

การประเมินต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของหม้อแปลงระบบจำหน่าย

ASSESSMENT OF THE ECONOMIC ENGINEERING COSTS FOR DISTRIBUTION TRANSFORMERS

ดิเรก เรืองสมุทร¹ พงศกร คชาพงศ์กุล² และ สมศักดิ์ สิริโปรธานนท์³*

¹นักศึกษาระดับปริญญาเอก, วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 96 หมู่ 3 ถนนพุทธมณฑล สาย 5 ต.ศาลายา

อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170, direk.roe@rmutr.ac.th

²อาจารย์, วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 96 หมู่ 3 ถนนพุทธมณฑล สาย 5 ต.ศาลายา

อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170, pongsakorn.kerd@rmutr.ac.th

³อาจารย์, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160, somsaks@sau.ac.th

Direk Roengsamut¹, Pongsakorn Kachapongkun² and Somsak Siriporananon³*

¹Ph.D. Student, Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment,

Rajamangala University of Technology Rattanakosin, 96 Phutthamonthon Sai 5 Road, Salaya, Phutthamonthon District, Nakhon Pathom 73170, Thailand, direk.roe@rmutr.ac.th

²Lecturer, Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment, Rajamangala

University of Technology Rattanakosin, 96 Phutthamonthon Sai 5 Road, Salaya, Phutthamonthon District, Nakhon Pathom 73170, Thailand, pongsakorn.kerd@rmutr.ac.th

³Lecturer, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Southeast Asia

University, 19/1 Phetchakasem Road, Nongkhaem, Bangkok 10160, Thailand,

somsaks@sau.ac.th

* ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (Corresponding author)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการประเมินต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของหม้อแปลงระบบจำหน่าย ขนาด 1,000 kVA 3 ph 50 Hz 22 kV-400/230 V โดยใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในการประเมินต้นทุนของหม้อแปลงจำหน่าย เพื่อให้เหมาะสมกับโหลดที่ใช้งาน และมีความถูกต้อง รวดเร็ว และแม่นยำ โดยนำผลการทดสอบพลังงานสูญเสียของหม้อแปลงจำหน่ายโรงงาน อัตราดอกเบี้ย อัตราค่าไฟฟ้า

อายุการใช้งาน และต้นทุนสิ่งแวดล้อมของพลังงานสูญเสียของหม้อแปลงจำหน่าย เพื่อทำการประเมินต้นทุนของหม้อแปลงมาเปรียบเทียบกับต้นทุนให้เหมาะสมกับโครงการ หรือกิจการอุตสาหกรรม หรือผู้ประกอบการ จะได้เลือกใช้งานหม้อแปลงจำหน่ายที่คุ้มค่า และมีประสิทธิภาพสูงสุด

คำสำคัญ: ประเมินต้นทุน, หม้อแปลงไฟฟ้า, พลังงานสูญเสียหม้อแปลง

ABSTRACT

This research presents an engineering economic cost evaluation of a 1,000 kVA 3-phase 50 Hz 22 kV-400/230 V distribution transformer. A computer is used to assist in evaluating the cost of the distribution transformer to ensure it is suitable for the load usage, with accuracy, speed, and precision. The evaluation incorporates the transformer loss test results from the factory, interest rates, electricity tariffs, service life, and the environmental cost of energy losses in the transformer. These factors are used to assess and compare the transformer costs to determine the most appropriate option for a project, industrial operation, or business. This allows users to select the most cost-effective and efficient distribution transformer.

KEYWORDS: assessing the costs, transformer, transformer power loss

1. บทนำ

ในยุคสมัยที่เทคโนโลยี และอุตสาหกรรมเติบโตอย่างรวดเร็ว การใช้พลังงานไฟฟ้าได้กลายเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการดำเนินงานของโรงงานอุตสาหกรรม การจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อให้โรงงานอุตสาหกรรมสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและปลอดภัย หนึ่งในองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมคือ “หม้อแปลงไฟฟ้า” หม้อแปลงไฟฟ้าไม่ได้เป็นเพียงแค่อุปกรณ์ที่แปลงแรงดันไฟฟ้าเท่านั้น แต่ยังมีบทบาทสำคัญในการรักษาความเสถียรของระบบไฟฟ้าในโรงงานอีกด้วย

สำหรับหม้อแปลงที่มีประสิทธิภาพสูง การสูญเสียพลังงานต่ำ ผู้ผลิตหม้อแปลงต้องใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ ซึ่งทำให้ต้นทุนการลงทุนสูงขึ้น การประเมินต้นทุนที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญจากบทความวิจัย Loss Evaluation and Total Ownership Cost of Power Transformers [1] เป็นการประเมินต้นทุนการเป็นเจ้าของ (TOC) ของหม้อแปลงไฟฟ้า จากต้นทุนการสูญเสียพลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้า และคาดการณ์ราคาพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียพลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้าในอนาคต และจากบทความ Optimized Economic Loading of Distribution Transformers Using Minimum Energy Loss Computing [2] เป็นการหาโหลดที่เหมาะสม ลดค่าการสูญเสียพลังงานให้

