บทที่ 3

วัสดุที่ใช้

3.1 เหล็กซิลิคอน

แกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยแผ่นเหล็กซิลิคอนบาง ๆ นำมาเรียงกัน แต่ละแผ่นฉาบด้วยฉนวนเพื่อลดการเกิดกระแสวนในแกนเหล็ก ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กลดลง ความหนาของแผ่นเหล็กซิลิคอนมีผลต่อการเกิดกระแสวนในแกนเหล็ก จำนวนเปอร์เซ็นต์ของซิลิคอนในเหล็กรวมทั้งขั้นตอนในการทำแผ่นเหล็กซิลิคอนมีผลต่อการเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย เนื่องจากฮิสเตอริซิส กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งสองเกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ในแกนเหล็ก เหล็กซิลิคอนที่ดีจะมีจำนวนซิลิคอน 4 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มจำนวนซิลิคอนทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลง แต่จะทำให้เหล็กนั้นแข็งและเปราะ

เหล็กซิลิคอนที่ใช้ในการประกอบสร้างหม้อแปลงนี้เป็นเกรด RG7H ความหนา 0.30mm. [8] อัตราส่วนเนื้อเหล็กซิลิคอนจริงต่อเหล็กซิลิคอนทั้งหมดหรือแฟกเตอร์เนื้อเหล็กแผ่นมีค่า 0.97 ความหนาแน่น 7.65g/cm^3 ซึ่งมีเส้นกราฟกำลังไฟฟ้าสูญเสียในเทอมของความหนาแน่นของฟลักซ์ในแกนเหล็กดังแสดงในรูปที่ 3.1 กราฟของการเกิดอำนาจแม่เหล็กและเพอร์มีบิลิตีสำหรับกระแสตรงแสดงในรูป 3.2

3.2 ลวดตัวนำสำหรับพันขดลวด

ลวดตัวนำที่ใช้ในหม้อแปลงนี้ทางด้านแรงต่ำจะใช้ลวดตัวนำทองแดงเปลือยพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า และหุ้มด้วยฉนวนโพลีเอสเตอร์ฟิล์ม ส่วนขดลวดแรงสูงจะใช้ลวดตัวนำเส้นกลมเคลือบน้ำยาโพลีเอสเตอร์-อิมีด [2] สามารถทนความร้อนได้สูงถึง 180°C ซึ่งเป็นแบบที่เลือกใช้สำหรับหม้อแปลงแบบแห้งทั่วไป

3.3 ฉนวน

วัสดุที่ใช้เป็นฉนวนหลักในหม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยก๊าซ SF_6 ซึ่งใช้เป็นฉนวน

