรงกลม-ระนาบ และระนาบ-ระนาบ โดยป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ความถี่ 50 Hz ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่มีแฟกเตอร์ต่างๆ อันได้แก่ ระยะแกป ความดันก๊าซ ลักษณะของอิเล็กโตรด ชนิดของก๊าซ และสัดส่วนของก๊าซ SF_6 ในก๊าซผสม SF_6–N_2 เพื่อทำการศึกษาผลกระทบของแฟกเตอร์ที่มีผลต่อคุณลักษณะแรงดันเบรกดาวน์ของฉนวนก๊าซ นอกจากนี้ก็จะกล่าวถึงขั้นตอนการทดลอง ซึ่งประกอบด้วยการเตรียมชุดทดสอบ การบรรจุและควบคุมความดันก๊าซในชุดทดสอบ การปรับระยะแกป การป้อนแรงดัน และการเก็บข้อมูลการทดลอง

3.1 ฉนวนก๊าซที่ใช้ในการทดสอบ

ก๊าซที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วย ก๊าซฮีเลียม ก๊าซอาร์กอน ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซ 3 ชนิดเป็นเกรด HP (High- Purity grade) 99.995% ก๊าซออกซิเจน 99.7% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 97% ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซาฟลูออไรด์ 99.99% และอากาศ ซึ่งอากาศที่ใช้ในการทดสอบนำมาจากปั๊มลมดังแสดงในรูปที่ 3.1 และก๊าซนำมาจากท่อก๊าซดังแสดงในรูปที่ 3.2



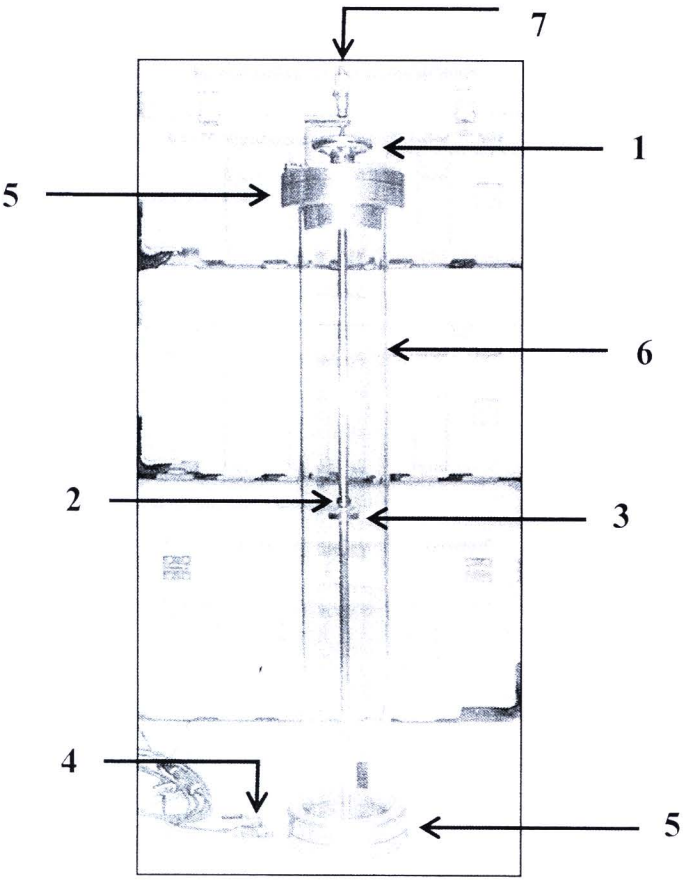
รูปที่ 3.1 ปั๊มลมสำหรับใช้อัดอากาศ



รูปที่ 3.2 ท่อก๊าซสำหรับนำก๊าซมาทดสอบ

3.2 ชุดทดสอบ

ชุดทดสอบที่ใช้ในการทดสอบการหาค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนก๊าซ ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นโดยมีมาตรฐาน ASTM D 2477–96 [28] เป็นต้นแบบซึ่งชุดทดสอบ (Chamber) ที่สร้างขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.3 ประกอบไปด้วย



รูปที่ 3.3 ชุดทดสอบ (Chamber)

1) ตัวปรับระยะแกป ปรับระยะแกปด้วยเกลียวสามารถปรับระยะแกปได้ 0-25 ม.ม.