น้อยที่สุด โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าเชิงเศรษฐกิจของหม้อแปลงไฟฟ้า กับค่าการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นใน เมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง และจากบทความ Distribution transformer cost evaluation methodology incorporating environmental cost [3] เป็นการประเมินการประเมินต้นทุนการเป็นเจ้าของ (TOC) ของหม้อแปลงไฟฟ้า รวมต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อม และจากบทความ Economic Evaluation of Transformer Selection in Electrical Power Systems [4] เป็นการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้วิธีการประเมินต้นทุนรวมของการครอบครอง (TOC) สำหรับการเลือกหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า ด้วยสภาพแวดล้อมที่มีการเปิดเสรีและการแข่งขันทางการตลาด ซึ่งให้เห็นว่าการลงทุนในหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีราคาถูกแต่มีประสิทธิภาพต่ำ อาจส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายพลังงานที่สูงขึ้นในระยะยาว และจากบทความ Life Cycle Cost Estimation and Analysis of Transformers Based on Failure Rate [5] เป็นการประเมินต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost: LCC) ของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยรวมค่าบำรุงรักษาจากภายนอก ค่าแรงงาน และค่าดำเนินการ

จากบทความที่ผ่านมา เป็นการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้วิธีการประเมินต้นทุนรวมของการครอบครอง (TOC) การคาดการณ์ราคาพลังงาน การลดค่าการสูญเสียพลังงานให้น้อยลง และ ค่าบำรุงรักษา ยังไม่ได้รับการนำต้นทุนทางวิศวกรรมมาคำนวณ และยังไม่มีการนำผลการทดสอบพลังงานสูญเสียของหม้อแปลงจำหน่ายโดยตรงจากโรงงานผู้ผลิตมาพิจารณา

ในบทความนี้ได้เสนอวิธีการประเมินต้นทุนของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยคำนึงถึงต้นทุนทางวิศวกรรมของหม้อแปลงจำหน่ายที่รวมต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับโหลดที่ใช้งาน โดยนำผลการทดสอบพลังงานสูญเสียของหม้อแปลงจำหน่ายจากโรงงานผู้ผลิต อัตราดอกเบี้ย อัตราค่าไฟฟ้า อายุการใช้งาน ต้นทุนสิ่งแวดล้อมของพลังงานสูญเสียของหม้อแปลงจำหน่าย เพื่อนำมาเป็นต้นทุนของโครงการ หรือกิจการอุตสาหกรรม หรือผู้ประกอบการ และสามารถทราบถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลกระทบกับราคาต้นทุนของหม้อแปลง จะได้เลือกใช้งานหม้อแปลงจำหน่ายที่คุ้มค่า และมีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

2. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ต้องคำนึงถึงค่ากำลังสูญเสียทางไฟฟ้าของหม้อแปลง ค่าต้นทุนหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นหลักที่จะสะท้อนถึงค่าราคาหม้อแปลงไฟฟ้า ต้นทุนสิ่งแวดล้อม และประสิทธิภาพของหม้อแปลง โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

- 2.1 ทดสอบค่ากำลังสูญเสียทางไฟฟ้าของหม้อแปลง
- 2.2 คำนวณค่าเงินต้นปัจจุบัน
- 2.3 คำนวณค่าราคาของหม้อแปลงไฟฟ้า
- 2.4 คำนวณต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อม
- 2.5 คำนวณประสิทธิภาพของหม้อแปลง

2.1 ทดสอบค่ากำลังสูญเสียทางไฟฟ้าในหม้อแปลง

2.1.1 กำลังสูญเสียทางไฟฟ้าในหม้อแปลง (Power Losses)

ค่ากำลังสูญเสียทางไฟฟ้าในหม้อแปลง เป็นค่ากำลังสูญเสียรวมในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย ค่ากำลังสูญเสียในแกนเหล็ก(Core losses) และค่าความสูญเสียในขดลวดทองแดง (Copper losses) ดังสมการที่ (1) [6-8]

$$P_T = P_{Core} + P_{CU} \quad (1)$$

โดยที่ P_T คือ กำลังสูญเสียรวมในตัวหม้อแปลง (W), P_{Core} คือ กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก (W) และ P_{CU} คือ กำลังสูญเสียในขดลวดทองแดง (W)

2.1.2 กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก (Core losses)

