บทที่ 2

หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญสามารถเปลี่ยนแปลงค่า ของระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ใช้ในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบแรงดันไฟฟ้าต่ำ ไปจนถึงระดับแรงดันสูง ดังนั้นส่วนประกอบ รูปแบบ และวัสดุที่ประกอบขึ้นเป็นหม้อแปลงจึงมีความแตกต่างกัน เราจำเป็นต้องทราบโครงสร้างของหม้อแปลง ประกอบด้วยอุปกรณ์และลักษณะรูปแบบเป็นอย่างไรบ้าง จะได้เข้าใจถึงลักษณะทางกายภาพภายในหม้อแปลง โดยเฉพาะขดลวดหม้อแปลง เพื่อที่จะนำมาหาแบบจำลองและพารามิเตอร์ของขดลวด

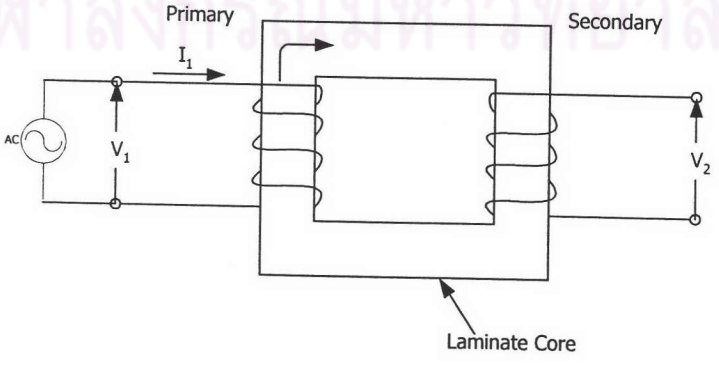
ในบทนี้อธิบายถึงลักษณะทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้า ส่วนประกอบของหม้อแปลง ลักษณะการพันขดลวด เป็นต้น

2.1 โครงสร้างของหม้อแปลง(Transformer construction) [1]

หม้อแปลงแบบธรรมดาที่ใช้กันอยู่ทั่วไป จะมีขดลวด 2ชุด พันรอบแกนเหล็กซึ่งทำจากเหล็ก แผ่นบางๆ หลายแผ่นประกอบกัน ซึ่งแต่ละแผ่นจะฉาบด้วยสารที่เป็นฉนวนไฟฟ้าทั้งสองด้าน นำมาอัดซ้อนกันเรียกว่า แผ่นเหล็กลามิเนท (Laminated sheet steel) เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy current)

ส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงมี 3 ส่วน คือ

- แกนเหล็กหม้อแปลง (Transformer core)
- ขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding)
- ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary winding)



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของหม้อแปลง

อัตราส่วนระหว่างจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิจะเป็นตัวกำหนดว่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิจะถูกแปลงให้มีแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือลดลงทางด้านทุติยภูมิ

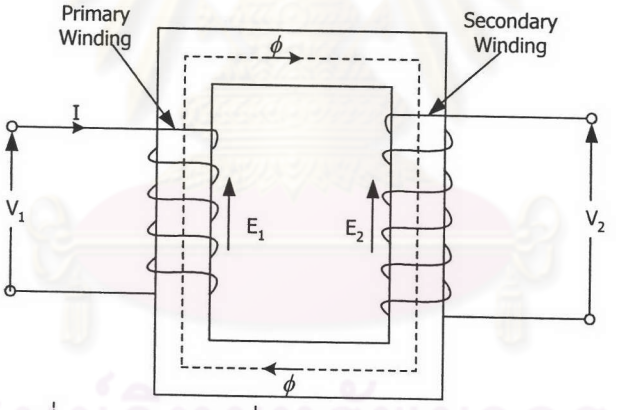
หม้อแปลงซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าด้านขดลวดปฐมภูมิสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านขดลวดทุติยภูมิเรียกว่า "หม้อแปลงลดแรงดัน" (Step-down transformer)

ส่วนหม้อแปลงซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าด้านขดลวดปฐมภูมิต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านขดลวดทุติยภูมิเรียกว่า "หม้อแปลงเพิ่มแรงดัน" (Step-up transformer)

2.2 โครงสร้างของส่วนที่เป็นวงจรแม่เหล็ก

2.2.1 หม้อแปลงเฟสเดียว (Single phase transformer)

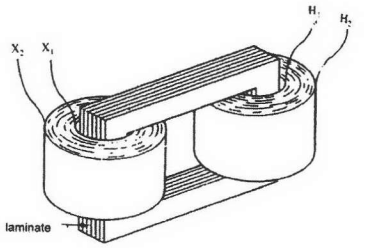
แกนเหล็กถือว่าเป็นโครงสร้างหลักของหม้อแปลง ทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในขดลวดทุติยภูมิ ดังรูปที่ 2.2 แสดงทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กหม้อแปลง นอกจากนั้นแกนเหล็กหม้อแปลงยังเป็นส่วนที่จับยึดของขดลวดทั้งสองขดอีกด้วย ลักษณะของแกนเหล็กหม้อแปลงแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ



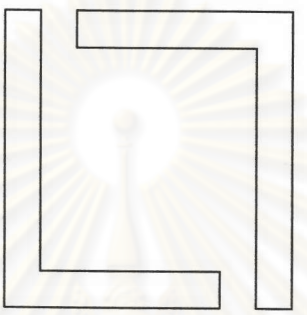
รูปที่ 2.2 หม้อแปลงเมื่อขดลวดทุติยภูมิเป็นวงจรเปิด

2.2.1.1 หม้อแปลงแบบขดลวดล้อมแกนหรือหม้อแปลงแบบคอร์ (Core type transformer)

