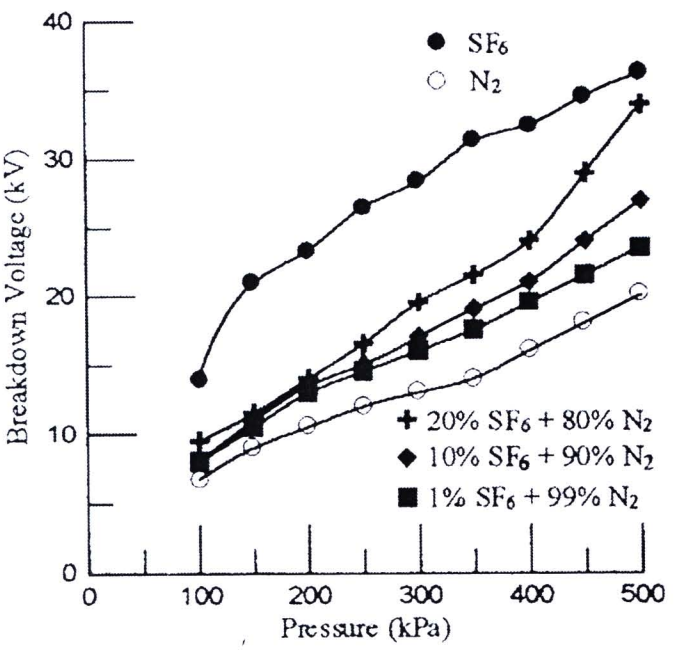
บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและปัญหาของงานวิจัย

ฉนวนประเภทก๊าซ มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันโดยใช้เป็นฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ใช้เป็นฉนวนหลัก ฉนวนแทรกซึม และระบายความร้อน เช่นในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าก็ใช้อากาศคั่นระหว่างสายตัวนำ โดยที่อากาศเป็นฉนวนที่ดีและไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย ใช้เป็นฉนวนภายในที่อัดความดันเพื่อให้มีค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าได้สูงขึ้น เช่น หม้อแปลง สายเคเบิลแรงสูงใต้ดิน หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็ยังนิยมใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวนเนื่องจากก๊าซ SF_6 มีคุณสมบัติที่สามารถดับอาร์คได้ดี (Arc Quenching) และหม้อแปลงบางประเภทก็ยังมีการใช้ ก๊าซไนโตรเจนเป็นฉนวนร่วมกับน้ำมันหม้อแปลงอีกด้วย ในระบบไฟฟ้าแรงสูงการออกแบบฉนวนจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแรงดัน ลักษณะสนามไฟฟ้า ความเครียดสนามไฟฟ้า ลักษณะสมบัติของฉนวน และโดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวน เพื่อป้องกันอันตรายสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า และเพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน ซึ่งในการใช้งานจริงในระบบไฟฟ้าก็อาจเกิดการอาร์คหรือการเบรกดาวน์ขึ้นระหว่างหน้าสัมผัสของสวิตช์ หรือระหว่างอุปกรณ์ขึ้นได้ ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหาย และเป็นการลดเสถียรภาพในการทำงาน [1] อีกหนึ่งกรณีในการออกแบบระบบฉนวนก๊าซอัดความดันนั้นถึงแม้ผู้ออกแบบจะได้มีการหลีกเลี่ยงโครงสร้างที่มีสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากอุปกรณ์หรือจากความบกพร่องในการประกอบการสร้าง เช่น มีเศษโลหะหรือน้ำมันเหลือตกค้างอยู่ภายในอุปกรณ์ ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ส่งผลทำให้เกิดสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอสูงและนำไปสู่การเบรกดาวน์ ข้อได้เปรียบของฉนวนก๊าซที่เหนือกว่าฉนวนแข็ง และฉนวนเหลวคือความสามารถคืนสภาพความเป็นฉนวนได้หลังจากที่เกิดความบกพร่องในระบบ (Self restoring) ทำให้ฉนวนก๊าซนิยมใช้เป็นฉนวนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงมาตั้งแต่ในอดีต ฉนวนก๊าซที่นิยมใช้ เช่น อากาศ ก๊าซไนโตรเจนเป็นต้น แต่ปัจจุบันฉนวนก๊าซที่นิยมใช้คือ ก๊าซ SF_6 (Sulphur Hexafluoride) เพราะก๊าซ SF_6 มีค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูง แต่ก๊าซ SF_6 เป็นก๊าซที่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก [2] จึงมีความพยายามที่จะใช้ก๊าซตัวนี้ให้น้อยลงโดยการเลือกใช้ก๊าซอื่น โดยพิจารณาจากระดับแรงดันที่นำไปใช้ หรือ การหาก๊าซอื่นมาผสม และก๊าซที่นิยมนำมาใช้มาผสมก็คือ ก๊าซไนโตรเจน (N_2) เนื่องจากเป็นก๊าซที่มีราคาถูก หาได้ง่าย และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนก๊าซชนิดต่างๆที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน รวมถึงได้ทำการศึกษาการรวมตัวกันของก๊าซ SF_6–N_2 โดยการเปลี่ยนสัดส่วนของก๊าซผสม และตัวแปรอื่นๆที่มีผลต่อค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าคือ ความดัน รูปทรงของอิเล็กโตรด และระยะแกป