การทดสอบเปิดวงจร ดังรูปที่ 1 เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าด้านขดลวดแรงดันต่ำ (Low Voltage winding) และเปิดวงจรด้านขดลวดแรงดันสูง (High Voltage winding) ค่าสูญเสียในแกนเหล็กเกิดจากความสูญเสียฮิสเทอรีซิส (hysteresis loss) และความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (eddy-current loss) และค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเหล็กจะมีค่าคงที่ในทุก ๆ สภาวะของภาวะทางไฟฟ้า ดังสมการที่ (2) [6, 7]

$$P_{Core} = P_H + P_E \quad (2)$$

โดยที่ P_{Core} คือ ความสูญเสียในแกนเหล็ก (W), P_H คือ ความสูญเสียจากฮิสเทอรีซิส (W) และ P_E คือ ความสูญเสียจากกระแสไหลวน (W)

ความสูญเสียฮิสเทอรีซิส (hysteresis loss) ดังสมการที่ (3) [9]

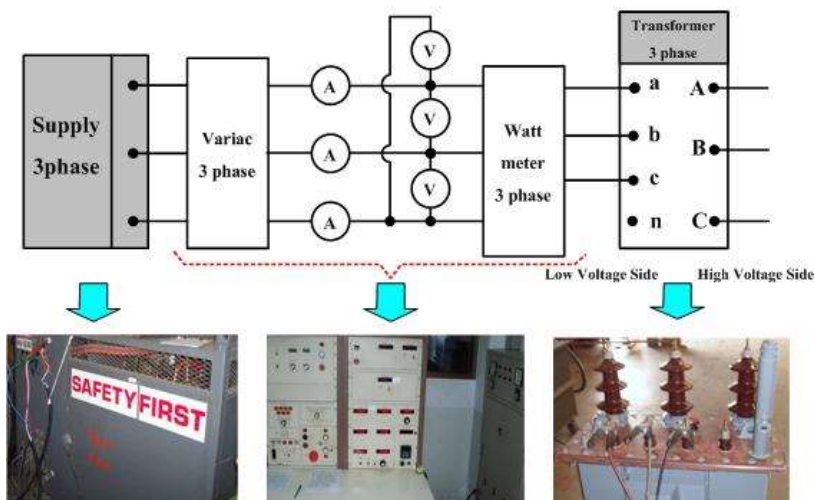
$$P_H = K_s \cdot B^{1.6} \cdot f \quad (3)$$

โดยที่ K_s คือ สัมประสิทธิ์ของวัสดุที่ผสมในแกนเหล็ก, B คือความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด (T) และ f คือ ความถี่ (Hz)

ความสูญเสียจากกระแสไหลวน (eddy-current loss) ดังสมการที่ (4) [9]

$$P_E = K_e \cdot f^2 \cdot B^2 \cdot d^2 \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

โดยที่ K_e คือ ค่าคงที่กระแสไหลวน, d คือ ความหนาของแกนเหล็กกลาไมเนต (mm), B คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด (T) และ f คือ ความถี่ (Hz)



รูปที่ 1 การทดสอบเปิดวงจร

2.1.3 การสูญเสียจากขดลวดทองแดง (Copper losses)

การทดสอบลัดวงจร ดังรูปที่ 2 โดยการลัดวงจรขดลวดทางด้านแรงดันต่ำ และจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าขดลวดด้านแรงดันสูง เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความสูญเสียในขดลวดทองแดง โดยลัดวงจรทางด้านแรงต่ำ (Low Voltage side) และจ่ายแรงดันทางด้านแรงสูง (High Voltage side) ให้ได้ตามพิกัดกระแสด้านแรงสูงหาได้ดังสมการที่ (5) [9, 10]

$$P_{CU} = 3(I_{HV}^2 \cdot R_{HV} + I_{LV}^2 \cdot R_{LV}) \quad (5)$$

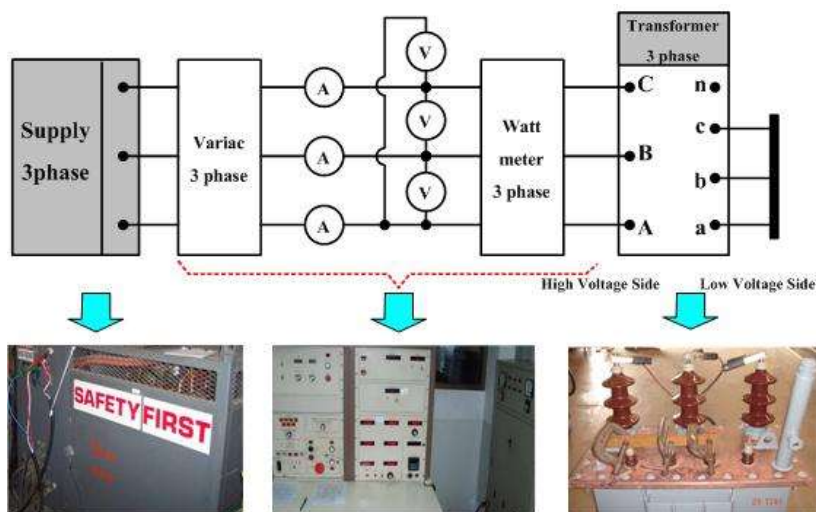
โดยที่ R_{HV} คือความต้านทานขดลวดแรงสูง, I_{HV} คือ กระแสทางด้านขดลวดแรงสูง, R_{LV} คือ ความต้านทานขดลวดแรงต่ำ และ I_{LV} คือ กระแสทางด้านขดลวดแรงต่ำ