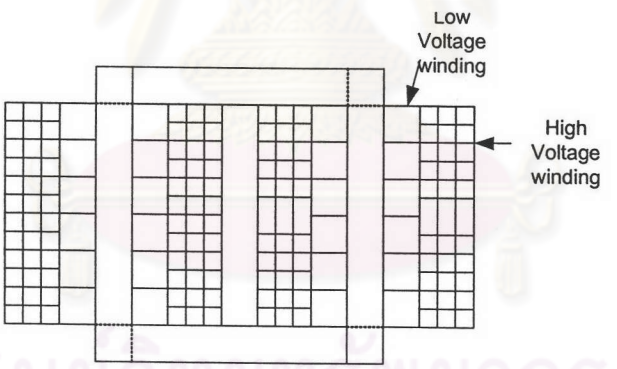
การพันขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิจะพันแยกแกนกัน ดังรูปที่ 2.3 แต่จะมีผลเสียคือ มี ฟลักซ์รั่ว(Leakage flux) มาก ซึ่งจะมีผลต่อการทำงานของหม้อแปลง ดังนั้นการพันขดลวดหม้อแปลงแบบขดลวดล้อมแกน จึงอาจจะพันได้อีกวิธีหนึ่งคือ ที่แกนเหล็กแต่ละข้างจะพันขดลวดแรงต่ำ (Low voltage winding) และขดลวดแรงดันสูง (High voltage winding) ไว้ข้างละครึ่งขด ดังรูปที่ 2.4 ข) เพื่อลดฟลักซ์รั่ว



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของหม้อแปลงแบบขดลวดล้อมแกนหรือแบบคอร์



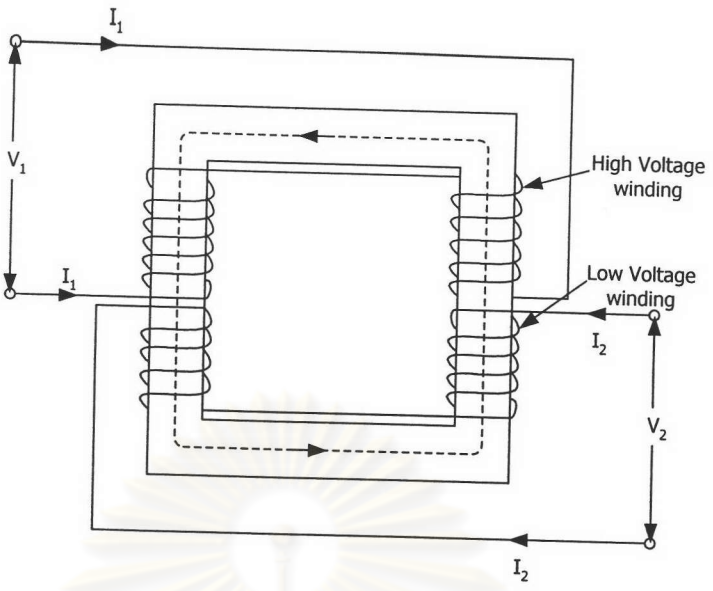
ก) ลักษณะของแกนเหล็กแผ่นลามิเนทรูปตัว L-L



ข) การพันขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ

รูปที่ 2.4 แกนเหล็กหม้อแปลงแบบขดลวดล้อมแกนหรือแบบคอร์

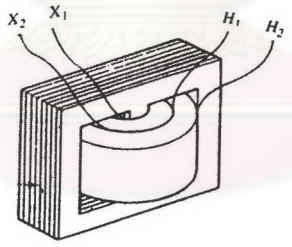
รูปที่ 2.4 ก) เป็นลักษณะของแผ่นเหล็กลามิเนทรูปตัว L-L ซึ่งใช้เป็นแกนเหล็กของหม้อแปลงแบบคอร์ ในรูปที่ 2.4 ข) เป็นการพันขดลวดทั้งสองขดแบบแยกแกนกันโดยพันไว้ข้างละครึ่งขด ซึ่งลักษณะการต่อวงจรของขดลวดทั้งสองชุดแสดงในรูปที่ 2.5 แกนเหล็กแบบคอร์นี้จะมีทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กเพียงวงจรเดียว



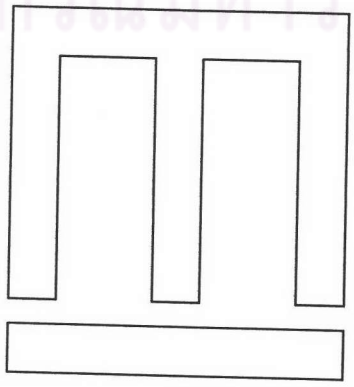
รูปที่ 2.5 การพันขดลวดแรงดันต่ำและแรงดันสูงไว้ข้างละครึ่งขดเพื่อลดฟลักซ์รั่ว

2.2.1.2 **หม้อแปลงแบบแกนล้อมขดลวดหรือแบบเชลล์** (Shell type transformer)

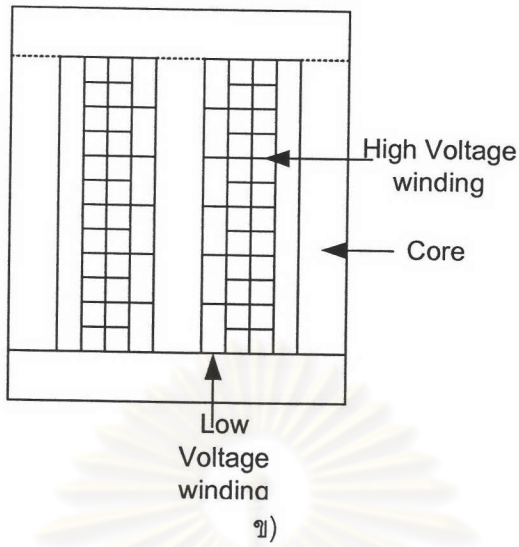
คือการพันขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิไว้ที่ขากลางของแกนเหล็ก ส่วนขาที่เหลืออีกสองข้างจะทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.6 และรูปที่ 2.7 ก)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของหม้อแปลงแบบเชลล์