1.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

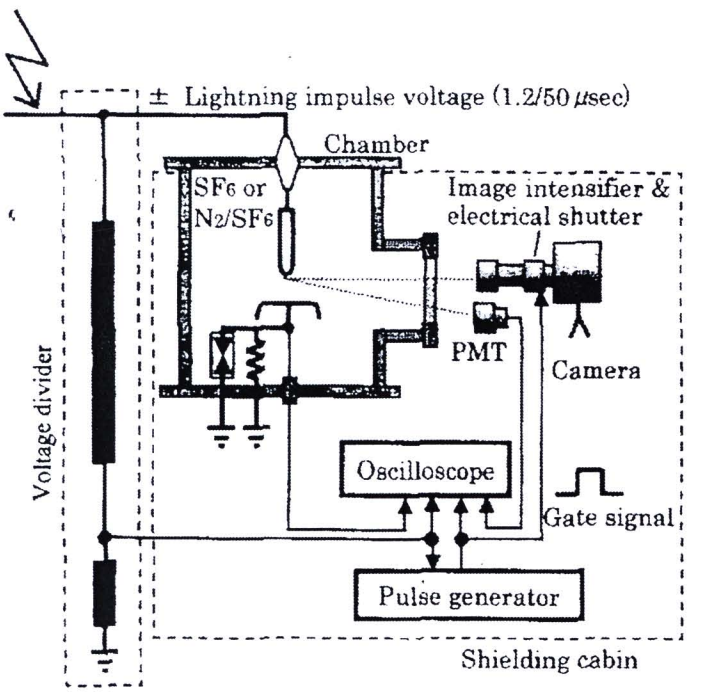
ในปีค.ศ.2000 E Önal, Ö Kalenderly, K Mardikyan ได้เสนอบทความเรื่อง "Dielectric Strengths of CO_2 and N_2 containing SF_6 under Alternating Voltage in Non Uniform Field" [3] บทความนี้นำเสนอค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของก๊าซ N_2, CO_2, SF_6 และก๊าซผสม SF_6+N_2 และ SF_6+CO_2 ที่อัตราส่วน 20, 10 และ1 เปอร์เซ็นต์ ศึกษาในสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ ใช้อิเล็กโตรดแบบปลายแหลม-ระนาบ ที่ระยะ 5, 15 และ25 มิลลิเมตร ความดัน 100-500 kPa จากการทดสอบพบว่าการรวมกันของก๊าซ SF_6 กับ CO_2 และ SF_6 กับ N_2 สามารถสังเกตการเพิ่มขึ้นของความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งพิจารณาเปรียบเทียบกับก๊าซ CO_2 และ N_2 ที่ความดัน 150-300 kPa ค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับบางกรณีของ SF_6+ CO_2 จะมีค่าสูงกว่าก๊าซ SF_6เพียงก๊าซเดียว สำหรับค่าความคุงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ 20 และ10 เปอร์เซ็นต์ของก๊าซ SF_6ในก๊าซผสม SF_6+CO_2 และ SF_6+N_2 ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร มีค่าประมาณ 2.4 และ 2.8 เท่าของ CO_2 และ N_2 ตามลำดับที่ความดัน 200 kPa และในกรณีที่ระยะ 25 มิลลิเมตรที่อัตราส่วน SF_6 ที่ 1 เปอร์เซ็นต์ในก๊าซผสม SF_6+CO_2 และ SF_6+N_2 ค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีระดับแรงดันใกล้เคียงกับ CO_2 และ N_2 ที่ความดันสูงกว่า 400 kPa และ 350 kPa ตามลำดับ