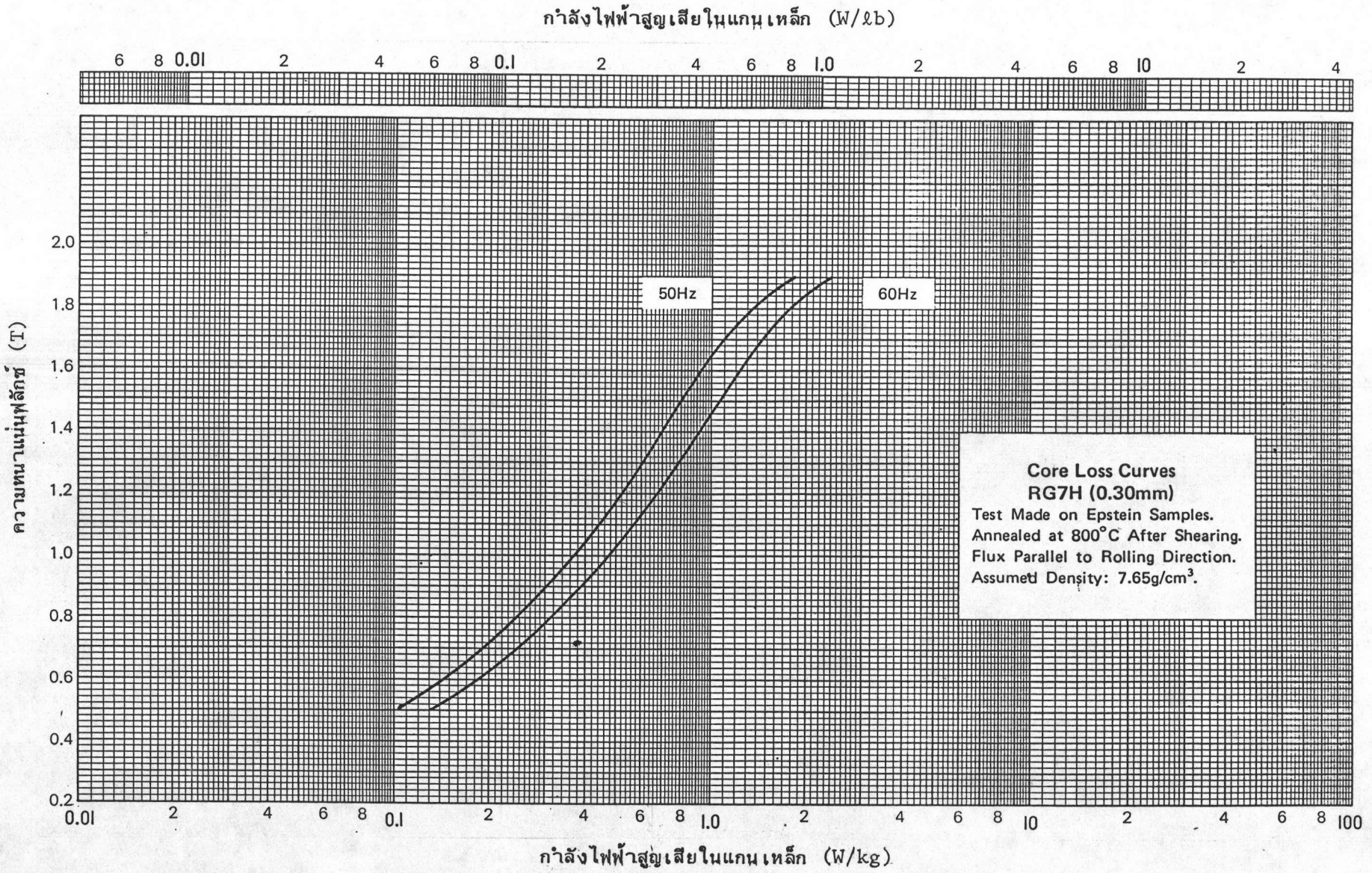
แทรกซึมในช่องว่าง เป็นตัวกลางในการระบายความร้อน และฉนวนแข็งอีก 2 ชนิด คือ โพลีเอสเตอร์ฟิล์ม และเบกไลต์

เบกไลต์ใช้เป็นตัวรองรับโครงสร้างของขดลวดคั่นระหว่างส่วนล่างของขดลวดกับแกนเหล็ก นอกจากนั้นยังใช้เป็นตัวคั่นทำให้เกิดร่องระบายความร้อนด้วย เบกไลต์จะมีความชื้นต่ำกว่าพวกไม้ นอกจากนี้ยังทนแรงดันได้ประมาณ 15 kV/mm ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของเบกไลต์ที่ใช้ด้วย