ก)



ข)

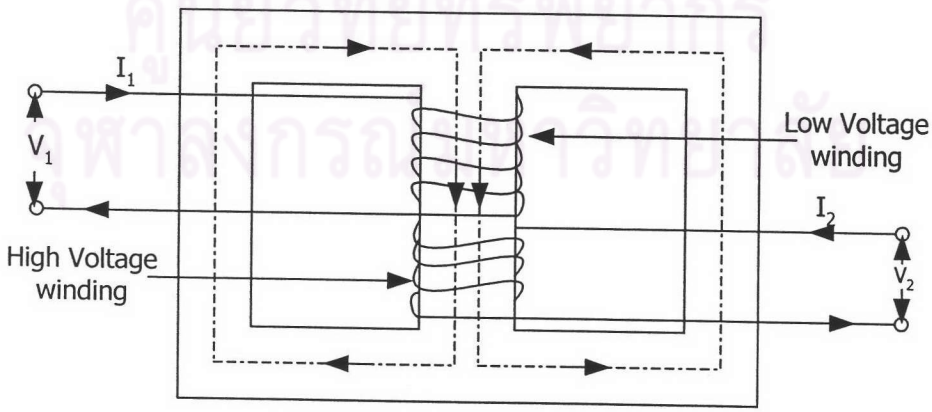
รูปที่ 2.7 แกนเหล็กหม้อแปลงแบบแกนล้อมขดลวดหรือแบบเชลล์

ก. ลักษณะของเหล็กแผ่นลามิเนทรูปตัว E-I

ข. พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก และขดลวดทั้งสองชุด

เป็นแผ่นเหล็กลามิเนทรูปตัว E และ I ส่วนรูปที่ 2.7 ข) แสดงพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กหม้อแปลงแบบเชลล์ และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดทั้งสองชุด ซึ่งขดลวดชุดที่มีพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดตัวนำใหญ่ และพันไว้ประชิดกับขากลางของแกนเหล็กคือ ขดลวดแรงดันต่ำส่วนขดลวดชุดที่มีพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดตัวนำเล็กและพันทับขดลวดแรงต่ำคือขดลวดแรงดันสูง

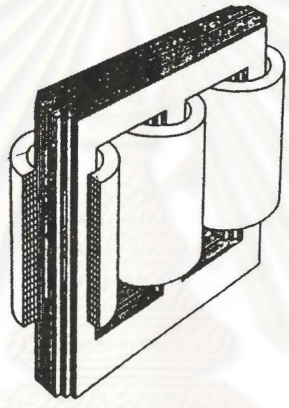
ลักษณะการพันขดลวดทั้งสองชุดของหม้อแปลงแบบเชลล์ แสดงไว้ในรูปที่ 2.8 ซึ่งมีทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองวงจร



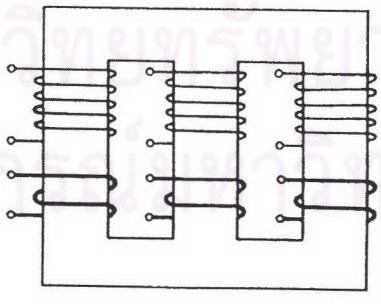
รูปที่ 2.8 ลักษณะการพันขดลวดในแกนเหล็กหม้อแปลงแบบเชลล์

2.3 **หม้อแปลงสามเฟส** (Three phase transformer)

หม้อแปลงสามเฟส คือ หม้อแปลงเฟสเดียวจำนวนสามตัวมาต่อเข้าด้วยกันหรือเป็นหม้อแปลงตัวเดียวที่มีการพันขดลวดแบบสามเฟส แต่การนำหม้อแปลงเฟสเดียวสามตัวมาประกอบเป็นหม้อแปลงสามเฟส จะมีข้อเสียคือหม้อแปลงมีขนาดใหญ่สิ้นเปลืองพื้นที่ในการติดตั้ง มีน้ำหนักมากกว่าและราคาสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหม้อแปลงสามเฟสตัวเดียวที่มีพิกัดกำลังเอาท์พุทเท่ากัน รูปที่ 2.9 แสดงแกนเหล็กและขดลวดของหม้อแปลงสามเฟสแบบขดลวดล้อมแกนหรือแบบคอร์ รวมทั้งโครงสร้างของแกนเหล็กและลักษณะของการพันขดลวดทั้งสามเฟสด้านแรงดันต่ำและขดลวดด้านแรงดันสูงของหม้อแปลงสามเฟสแบบคอร์และแบบเชลล์ แสดงตามรูปที่ 2.10

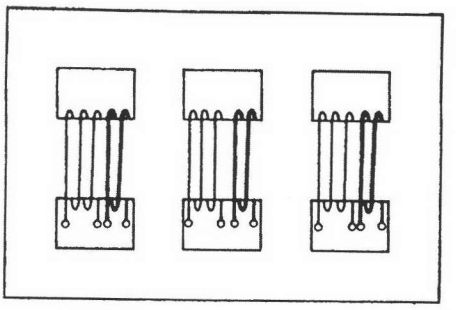


รูปที่ 2.9 หม้อแปลงสามเฟสแบบขดลวดล้อมแกนหรือแบบคอร์



ก)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ข)

รูปที่ 2.10 โครงสร้างของแกนเหล็ก และลักษณะการพันขดลวดทั้งสามเฟส ทั้งด้านแรงดันต่ำและแรงดันสูง ก) แบบคอร์ ข) แบบเชลล์