รูปที่ 1.1 แสดงค่าแรงดันเบรกดาวน์เปรียบเทียบกับความดัน ระยะแกป 5 มิลลิเมตร [3]

ในปีค.ศ.2002 H. Saitoh, K. Morita, T. Kikkawa, N. Hayakawa and H. Okubo ได้เสนอบทความเรื่อง "Impulse Partial Discharge and Breakdown Characteristics of Rod-Plane Gaps in NJSF, Gas Mixtures" [4] คุณลักษณะของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนและคุณลักษณะการเกิดเบรกดาวน์ของ

อิเล็กโตรดแบบปลายแหลม-ระนาบ ในก๊าซ N_2-SF_6 ผสมกัน จากการสังเกตความแตกต่างของขนาดอิเล็กโตรด ระยะแกป และความดันของก๊าซ SF_6 จากการทดลองพบว่าความน่าจะเป็นของ $U_{50\%}$ เพิ่มขึ้นตามความดันก๊าซ ยิ่งกว่านั้นแสงจากการเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่แสดงจากภาพจากการสังเกต PD Current Pulse และ Light Intensity จากการค่อยๆสังเกตจะพบว่าแสงจะเพิ่มขึ้นแบบเป็นขั้นๆ ของการดิสชาร์จ และ double - peak ของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนซึ่งเหมือนกับการส่งผ่าน streamer / leader และนำไปสู่การเกิดเบรกดาวน์



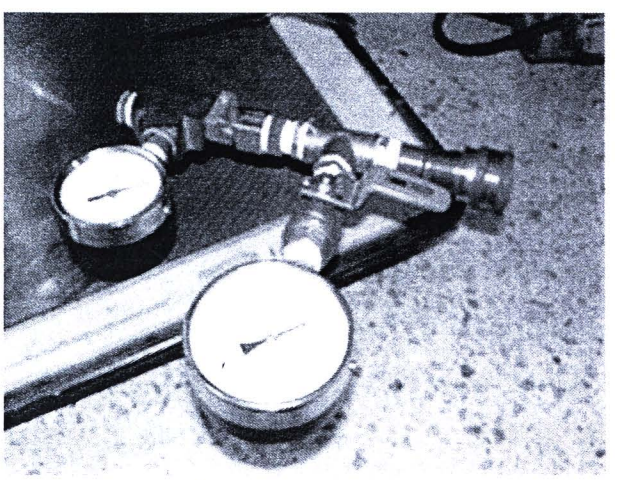
รูปที่ 1.2 ชุดทดสอบ วงจรและอุปกรณ์ในการทดสอบ [4]

