

## บัลลาสต์แกนเหล็กประหยัดพลังงานที่มีกำลังสูญเสียต่ำกว่า 4.5 วัตต์ Low Losses Magnetic Ballast Lower 4.5 Watt

พูนศรี วรรณการ พนา ดุสิตากร  
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
1381 ถนนพิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์: 0-2913-2424 ต่อ 150  
Email: v\_poonsri555@yahoo.com

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้การผลิตบัลลาสต์แกนเหล็กที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ต้องเป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนดตามมาตรฐาน มอก. 236-2533 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่เน้นหนักในด้านความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการทำงาน และนอกจากนี้ยังได้มีการกำหนดค่าในส่วนของคุณสมบัติ เช่น คุณสมบัติที่เพิ่มขึ้นของขดลวดจะส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดและแกนเหล็กของบัลลาสต์ และเกี่ยวข้องกับรูปร่าง หน้าตัด ความยาวของแกนเหล็ก และขนาดของขดลวดด้วย เป็นต้น

บทความนี้นำเสนอบัลลาสต์แกนเหล็กที่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำกว่า 4.5 วัตต์ เพื่อนำมาใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ โดยได้นำวิธีผลคูณพื้นที่มาใช้ในการออกแบบและสร้างบัลลาสต์ เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูญเสียตามที่กำหนด นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับบัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดาที่ใช้กันทั่วไปในประเทศ

**คำสำคัญ :** บัลลาสต์แกนเหล็ก, หลอดฟลูออเรสเซนต์, ผลคูณพื้นที่

### Abstract

Nowadays, the production magnetic ballast for using with 36-watt fluorescent lamp must comply with TIS 236-2533 which focus on safety and performance capacity. Moreover, other requirement are regulated such as those on heat value for example increasing temperature of coil will be losing in coil and magnet of ballast, those related to shape, length of metal core and sizes of coil etc.

This research present magnetic ballast with power loss lowers 4.5 watts for use with 36-watt fluorescent lamp. Area Product are applied to designing and producing the ballast to reach the defined power loss. The ballast are brought for test with general ballast sold in the country.

**Keywords :** Magnetic ballast , Fluorescent lamp , Area Product

### 1. บทนำ

หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 W ที่ใช้บัลลาสต์แกนเหล็กเป็นอุปกรณ์ประกอบรวมในการทำงานเหมาะสำหรับบ้านพักอาศัย ร้านค้า สำนักงาน ตลอดจนห้างสรรพสินค้าต่างๆ จะมีอายุการใช้งานนานกว่า บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ โดยประสิทธิภาพของหลอดจะขึ้นอยู่กับ ขนาด และรูปร่างของหลอด ความเสื่อมของหลอด การทำงานของสตาร์ทเตอร์ และกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ตัวบัลลาสต์ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการเพิ่มประสิทธิภาพของหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 W โดยการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ตัวบัลลาสต์แกนเหล็ก

### 2. การทำงานของบัลลาสต์

ส่วนประกอบที่สำคัญของบัลลาสต์แกนเหล็กก็คือ แกนเหล็กและขดลวดเคลือบฉนวนพันไว้รอบๆ แกน ซึ่งเป็นแผ่นเหล็กบางๆ อัดแน่นติดกัน โดยที่บัลลาสต์จะต่ออนุกรมอยู่กับหลอดและสตาร์ทเตอร์ เมื่อเปิดไฟให้หลอดติดจะเกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าขึ้นในหลอด โดยก๊าซซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้าภายในหลอดจะมีความต้านทานลดลง เป็นผลทำให้แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วหลอดลดลงและกระแสไฟฟ้ายิ่งไหลผ่านหลอดเพิ่มขึ้น ถ้าไม่มีการควบคุมกระแสที่ไหลผ่านขั้วหลอดจะเกิดการลัดวงจรขึ้นภายในหลอด ดังนั้นจึงต้องมีการนำบัลลาสต์เข้ามาต่อในวงจรเพื่อจำกัดกระแส [1]

