บทที่ 7

สรุปผลงานและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลงาน

หม้อแปลงไฟฟ้าที่ประกอบสร้างขึ้นเป็นหม้อแปลงที่ใช้ในระบบจำหน่ายสำหรับติดตั้งภายในอาคารขนาดใหญ่ปานกลาง มีขนาด 500 kVA 12 kV/400 V 50 Hz 3 เฟส โดยใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวน มีโครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบด้วย แกนแม่เหล็กแบบคอร์ แต่ละเฟสประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด พันอยู่บนแกนเหล็กขาเดียวกันขาละเฟสซึ่งประกอบด้วยขดลวดแรงต่ำและขดลวดแรงสูง ขดลวดแรงสูงพันทับขดลวดแรงต่ำ ฉนวนภายในใช้โพลีเอสเตอร์ฟิล์มแทนกระดาษฉนวนเป็นฉนวนพันหุ้มขดลวดและระหว่างชั้นของขดลวด ใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวนแทรกซึมแทนน้ำมันและเป็นตัวช่วยระบายความร้อน ส่วนตัวถังจะติดครีบระบายความร้อนรอบนอกของตัวถังเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการระบายความร้อน หลังจากประกอบสร้างหม้อแปลงเสร็จแล้วจึงทำการทดสอบตามมาตรฐาน IEC Publ. No. 76-1976 Power Transformers ผลของการออกแบบสร้างและการทดสอบของหม้อแปลงที่ประกอบสร้างมีข้อมูลสรุปได้ดังนี้

1) ค่ากำหนด

- กำลังไฟฟ้า	500	kVA
- แรงดัน		
แรงต่ำ	416/240	V
แรงสูง	12000	V
- กระแส		
แรงต่ำ	694	A
แรงสูง	13.89/24.06	A
- ความถี่	50	Hz
- จำนวนเฟส	3	เฟส
- แรงดันอิมพีแดนซ์	4.10	%

- การฉนวน

ไพลีเอสเตอร์ฟิล์ม

ก๊าซ SF_6 ที่ความดัน 2.35 $kg/cm^2.abs$, อุณหภูมิ 30^oC

- ตัวถัง

ตัวถังเหล็กพร้อมปลอกฉนวนนำสายแบบธรรมดาและมีครีบระบายความร้อนรอบนอก

2) แกนแม่เหล็ก

- แผ่นเหล็กซิลิคอน, RG 7H	0.3	mm
- พื้นที่ภาคตัดขวาง	29,246	mm^2
- ความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก	1.68	T
- กระแสเมื่อไม่มีโหลด	11.04	A
- กำลังไฟฟ้าสูญเสียเมื่อไม่มีโหลด	1321	W
- น้ำหนัก	930	kg

3) ขดลวดและการฉนวน

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงที่ 75^oC	4366	W

ขดลวดแรงต่ำ

- ขดลวดพันเป็นชั้นทรงกระบอก		
- ลวดทองแดงชนิดแบนเปลือย	5x10	mm^2
- ลวดทองแดงหุ้มไพลีเอสเตอร์ฟิล์ม	5.4x10.4	mm^2
- จำนวนเส้นของลวดตัวนำต่อ 1 รอบ	8	เส้น
- จำนวนรอบต่อ เฟส	22	turns
- พื้นที่ภาคตัดขวางต่อ 1 รอบ	8x50	mm^2
- ความหนาแน่นกระแสของลวดตัวนำ	1.735	A/mm^2
- แรงดันต่อรอบ	10.91	V
- ร่องระหว่างรอบ	2	mm
- ความต้านทานกระแสตรงที่ 75^oC	0.00129	ohm/ph
- อุณหภูมิเพิ่ม	65.6	^oC

- ความคงทนต่อแรงดันจากตัวจ่ายอื่น	3	kV
- น้ำหนักขดลวดแรงต่ำ	200	kg

<u>ขดลวดแรงสูง</u>

- ขดลวดพันเป็นทรงกระบอกสิ้นทั้งหมด (ต่อ 1 เฟส)	10	ตอน
- ลวดกลมอาบน้ำยา (EIW) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	2.2	mm
- จำนวนเส้นของลวดตัวนำต่อ 1 รอบ	2	เส้น
- จำนวนรอบต่อ 1 เฟส	1100	turns
- พื้นที่ภาคตัดขวางต่อ 1 รอบ	2x3.14	mm^2
- ความหนาแน่นกระแสของลวดตัวนำ	2.21	A/mm^2
- แรงดันต่อรอบ	10.91	V
- ฉนวนระหว่างชั้นโดยใช้โพลีเอสเตอร์ฟิล์ม	2x0.075	mm
- ความคงทนต่อแรงดันจากตัวจ่ายอื่น	28	kV
- ความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์	75	kV
- ความต้านทานกระแสตรงที่ $75^{o}C$	3.904	ohms/ph
- อุณหภูมิเพิ่ม	68	^{o}C
- น้ำหนักขดลวดแรงสูง	200	kg
- เปอร์เซนต์แรงดันตกคร่อมคิดเทียบทางด้านแรงสูงที่ $75^{o}C$		
ความต้านทาน	0.873	%
รีแอกแตนซ์	4.0	%
อิมพีแดนซ์	4.1	%
- กระแสลัดวงจรที่แรงดันค่าปกติ	338.8	A
- เปอร์เซนต์เรกูเลชั่น		
ที่เพาเวอร์แฟกเตอร์ = 1	0.95	%
ที่เพาเวอร์แฟกเตอร์ = 0.8	3.13	%
- ประสิทธิภาพของหม้อแปลงที่ $75^{o}C$ และเพาเวอร์แฟกเตอร์ = 1		
โหลด 100 %	98.88	%
โหลด 80 %	98.98	%