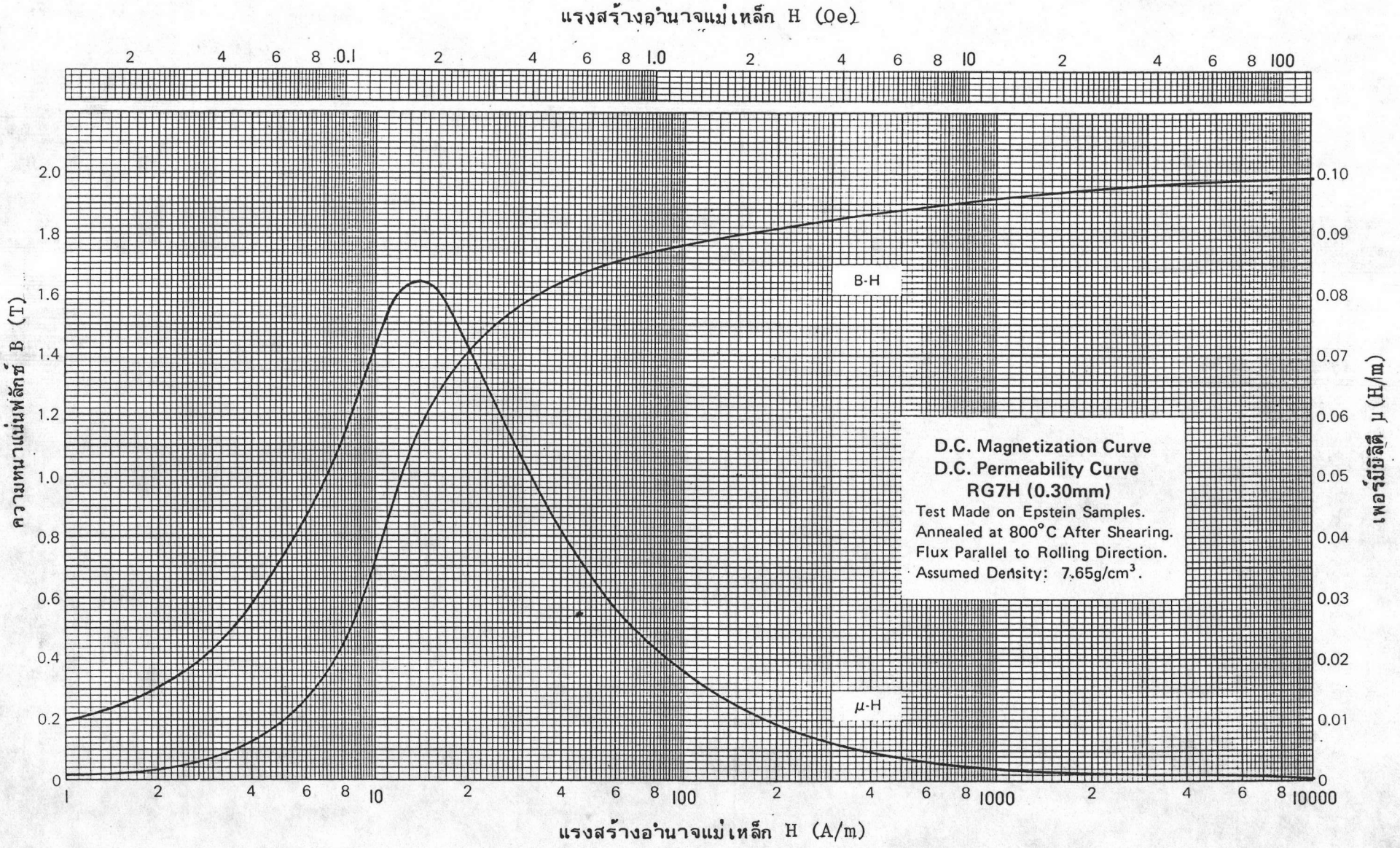
หม้อแปลงแบบฉนวนด้วยก๊าซ SF_6 เป็นหม้อแปลงอยู่ในสภาพแห้ง ดังนั้นวัสดุที่ใช้จึงต้องคำนึงถึงความชื้นเป็นสำคัญ คุณสมบัติของโพลีเอสเตอร์ฟิล์มเหมาะที่จะใช้เป็นฉนวนในขดลวดของหม้อแปลงชนิดนี้ เนื่องจากมีความเหนียวสูงกว่าวัสดุที่ใช้เป็นฉนวนชนิดอื่น ๆ ทำให้มีคุณสมบัติด้านความคงทนของฉนวนสูงกว่าวัสดุที่ทำจากพวกไฟเบอร์ เช่น กระดาษที่ใช้เป็นฉนวนในหม้อแปลงน้ำมันเป็นต้น เหตุผลดังกล่าวเป็นเพราะว่าการเกิดเบรกดาวน์ของฉนวนต่าง ๆ ในก๊าซ SF_6 นั้น ค่าความคงทนของฉนวนในก๊าซ SF_6 จะสัมพันธ์โดยตรงกับความเหนียวของวัสดุที่ใช้เป็นฉนวน