### 3. ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบบัลลาสต์[2]

#### 3.1 ทฤษฎีผลคูณพื้นที่

กำลังไฟฟ้าปรากฏ  $S_l$  ของบัลลาสต์ พิจารณาจากสมการ (1)

$$S_l = VA \quad (1)$$

ความสามารถของแกนเหล็กที่ใช้ได้กับกำลังไฟฟ้าปรากฏ  $VA$  จะสัมพันธ์กับผลคูณของพื้นที่ของช่องหน้าต่าง  $W_a$  และพื้นที่หน้าตัด  $A_c$  ของแกนเหล็ก ซึ่งกำหนดได้ด้วยสมการ (2)

$$A_p = W_a A_c \quad (2)$$

ดังนั้นในการออกแบบ จำเป็นต้องเลือกรูปแบบและสัดส่วนของแกนเหล็กที่เหมาะสมกับกำลังไฟฟ้าของหลอด โดยการหาค่าผลคูณพื้นที่ ( $A_p$ ) จากสมการ (3)

$$A_p = \left( \frac{VA \times 10^4}{K_f B_{\max} f K_u K_j} \right)^{(x)} \quad (3)$$

เมื่อ  $A_p$  คือ ผลคูณพื้นที่ ( $cm^4$ )  
 $B_{\max}$  คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Tesla)  
 $K_f$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของรูปคลื่นไซน์  
 $K_u$  คือ ตัวประกอบของช่องว่าง  
 $K_j$  คือ ค่าคงที่ของแกนเหล็ก(Lamination) มีค่าเท่ากับ 366 ที่  $\Delta t$  25 °C  
 $(x)$  คือ ค่าคงที่  
 $f$  คือ ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายให้กับหลอด (Hz)

Window utilization factor ขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์ต่างๆ ต่อไปนี้ คือ ฉนวนหุ้มหลอดทองแดง บ๊อบบี้ แผ่นฉนวนและเปลือกรูม ค่า  $K_u$  ที่ใช้ออกแบบสำหรับหลอดขนาดเล็กมีค่าประมาณ 0.4 ถึง 0.6

### 3.2 ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก

ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุด ( $B_{\max}$ ) ของแกนเหล็กที่เลือกใช้ต้องมีค่าเหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าต่อไปนี้

- ขนาดของบัลลาสต์และราคาต้นทุน
- การบิดเบี้ยวของกระแสที่เกิดขึ้นจากการอิ่มตัวของแกนเหล็ก
- อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของบัลลาสต์ ขณะทำงานปกติอย่างต่อเนื่อง ถ้าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว จะทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของกระแสมากขึ้น การสูญเสียในแกนเหล็กสูงขึ้น ขนาดของบัลลาสต์ก็จะเล็กลง แต่อุณหภูมิของบัลลาสต์ในการทำงานจะสูงขึ้น

### 3.3 ความหนาแน่นของกระแส

ความหนาแน่นของกระแส มีความสัมพันธ์กับผลคูณของพื้นที่  $A_p$  ของบัลลาสต์ สำหรับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่กำหนด คือ

$$J = K_j A_p^{-Y} \quad (4)$$

เมื่อ  $K_j$  : เป็นค่าคงที่ของแกนเหล็ก(Lamination) มีค่าเท่ากับ 366 ที่  $\Delta t$  25 °C  
 $-Y$  : เป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0.12

การออกแบบบัลลาสต์จะต้องคำนึงถึงแฟกเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กัน ต่อไปนี้

1. ค่าอินดักแตนซ์ที่ต้องการ
2. แรงดันไฟฟ้า
3. ความถี่
4. ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก

ในที่นี้เลือกค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก  $B_{\max} = 1.2$  Tesla โดยเลือกค่าจากกราฟความสัมพันธ์ของหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กกับความเข้มแม่เหล็กของเหล็กซิลิกอนที่ใช้(RG 11) โดยไม่เกิดการอิ่มตัวขณะทำงาน ค่าอินดักแตนซ์ของบัลลาสต์ขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดพันบนแกนเหล็ก จำนวนรอบของขดลวดคำนวณได้จากกฎของฟาราเดย์ ดังนี้

$$N = \frac{E \times 10^4}{4.44 B_{\max} f A_c} \quad (5)$$

เมื่อ  $N$  คือ จำนวนรอบขดลวดที่พัน (รอบ)  
 $E$  คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมบัลลาสต์ (V)  
 $f$  คือ ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายให้กับหลอด (Hz)