โหลด 60 %	99.05	%
โหลด 40 %	99.00	%
โหลด 20 %	98.52	%

4) ตัวถัง

- พื้นตัวถังมีขนาดกว้าง x ยาว	790x1620	mm^2
- ความสูงของตัวถัง	1920	mm
- เมื่อติดครีบระบายความร้อนแล้วตัวถังมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง	1440x1620x1920	mm^3
- น้ำหนักตัวถังโดยประมาณ	900	kg
- น้ำหนักรวมทั้งหมดของหม้อแปลง	2600	kg

5) ราคาของหม้อแปลงไฟฟ้า

ขนาด 500 kVA 12 kV/400 V 50 Hz 3 เฟส

- หม้อแปลงแบบน้ำมัน (จากโรงงานในประเทศ)	250,000	บาท
- หม้อแปลงแบบแห้งชนิดคาสเรซิ่น (ราคาจากบ.เซ้าท์อีสไทยแลนด์ของ May & Chrite Germany)	280,000	บาท
- หม้อแปลงแบบใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวน (ราคาจาก Mitsubishi Japan)	570,000	บาท
- หม้อแปลงแบบใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวนที่ประกอบสร้างนี้ ต้นทุนประมาณ	200,000	บาท

งานวิจัยการออกแบบสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 500 kVA 12 kV/416 V โดยใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวนนี้คาดว่าประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย คือ

- เป็นตัวต้นแบบในการพัฒนาผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวน ซึ่งมีความปลอดภัยสูง เป็นอุตสาหกรรมเชิงการค้าสำหรับโรงงานหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอยู่แล้วในประเทศไทย

- เป็นพื้นฐานการวิจัยในการใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวนและตัวกลางในการระบายความร้อน ในอุปกรณ์อื่นๆ

ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่ประกอบสร้างแล้วนี้ เทียบกับค่าที่ออกแบบไว้แล้ว มีดังนี้ คือ

- กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กจะมีค่าสูงกว่าที่ออกแบบไว้ประมาณ 240 W เนื่องจากน้ำหนักเหล็กซิลิคอนที่ใช้จริงจะมากกว่าตอนออกแบบ และเนื่องจากแกนเหล็กมีขนาดใหญ่การยึดติดของแกนเหล็กจำเป็นต้องใช้นอตยึดหลายจุด ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดเนื่องจากจุดยึดต่าง ๆ เหล่านี้มีค่าเพิ่มขึ้น

- เปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ที่ออกแบบไว้มีค่า 3.9 % ผลการทดสอบได้ค่าเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง 4.1 % เนื่องจากระยะความหนาของขดลวดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากการพัน

- อุณหภูมิเพิ่มของขดลวดที่ออกแบบไว้ประมาณ 63^{o}C จากการทดสอบอุณหภูมิเพิ่มของขดลวดมีค่า 68^{o}C ทั้งนี้เนื่องจากพื้นผิวในการระบายความร้อนของขดลวด น้อยกว่าที่คำนวณไว้เนื่องจากการวางเบกไลต์ที่ใช้วางคั่น ณ. จุดต่างๆ

7.2 ข้อเสนอแนะ

หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่ายสิ่งสำคัญที่คำนึงถึงคือ ความสามารถในการรับโหลดที่กำหนดได้โดยอุณหภูมิเพิ่มภายในหม้อแปลงอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด นอกจากนี้ยังสามารถรับโหลดเกินที่กำหนดได้ในช่วงระยะสั้น ๆ ซึ่งโหลดส่วนใหญ่ในเขตจำหน่ายมักจะสูงเป็นช่วง ๆ ในเวลา 1 วัน โดยที่จะต้องมีการออกแบบระบบการระบายความร้อนที่ดี หม้อแปลงไฟฟ้าที่ออกแบบนี้สามารถลดความสูงของตัวถังลงได้อีก ถ้ามีการผลิตครีบระบายความร้อนที่ติดรอบนอกของตัวถังให้มีความสูงมากกว่านี้ นอกจากนี้ความหนาแน่นกระแสของขดลวดแรงต่ำสามารถเพิ่มค่าสูงกว่าที่ออกแบบนี้ได้ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในขดลวดยังมีค่าต่ำ เมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแสของขดลวดทำให้ใช้ลวดตัวนำขนาดเล็กลง ผลที่ตามมาคือกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กจะลดลงและน้ำหนักรวมของหม้อแปลงจะลดลงด้วย

ในการศึกษาออกแบบและประกอบสร้างหม้อแปลงขั้นต่อไปควรจะศึกษาหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA และแรงดัน 22 kV เพื่อใช้ในอาคารขนาดใหญ่ ๆ ซึ่งมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง และจะเป็นพื้นฐานในการเปรียบเทียบขนาดหม้อแปลงกับคุณสมบัติด้านเทคนิคอื่น ๆ เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านนี้ต่อไป