2.2 ค่าเงินต้นปัจจุบัน

การตัดสินใจในปัญหาวิศวกรรมบางชนิดต้องอาศัยการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ คือ การตัดสินใจเลือกโครงการหรือเครื่องจักรที่เหมาะสมที่สุดนับเป็นพื้นฐานที่ดีในการที่จะดำเนินกิจการนั้น ๆ ต่อไปอย่างราบรื่น วิธีหนึ่งในการเปรียบเทียบคือการเทียบเท่าเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายที่ประเมินไว้ในแต่ละโครงการหรือเครื่องจักร คือการคำนวณต้นทุนหรือผลตอบแทนในรูปมูลค่าปัจจุบัน ซึ่งก็คือค่าเงินต้นปัจจุบัน (Present-Worth: PW) [11] คือ ค่าตัวเลขที่ใช้ในการแปลงเงินที่ต้องจ่ายหรือจะได้รับในอนาคต (เช่น รายปี) ให้กลายเป็น มูลค่าเทียบเท่าในปัจจุบัน โดยคำนึงถึงอัตราดอกเบี้ยและระยะเวลา เพราะ มูลค่าของเงินเปลี่ยนไปตามเวลา ค่า PW ช่วยให้สามารถเปรียบเทียบทางเลือกในการลงทุน และประเมินความคุ้มค่าของโครงการ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (6)

$$PW = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (6)$$

กำหนดให้ PW = ค่าเงินต้นปัจจุบัน n, i = อัตราดอกเบี้ย และ n = ระยะเวลา (จำนวนงวด)



รูปที่ 2 การทดสอบลัดวงจร

2.3 ค่าราคาของหม้อแปลง

ในการที่จะพิจารณาดำเนินการของหม้อแปลงจำหน่าย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้หม้อแปลงจำหน่ายให้เหมาะสมกับโหลดที่ใช้งาน พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ประกอบด้วย ค่าราคาของหม้อแปลง (Cost to Own Transformer; COT) [6,12-15] ตามสมการที่ (7)

$$COT = C + PW \left[C \frac{FC}{100} + K_c L_c + K_w L_w \right] \quad (7)$$

โดยที่ C คือ ราคาเริ่มต้นของหม้อแปลง

FC คือ ค่าเสื่อมราคา

I คือ อัตราดอกเบี้ย (%)

N คือ ช่วงอายุการใช้งานของหม้อแปลง (ปี)

PW คือ ค่าเงินต้นปัจจุบัน (Present-Worth)

L_c คือ ค่าความสูญเสียขณะไม่มีโหลด (kW)

L_w คือ ค่าความสูญเสียขณะมีโหลด (kW)

และกำหนดให้ K_c และ K_w คือค่าคงที่ในการวิเคราะห์ค่าราคาหม้อแปลง ดังสมการที่ (8) และ (9)

$$K_c = C_d + T_c C_e \quad (8)$$

$$K_w = D^2 (C_d + T_w C_e) \quad (9)$$

โดยที่ T_c คือ จำนวนชั่วโมงต่อปีที่หม้อแปลงจ่ายพลังงาน

T_w คือ จำนวนชั่วโมงต่อปีที่หม้อแปลงจ่ายโหลดคงที่

C_e คือ ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)

C_d คือ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาทต่อกิโลวัตต์ต่อปี)

D คือ อัตราโหลดที่จ่ายต่อโหลดพิกัด

2.4 ต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อม

การผลิตไฟฟ้าจะมีปัญหาสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เกิดขึ้นซึ่งจะขึ้นอยู่กับเชื้อเพลิงที่ใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใช้พลังงานฟอสซิลจะมีปัญหาสิ่งแวดล้อมมากกว่าพลังงานหมุนเวียน ดังนั้นการใช้และการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าก็เป็นส่วนหนึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยที่มาตรฐาน

ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก. ได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้พลังงานไฟฟ้า (จากระบบจำหน่ายการไฟฟ้า) อยู่ที่ 0.4857 kgCO₂-e /kWh [16] สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (10)

$$\text{ปริมาณก๊าซเรือนกระจก} = 0.4857 \times \text{Load Losses} \times \text{จำนวนชั่วโมงต่อปีที่หม้อแปลงจ่ายโหลด} \quad (10)$$