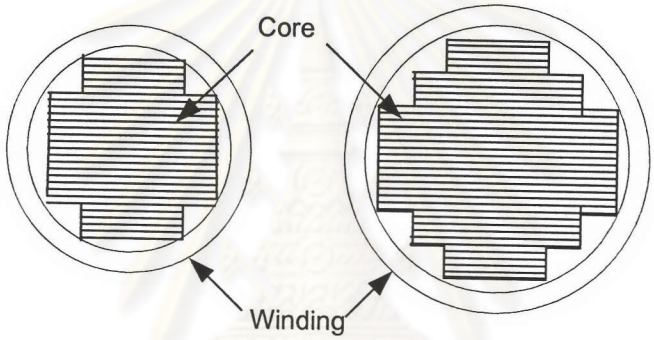
2.4 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำแกนและคุณสมบัติของแกนหม้อแปลง

1. เหล็กที่ใช้ทำแกนหม้อแปลงต้องมีความซึมซาบได้ (Permeability) สูง มีการสูญเสียที่เกิดจากฮีสเตอรีซิส (Hysteresis loss) ต่ำ มีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก(Flux density) ที่ใช้ในการเหนี่ยวนำสูงถึง 1.35-1.55 เวเบอร์ต่อ ตารางเมตร ผ่านกรรมวิธีทั้งทางเคมีและความร้อนมาแล้ว ก่อนที่จะนำมารีดเป็นแผ่นบางๆ (Steel lamination) คุณสมบัติของฉนวนที่นำมาฉาบเหล็กแผ่นทั้งสองด้านต้องมีฉนวนตามผิว (Surface insulation)สูง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระแสไหลวนเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างแผ่นของแกนเหล็ก ฉนวนที่นำมาฉาบได้แก่สารจำพวกวานิช (Vanish)
2. การสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss) คิดเป็นวัตต์ต่อกิโลกรัมต้องมีค่าน้อยในทางปฏิบัติการสูญเสียในแกนเหล็กมากกว่าร้อยละ 70 ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ทำแกนหม้อแปลง ส่วนร้อยละ 30 ที่เหลือจะขึ้นอยู่กับการออกแบบและกรรมวิธีการผลิต
3. มีอายุการใช้งานทนทาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบระบายความร้อน (Cooling unit)
4. มีความเค้นเชิงกลสูง เมื่อมีการลัดวงจรเกิดขึ้นภายในหม้อแปลงขณะใช้งาน หรือเกิดการสั่นสะเทือนในระหว่างขนย้าย หรือตรงรอยยึดต่อระหว่างขดลวดในระหว่างการผลิตหม้อแปลง ต้องสามารถทนทานได้

การยึดเหล็กแผ่นลามิเนทของแกนหม้อแปลงนั้นต้องยึดด้วยวิธีการรัด (Strapping) ด้วยเหล็กหนีบยึดแกน (Core clamping plate) ทั้งโครงด้านบน (Top end frame) และโครงด้านล่าง (Bottom end frame) แกนเหล็กหม้อแปลงในแนวตั้งเรียกว่า "ขา" (Limbs or legs) แกนเหล็กหม้อแปลงในแนวนอนทั้งด้านบนและด้านล่างเรียกว่า "แอก" (Yokes)

แกนเหล็กขดลวดและส่วนอื่นๆ ที่ประกอบเข้าด้วยกันจะต้องสามารถทนทานต่อแรงที่เกิดจากกระแสสูงได้ การรัดแกน (Strapping) ต้องทำให้เหล็กแผ่นบางๆ ของแกนเหล็กทั้งหมดเป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อลดเสียงรบกวนและการสั่นของแกน เหล็กแผ่นของแกนและเหล็กหนีบยึดแกน (Core clampling plate) จะต้องแยกออกจากกันในทางไฟฟ้าโดยกั้นด้วยฉนวน

ในหม้อแปลงขนาดเล็ก แกนเหล็กจะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม ดังนั้นลักษณะของขดลวดจึงอาจจะเป็นรูปทรงกระบอกสี่เหลี่ยมหรือทรงกระบอกกลมก็ได้ แต่ถ้าเป็นหม้อแปลงขนาดใหญ่ แกนเหล็กจะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นขั้น[1,2] เรียกว่า แกนแบบครูซิฟอร์ม (Cruciform core) ดังรูปที่ 2.11การพันขดลวดจะเป็นรูปทรงกระบอกกลมโดยสามารถพันให้แนบกับแกนแบบครูซิฟอร์มได้ง่ายและเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ขดลวด



รูปที่ 2.11 แกนเหล็กหม้อแปลงที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นขั้นหรือแกนเหล็กแบบครูซิฟอร์ม

2.5 หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง(Power transformers) [2]

เนื่องจากการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจำเป็นต้องส่งจ่ายด้วยแรงสูงหลายระดับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณกำลังไฟฟ้าและระยะทางที่ต้องการส่งในระบบส่งจ่ายและระบบจำหน่าย

ชนิดของหม้อแปลงอาจแบ่งตามลักษณะการใช้งาน คือเป็นหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในระบบสายส่งมีขนาดตั้งแต่ 2.5 MVA ถึง 3000 MVA แรงดัน 36 kV ถึง 1500 kV และหม้อแปลงที่ใช้ในระบบจำหน่ายขนาดไม่เกิน 2.5 MVA แรงดันไม่เกิน 36 kV โดยแบ่งตามขนาดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงเป็นสำคัญหรืออาจแบ่งตามชนิดของฉนวน คือ เป็นชนิดแห้งและชนิดน้ำมัน หม้อ-แปลงชนิดแห้งฉนวนอาจเป็นก๊าซอัดความดัน(โดยทั่วไปเป็นก๊าซ SF_6) หรือชนิดสารสังเคราะห์ที่เรียกว่า คาสท์เรซิน (cast resin)