2) อิเล็กโตรดแรงสูง ทำมาจากวัสดุสแตนเลสประกอบไปด้วยอิเล็กโตรดแบบทรงกลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 19 ม.ม. แบบปลายแหลมมีมุม 60 องศา และแบบระนาบมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 38 ม.ม. ดังแสดงในรูปที่ 3.4

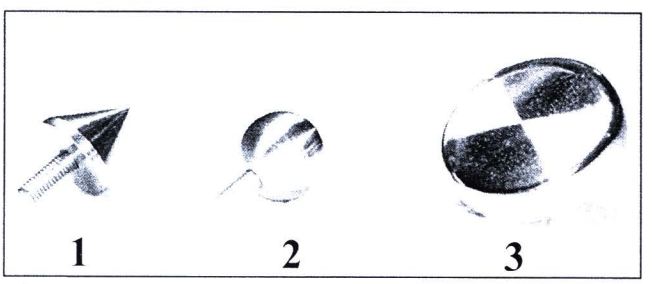
3) อิเล็กโตรดกราวด์ ทำมาจากวัสดุสแตนเลสเป็นแบบระนาบมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 38 ม.ม. ดังแสดงในรูปที่ 3.4

4) วาล์วปิด – เปิด สำหรับดูดและอัดอากาศ

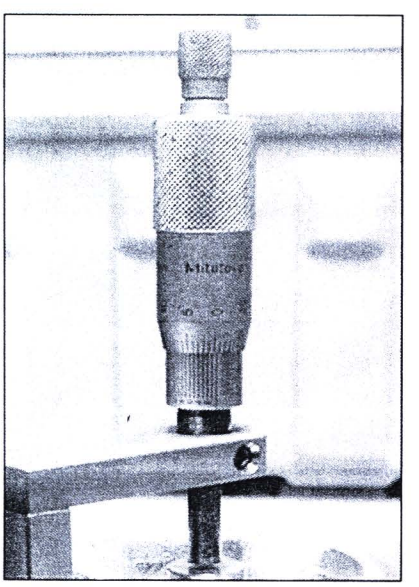
5) ฝาครอบท่ออะคริลิค ทำมาจากอลูมิเนียมปิดครอบด้านบนและด้านล่างโดยมีโอริงกันรั่ว

6) ท่ออะคริลิคใส ขนาดยาว 1 ม. หนา 5 ม.ม. เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 11 ม.ม. สามารถอัดอากาศได้ประมาณ 3 บาร์

7) ไมโครมิเตอร์ ยี่ห้อมิตูโตโย มีความละเอียด 0.001 ม.ม. สำหรับกำหนดระยะแกปดังแสดงในรูปที่ 3.5



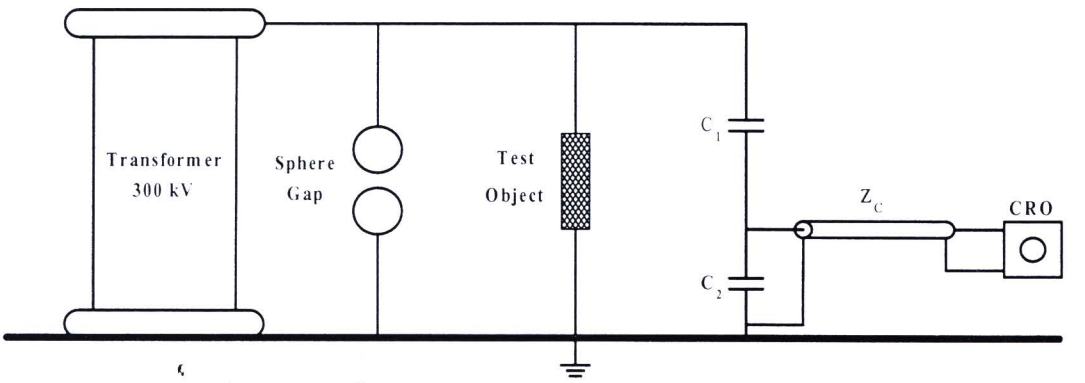
รูปที่ 3.4 อิเล็กโตรด 1. ปลายแหลม 2. ทรงกลม และ 3. ระนาบ