2.5 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

ประสิทธิภาพ (η) ของหม้อแปลงไฟฟ้าคือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ส่งออกต่อกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้า คำนวณได้จากสมการที่ (11)

$$\% \text{ ประสิทธิภาพ } (\eta) = \frac{\text{กำลังเอาต์พุต}}{\text{กำลังเอาต์พุต} + \text{กำลังสูญเสียในหม้อแปลง}} \times 100 \quad (11)$$

3. ขั้นตอนการทดสอบหม้อแปลงจำหน่าย

3.1 การทดสอบเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก

หรือเรียกว่า กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะไม่มีโหลด (no load loss) ตามมาตรฐาน IEC 60076 หรือ มอก. 384-2543 สามารถต่อวงจรตามรูปที่ 1 โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าด้านขดลวดแรงดันต่ำ (Low Voltage winding) และเปิดวงจรด้านขดลวดแรงดันสูง (High Voltage winding) จากนั้นปรับแรงดันไปที่พิกัดเท่ากับ 400V (โดยไม่สนใจค่ากระแสที่เกิดขึ้น) แล้วทำการอ่านค่าวัตต์มิเตอร์ ค่าที่ได้จะเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก ซึ่งจะมีค่าคงที่ในทุก ๆ สภาวะของโหลด

3.2 การทดสอบเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดง

หรืออาจเรียกว่า กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะมีโหลด (load loss) ตามมาตรฐาน IEC 60076 หรือ มอก. 384-2543 ซึ่งเกิดขึ้นจากกระแสที่ไหลในขดลวดของหม้อแปลงขณะจ่ายโหลดตามรูปที่ 2 โดยการลัดวงจรขดลวดทางด้านแรงดันต่ำ และจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าขดลวดด้านแรงดันสูง จากนั้นปรับให้ได้ค่ากระแสที่ตามพิกัด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (12)

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (12)$$

โดยที่ I = กระแสที่ไหลในขดลวด (A), S = กำลังไฟฟ้าของหม้อแปลง (VA) และ V = แรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลง (V)

โดยขนาด 1,000 kVA 3 ph 50 Hz 22 kV-400/230 V มีค่าพิกัดกระแสเท่ากับ 26.24 A (โดยไม่สนใจค่าแรงดันที่เกิดขึ้น) แล้วทำการอ่านค่า วัดต์มิเตอร์ ค่าที่ได้จะเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดง

4. ผลการทดลองและการคำนวณ

4.1 ผลการทดลอง

ได้นำหม้อแปลงขนาด 1,000 kVA 3 ph 50 Hz 22 kV-400/230 V มาทำการทดสอบค่ากำลังสูญเสียทางไฟฟ้าในหม้อแปลง เป็นค่ากำลังสูญเสียรวมในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยค่ากำลังสูญเสียในแกนเหล็ก (Core losses) และค่าความสูญเสียในขดลวดทองแดง (Copper losses) โดยคุณสมบัติของหม้อแปลงมีค่าต่างๆดังตารางที่ 1 และทำการทดลองหาค่ากำลังสูญเสียของหม้อแปลงจำหน่าย โดยการบ่อนกระแส (HV.Current) ที่ได้จากการคำนวณสมการที่ (12) ตั้งแต่โหลด 0% จนถึง 100% ตามตารางที่ 1 แล้วทำการวัดกำลังสูญเสียของหม้อแปลง (Load losses) ค่าที่ได้แสดงดังตารางที่ 2

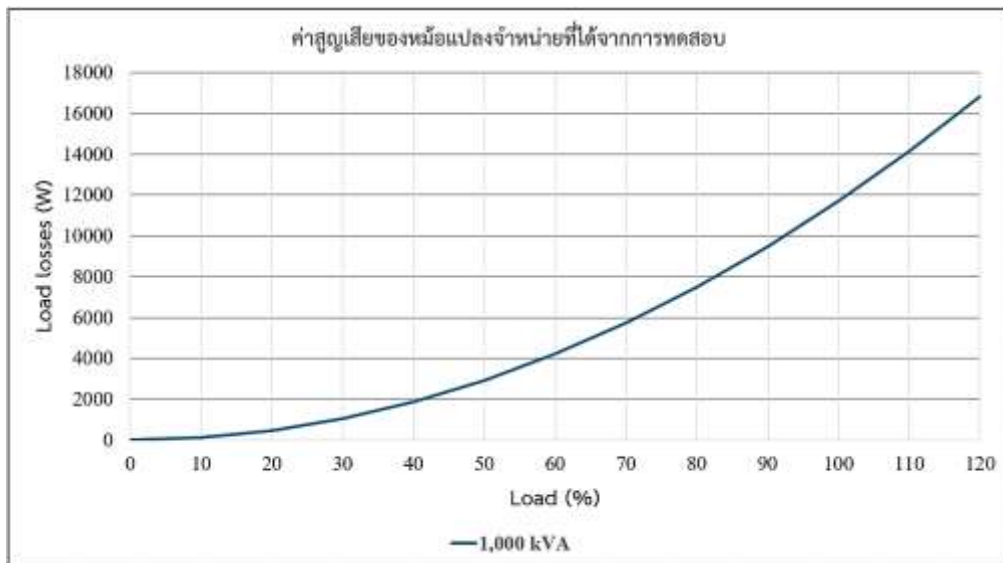
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของหม้อแปลงจำหน่ายขนาด 1,000 kVA ที่ใช้ในการทดสอบ