อินดักแตนซ์ของบัลลาสต์ที่มีช่องอากาศหาได้จากสมการ (6)

$$L = \frac{0.4\pi N^2 A_c \times 10^{-8}}{l_g + \frac{l_m}{\mu_r}} \quad (6)$$

เมื่อ  $L$  คือ ค่าอินดักแตนซ์ของบัลลาสต์ (H)  
 $l_g$  คือ ความยาวของช่องอากาศ  
 $l_m$  คือ ความยาวเฉลี่ยของทางเดินฟลักซ์ในแกนเหล็ก  
 $\mu_r$  คือ ค่า relative permeability

ค่า  $\mu_r$  ของแกนเหล็กประมาณ 1000 – 2000 ดังนั้นช่องอากาศ  $l_g$  จะมีค่าสูงเมื่อเทียบกับอัตราส่วน  $l_m / \mu_r$  ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงละทิ้งค่าอัตราส่วน  $l_m / \mu_r$  โดยค่าอินดักแตนซ์ของบัลลาสต์คำนวณได้จากสมการ (7)

$$L = \frac{0.4\pi N^2 A_c \times 10^{-8}}{l_g} \quad (7)$$

ในกรณีนี้ที่พิจารณาถึงผลกระทบของเส้นแรงแม่เหล็กโกร่งตัว (Fringing flux) และช่องว่างอากาศ(Gap) โดยมีผลต่อค่าอินดักแตนซ์ทำให้อินดักแตนซ์ของบัลลาสต์เพิ่มขึ้นด้วยแฟกเตอร์  $F$  ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (8)

$$F = 1 + \frac{l_g}{\sqrt{A_c}} \ln \left( \frac{2G}{l_g} \right) \quad (8)$$

เมื่อ  $G$  คือระยะความสูงของการพันขดลวด (cm) ในรูปที่ 3

ค่าอินดักแตนซ์ใหม่ที่คำนึงถึงผลของเส้นแรงแม่เหล็กโกร่งตัว (Fringing flux) และช่องว่างอากาศ(Gap) คำนวณได้จากสมการ (9)

$$L' = \frac{0.4\pi N^2 A_c F \times 10^{-8}}{l_g} \quad (9)$$

โดยกำหนดอินทิกรัลแทนซีในการออกแบบ สามารถคำนวณจำนวนรอบของขดลวดใหม่โดยพิจารณาถึง Fringing flux ได้จากสมการ (10)

$$N = \sqrt{\left( \frac{l_g L'}{0.4\pi A_c F \times 10^{-8}} \right)} \quad (10)$$

### 3.4 การสูญเสียในขดลวดของบัลลาสต์

การสูญเสียในขดลวดทองแดง  $P_{CU}$  คำนวณได้จากสมการ (11)

$$P_{CU} = I^2 R \quad (11)$$

เมื่อ  $I$  คือ กระแสที่ไหลผ่านขดลวด (A)

$R$  คือ ความต้านทานของขดลวดทองแดงในตัวบัลลาสต์ ( $\Omega$ )

ค่าความต้านทานทั้งหมดของขดลวด คำนวณได้จากสมการ (12) โดยนำความยาวเฉลี่ยต่อรอบ  $MLT$  (Mean Length Turn) คูณด้วยจำนวนรอบและค่าความต้านทานของขดลวดที่อุณหภูมิ  $20^\circ$

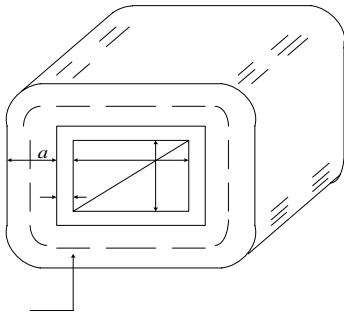
$$R = MLT \times N \times r_{20} \quad (12)$$

เมื่อ  $MLT$  คือ ความยาวเฉลี่ยต่อรอบ (Mean Length Turn)

$r_{20}$  คือ ความต้านทานของขดลวดที่อุณหภูมิ  $20^\circ$  ( $\Omega$ )

และ

$$MLT = 2(r + 2j) + 2(s + 2j) + \pi a \quad (13)$$



รูปที่ 1 แสดง  $MLT$  of coil (Mean Length Turn)