2.5.1 ส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

ตามหลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังจะมีโครงสร้างประกอบด้วยส่วนสำคัญได้แก่ แกนเหล็ก ขดลวด และการฉนวน ซึ่งแต่ละส่วนประกอบจะมีการออกแบบให้มีความสัมพันธ์กัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดกำลังไฟฟ้าอันเป็นผลคูณของแรงดันกับกระแส

2.5.1.1 แกนเหล็ก

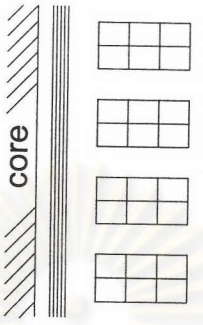
แกนเหล็กจะทำหน้าที่ให้เป็นทางเดินของเส้นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลในขดลวดที่พันอยู่บนแกนเหล็ก แกนเหล็กของหม้อแปลงจะประกอบจากแผ่นเหล็กซิลิกอนบางๆ นำมาเรียงประกบกันในลักษณะที่ให้คุณสมบัติของแม่เหล็กดีที่สุด หม้อแปลงธรรมดาจากหัวข้อข้างต้นอาจใช้แกนเหล็กลามิเนทได้ แบบแกนเหล็กที่นิยมใช้กันอยู่มีอยู่ 2 ชนิดคือ แบบคอร์กับแบบเชลล์ ภาคตัดขวางของแกนเหล็กอาจเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือสี่เหลี่ยมจตุรัสสำหรับหม้อแปลงขนาดเล็ก ส่วนหม้อแปลงขนาดใหญ่ขึ้น ระดับแรงดันสูงขึ้น จะมีภาคตัดขวางของแกนเหล็กเป็นแบบสี่เหลี่ยมอัดในวงกลมที่เรียกว่า แบบครูซิฟอร์ม (cruciform) ตามรูปที่ 2.11 ซึ่งจะช่วยให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนเหล็กและขดลวดสำหรับพื้นที่ภาคตัดขวางที่กำหนดให้มีขนาดเล็กลง จะทำให้ประหยัดเหล็กและลวดทองแดง แกนเหล็กมีลักษณะกลมมากขึ้น มีผลดีต่อขดลวด เสถียรภาพด้านแรงกลดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อแรงกลไดนามิกส์ที่เกิดจากการลัดวงจร แรงจะมีทิศทางในแนวรัศมีของขดลวด รูปร่างขดลวดวงกลมจะไม่เปลี่ยนแปลง เพราะมีแรงกระจายเท่ากันทุกด้าน

2.5.1.2 ขดลวด

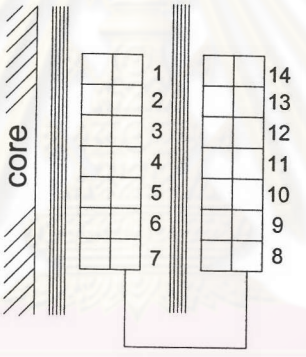
ขดลวดเป็นตัวนำที่พันรอบอยู่บนแกนเหล็กที่ให้กระแสไหลผ่าน เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กส่วนหนึ่งและอีกส่วนหนึ่งเป็นกระแสที่จ่ายไปยังโหลดหรือวงจรภายนอก ขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าจะประกอบด้วยขดลวดแรงต่ำและขดลวดแรงสูง ซึ่งขดลวดด้านปฐมภูมิเป็นด้านที่ป้อนกำลังไฟฟ้าเข้า ส่วนขดลวดทุติยภูมิเป็นด้านที่จ่ายกำลังไฟฟ้าออก การออกแบบขดลวดจะต้องให้มีคุณสมบัติด้านไฟฟ้าดีที่สุด มีความแข็งแรงทางกลทนต่อแรงที่เกิดขึ้นจากการลัดวงจร มีการระบายความร้อนที่ดี อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะต้องไม่เกินขีดจำกัดที่มาตรฐานกำหนด คือ คลาส A ไม่เกิน 55^{o} C และคลาส E ไม่เกิน 75^{o} C

ลักษณะของขดลวดที่ใช้ขึ้นอยู่กับกระแสและแรงดันที่ใช้งาน[3] โดยที่ขดลวดอย่างง่ายจะเป็นแบบ helical winding ซึ่งขดลวดแต่ละรอบพันต่อเนื่องกันไป ดังรูปที่2.12 ถ้าขดลวดมีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะทำให้การนำความร้อนที่เกิดจากการสูญเสียภายในขดลวด ออกมาทำได้ยากขึ้น จึงจำเป็นต้องใช้ท่อระบายความร้อน(Cooling ducts)โดยเรียกรูปแบบขดลวดแบบนี้ว่า Spiral winding ขดลวดแบบนี้จะเหมือนกับ helical winding ที่แตกต่างกันก็คือ จะมีท่อระบายความร้อน(Cooling ducts) อยู่ระหว่างขดลวดตามรูปที่2.13 เมื่อแรงดันมีขนาดเพิ่มขึ้น จะทำให้กระแสมีขนาดลดลง

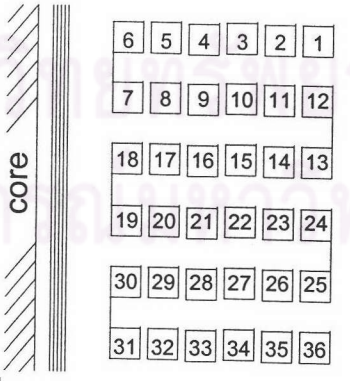
ฉะนั้นจะทำให้ขดลวดมีขนาดลดลงรวมทั้งมีจำนวนรอบมากขึ้น มีผลทำให้ต้องใช้พื้นที่ในการใช้งานมากเมื่อพันขดลวดเป็นแบบ helical winding หรือ spiral winding ดังนั้นเพื่อความประหยัดจึงมีการเปลี่ยนการพันขดลวดมาเป็นแบบ ดิสก์(disc) ตามรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.12 ขดลวดแบบ helical winding