Capacity (kVA)	1,000
High Volt (V)	22,000
Low Volt (V)	400/230
HV. Current (A)	26.24
LV. Current (A)	1,443.42
No load losses (W)	1,251.90
Load losses (W)	11,690.40
Total losses (W)	12,942.30
Short cct. Imp (%)	6.00
% Reg (%)	1.35
Efficiency (%)	98.72

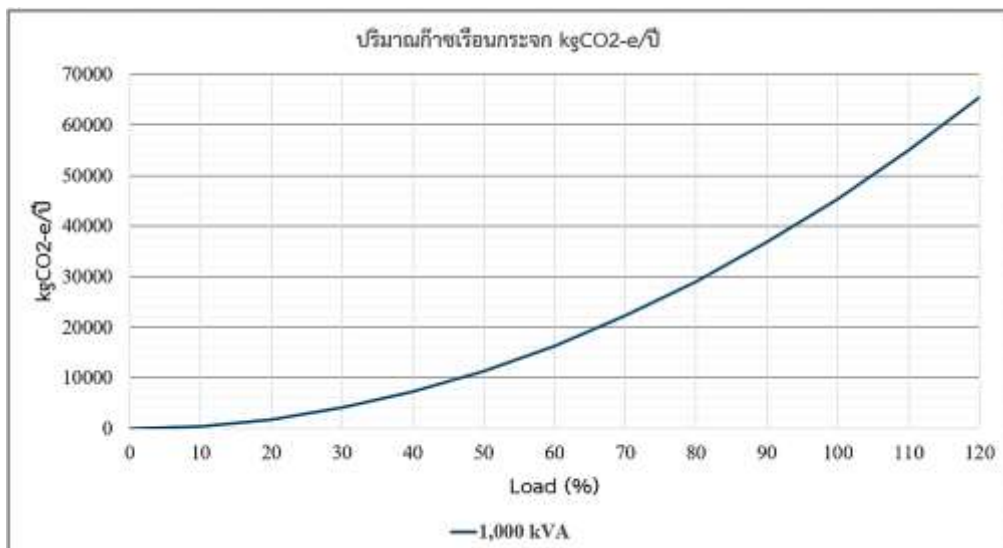
ตารางที่ 2 ค่ากำลังสูญเสียของหม้อแปลงจำหน่ายขนาด 1,000 kVA ที่ได้จากการทดสอบ

Load (%)	HV. Current (A)	Load losses (W)
0	0.00	0.00
10	2.62	116.90
20	5.25	467.60
30	7.87	1,052.10
40	10.50	1,870.40
50	13.12	2,922.50
60	15.74	4,208.40
70	18.37	5,728.10
80	20.99	7,481.60
90	23.62	9,468.90
100	26.24	11,690.00
110	28.86	14,144.90
120	31.49	16,833.60

จากตารางที่ 2 ผลที่เกิดจากการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในหม้อแปลงที่เกิดขึ้นในแต่ภาระโหลดสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์ของโหลดที่ป้อนได้ดังรูปที่ 3 และเมื่อนำมาพิจารณาในส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก. ได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้พลังงานไฟฟ้า (จากระบบจำหน่ายการไฟฟ้า) อยู่ที่ $0.4857 \text{ kCO}_2\text{-e /kWh}$ ต่อปี สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (10) และสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกับเปอร์เซ็นต์โหลดได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 ค่าสูญเสียของหม้อแปลงจำหน่ายขนาด 1,000 kVA ที่ได้จากการทดสอบ



รูปที่ 4 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการสูญเสียของหม้อแปลงจำหน่ายขนาด 1,000 kVA

4.2 ผลการคำนวณ

จากหม้อแปลงขนาด 1,000 kVA 3 ph 50 Hz 22 kV-400/230 V มาทำการวิเคราะห์ในสถานะโหลดคงที่ ในช่วงอายุการใช้งาน 15 ปี มีอัตราดอกเบี้ย 6% และ 8% (อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคารไทยต้นปี 2568 อยู่ในช่วง 6%-8% [17]) และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์มีดังนี้