ขนาดของขดลวดทองแดง คำนวณจากค่าความหนาแน่นของกระแสก็จะได้ขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวด  $A_{W(B)}$  ดังสมการ (14)

$$A_{W(B)} = \frac{I}{J} \quad (14)$$

น้ำหนักของขดลวดทองแดงคำนวณได้จากสมการ (15)

$$W_{CU} = MLT \times N \times (g/cm) \quad (15)$$

เมื่อ  $(g/cm)$  คือ น้ำหนักของขดลวดต่อหน่วยความยาว

### 3.5 การสูญเสียในแกนเหล็ก

การสูญเสียในแกนเหล็กคำนวณได้จากปริมาตรของแกนเหล็กที่ใช้คูณด้วยความหนาแน่นของเหล็กซิลิกอนและน้ำหนักทั้งหมดของแกนเหล็ก ดังสมการที่ (16)

$$P_{fe} = V_{fe} \rho_{fe} W_{fe} \quad (16)$$

เมื่อ  $W_{fe}$  คือ น้ำหนักทั้งหมดของแกนเหล็ก

$\rho_{fe}$  คือ ความหนาแน่นของเหล็กซิลิกอน ( $g/cm^3$ )

$V_{fe}$  คือ ปริมาตรของแกนเหล็ก

### 3.6 การสูญเสียในช่องอากาศ

การสูญเสียในช่องอากาศ ไม่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของแผ่นเหล็กซิลิกอนและความซึมซาบสัมพัทธ์ของแกนเหล็ก (Permeability) การสูญเสียในช่องอากาศเกิดจากฟลักซ์แม่เหล็กรอบนอกของอากาศที่มีเส้นตั้งฉากกับแผ่นเหล็กของแกน ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy current) การสูญเสียจากช่องอากาศคำนวณได้จากสมการ (17)

$$P_g = K_i D l_g f B_{max}^2 \quad (17)$$

เมื่อ  $K_i$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ช่องว่างของแกนเหล็กแผ่นซิลิกอน

$D$  คือ ความยาวของแกนเหล็กในรูปที่ 3

การสูญเสียทั้งหมดของบัลลาสต์เท่ากับผลรวมการสูญเสียในขดลวด แกนเหล็กและช่องอากาศ หาได้จากสมการ (18)

$$P_b = P_{CU} + P_{fe} + P_g \quad (18)$$

เมื่อ  $P_{CU}$  คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดง (W)

$P_{fe}$  คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (W)

$P_g$  คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ช่องอากาศของแกนเหล็ก (W)

### 3.7 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ความร้อนที่เกิดจากการสูญเสีย ต้องถ่ายเทออกจากบัลลาสต์โดยถ่ายเทผ่านผิวหน้าของขดลวดและแกนเหล็กของบัลลาสต์เป็นส่วนใหญ่ คำนวณได้จากสมการ (19)

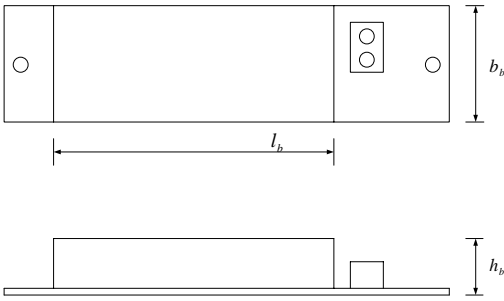
$$\Delta t = \frac{P_b}{\alpha \cdot A_b} \quad (19)$$

เมื่อ  $\Delta t$  คือ อุณหภูมิที่เพิ่มของขดลวด ( $^{\circ}K$ )

$P_b$  คือ การสูญเสียทั้งหมดของบัลลาสต์ (W)

$A_b$  คือ ผิวหน้าระบายความร้อนของบัลลาสต์ ( $cm^2$ )

$\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ขึ้นอยู่กับสี รูปร่าง และคุณภาพของผิวหน้า ( $W / ^{\circ}K - m^2$ )



รูปที่ 2 รูปแบบของบัลลาสต์แกนเหล็ก

ผิวหน้าระบายความร้อนของบัลลาสต์ คำนวณได้จากสมการ (20)

$$A_b = 2h_b b_b + 2l_b (h_b + b_b) \quad (20)$$

### 3.8 การออกแบบบัลลาสต์แกนเหล็กประหยัดพลังงาน ข้อกำหนดของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์

- (1) บัลลาสต์ทำด้วยเหล็กแผ่นซิลิกอนรูป EI
- (2) แรงดันจ่าย 220 V
- (3) ความถี่ 50 Hz
- (4) กระแสบัลลาสต์ 0.43 A
- (5) อุณหภูมิเพิ่มขึ้นของขดลวด  $\Delta t 25^{\circ}C$