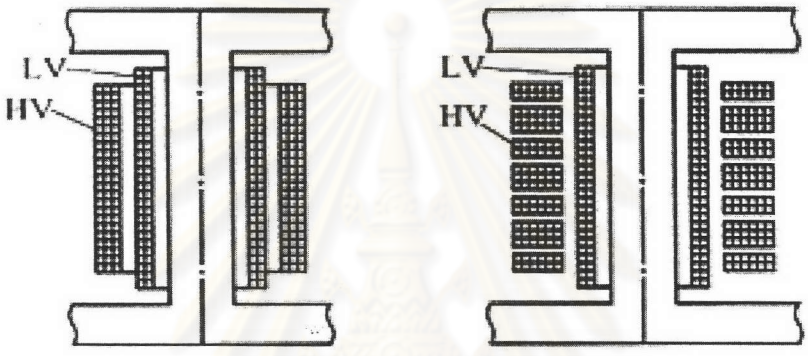
รูปที่ 2.13 ขดลวดแบบ spiral winding



รูปที่ 2.14 ขดลวดแบบ disc winding

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การพันขดลวดที่นิยมพันในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ขดลวดแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ[2,4] คือ แบบทรงกระบอก (cylindrical winding) และแบบดิสก์ (disc winding) ดังในรูปที่ 2.15 ขดลวดแรงต่ำโดยทั่วไปจะพันแบบทรงกระบอกอยู่ติดแกนเหล็ก อาจจะเป็นชั้นเดียวหรือสองชั้น ถ้าต้องการให้การระบายความร้อนดี จะมีการเว้นช่องว่างระหว่างขดลวดนอกกับขดลวดใน ส่วนขดลวดแรงสูงจะพันอยู่รอบนอกขดลวดแรงต่ำ ในกรณีแรงดันค่อนข้างสูง มักจะพันเป็นแบบขดดิสก์ โดยแบ่งขดลวดเป็นตอนๆ



ก) ข)

รูปที่ 2.15 ลักษณะรูปแบบการพันขดลวด

ก) แบบทรงกระบอกทั้ง LV และ HV

ข) แบบขดดิสก์ HV ส่วน LV เป็นทรงกระบอก

การพันขดลวดสองแบบให้ผลสำคัญต่อแรงดันกระจายบนขดลวด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีขดลวดได้รับแรงดันทรานเซี้ยนต์ อันเนื่องมาจากค่าความจุไฟฟ้าระหว่างรอบของขดลวดตลอดความยาวของขดลวด ซึ่งมีลักษณะต่อกันแบบอนุกรมกันเป็น C_s และความจุไฟฟ้าระหว่างขดลวดกับส่วนที่ต่อลงดิน เช่น แกนเหล็กและตัวถังเป็น C_g แรงดันกระจายบนขดลวดจะสม่ำเสมอเป็นเชิงเส้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กันแฟกเตอร์ α [2,4,7]

$$\alpha = \sqrt{\frac{C_g}{C_s}}$$

ถ้า α ยิ่งมีค่ามากขึ้นจะทำให้แรงดันกระจายไม่เป็นเชิงเส้นมากขึ้นตาม

ความแตกต่างของการพันขดลวดทั้งสองแบบยังให้ผลทางแรงดันไฟฟ้าระหว่างชั้นขดลวดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการต่อของขดลวด

2.5.1.3 **การฉนวน**

หน้าที่ของการฉนวนในหม้อแปลงไฟฟ้า อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประการคือ

1. เป็นฉนวนทางไฟฟ้า ระหว่างรอบขดลวด ระหว่างชั้นขดลวด ระหว่างขดลวดแรงสูงกับขดลวดแรงต่ำและระหว่างขดลวดกับส่วนที่ต่อลงดิน อาจจะเป็นฉนวนแข็ง ฉนวนเหลว หรือ ฉนวนก๊าซ

2. ทำหน้าที่รับแรงกล เนื่องจากน้ำหนักของขดลวดและโครงสร้าง และแรงกลไดนามิกส์จากการ เกิดลัดวงจร ฉนวนที่ใช้ทำหน้าที่นี้ได้แก่ ฉนวนแข็ง

3. เป็นตัวแทรกซึมและระบายความร้อนที่เกิดจากพลังงานสูญเสียในขดลวดและในฉนวน (ฉนวนแข็งและฉนวนเหลว) ฉนวนที่ทำหน้าที่นี้ได้แก่ ฉนวนเหลวหรือฉนวนก๊าซ

ในกรณีหม้อแปลงที่ใช้ฉนวนเหลวหรือก๊าซอัดความดันเป็นฉนวนแทรกซึม และระบายความร้อนจะต้องมีถังปิดผนึกบรรจุฉนวนเหลว ได้แก่ น้ำมันหรือก๊าซอัดความดัน เช่น ก๊าซ SF_6 และส่วนประกอบโครงสร้างอื่นๆดังในรูปที่ 2.16 ตัวถังนอกจากทำหน้าที่บรรจุติดตั้งโครงสร้างภายใน เพื่อป้องกันผลกระทบจากภายนอกแล้ว ตัวถังยังทำหน้าที่เป็นตัวช่วยระบายความร้อน ถ้าเป็นหม้อแปลงขนาดใหญ่ๆ จะมีครีบระบายความร้อนเพิ่มเติม