- 1) $C = 421,800$ บาท
- 2) $FC = 5\%$
- 3) $I = 6\%$ และ 8%
- 4) ช่วงอายุการใช้งานของหม้อแปลง 15 ปี
- 5) $PW = 9.712$ (อัตราดอกเบี้ย 6%) และ 8.559 (อัตราดอกเบี้ย 8%)
- 6) $L_c = 1.252$ kW
- 7) $L_w = 11.690$ kW
- 8) $T_c = 8,760$ ชั่วโมง
- 9) $T_w = 8,000$ ชั่วโมง
- 10) $C_e = 4.15$ (บาท/หน่วย), (พ.ศ.2568)
- 11) $C_d = (196.26 \text{ บาท/หน่วย/เดือน อัตราปกติ}) \times 12 = 2,355.12$ บาท/หน่วย/ปี
- 12) $D = 1,000$ kVA (สมมติให้หม้อแปลงจ่ายโหลดคงที่ $8,000$ ชั่วโมง)

4.2.1 การคำนวณค่า K_c และ K_w

ค่าราคาของหม้อแปลง $1,000$ kVA สามารถหาได้ดังนี้

$$D_{1,000} = 1,000/1,000 = 1.0$$

จากสมการ $K_c = C_d + T_c C_e$

จะได้ $K_{c1,000} = 2,355.12 + (8,760 \times 4.15)$
 $= 38,709.12$

จากสมการ $K_w = D^2 (C_d + T_w C_e)$

จะได้ $K_{w1,000} = 1^2 [2,355.12 + (8,000 \times 4.15)]$
 $= 35,555.12$

4.2.1.1 กรณีอัตราดอกเบี้ย 6%

ค่าราคาหม้อแปลง $1,000$ kVA สามารถหาได้จากสมการที่ 7 ดังนี้

$$\begin{aligned} COT &= C + PW [C (FC/100) + K_c L_c + K_w L_w] \\ &= 421,800 + 9.712 [421,800 \times (5/100) + 38,709.12 \times 1.252 + 35,555.12 \times 11.690] \\ &= 5,133,998.08 \text{ บาท} \end{aligned}$$

4.2.1.2 กรณีอัตราดอกเบี้ย 8%

ค่าราคาหม้อแปลง 1,000 kVA สามารถหาได้จากสมการที่ 7 ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{COT} &= C + PW [C (FC/100) + K_c L_c + K_w L_w] \\ &= 421,800 + 8.559 [421,800 \times (5/100) + 38,709.12 \times 1.252 + 35,555.12 \times 11.690] \\ &= 4,574,568.35 \text{ บาท} \end{aligned}$$

4.3 ประสิทธิภาพของหม้อแปลง

ประสิทธิภาพจากสมการที่ (11) ขนาดหม้อแปลง 1,000 kVA เมื่อจ่ายโหลดที่พิกัด สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \% \text{ ประสิทธิภาพ } (\eta) &= \frac{\text{กำลังเอาต์พุต}}{\text{กำลังเอาต์พุต} + \text{กำลังสูญเสียในหม้อแปลง}} \times 100 \\ &= [1,000 / (1,000 + 12.942)] \times 100 \\ &= 98.72\% \end{aligned}$$

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบราคาหม้อแปลง 1,000 kVA (COT) ที่อัตราดอกเบี้ย 6%, 8 %

COT ที่อัตราดอกเบี้ย 6% (บาท)	COT ที่อัตราดอกเบี้ย 8% (บาท)	ประสิทธิภาพหม้อแปลง (%)
5,135,451.66	4,574,568.35	98.72%

5. สรุป

จากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่ทำให้ต้นทุนเปลี่ยนแปลงก็คือ ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า ค่าราคาเริ่มต้นของหม้อแปลง และค่ากำลังสูญเสียของหม้อแปลงที่มีผลต่อต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อม และตัวแปรสำคัญที่ทำให้ต้นทุนเปลี่ยนแปลงก็คือ ค่าเงินต้นปัจจุบัน จากการคำนวณค่าเงินต้นปัจจุบันจะลดลงเมื่ออัตราดอกเบี้ยที่สูง (จากตารางที่ 3) เป็นผลให้ราคาของหม้อแปลงมีค่าลดลง

ข้อสังเกตหากมีการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะต้องเพิ่มขนาดของหม้อแปลงขึ้น การคงหม้อแปลงเดิมไว้และเพิ่มหม้อแปลงใหม่ ให้ได้ขนาดที่ต้องการ หรือการเปลี่ยนหม้อแปลงใหม่ ในกรณีนี้ต้องมีการคำนวณและพิจารณาจุดคุ้มทุนต่อไป แนวทางการออกแบบควรเผื่อขนาดของหม้อแปลงให้มีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้ Voltage Regulation ลดลงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5) โดยใช้ค่าพิกัดกระแสจากสมการที่ (12) จะทำให้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงเพิ่มขึ้น ทำให้ระบบจำหน่ายมี