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหากำลังไฟฟ้าปรากฏ  $P_t$  จากสมการที่ (1)

$$\begin{aligned} P_t &= VA = I_c \cdot Z \cdot A \\ &= 0.43 \times 390 \times 0.43 \\ &= 72.11 \text{ W} \end{aligned}$$

กระแสสอบเทียบ  $I_c = 0.43 \text{ A}$  [3]

บัลลาสต์อิมพีแดนซ์  $Z = 390 \Omega$  [3]

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาผลคูณของพื้นที่  $A_p$  จากสมการที่ (3)

$$\begin{aligned} A_p &= \left( \frac{VA \times 10^4}{K_f B_{\max} f K_u K_j} \right)^{(X)} \\ &= 21.57 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

เมื่อ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก  $B_{\max} = 1.2 \text{ Tesla}$

ค่าสัมประสิทธิ์ของรูปคลื่นไซน์  $K_f = 4.44$

ตัวประกอบช่องว่าง  $K_u = 0.5$

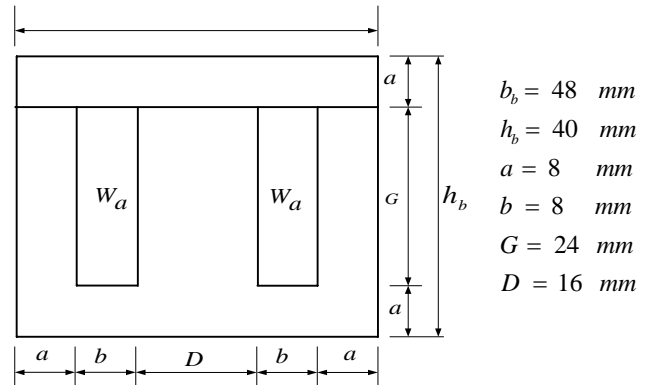
ค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของกระแส

$$K_j = 366 (\Delta t \text{ of } 25^{\circ}C)$$

ความถี่  $f = 50 \text{ Hz}$

ตัวคงที่  $(X) = 1.14$

ขั้นตอนที่ 3 เลือกแบบและขนาดของแกนเหล็กจากแบบ EI ที่มีขนาดใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ ซึ่งเลือกแบบ EI-48 และเหล็กซิลิกอนเกรด RG11 ตามรายละเอียด ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แกนเหล็กแบบ EI-48

#### เลือกแกนเหล็กแบบ EI-48 RG11

สมการผลคูณของพื้นที่  $A_p = W_a \cdot A_c$

พื้นที่ช่องว่างหน้าตัด  $W_a = b \times G = 8 \times 24 = 192 \text{ mm}^2$

พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก  $A_c = \frac{A_p}{W_a} = \frac{21.57}{1.92} = 11.23 \text{ cm}^2$

เลือกความยาวแกนเหล็ก  $S = \frac{A_c}{D} = 7.02 \text{ cm}$

เลือกความยาวแกนเหล็ก  $S = 7 \text{ cm}$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาจำนวนรอบของขดลวด จากสมการที่ (5)

$$N = \frac{E \times 10^4}{4.44 B_{\max} f A_C}$$

$$= 560 \quad \text{รอบ}$$

**ขั้นตอนที่ 5** คำนวณค่าอิมพีแดนซ์

$$X_L = \frac{IZ}{I} = \frac{E}{I}$$

$$= 390 \quad \Omega$$

**ขั้นตอนที่ 6** คำนวณค่าอินดักแตนซ์

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}$$

$$= 1.24 \quad H$$

**ขั้นตอนที่ 7** คำนวณหาความยาวของช่องอากาศจากค่าอินดักแตนซ์ จากสมการที่ (7)

$$l_g = \frac{0.4\pi N^2 A_C \times 10^{-8}}{L}$$

$$= 0.036 \quad \text{cm.}$$

เลือกช่องอากาศเท่ากับ 0.035 ซม. ในการประกอบบัลลาสต์

**ขั้นตอนที่ 8** คำนวณหาเส้นแรงแม่เหล็กโก่งตัว Fringing flux จากสมการที่ (8)

$$F = 1 + \frac{l_g}{\sqrt{A_C}} \ln \left( \frac{2G}{l_g} \right)$$

$$= 1.051 \quad \text{Wb}$$

เมื่อ  $G$  คือระยะความสูงของการพันขดลวด มีค่าเท่ากับ 2.4 ใช้ Fringing flux คำนวณหาจำนวนรอบของขดลวด จากสมการที่ (10)