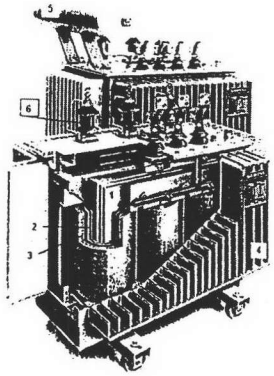
2.5.1.4 **เพรสบอร์ด**

ลักษณะคุณพิเศษของเพรสบอร์ดหรือที่เรียกว่า ทรานฟอร์มเมอร์บอร์ดโดยทั่วไปใช้ในหม้อแปลงขนาดใหญ่ทำจากเซลูโลสซัลเฟตส์คุณภาพสูง เพรสบอร์ดประกอบขึ้นจากการอัดกระดาษบางๆหลายๆชั้นในสภาวะที่เปียก โดยไม่ต้องใช้ตัวประสานในการยึดเกาะ

ตามเทคโนโลยีการผลิตจะแบ่งเพรสบอร์ดออกเป็น 2 ลักษณะ[6]

- Calendered คือ เพรสบอร์ดได้มาจากการกด ตามด้วยการทำให้แห้งโดยไม่ใช้ความดัน ความหนาแน่นของเพรสบอร์ดชนิดนี้จะอยู่ที่ 1.15 ถึง 1.3 $kg.dm^{-3}$
- Precompressed คือ เพรสบอร์ดที่ถูกนำเอาน้ำออกแล้วทำให้แข็งและแห้งภายใต้การกดอัดโดยใช้ความร้อน ค่าความหนาแน่นของเพรสบอร์ดนี้จะอยู่ที่ 1.25 $kg.dm^{-3}$

ค่าความคงทนฉนวนของเพรสบอร์ดชุบน้ำมันที่ความดัน 2.7×10^{-2} mbar จะอยู่ในช่วง 200 - 250 $kV.cm^{-1}$



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังระบบจำหน่าย

2.5.2 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า อาจแบ่งตามลักษณะการฉนวนออกได้เป็น2 ชนิด คือ

1) หม้อแปลงชนิดจุ่มน้ำมัน (Oil-immersed transformer)
2) หม้อแปลงชนิดแห้ง (Dry - type transformer)

2.5.2.1 หม้อแปลงชนิดจุ่มน้ำมัน

หม้อแปลงชนิดจุ่มน้ำมัน หมายถึง หม้อแปลงที่ใช้น้ำมันหม้อแปลงเป็นฉนวนแทรกซึมและระบายความร้อน โครงสร้างภายในและฉนวนน้ำมันจะบรรจุอยู่ในถังเหล็ก มีขนาดตั้งแต่หม้อแปลงตัวเล็กๆ 5 kVA เฟสเดียวขึ้นไปจนถึงหม้อแปลงขนาดใหญ่ 3 เฟส 3000 MVA หม้อแปลงใหญ่ๆ เหล่านี้จะติดตั้งอยู่ในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยแบบกลางแจ้ง

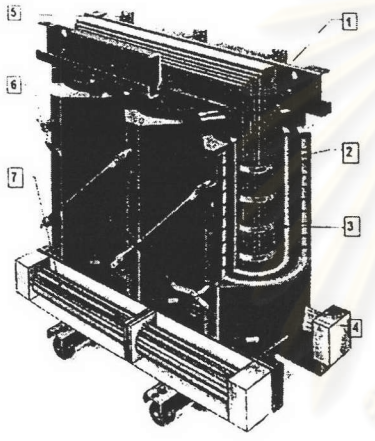
2.5.2.2 หม้อแปลงชนิดแห้ง

หม้อแปลงชนิดแห้งโดยทั่วไปจะเป็นหม้อแปลงขนาดเล็กที่ใช้ในระบบจำหน่าย มีการฉนวนที่ไม่ใช่ของเหลว แต่เป็นฉนวนแห้ง ในปัจจุบันการฉนวนของหม้อแปลงชนิดแห้ง อาจเป็นฉนวนแข็งได้แก่คาสท์เรซินหรือใช้ก๊าซอัดความดันบรรจุในถัง เช่น ก๊าซ SF_6 หรืออาจเป็นฉนวนแห้งชนิดกระดาษหรือผ้าชุบวานิช โดยใช้อากาศโดยรอบเป็นฉนวนระบายความร้อน

การสร้างหม้อแปลงชนิดแห้งขึ้นมีวัตถุประสงค์หลักก็เพื่อใช้ภายในอาคารที่ต้องการความปลอดภัยสูง หม้อแปลงชนิดน้ำมันนั้น ทางการไฟฟ้าไม่อนุญาตให้ใช้ภายในอาคาร เนื่องจากน้ำมันหม้อแปลงติดไฟและเป็นต้นเหตุทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้ ถ้าหากจะติดตั้งหม้อแปลงชนิดน้ำมันภายในอาคาร จะต้องออกแบบสร้างห้องติดตั้งพิเศษเพื่อป้องกันอัคคีภัย ฉะนั้นมีทางเลือกที่จะไม่ใช้หม้อแปลงชนิดน้ำมัน แต่อาจใช้หม้อแปลงชนิดแห้งแทนได้ หม้อแปลงชนิดแห้งที่นิยมใช้กันมากก็คือ หม้อแปลงชนิดคาสท์เรซิน หรือชนิดก๊าซอัดความดัน คือหม้อแปลงฉนวนด้วยก๊าซ SF_6 ดังรายละเอียดที่จะได้กล่าวในที่นี้