เสถียรภาพมากยิ่งขึ้น มีอายุการใช้งานยาวนานมากขึ้น และสามารถลดต้นทุนการเปลี่ยนหม้อแปลงไฟฟ้าในกรณีที่มีโหลดเพิ่มขึ้นในอนาคต

References

- [1] Charalambos CA, Milidonis A, Lazari A, Nikolaidis AI. Loss evaluation and total ownership cost of power transformers— part I: a comprehensive method. IEEE Transactions on Power Delivery 2013;28(3):1872-80.
- [2] Agha A, Attar H, Luhach AK. Optimized economic loading of distribution transformers using minimum energy loss computing. Mathematical Problems in Engineering 2021;(1): 8081212. doi: 10.1155/2021/8081212.
- [3] Georgilakis PS, Amoiralis EI. Distribution transformer cost evaluation methodology incorporating environmental cost. IET Generation, Transmission & Distribution 2010;4(7):861-72.
- [4] Amoiralis EI, Tsili Ma, Kladas AG. Economic evaluation of transformer selection in electrical power systems. Proceedings of the XIX International Conference on Electrical Machines - ICEM 2010; 2010 Sep 6-8; Rome, Italy.
- [5] Zhao X, Gui F, Chen H, Fan L, Pan P. Life cycle cost estimation and analysis of transformers based on failure rate. Applied Sciences 2024;14:1210. doi: 10.3390/app14031210.
- [6] Suechoey B. Design, installation and operation of distribution transformers. 8th ed. Bangkok: Saroj Printing; 2021. (In Thai)
- [7] Simsiri A, Suechoey B. Application labview program for testing of distribution transformer. Kasem Bundit Engineering Journal 2017;7(1):63-77. (In Thai)
- [8] Siriporananon S, Suechoey B, Pringsakul N. Performance testing of transformers used in distribution systems. Proceedings of the 10th International Conference on Sciences, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being (STISWB 2018); 2018 May 9-11; Vientiane, Laos. p. 196-201.
- [9] Suechoey S, Siriporananon S, Pringsakul N, Thongrak A. Implementation of load cycle simulation for studies of loss energy and lifetime of oil-immersed transformers. Proceedings of the 10th International Conference on Sciences, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being (STISWB 2018); 2018 May 9-11; Vientiane, Laos. p. 202-7.

- [10] Siriporananon S, Suechoey B. Power losses analysis in a three-phase distribution transformer using artificial neural networks. The ECTI Transactions on Electrical Engineering, Electronics, and Communications 2020;18(2):130-6.
- [11] White JA, Cas KE, Pratt DB. Principles of engineering economic analysis. 6th ed. Hoboken, USA: John Wiley & Sons; 2012.
- [12] Provincial Electricity Authority. Review of Electricity Tariff Rates According to the 2015 Tariff Criteria, Category 4 [Internet]. 2018 [cited 2025 Aug 22]. Available from: <https://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER16/DRAWER091/GENERAL/DATA000/00000207.PDF>. (In Thai)
- [13] Ngamwitroj S. What is depreciation? [Internet]. 2024 [cited 2025 Aug 22]. Available from: <https://www.mitrade.com/th/insights/learn/basics/what-is-depreciation>. (In Thai)
- [14] Sithiprom P. Analysis of transformer sizing appropriate to load demand [Thesis]. Bangkok, Thailand: Southeast Asia University; 2019 (In Thai)
- [15] Provincial Electricity Authority Thailand (PEA). Three-phase transformer for 22 kV and 33 kV distribution systems with ability to withstand short circuit. Specification No. RTRN035/2558; Bangkok Thailand: Provincial Electricity Authority Thailand; 2015. (In Thai)
- [16] Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). Emission factor from electricity generation/consumption for greenhouse gas mitigation projects and activities [internet]. 2023 [cited 2025 May 15], Available from: https://tver.tgo.or.th/database/Uploads/Document/22305c19-46da-4334-89de-7db7a2856153.pdf?utm_source=chatgpt.com. (In Thai)
- [17] Kasikornbank. Interest Rate on General Lending [Internet]. 2025 [cited 2025 Aug 22]. Available from: <https://www.kasikornbank.com/th/rate/pages/lending.aspx>. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



นายดิเรก เริงสมุทร นักศึกษาปริญญาเอก วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ E-mail: direk.roe@rmutr.ac.th



ผศ.ดร.พงศกร คชาพงศ์กุล ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยผู้อำนวยการ
วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ E-mail: pongsakorn.Kerd@ rmutr.ac.th



ผศ.ดร.สมศักดิ์ สิริโปราณานนท์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการ
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ E-mail: somsaks@sau.ac.th

Article History:

Received: June 12, 2025

Revised: October 8, 2025

Accepted: October 9, 2025