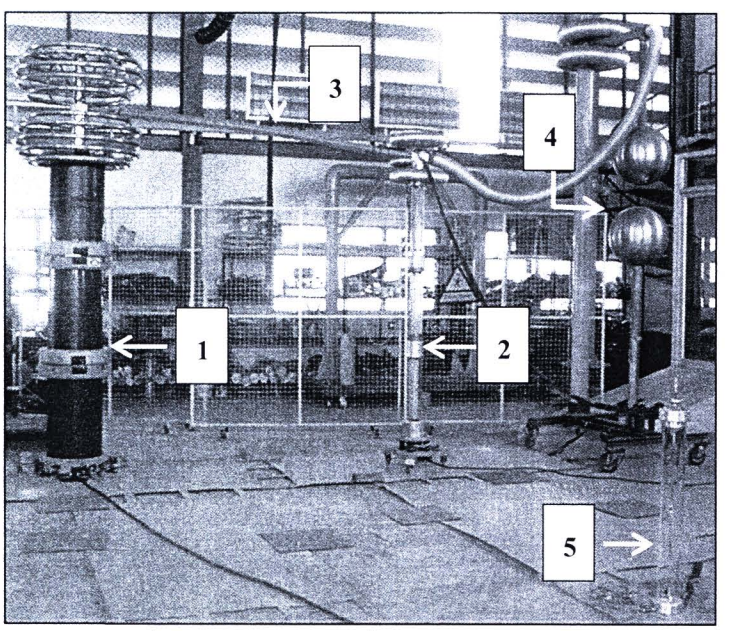
รูปที่ 3.5 ไมโครมิเตอร์

3.3 วงจรที่ใช้ในการทดสอบ

วงจรที่ใช้ในการทดสอบค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนก๊าซ ภายใต้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 Hz ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และ 3.7 ประกอบไปด้วย



รูปที่ 3.6 วงจรสมมูลที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.7 ภาพถ่ายวงจรที่ใช้ในการทดสอบจริง

1) หม้อแปลงแรงดัน 300 kVrms
2) โวลเตจดิไวเดอร์ อัตราส่วนแรงดัน 1 : 9600
3) ความต้านทานน้ำ
4) แกปป้องกัน
5) ชุดทดสอบ (Chamber)

3.4 เงื่อนไขในการทดสอบ

เนื่องจากในการทดลองเพื่อศึกษาค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าทำการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนชนิดของก๊าซ สัดส่วนของก๊าซ SF_6 ในก๊าซผสม SF_6-N_2 ความดันก๊าซ ระยะแกป และลักษณะของอิเล็กโตรด ภายใต้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีแฟกเตอร์หลายตัว ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์จึงกำหนดเงื่อนไขให้แฟกเตอร์หนึ่งคงที่ แล้วตัวที่เหลือเปลี่ยนไปคือ จะกำหนดให้อิเล็กโตรดคงที่แล้วเปลี่ยนชนิดของก๊าซ He, Ar, Air, CO_2, O_2, N_2, SF_6 ที่ความดัน 1, 2 และ 3 บาร์และสัดส่วนของก๊าซ SF_6 จาก 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ที่ความดัน 3 บาร์ ในก๊าซผสม SF_6-N_2 ระยะแกป 5, 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ตามตารางที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3.1 ชนิดของก๊าซ ค่าความดัน ระยะแกป และอิเล็กโตรดต่างๆที่ใช้ในการทดสอบ