$$N = \sqrt{\left( \frac{l_g L'}{0.4\pi A_C F \times 10^{-8}} \right)}$$

$$= 541 \quad \text{รอบ}$$

**ขั้นตอนที่ 9** คำนวณหาความหนาแน่นกระแส จากสมการ (4)

$$J = K_j A_p^{-0.12}$$

$$= 253.17 \quad A/cm^2$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของความหนาแน่นกระแสมีค่าเท่ากับ

$$K_j = 366 (\Delta t \ 25^\circ C) \quad A/cm^2$$

**ขั้นตอนที่ 10** คำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดง  $A_{W(B)}$  จากสมการที่ (14)

$$A_{W(B)} = \frac{I}{J}$$

$$= 0.0017 \quad \text{cm}^2$$

**ขั้นตอนที่ 11** เลือกขนาดลวดตัวนำ ซึ่งเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.50 มม. เพื่อให้สามารถประกอบแกนเหล็กได้

**ขั้นตอนที่ 12** คำนวณหาความยาวเฉลี่ยต่อรอบของขดลวด คำนวณหาความต้านทานของขดลวดจากความยาวเฉลี่ยต่อรอบ จำนวนรอบและความต้านทานต่อความยาว 1 กิโลเมตรของลวดทองแดงที่อุณหภูมิ 20 °C จากสมการที่ (13)

$$MLT = 2(r + 2j) + 2(S + 2j) + a\pi$$

$$= 20.51 \quad \text{cm.}$$

เมื่อ  $j$  คือ ความหนาของแผ่นฉนวน มีค่าเท่ากับ 1 มม.

คำนวณหาความต้านทานทั้งหมดของขดลวดที่อุณหภูมิ 20°C จากสมการที่ (12) ความต้านทานของลวดทองแดงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 มม. ที่อุณหภูมิ 20 °C มีค่าเท่ากับ  $r_{20} = 91.43 \ \Omega/\text{km}$

$$R_{20^\circ C} = MLT \cdot N \cdot r_{20}$$

$$= 10.14 \quad \Omega$$

**ขั้นตอนที่ 13** คำนวณหากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดง จากสมการ (11)

$$P_{CU} = I^2 R_{20^\circ C}$$

$$= 1.87 \quad \text{W}$$

สมมุติอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น  $\Delta t = 25^\circ C$  และค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิความต้านทานของทองแดง ( $\alpha t$ ) มีค่าเท่ากับ 0.0039 ดังนั้นความต้านทานของขดลวดที่  $\Delta t = 25^\circ C$  หาได้จาก

$$R_{\Delta 25^\circ C} = R_{20^\circ C} (1 + \alpha t T)$$

$$= 11.13 \quad \Omega$$

เมื่อ  $\alpha t$  คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิความต้านทานของทองแดง  $T$  คือ อุณหภูมิของโลหะ (°C)

ดังนั้น กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงที่  $\Delta t = 25^{\circ}C$

$$P_{CU} = 0.43^2 \times 11.13 = 2.058 \text{ W}$$

ขั้นตอนที่ 14 คำนวณหา กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก จากสมการที่ (16)

$$V_{fe} = [2ab_b + 2a(h_b - 2a) + G(h_b - 2a)]s = 107.52 \text{ mm}^3$$

$$P_{fe} = V_{fe} \rho_{fe} \Delta P_{fe} = 1.365 \text{ W}$$

ความหนาแน่นของแกนเหล็ก  $\rho_{fe} = 7.65 \text{ g/cm}^3$  กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่อน้ำหนักของเหล็กซิลิกอน

$$(RG11) \Delta P_{fe} = 1.66 \text{ W/kg}$$

ขั้นตอนที่ 15 คำนวณหา กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ช่องอากาศ