ในปีค.ศ.2003 Hitoshi Okuhol, Naoto Koshino' and Naoki Hayakawa' ได้เสนอบทความเรื่อง "Electrical Insulation Characteristics of CO_2 and CO_2 Gas Mixtures under Non Uniform Electric field" [5] เนื่องด้วยก๊าซ SF_6 ได้มีการระบุเป็นหนึ่งในก๊าซที่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก จึงได้พยายามที่จะพัฒนาก๊าซฉนวนขึ้นมาใหม่หรือทำการผสมก๊าซอื่นๆกับก๊าซ SF_6 เพื่อใช้แทนก๊าซ SF_6 สำหรับใช้ใน Gas Insulated Switchgears (GIS) ในรายงานนี้ได้ทำการตรวจสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนและคุณลักษณะการเกิดเบรกดาวน์ของก๊าซ CO_2 และการผสมกันของก๊าซ CO_2 กับก๊าซชนิดอื่นๆ ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการสำหรับลดการใช้ก๊าซ SF_6 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองหาการเกิดดิสชาร์จบางส่วน และการเกิดเบรกดาวน์ที่ความดันของก๊าซที่แตกต่างกัน ภายใต้แรงดันอิมพัลส์ และแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับพบว่าการเกิดดิสชาร์จบางส่วนและการเกิดเบรกดาวน์จะเปลี่ยนไปตามสัดส่วนของก๊าซ CO_2

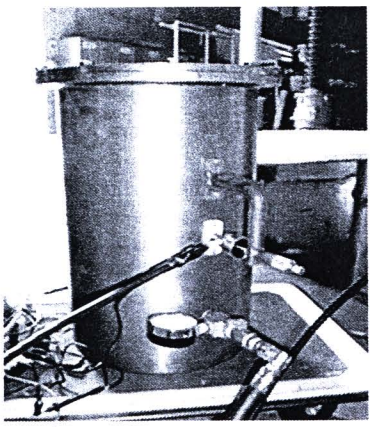
ตารางที่ 1.1 คุณสมบัติของก๊าซ [5]

	CO_2	O_2	N_2	SF_6
Molecular Weight	44.01	32.00	28.01	146.06
E_{cr} [kV(mm bar)$^{-1}$]	3.01	3.26	3.29	8.90
Boiling point [K]	194	90	77	209
Ionization potential [eV]	13.70	12.20	15.80	15.80
GWP	1	0	0	23900

ในปี ค.ศ. 2004 Phinsen, N., Chayavanich, N. และ Chenvidhya, D ได้นำเสนอบทความเรื่อง "An Experimental Study of Arcing Breakdown at Micrometer Separations in SF_6" [6] เป็นการศึกษาถึงปรากฏการณ์การเสียสภาพฉับพลันในฉนวนก๊าซ SF_6 (Sulphur Hexafluoride) ทำการทดสอบโดยใช้แกปแบบระนาบ-ทรงกลม และแบบทรงกลม–ระนาบ ที่ระยะช่องอากาศ 30 ถึง 50 ไมโครเมตร ที่ความดัน 1, 3 และ 4 บาร์ ผลที่ได้คือความดันของก๊าซที่ระยะช่องอากาศเดียวกันลักษณะแกปเหมือนกันจะเห็นว่าค่าแรงดันเสียสภาพฉับพลัน ($U_{50\%}$) จะเพิ่มขึ้นตามความดันก๊าซยิ่งที่ค่าความดันของก๊าซสูงค่าแรงดันเสียสภาพฉับพลัน ($U_{50\%}$) ก็จะสูงตามไปด้วย จากรูปในการทดลองใช้เกจวัดความดันเพื่อวัดความดันในการทดสอบ