ก๊าซ	อิเล็กโตรด(คงที่)	ความดัน(บาร์)	ระยะแกป(ม.ม.)
He, Ar, CO_2, O_2, N_2, SF_6 และ Air	แบบปลายแหลม-ระนาบ	3	5, 10 ,15 และ 20
		2	5 ,10 ,15 และ 20
		1	5, 10, 15 และ 20
He, Ar, CO_2, O_2, N_2, SF_6 และ Air	แบบทรงกลม-ระนาบ	3	5, 10, 15 และ 20
		2	5, 10, 15 และ 20
		1	5, 10, 15 และ 20
He, Ar, CO_2, O_2, N_2, SF_6 และ Air	แบบระนาบ-ระนาบ	3	5, 10, 15 และ 20
		2	5, 10, 15 และ 20
		1	5, 10, 15 และ 20

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนของก๊าซ SF_6 และ N_2ในก๊าซผสม SF_6-N_2 ที่ความดัน 3 บาร์ ระยะแกปและอิเล็กโตรดต่างๆที่ใช้ในการทดสอบ

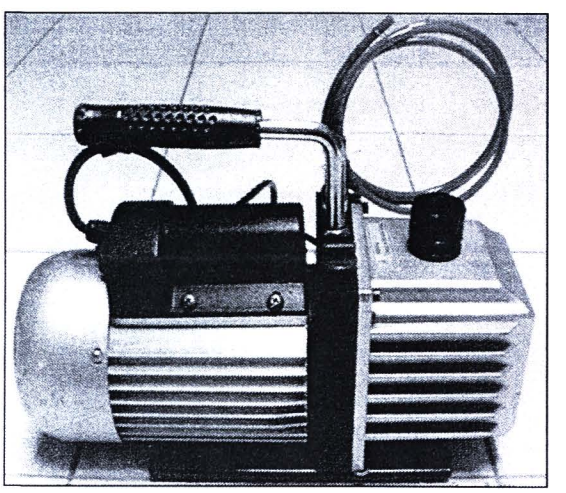
สัดส่วนก๊าซผสม	อิเล็กโตรด(คงที่)	ความดัน(บาร์)	ระยะแกป(ม.ม.)
SF_6 75% - N_2 25%	แบบปลายแหลม-ระนาบ	3	5, 10 ,15 และ 20
SF_6 50% - N_2 50%		3	5 ,10 ,15 และ 20
SF_6 25% - N_2 75%		3	5, 10, 15 และ 20
SF_6 75% - N_2 25%	แบบทรงกลม-ระนาบ	3	5, 10, 15 และ 20
SF_6 50% - N_2 50%		3	5, 10, 15 และ 20
SF_6 25% - N_2 75%		3	5, 10, 15 และ 20
SF_6 75% - N_2 25%	แบบระนาบ-ระนาบ	3	5, 10, 15 และ 20
SF_6 50% - N_2 50%		3	5, 10, 15 และ 20
SF_6 25% - N_2 75%		3	5, 10, 15 และ 20

3.5 ขั้นตอนในการทดสอบ [28][29]

