บทที่ 6

สรุปผลงานและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลงาน

หม้อแปลงทดสอบที่ประกอบสร้างขึ้นมีขนาด 100 kV 10 kVA 50 Hz เฟสเดียว โดยใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวน มีโครงสร้างส่วนใหญ่ซึ่งประกอบด้วย ขดลวด แกนแม่เหล็ก และตัวถังคล้ายกับหม้อแปลงทดสอบแบบน้ำมัน แตกต่างกันก็ตรงที่ใช้ฟิล์มโปลีเอสเตอร์เป็นฉนวนหลักของขดลวด และพันหุ้มรัดขดลวดแรงสูงแทนกระดาษ ใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวนแทรกซึมแทนน้ำมัน และเป็นตัวช่วยระบายความร้อน ทำการทดสอบหม้อแปลงที่ประกอบสร้างตามมาตรฐาน IEC Publ. No.76-1976 Power Transformer ซึ่งผลของการออกแบบสร้างและการทดสอบของหม้อแปลงทดสอบที่ประกอบสร้างมีข้อมูลทางเทคนิคดังต่อไปนี้

1) ค่ากำหนด

- แรงดัน		
แรงต่ำ (U_1)	220	V
แรงสูง (U_2)	50/100	kV
- กระแส		
แรงต่ำ (I_1)	22.7/45.4	A
แรงสูง (I_2)	0.1	A
- กำลังไฟฟ้า (S_n)	10	kVA
- แรงดันลัดวงจรที่ 75°C (ε_{sc})	4.40	%
- ดิสชาร์จบางส่วน (PD)		
แรงดัน 80 kV :	1.96	pC
แรงดัน 100 kV :	15.67	pC
- ความถี่ (f)	50	Hz
- จำนวนเฟส	1	เฟส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การฉนวน

  ฟิล์มโปลีเอสเตอร์

  ก๊าซ SF_6 ที่ความดัน 2.35 kg/cm^{2}abs, อุณหภูมิ 30^{o}C, น้ำหนัก 2.3 kg

- โครงสร้าง

  ตัวถังเหล็กพร้อมปลอกฉนวนนำสายแบนคอนเดนเซอร์

2) <u>แกนแม่เหล็ก</u>

- แผ่นเหล็กซิลิคอน, Z7H	0.3	mm
- พื้นที่ภาคตัดขวาง (A_{Fe})	0.01013	m^2
- ความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก (B_c)	1.35	Wb/m^2
- กระแสเมื่อไม่มีโหลด (I_o)	3.15	A
- กำลังไฟฟ้าสูญเสียเมื่อไม่มีโหลด (P_{Fe})	150.0	W
- น้ำหนัก	97.0	kg

3) <u>ขดลวดและการฉนวน</u>

จำนวนขดลวด	3	ชุด
กำลังไฟฟ้าสูญเสียเมื่อมีโหลดที่ 75^{o}C	145.78	W
<u>ขดลวดแรงต่ำ</u>		
- ขดลวดชั้นทรงกระบอก		
- จำนวนขดลวด (สำหรับต่ออนุกรมหรือขนานกัน)	2	ชุด
- ลวดแบนอาบน้ำยา (PEW)	2.05 × 6.05	mm^2
- พื้นที่ภาคตัดขวางของลวดตัวนำ (A_1)	11.64	mm^2
- ความหนาแน่นกระแสของลวดตัวนำ (J_1)	195.23	A/cm^2
- จำนวนรอบแต่ละชุด (N_1)	72	turns
- แรงดันต่อรอบสูงสุด	3.056	V
- แรงดันสูงสุดระหว่างชั้น	110	V
- ฉนวนระหว่างชั้น (ฟิล์มโปลีเอสเตอร์)	2 × 0.075	mm
- แรงดันทดสอบความคงทนต่อแรงดันจากตัวจ่ายอื่น	3	kV

- ความต้านทานกระแสตรงที่ 75°C (R_1)	0.0361	Ω
- อุณหภูมิเพิ่ม	75.76	°C
- น้ำหนัก	8.5	kg

<u>ขดลวดแรงสูง</u>

- ขดลวดชั้นทรงกระบอก
- ขดลวดจัดลำดับเป็น 3 ขั้น พร้อมใส่ซีลด์ทองแดงวงในและวงนอก เพื่อเพิ่มการฉนวนตามแรงดัน
- ลวดกลมอาบน้ำยา (PEW) SWG No.29, Class 1