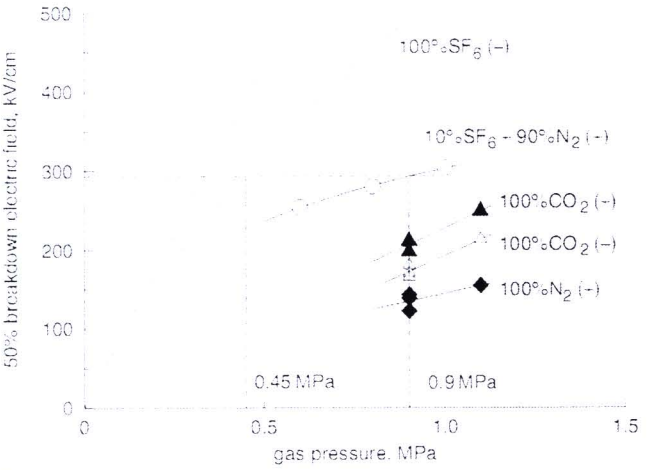
รูปที่ 1.3 เกจวัดความดัน [6]



รูปที่ 1.4 ถังเหล็กกล้าปิดหมด [6]

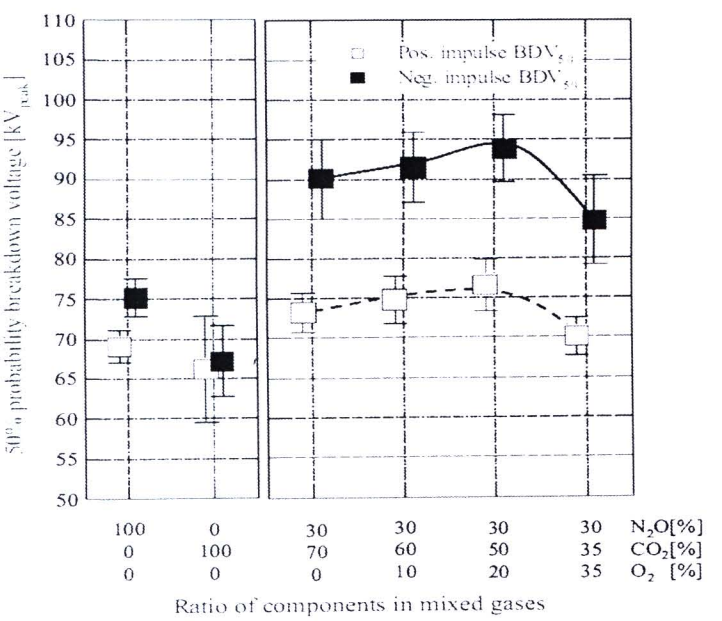
รูปที่ 1.5 อิเล็กโตรดที่ใช้ในการทดสอบ [6]

ในปีค.ศ.2006 Y. Hoshina, M. Sato, M. Shiiki, M. Hanai and E. Kaneko ได้นำเสนอบทความเรื่อง "Lightning Impulse Breakdown Characteristics of SF_6 Alternative Gases for Gas Insulated Switchgear" [7] การรวมตัวกันของก๊าซ SF_6-N_2, ก๊าซ N_2 และก๊าซ CO_2 ในกรณีของการรวมตัวกันของก๊าซ SF_6-N_2 ค่า $U_{50\%}$ ของแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าขั้วบวกจะมีค่าต่ำกว่าแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าขั้วลบเล็กน้อย และในกรณีของรวมตัวกันของก๊าซ SF_6-N_2 จะต้องเพิ่มความดันขึ้นประมาณ 2 เท่า ของก๊าซ SF_6 เพื่อจะได้ค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าเช่นเดียวกันกับก๊าซ SF_6 สำหรับก๊าซ CO_2 ค่า $U_{50\%}$ ของแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าขั้วลบจะมีค่าต่ำกว่าแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าขั้วบวก และค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของก๊าซ CO_2 ที่ความดันสองเท่าของก๊าซ SF_6 จะมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของก๊าซ SF_6 ดังนั้นสายไฟใหญ่หุ้มฉนวนก๊าซ CO_2 อาจจะมีขนาดใหญ่กว่าสายไฟหุ้มฉนวนก๊าซ SF_6 ประมาณ 1.6 เท่า ในกรณีของก๊าซ N_2 ค่า $U_{50\%}$ ของแรงดัน อิมพัลส์ฟ้าผ่าขั้วบวกต่ำกว่าแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าขั้วลบ และค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของก๊าซ N_2 ที่ความดันสองเท่าของก๊าซ SF_6 จะมีค่าน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของก๊าซ SF_6 ดังนั้นสายไฟหุ้มฉนวนก๊าซ N_2 อาจจะมีขนาดใหญ่กว่าสายไฟหุ้มฉนวนก๊าซ SF_6 ประมาณ 2.1 เท่า สังเกตความแตกต่างระหว่างก๊าซ CO_2 และก๊าซ N_2 ได้จากการดิสชาร์จ และคุณลักษณะการเกิดดิสชาร์จบางส่วน