3.5.1 การเตรียมชุดทดสอบ

เนื่องจากการเบรกดาวน์แต่ละครั้งทำความเสียหายให้แก่ชุดอิเล็กโตรด ซึ่งความเรียบของอิเล็กโตรดมีผลต่อสนามไฟฟ้า อาจจะทำให้ข้อมูลมีความผิดเพี้ยนไป ดังนั้นในการทดลองจึงทำการขัดอิเล็กโตรดใหม่ทุกครั้ง เมื่อเปลี่ยนเงื่อนไขการทดลอง โดยจะขัดอิเล็กโตรดด้วยกระดาษทรายที่มีความละเอียดสูงเบอร์ 1500 ขัดผิวหลังเสร็จสิ้นหนึ่งเงื่อนไขการทดลอง จากนั้นก่อนที่จะประกอบชุดทดสอบจะทำความสะอาดอุปกรณ์ต่างๆในชุดทดสอบซึ่งประกอบด้วย แท่งตัวนำ อิเล็กโตรดแรงสูง อิเล็กโตรดกราวนด์ ฝาปิดอลูมิเนียม และผิวภายในท่ออะคริลิคด้วยสบู่เหลวแล้วล้างให้สะอาดหลังจากนั้นเช็ดด้วยแอลกอฮอล์เพื่อกำจัดฝุ่นและขจัดคราบน้ำซึ่งจะมีผลต่อสนามไฟฟ้าภายในชุดทดสอบ แล้วจึงทำการประกอบชุดทดสอบ

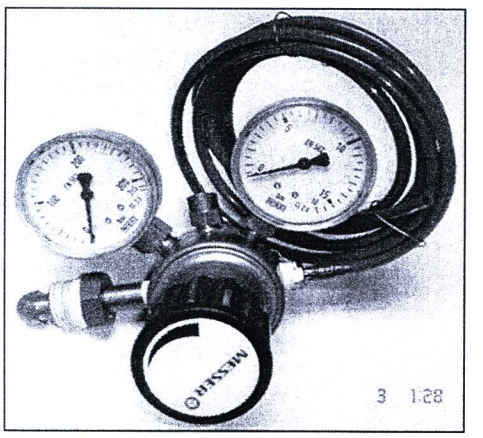
หลังจากประกอบชุดทดสอบแล้ว ก่อนจะทำการบรรจุก๊าซเพื่อทำการทดสอบทุกครั้งจะต้องตรวจสอบชุดทดสอบว่าฝาอลูมิเนียมปิดสนิทดีหรือไม่เพื่อป้องกันการรั่วไหลของก๊าซ โดยการอัดอากาศเข้าไปในชุดทดสอบประมาณ 2 บาร์ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมงแล้วทำการตรวจสอบความดัน ถ้าหากความดันไม่เปลี่ยนแปลงจึงทำการดูดอากาศภายในชุดทดสอบให้เหลือความดันประมาณ 70 torr ด้วยปั๊มสุญญากาศดังแสดงในรูปที่ 3.8 เพื่อดูดอากาศ และฝุ่นผงที่อาจจะอยู่ภายในชุดทดสอบออกจากชุดทดสอบ หลังจากนั้นทำการอัดก๊าซที่จะทำการทดสอบเข้าไปในชุดทดสอบที่ความดัน 1 บาร์จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 20 ถึง 30 นาทีแล้วจึงดูดก๊าซภายในชุดทดสอบซ้ำอีกครั้งให้เหลือความดันประมาณ 70 torr เพื่อกำจัดก๊าซอื่นที่ไม่ใช่ก๊าซที่ใช้ในการทดสอบหรือถ้ามีก็มีปริมาณน้อยที่สุด จากนั้นจึงทำการบรรจุก๊าซที่ต้องการทดสอบเข้าสู่ชุดทดสอบที่ความดัน 3 บาร์ รอให้ความดันคงที่แล้วจึงทำการทดสอบ