- พื้นที่ภาคตัดขวางของลวดตัวนำ (A_2)	0.09621	mm^2
- ความหนาแน่นกระแสของลวดตัวนำ (J_2)	103.94	A/cm^2
- จำนวนรอบ (N_2)	33096	turns
- แรงดันต่อรอบ	3.0215	V
- แรงดันสูงสุดระหว่างชั้น	3142.36	V
- ฉนวนระหว่างชั้น (ฟิล์มโปลีเอสเตอร์)	4 × 0.075	mm
- แรงดันทดสอบความคงทนต่อแรงดันเกิน	110	kV
- ความต้านทานกระแสตรงที่ 75°C (R_2)	5483	Ω
- อุณหภูมิเพิ่ม	79.33	°C
- เปอร์เซ็นต์แรงดันตกคร่อมคิดเทียบทางด้านแรงสูงที่ 75°C		
ความต้านทาน (ε_r)	1.46	%
รีแอกแตนซ์ (ε_x)	4.16	%
อิมพีแดนซ์ (ε_{sc})	4.40	%

<u>ขดลวดต่อควบ</u>

- ขดลวดชั้นทรงกระบอก		
- จำนวนขดลวด (สำหรับต่ออนุกรมกัน)	2	ชุด
- ลวดแบนอาบน้ำยา (PEW)	2.05 × 6.05	mm^2
- พื้นที่ภาคตัดขวางของลวดตัวนำ (A_3)	11.64	mm^2
- ความหนาแน่นกระแสของลวดตัวนำ (J_3)	195.23	A/cm^2
- จำนวนรอบ (N_3)	72	turns

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- แรงดันต่อรอบ	3.056	V
- แรงดันสูงสุดระหว่างชั้น	55	V
- ฉนวนระหว่างชั้น (ฟิล์มโปลีเอสเตอร์)	4 × 0.075	mm
- ความต้านทานกระแสตรงที่ 75°C (R_3)	0.139	Ω
- อุณหภูมิเพิ่ม	79.33	°C
- น้ำหนักรวมของขดลวดแรงสูงและขดลวดต่อควบ	48.2	kg

4) <u>ปลอกฉนวนนำสายแรงสูง</u>

- แบบคอนเดนเซอร์ ประกอบด้วยปลอกหุ้มปอร์ซเลนมีครีบในอากาศ และไส้คอนเดนเซอร์ซึ่งใช้ฟิล์มโปลีเอสเตอร์เป็นฉนวนแทรกระหว่างชั้นของโลหะเปลวทรงกระบอกทั้ง 15 ชั้น โดยใช้ก๊าซ SF_6 ที่ความดันเดียวกับในถังหม้อแปลงเป็นฉนวนแทรกซึมในชั้นฉนวนของฟิล์มโปลีเอสเตอร์

- แรงดัน	100	kV
- ระยะอาร์กในอากาศ	47.0	cm
- ระยะรั่วในอากาศ	81.0	cm
- ระยะอาร์กในก๊าซ SF_6	17.5	cm
- ระยะรั่วในก๊าซ SF_6	28.0	cm
- เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนตัวนำ	2.856	cm
- เส้นผ่านศูนย์กลางนอกของไส้คอนเดนเซอร์	14.0	cm
- เส้นผ่านศูนย์กลางนอกของปลอกหุ้มปอร์ซเลน	18.2	cm
- ดิสชาร์จบางส่วน (PD)		
แรงดัน 80 kV :	$\leq$ 1.96	pC
แรงดัน 100 kV :	$\leq$ 15.76	pC
- น้ำหนักของปลอกหุ้มปอร์ซเลน	16.0	kg
- น้ำหนักของไส้คอนเดนเซอร์	5.5	kg

5) ตัวถัง

- ตัวถังเหล็กสี่เหลี่ยมไม่มีครีบ ขนาด กว้าง × ยาว × สูง = 45 × 49 × 75 cm^3 ด้านข้างและฐานใช้เหล็กหนา 4.5 mm เสริมความแข็งแรงด้านข้างโดยการดามด้วยเหล็กโดยรอบ ใช้แผ่นเหล็กหนา 6 mm ทำฝาปิดด้านบน
- น้ำหนักตัวถัง 128 kg
- น้ำหนักรวมทั้งหมดของหม้อแปลง 340 kg

6) ราคาของหม้อแปลงทดสอบขนาด 100 kV 10 kVA 50 Hz 1 เฟส

- หม้อแปลงแบบน้ำมัน 250,000.- baht
- หม้อแปลงแบบฉนวนด้วยก๊าซ SF_6 ที่ประกอบสร้าง 97,500.- baht