เมื่อความเหนียวของวัสดุฉนวนเพิ่ม ทำให้แรงดันเบรกดาวน์ในก๊าซ SF_6 สูงขึ้น นอกจากนี้กระดาษฉนวนที่ใช้ในหม้อแปลงน้ำมันไม่เหมาะกับหม้อแปลงชนิดก๊าซก็เพราะกระดาษฉนวนดูดความชื้นสูง กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเบรกดาวน์กับความหนาของฉนวนเปรียบเทียบระหว่างโพลีเอสเตอร์ฟิล์มกับกระดาษฉนวนดังในรูป 3.3 [3] คุณสมบัติเปรียบเทียบระหว่างโพลีเอสเตอร์ฟิล์มกับกระดาษฉนวนที่สำคัญมีดังนี้คือ

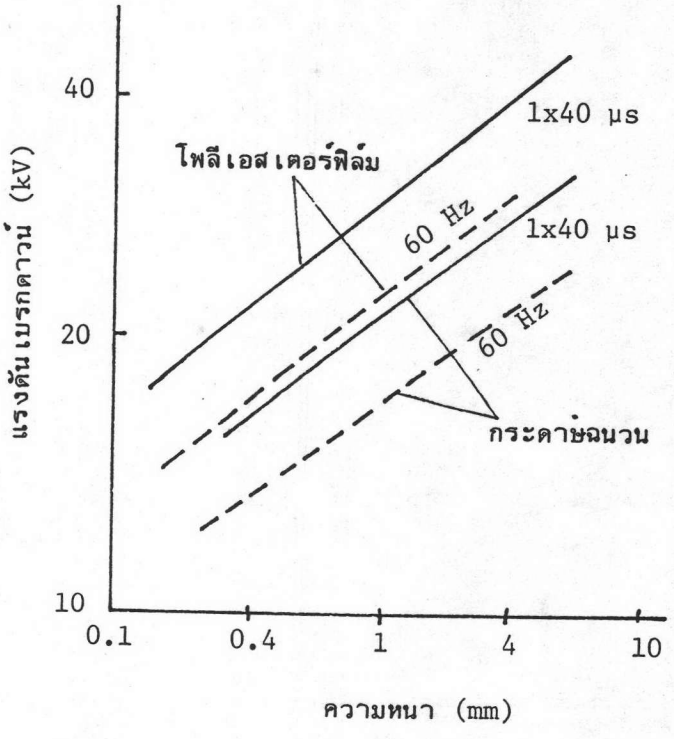
	โพลีเอสเตอร์ฟิล์ม	กระดาษฉนวน
ค่าความคงทนต่อแรงดึง (kg/mm^2)	22	10
เปอร์เซ็นต์การยืดตัว	110	3
ความต้านทานแรงเฉือน (kg/mm)	22	-
ค่าไดอิเล็กตริกคงที่	3.0	2.0
ค่าการนำความร้อน ($kcal/mhr.^{o}C$)	0.14	0.11



รูป 3.1 กราฟกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก



รูป 3.2 กราฟการเกิดอำนาจแม่เหล็กและเพอร์มีบิลิตีสำหรับกระแสตรง



รูป 3.3 ความคงทนไดอิเล็กตริกของโพลีเอสเตอร์ฟิล์มกับกระดาษฉนวน

เนื่องจากโพลีเอสเตอร์ฟิล์มมีค่าความต้านทานแรงเฉือนสูง จึงเหมาะที่จะใช้ในการพันขดลวดที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยม นอกจากนี้คุณสมบัติในด้านการระบายความร้อนของโพลีเอสเตอร์ฟิล์มยังมีค่าใกล้เคียงกับแบบกระดาษฉนวน คุณสมบัติอื่น ๆ ของโพลีเอสเตอร์ฟิล์มแสดงในภาคผนวก ค.