รูปที่ 3.8 ปั๊มสุญญากาศ

3.5.2 การบรรจุและควบคุมความดันก๊าซในชุดทดสอบ

การบรรจุก๊าซให้ได้ความดันที่ต้องการนั้นขั้นแรกจะทำการบรรจุผ่านตัวเร็กกูเลเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ที่ต่อมาจากท่อก๊าซเพื่อลดทอนความดัน ต่อจากนั้นจะต่อสายมายังชุดทดสอบผ่านเกจวัดความดันก๊าซชนิดแสดงผลแบบดิจิตอลยี่ห้อซัน-เอ็กซ์ ที่มีความละเอียด 0.01 บาร์ ความถูกต้อง (0.2% of FS) ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยต่อเข้าที่วาล์ว ปิด-เปิดที่อยู่ด้านล่างของชุดทดสอบเพื่อเพิ่มความละเอียดของค่าความดันในการบรรจุก๊าซแทนเกจวัดความดันทั่วไป ในส่วนของก๊าซผสมจะบรรจุก๊าซทีละชนิดโดยบรรจุก๊าซ N_2 แล้วจึงบรรจุก๊าซ SF_6 โดยการกำหนดสัดส่วนของก๊าซผสมจะใช้กฎความดันย่อย ของดอลตัน (The Dalton's Partial Pressure Law) คำนวณว่าต้องบรรจุก๊าซแต่ละตัวที่ความดันเท่าไหร่ กล่าวคือในขั้นตอนของการบรรจุก๊าซผสมจะบรรจุก๊าซชนิดแรกตามสัดส่วนความดันของก๊าซผสมให้ได้ความดันย่อยที่ต้องการก่อน จากนั้นค่อยบรรจุก๊าซอีกชนิดที่เหลือจนได้ความดันรวมที่ต้องการ จากนั้นปล่อยทิ้งไว้อย่างน้อยประมาณ 2 ชั่วโมงก่อนที่จะทำการป้อนแรงดันเพื่อทำการทดสอบ [30][31]



รูปที่ 3.9 เร็กกูเลเตอร์

รูปที่ 3.10 เกจวัดความดันแบบดิจิตอล

3.5.3 การปรับระยะแกป

การปรับระยะแกประหว่างอิเล็กโตรดแรงสูงและอิเล็กโตรดกราวด์ ทำโดยการหมุนแท่งตัวนำแรงสูงผ่านเกลียวที่ตัวปรับระยะแกปเพื่อตั้งระยะศูนย์ โดยใช้โอห์มมิเตอร์วัดความต้านทานที่ปลายแท่งตัวนำแรงสูงกับฝาครอบอลูมิเนียมด้านกราวด์ ถ้าวัดความต้านทานเป็นศูนย์ แสดงว่าอิเล็กโตรดแรงสูงสัมผัสกับอิเล็กโตรดกราวด์พอดี (ระยะแกปนี้เป็นศูนย์) จากนั้นติดตั้งตัวไมโครมิเตอร์บนปลายแท่งตัวนำแรงสูงซึ่งตัวไมโครมิเตอร์มีหน้าที่เป็นตัวกำหนดระยะแกปที่ทำการทดสอบ จากนั้นหมุนแท่งตัวนำแรงสูงให้สัมผัสกับตัวไมโครมิเตอร์ (ยี่ห้อมิตูโตโย มีความละเอียด 0.001 ม.ม.)

3.5.4 การป้อนแรงดันและการเก็บข้อมูล

หลังจากทำตามขั้นตอนการทดลองตั้งแต่ข้อ 3.5.1 ถึง 3.5.3 แล้ว นำชุดทดสอบมาต่อเข้ากับวงจรทดสอบตามรูปที่ 3.7 แล้วทำการทดสอบด้วยวิธีการจ่ายแรงดันแบบต่อเนื่อง (Successive Discharge-Method) โดยค่อยๆทำการจ่ายแรงดันจนเกิดการเบรกดาวน์ที่แกปทดสอบ จากนั้นบันทึกผลค่าแรงดันเบรกดาวน์จำนวน 10 ค่า [20][23] และรอเวลาประมาณ 3 นาที [32] ในแต่ละครั้งที่ป้อนแรงดันแล้วเกิดเบรกดาวน์ ก่อนที่จะป้อนแรงดันครั้งต่อไป เพื่อรอให้ฉนวนก๊าซภายในชุดทดสอบคืนตัวก่อน เพื่อความเป็นอิสระต่อกันของข้อมูลเวลาเบรกดาวน์