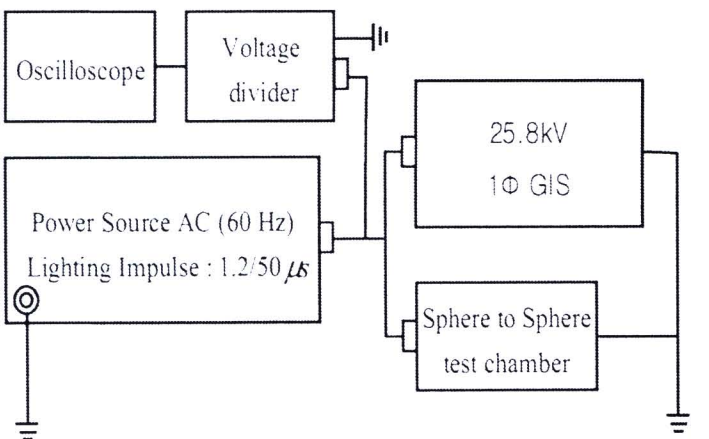
รูปที่ 1.6 ค่าความคงทนต่อสนามไฟฟ้าเปรียบเทียบกับความดันก๊าซ [7]

ในปีค.ศ.2007 Hiroki Kojima, Osamu Kinoshita, Naoki Hayakawa, Fumihiro Endo, Hitoshi Okubo ได้เสนอบทความเรื่อง "Breakdown Characteristics of N_2O Gas Mixtures for Quasi-uniform Electric Field under Lightning Impulse Voltage" [8] จากความคิดที่ต้องการลดสภาวะโลกร้อนโดยก๊าซลดการใช้ก๊าซ SF_6 รายงานนี้กล่าวถึงถึงคุณลักษณะการเกิดเบรกดาวน์ภายใต้การประยุกต์ใช้แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองพบว่าในการร่วมกันของก๊าซที่ประกอบไปด้วย 2 สิ่ง คือ N_2O-CO_2 และประกอบ 3 สิ่งคือ N_2O-CO_2-O_2 การรวมตัวกันของก๊าซตามลำดับ พบว่าก๊าซ N_2 เป็นก๊าซที่ทำให้เกิดการล่าช้าในการเกิดเบรกดาวน์เพราะก๊าซ N_2 มีประความสามารถในการลดพลังงานของประจุไฟฟ้า เพื่อให้ก๊าซ SF_6 จับประจุไฟฟ้าได้ดี และการรวมตัวของประจุไฟฟ้าลบของ N_2O-CO_2-N_2 กับ N_2O-CO_2-O_2-N_2 พบว่าการรวมตัวของก๊าซในการทำงานร่วมกันที่ทำให้เกิดความคงทนต่อแรงดันในสภาวะที่ดีที่สุดคือ สัดส่วนการรวมตัวกันของก๊าซ N_2O-CO_2-O_2-N_2