3.4 ก๊าซ SF_6

คุณสมบัติที่สำคัญของก๊าซ SF_6 มีดังนี้ คือ

3.4.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของก๊าซ SF_6

ก๊าซ SF_6 เป็นสารประกอบของโพลีอะตอมมิกโมเลกุลของกำมะถันและฟลูออรีน เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ และไม่ช่วยให้ไฟติด เป็นก๊าซที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่น และจะคงสภาพเดิมแม้ว่าจะถูกทำให้ร้อนถึง $500^{\circ}C$ ภายในถังที่ปิดมิดชิดปราศจากออกซิเจนและความชื้น

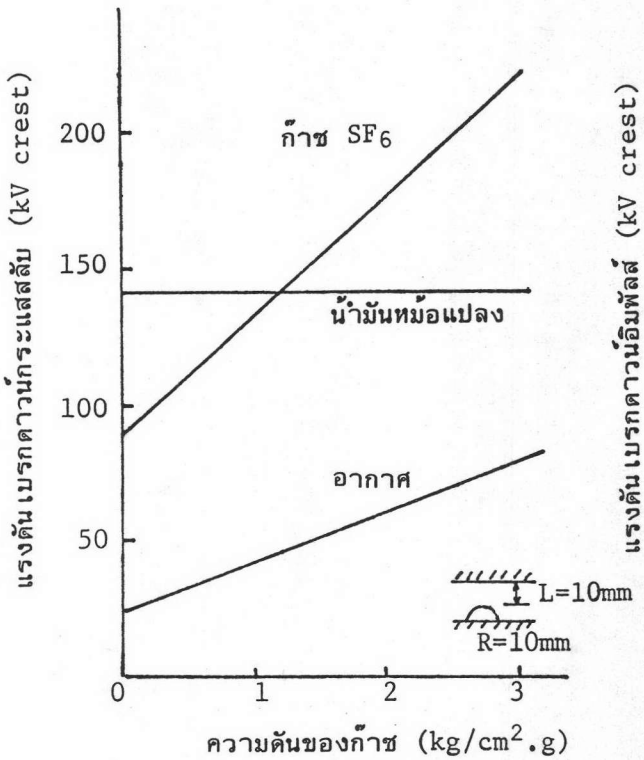
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซ SF_6 สรุปได้ดังนี้ [4]

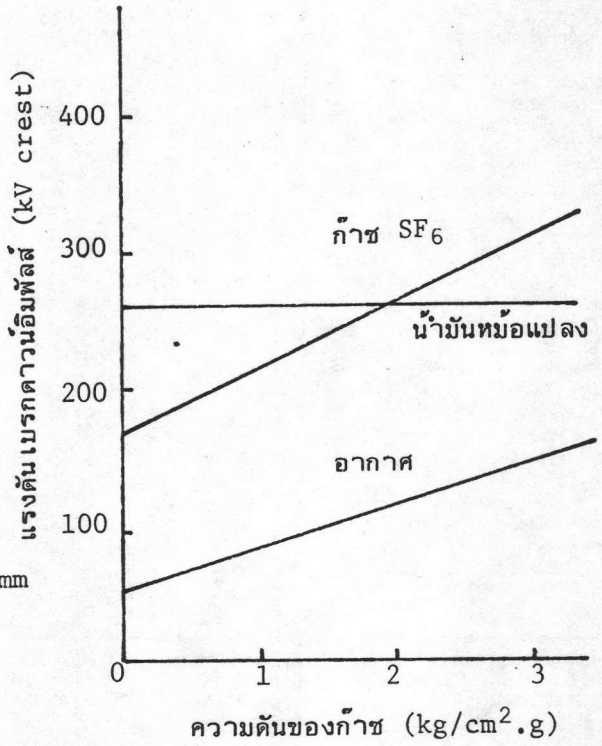
น้ำหนักโมเลกุล	146.06	
จุดหลอม	-50.8	°C
ความดันวิกฤติ	36.75	atm
ความหนาแน่นวิกฤติ	0.73	kg/litre
ความหนาแน่นไอ	6.16	g/litre
ความหนาแน่นของเหลว	1.56	kg/litre
ความดันไอที่ 20°C	20.74	atm
สภาพนำความร้อน	7.1×10^{-5}	cal/cm/°C/sec
ความร้อนจำเพาะ	0.143	kcal/kg/°C
ค่าไดอิเล็กตริกคงตัว	1.00191	