$$P_g = K_i D I_g f B_{max}^2 = 0.625 \text{ W}$$

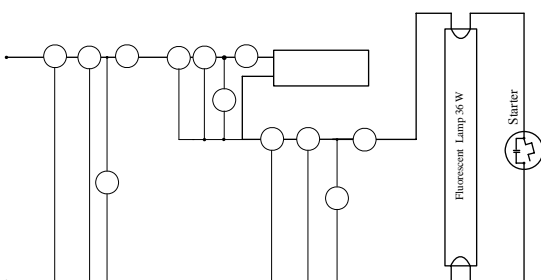
ค่าสัมประสิทธิ์ช่องว่างของแกนเหล็กแผ่นซิลิกอน  $K_i = 0.155$

ขั้นตอนที่ 16 คำนวณหา กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด

$$\Sigma P = P_{CU} + P_{fe} + P_g = 4.048 \text{ W}$$

#### 4. การทดสอบบัลลาสต์แกนเหล็ก

ในการทดสอบหาแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ตกรวมในส่วนต่างๆ ของวงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 W จะมีการต่อเครื่องวัดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4 ส่วนรูปบัลลาสต์แกนเหล็กประหยัดพลังงานต้นแบบแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 วงจรที่ใช้ในการทดสอบบัลลาสต์แกนเหล็ก



รูปที่ 5 บัลลาสต์แกนเหล็กประหยัดพลังงานต้นแบบ ตารางที่ 1 การทดสอบบัลลาสต์แกนเหล็กต้นแบบกับบัลลาสต์แกนเหล็ก Low Loss และบัลลาสต์แกนเหล็กทั่วไป

รายละเอียด		บัลลาสต์แกนเหล็กต้นแบบ	บัลลาสต์แกนเหล็ก Low Loss ทั่วไป	บัลลาสต์แกนเหล็กทั่วไป
พลังงานที่ใช้ทั้งหมด	แรงดัน ( $V_1$ )	220	220	220
	กระแส ( $A_1$ )	0.45	0.43	0.42
	กำลังไฟฟ้า ( $W_1$ )	40.6	41.1	44.3
	เพาเวอร์แฟกเตอร์ ( $PF_1$ )	0.40	0.43	0.45
พลังงานที่ใช้ของหลอด	แรงดัน ( $V_2$ )	100.1	104	100.7
	กระแส ( $A_2$ )	0.45	0.41	0.42
	กำลังไฟฟ้า ( $W_2$ )	36.3	34.7	32.5
	เพาเวอร์แฟกเตอร์ ( $PF_2$ )	0.80	0.76	0.76
พลังงานที่ใช้ของบัลลาสต์	แรงดัน ( $V_3$ )	179.0	176.3	174.7
	กระแส ( $A_3$ )	0.45	0.41	0.42
	กำลังไฟฟ้า ( $W_3$ )	4.3	6.4	9.3
	เพาเวอร์แฟกเตอร์ ( $PF_3$ )	0.05	0.09	0.13
ปริมาณแสงของหลอด (lm)		2592	2498	2340
กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่บัลลาสต์ (วัตต์)		4.3	6.4	9.3

#### 5. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบบัลลาสต์แกนเหล็กต้นแบบที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ ที่สร้างขึ้นมานั้นจะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเท่ากับ 4.3 วัตต์ ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ต้นแบบที่ทดสอบได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ ส่วนค่าแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้น เกิดจากการพันลวดตัวนำและอุณหภูมิในขณะที่ทำการทดสอบต่างจากค่าที่ใช้ในการคำนวณ ในส่วนปริมาณแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์แกนเหล็กต้นแบบจะมากกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์แกนเหล็กกำลังสูญเสียต่ำและบัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดาที่ใช้กันทั่วไปในประเทศ

#### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณพงษ์ภัทร เมฆพิทักษ์ และคุณรัตพล เกิดสมบุญ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับการทดลองวิจัยในบทความนี้

#### เอกสารอ้างอิง

1. วัฒนา ถาวร, "การส่องสว่าง," สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2535.

2. พุทธิพร เศวตสกุลานนท์, "เอกสารประกอบการประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2548.
3. Colonel Wm. , T. Mcllyman, "Design Transformer and Inductor Design Handbook," California Institute of Technology, Marcel Dekker Inc.,1988.