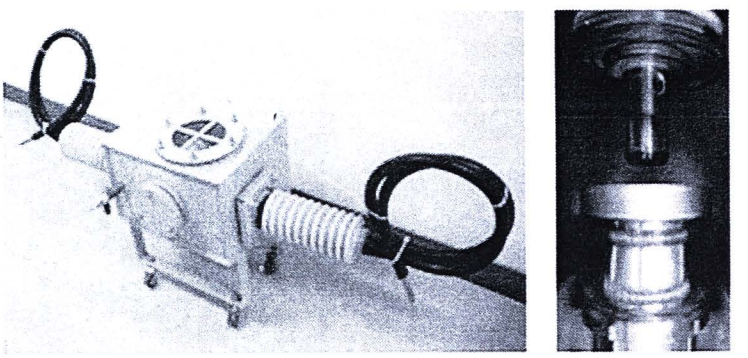


รูปที่ 1.7 ค่าแรงดันเบรกดาวน์เปรียบเทียบกับอัตราส่วนของก๊าซผสมที่ความดัน 0.1 MPa [8]

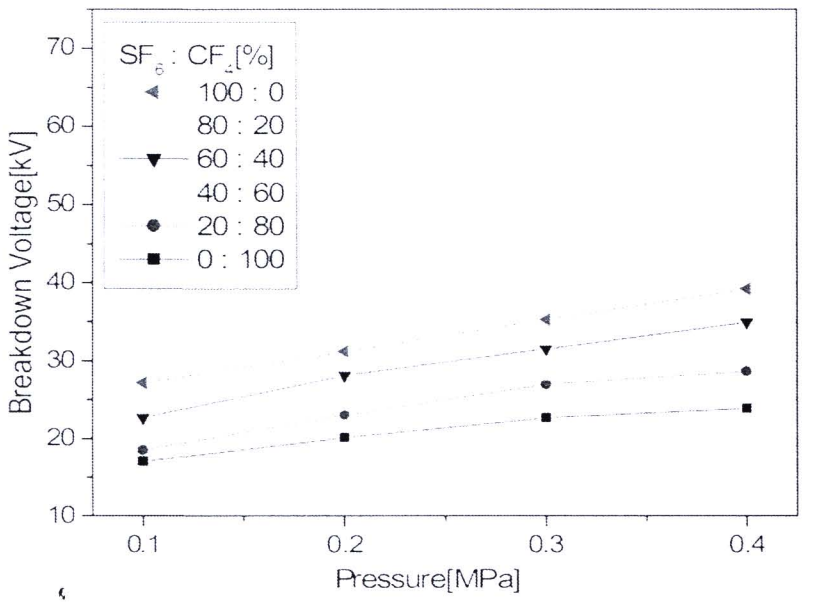
ในปีค.ศ.2009 Cheong-Ho Hwang1, Byung-Taek Lee2, Chang-Su Huh3, Nam-Ryul Kim4, and Yong-Moo Chang5 ได้เสนอบทความเรื่อง "Breakdown Characteristics of SF_6 /CF_4 Mixtures in 25.8 kV" [9] ก๊าซ SF_6 มีค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าที่ดี แต่ก๊าซ SF_6 เป็นต้นเหตุสภาวะโลกร้อน ในที่นี้ต้องการแสดงถึงฉนวนก๊าซที่เป็นมิตรกับสภาพแวดล้อม เข้ามาแทนที่ก๊าซ SF_6 โดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ และแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าที่ 25.8 kV ในระบบ GIS และภายในถัง คุณลักษณะการเกิดเบรกดาวน์ถูกทดสอบโดยใช้แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า และแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ในรายงานฉบับนี้แสดงคุณลักษณะการเกิดเบรกดาวน์ของอัตราส่วนการผสมและความดันของ SF_6 และ CF_4 รวมกันภายใต้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ และแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า ความดันของ SF_6 และ CF_4 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันที่ขนาดความดัน 0.1-0.5 Mpa ทดสอบภายในถัง และ 0.10-0.22 Mpa ในระบบ GIS ที่แรงดัน 25.8 kV ตามเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของ SF_6 และ CF_4 ผสมกันที่ 0, 20 ,40 ,60, 80 และ100 เปอร์เซ็นต์ ผลจากการสังเกตพบว่าค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นตามสัดส่วนของก๊าซ SF_6 และเมื่อความดันของ SF_6 กับ CF_4 เพิ่มขึ้น ในระบบ GIS ที่แรงดัน 25.8 kV การผสมของก๊าซ SF_6 กับ CF_4 แสดงถึงลักษณะของการเป็นฉนวนได้ดีกว่าก๊าซ CF_4 เพียงอย่างเดียวตามการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า และแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 1.8 แผนภาพชุดการทดลอง [9]