3.4.2 <u>คุณสมบัติทางไฟฟ้าของก๊าซ SF_6</u>

ก๊าซ SF_6 มีความหนาแน่นหนักประมาณ 5 เท่าของอากาศ ซึ่งนับว่าเป็นก๊าซที่มีน้ำหนักมากที่สุดในบรรดาก๊าซที่รู้จักกันในปัจจุบัน จึงทำให้ก๊าซ SF_6 มีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าก๊าซอื่น ๆ ที่ใช้เป็นฉนวนกัน เช่นอากาศ หรือไนโตรเจนเป็นต้น ก๊าซ SF_6 จะมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ความดันบรรยากาศประมาณ 2.5 เท่าของอากาศ และจะมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าได้เท่า ๆ กับน้ำมันหม้อแปลง เมื่อก๊าซ SF_6 มีความดันอัดประมาณ 1.2 kg/cm^2 หรือความดันสัมบูรณ์ 2.2 kg/cm^2 ดังแสดงในกราฟรูป 3.4 ส่วนความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์นั้น ที่ความดันสัมบูรณ์ 2.2 kg/cm^2 ก๊าซ SF_6 จะมีค่าแรงดันเบรกดาวน์ต่ำกว่าแบบน้ำมันหม้อแปลง ดังในกราฟรูป 3.5



รูป 3.4 ความคงทนต่อแรงดันกระแสสลับ

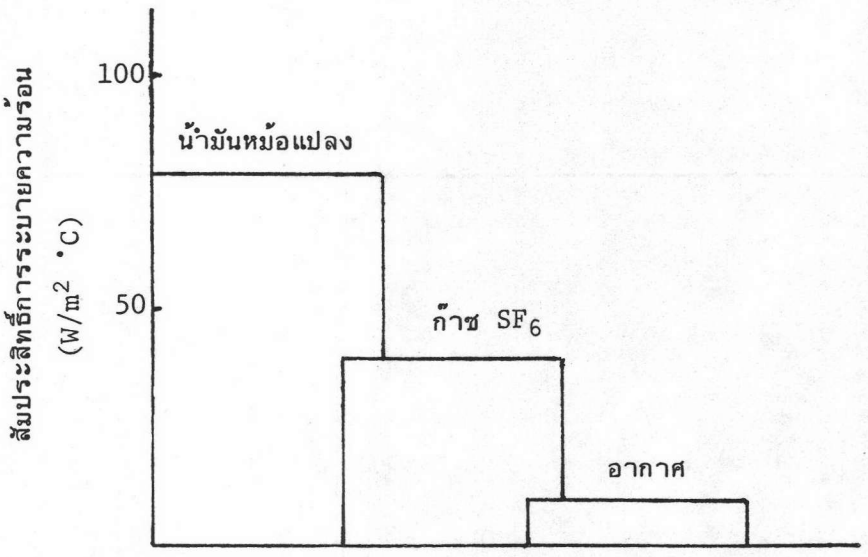


รูป 3.5ความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์

3.4.3 <u>คุณสมบัติทางด้านการระบายความร้อนของก๊าซ SF_6</u>

การระบายความร้อนของก๊าซ SF_6 เป็นสิ่งสำคัญประการหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงรูป 3.6 แสดงถึงสัมประสิทธิ์ในด้านการระบายความร้อนของก๊าซ SF_6 เปรียบเทียบกับของอากาศและน้ำมันหม้อแปลง [1] รวมทั้งตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติ

ชนิด / คุณสมบัติ	ก๊าซ SF_6	อากาศ	น้ำมันหม้อแปลง
ความดันสัมบูรณ์ในการบรรจุ (kg/cm^2)	1.2	0.0	-
ความหนาแน่น (kg/m^3)	13.73	1.16	866
ความร้อนจำเพาะ (kcal/kg°C)	0.143	0.240	0.452
สภาพนำความร้อน (kcal/mhr°C)	0.0117	0.0221	0.107
ความหนืด (m^2/s) x 10^{-6}	1.115	15.60	36.5



รูป 3.6 ตารางและกราฟ เปรียบ เทียบคุณสมบัติด้านการระบายความร้อนโดยวิธีธรรมชาติ

สัมประสิทธิ์ของการระบายความร้อนของก๊าซ SF_6 เมื่อเปรียบเทียบกับอากาศจะมีค่าประมาณ 3 เท่าของอากาศ ดังนั้นพื้นที่ผิวในการระบายความร้อนจำนวนเท่า ๆ กัน หม้อแปลงที่ใช้ก๊าซ SF_6 จะมีอุณหภูมิของขดลวดต่ำกว่าแบบอากาศ คือประมาณ 1 ใน 3 ของแบบอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับแบบน้ำมันหม้อแปลง เนื่องจากสัมประสิทธิ์ในการระบายความร้อนของก๊าซ SF_6 มีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำมันหม้อแปลง ดังนั้นเพื่อที่จะให้หม้อแปลงแบบก๊าซ SF_6 มีสัมประสิทธิ์ในการระบายความร้อนได้ดีขึ้น จึงต้องเพิ่มพื้นที่ผิวในการระบายความร้อนของขดลวด ที่กล่าวมานี้เปรียบเทียบเฉพาะหม้อแปลงแบบที่ระบายความร้อนโดยวิธีธรรมชาติ แต่ถ้าเป็นหม้อแปลงที่มีขนาดใหญ่ก็จะมีวิธีการอื่นในการเพิ่มสัมประสิทธิ์การระบายความร้อนให้สูงขึ้น

3.5 <u>บุชชิง</u>

บุชชิงเป็นปลอกฉนวนนำสายไฟ ทำหน้าที่เป็นฉนวนกั้นระหว่างตัวนำที่มีไฟฟ้ากับส่วนที่ต่อลงดิน เช่น ถังโลหะ เป็นต้น ฉะนั้นปลอกฉนวนนำสายไฟจะต้องมีการฉนวนที่ทนต่อแรงดันไฟฟ้าใช้งาน และแรงดันเกินที่อาจเกิดขึ้นได้ ปลอกฉนวนนำสายไฟจะมีส่วนสำหรับยึดติดกับสิ่งกั้นหรือฝาผนังที่จะต้องนำสายไฟผ่านไป ปลอกฉนวนนำสายไฟที่ใช้ในหม้อแปลงนี้เป็นแบบธรรมดา คือมีตัวนำไฟฟ้าผ่านก๊าซ SF_6 อัดความดันบรรจุในกระบอกฉนวนพอร์ซเลน ปลอกฉนวนแบบนี้ใช้ได้กับระดับแรงดันไม่เกิน 33 kV

3.6 <u>ปะเก็น</u>

เนื่องจากหม้อแปลงที่ออกแบบนี้เป็นหม้อแปลงแบบก๊าซอัดความดัน ดังนั้นรอยต่อที่ฝาถังของหม้อแปลงจะต้องมีการปิดผนึกอย่างดี ปะเก็นที่ใช้จะต้องทนแรงอัด และความดันภายในตัวถังได้ สำหรับปะเก็นที่ใช้ในหม้อแปลงนี้เป็นปะเก็นที่ทำมาจากพวกแร่ใยหินทนความร้อนได้สูงถึง 550°C ทนความดันได้สูง [5] ปะเก็นที่ใช้นี้มีความหนา 6 mm.