เนื่องจากหม้อแปลงทดสอบใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวนที่ออกแบบและประกอบสร้างขึ้นนี้เป็นตัวแรกในประเทศไทย ดังนั้นจึงประสบปัญหาทางเทคนิคต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและพัฒนาการใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวนในหม้อแปลง และอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงอื่นๆ พอสรุปได้ดังต่อไปนี้

- การปิดผนึกกันซึมหรือรั่วของก๊าซ SF_6 แก้ไขโดยการขัดผิวของหน้าสัมผัสที่จะกดปะเก็นยางกันรั่วให้เรียบ และใช้ Silicone Sealant ทาตรงบริเวณผิวสัมผัสของปะเก็นยางก่อนที่จะประกอบชิ้นส่วนอีกครั้งหนึ่ง

- การบรรจุอัดก๊าซ ต้องระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากก๊าซ SF_6 จะมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าลดลงอย่างมาก เมื่อมีความชื้นหรือสิ่งอื่นเจือปนตามผิวฉนวนแข็ง [18, 22] เช่น ฟิล์มไปลีเอสเตอร์ เป็นต้น

- การขจัดการเกิดดิสชาร์จบางส่วน ตรงบริเวณที่มีค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงๆ เช่น บริเวณขอบเหล็กแคล้มป์ที่มีมุมคัดแหลมคม ซึ่งแก้ปัญหาโดยลบมุมแหลมคมตรงขอบเหล็กแคล้มป์ที่ใกล้กับขดลวดแรงสูงทุกตำแหน่ง

- ปลอกฉนวนนำสาย ต้องเป็นแบบคอนเดนเซอร์ เพื่อป้องกันการเกิดดิสชาร์จตามผิวฉนวน โดยใช้หลักการของปลอกฉนวนนำสายแบบคอนเดนเซอร์ ดังกล่าวแล้วในข้อ 2.8

งานวิจัยการออกแบบสร้างหม้อแปลงทดสอบแบบฉนวนด้วยก๊าซ SF_6 ขนาด 100 kV 10 kVA เฟสเดียวนี้

- จะช่วยให้สามารถสร้างหม้อแปลงทดสอบที่ใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวน เพื่อใช้ทดสอบในสนามที่อุปกรณ์และระบบไฟฟ้าติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ซึ่งน้ำหนักเบา และสะดวกในการขนย้าย
- จะช่วยให้โรงงานหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอยู่แล้วสามารถพัฒนาผลิตหม้อแปลงทดสอบที่ใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวน เป็นอุตสาหกรรมเชิงการค้าได้ เป็นการช่วยประหยัดเงินตราสั่งซื้อนำเข้า
- เป็นพื้นฐานของการวิจัย การใช้ประโยชน์ของก๊าซ SF_6 เป็นฉนวนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงอื่นๆ

6.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการสร้างแรงดันทดสอบกระแสสลับความถี่กำลังที่มีขนาดแรงดันสูงมากๆ โดยใช้หม้อแปลงทดสอบหลายๆ ตัวมาต่อขั้นบันไดกันมีความเหมาะสมมาก แต่การที่จะใช้หม้อแปลงทดสอบแบบตัวถังเหล็กที่มีปลอกฉนวนนำสายแบบคอนเดนเซอร์มาต่อขั้นบันไดกันจะใช้ที่ว่างมาก เนื่องจากความสูงของปลอกฉนวนนำสายและพื้นที่ของฉนวนรองรับตัวถังเหล็ก ดังนั้นจึงใคร่ขอเสนอแนะให้มีการศึกษาออกแบบและสร้างหม้อแปลงทดสอบแบบถังฉนวน ซึ่งสามารถจะต่อขั้นบันไดกันโดยนำหม้อแปลงทดสอบแบบถังฉนวนมาวางซ้อนกัน ซึ่งทำให้ประหยัดที่ว่างและสะดวกในการต่อขั้นบันได อีกประการหนึ่ง ควรจะได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแบบฉนวนด้วยก๊าซ SF_6 เนื่องจากหม้อแปลงชนิดนี้สามารถนำมาใช้งานแทนหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแบบแห้งได้อย่างสมบูรณ์ จากข้อดีของก๊าซ SF_6 ในเรื่องการฉนวน ไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ และไม่ช่วยให้ไฟติด จึงเป็นฉนวนที่ให้ความปลอดภัยสูง เพราะว่าในปัจจุบันประเทศไทยได้สั่งซื้อหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแบบแห้งเป็นจำนวนมากจากต่างประเทศ และมีราคาแพงมาก มาใช้ในบริเวณที่ต้องการความปลอดภัยสูงจากการระเบิดเกิดเพลิงไหม้ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง เช่น ศูนย์การค้า ธนาคาร และโรงพยาบาล เป็นต้น