รูปที่ 1.9 GIS 25.8 kV และโครงสร้างอิเล็กโตรด [9]



รูปที่ 1.10 ค่าแรงดันเบรกดาวน์ของก๊าซ $SF_6 - CF_4$ ที่ความดัน 0.1 ถึง 0.4 MPa ที่ระยะแกป 1 mm. ภายใต้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ [9]

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนก๊าซจากการเปลี่ยนชนิดของฉนวนก๊าซ สัดส่วนของก๊าซ SF_6 ในก๊าซผสม SF_6–N_2 ความดันก๊าซ และระยะแกป ภายใต้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับในสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอสูง สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย และสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ เพื่อเป็นประโยชน์ในการกำหนดค่าแรงดันสูงสุดที่ปลอดภัยในการทำงาน รวมทั้งนำผลการทดลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ทำการศึกษาและทำการทดสอบหาค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของก๊าซซัลเฟอร์เฮกซาฟลูออไรด์ (SF_6) ฮิเลียม (He) อาร์กอน (Ar) อากาศ (Air) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซออกซิเจน (O_2) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) ที่ความดัน 1, 2 และ 3 บาร์ ในกรณีของก๊าซผสม SF_6–N_2 จะทำการเปลี่ยนสัดส่วนของก๊าซ SF_6 ที่ 25, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ของความดัน 3 บาร์ ทดสอบภายใต้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ด้วยอิเล็กโตรดแบบปลายแหลม-ระนาบ แบบทรงกลม-ระนาบ และแบบระนาบ-ระนาบ ที่ระยะแกป 5, 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษามาตรฐาน ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ศึกษาหลักการของกระบวนการเกิดเบรกดาวน์ของก๊าซ ทฤษฎีของก๊าซ และคุณสมบัติของก๊าซ โดยค้นคว้าจากเอกสาร หนังสือ และงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ และจัดทำเสนอหัวข้อ
2. ออกแบบและสร้างชุดทดสอบรวมถึงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดสอบ
3. ศึกษาวงจรที่ใช้ในการทดสอบและอุปกรณ์วัดแรงดันสูงที่ใช้ในการทดสอบ พร้อมทั้งดำเนินการขั้นตอนในการขอความอนุเคราะห์ก๊าซที่ใช้ในการทดสอบ
4. ทดลองหาค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนก๊าซตามขอบเขตของงานวิจัย
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง รวบรวมข้อมูล และจัดทำวิทยานิพนธ์เสนอต่อคณะกรรมการ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการที่ได้ศึกษามาตรฐาน งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ขั้นตอน วิธีการทดลองจนกระทั่งผลการทดลองจากงานวิจัยนี้ ทำให้ทราบคุณลักษณะการเกิดเบรกดาวน์ของฉนวนก๊าซ ที่ความดัน ลักษณะของสนามไฟฟ้า และระยะแกปต่างๆทำให้ทราบถึงแนวโน้มของค่าแรงดันสูงสุดที่ปลอดภัยในการทำงาน มีความเข้าใจในการออกแบบฉนวนก๊าซ สามารถใช้ข้อมูลให้เป็นประโยชน์ในการนำไปใช้สำหรับป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นแหล่งข้อมูลไว้ใช้ศึกษาเพื่อพัฒนาการฉนวนต่อไป