1) หม้อแปลงชนิดคาสท์เรซิน

หม้อแปลงชนิดคาสท์เรซิน เหมาะที่จะใช้ในระบบจำหน่ายที่มีแรงดันที่ใช้กันโดยทั่วไปถึงระบบ 36 kV และมีขนาดกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 50 kVA จนถึง 2500 kVA 36 kV เหมาะที่จะใช้ภายในอาคารสามารถนำไปติดตั้งใกล้กับศูนย์กลางโหลดได้ ใช้ในสถานที่ที่ต้องการความปลอดภัยสูงจากการเกิดเพลิงไหม้ มีส่วนประกอบหลักเช่นเดียวกับหม้อแปลงฉนวนด้วยน้ำมัน คือมีแกนเหล็ก ขดลวดแรงสูง ขดลวดแรงต่ำ แต่จะมีลักษณะโครงสร้างที่ต่างจากหม้อแปลงฉนวนน้ำมันก็คือ จะไม่มีถังห่อหุ้ม เพราะไม่มีฉนวนเหลวหรือก๊าซที่ทำหน้าที่เป็นฉนวนแทรกซึมหรือระบายความร้อน แกนเหล็กจะยึดอยู่บนแท่นติดตั้งในบรรยากาศมองเห็นได้ชัดเจน ดังในรูปที่ 2.17



1. แกนเหล็ก
2.ขดแรงสูง
3.ขดลวดแรงต่ำ
4.ฉนวนผสมคาสท์เรซิน
5.ขั้วต่อแรงต่ำ
6.ขั้วต่อแรงสูง
7.พัดลมช่วยระบายความร้อน

รูปที่ 2.17 หม้อแปลงชนิดแห้งหุ้มฉนวนคาสท์เรซิน

ขดลวดแรงต่ำและแรงสูงจะหุ้มด้วยฉนวนแข็งคาสท์เรซิน ขดลวดอาจจะทำด้วยทองแดงหรืออะลูมิเนียม ที่นิยมใช้อะลูมิเนียมเพราะว่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อนของอะลูมิเนียมและคาสท์เรซินจะมีค่าใกล้เคียงกัน ขดลวดแรงสูงจะหุ้มฉนวนโดยการหล่อในแม่พิมพ์ (mold) ที่ร้อนในเตาสุญญากาศ ฉนวนจะทำด้วยสารสังเคราะห์ผสมของซิลิกาบริสุทธิ์ (ทรายแก้ว) กับสารสังเคราะห์อิพ็อกซี่ ซึ่งขดลวดแรงสูงนี้จะต่อออกมาสู่ภายนอกผ่านปลอกฉนวนนำสาย ทำให้สามารถต่อเป็นแบบ Δ หรือ Y ก็ได้ การหุ้มฉนวนคาสท์เรซินของขดลวดแรงสูง ซึ่งอยู่รอบนอกจะทนต่อความร้อน กันความชื้น การกัดกร่อน มีอายุการใช้งานได้ยาวนานในสภาวะการใช้งานในอาคาร ฉนวนหุ้มขดลวดก็ทนความเครียดสนามไฟฟ้าได้สูงเมื่อเทียบกับน้ำมันหม้อแปลง

ส่วนขดลวดแรงต่ำจะติดตั้งอยู่ชั้นในติดกับแกนเหล็กพันเป็นแบบทรงกระบอก และหุ้มฉนวนคาสท์เรซิน โดยกระบวนการหล่อเช่นเดียวกับการหล่อหุ้มฉนวนขดลวดแรงสูง

2) **หม้อแปลงไฟฟ้าฉนวนก๊าซ SF_6**

หม้อแปลงไฟฟ้าฉนวนก๊าซ SF_6 เป็นหม้อแปลงฉนวนแห้งชนิดหนึ่ง ซึ่งใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวนแทรกซึมและระบายความร้อนแทนฉนวนเหลว โดยที่ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวนที่ไม่มีพิษ ไม่ติดไฟและไม่ช่วยให้ไฟติด เฉื่อยต่อปฏิกริยาเคมีกับสารอื่น มีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าได้เท่ากับน้ำมันที่ความดันก๊าซไม่สูงนักคือประมาณ 2.75 บาร์ (สัมบูรณ์) ระบายความร้อนได้ดีกว่าอากาศ เหมาะที่จะใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวนแทรกซึมแทนน้ำมันหม้อแปลงได้ จึงเหมาะอย่างยิ่งที่จะใช้สำหรับติดตั้งภายในอาคารที่ต้องการความปลอดภัยสูง เช่น ศูนย์การค้า ธนาคาร สำนักงานธุรกิจ โรงพยาบาล อาคารชุดเป็นต้น สามารถนำไปติดตั้งที่ใดๆใกล้ศูนย์กลางโหลด ไม่ต้องออกแบบโครงสร้างพื้นอาคารรับน้ำหนักพิเศษ เพราะหม้อแปลงฉนวนก๊าซ SF_6 มีน้ำหนักเบา มีขนาดเล็กๆ ไปจนถึง 20 MVA

วัสดุที่ใช้ในการประกอบสร้างหม้อแปลงฉนวนก๊าซ SF_6 ก็ใช้หลักการเช่นเดียวกับหม้อแปลงฉนวนน้ำมันที่แตกต่างออกไปก็คือ แกนเหล็กของหม้อแปลงฉนวนก๊าซ SF_6 ต้องเลือกชนิดที่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำ เพราะก๊าซ SF_6 สามารถระบายความร้อนได้ประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำมันหรือประมาณ 3 เท่าของอากาศ ขดลวดจะทำด้วยทองแดง ด้านแรงต่ำพันหุ้มด้วยฉนวนโพลิเอสเตอร์ฟิล์ม ส่วนด้านแรงสูงจะใช้ลวดเส้นกลมเคลือบน้ำยาโพลีเอสเตอร์อีมิด ซึ่งสามารถทนความร้อนได้สูงถึง 180^{o} C และใช้ฉนวนโพลีเอสเตอร์ฟิล์มเป็นฉนวนเสริมคั่นระหว่างขดลวด หรือในบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูง เพราะฉนวนโพลีเอสเตอร์ฟิล์มมีความเหนียวสูง มีความคงทนต่อแรงดันได้สูง ไม่ดูดซึมความชื้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย