ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ
กฟ
อว 14

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 6 ว.

ของ นายชัชชัย นบธีรานุภาพ
ตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 5

เรื่องที่ 2
การสร้างโปรแกรมหาค่า กระแสต่อเนื่อง การสูญเสียพลังงาน และ ความต้านทางความร้อนของสายไฟฟ้า

ผู้ร่วมดำเนินการ
นายเกรียงไกร โชวเจริญสุข
ตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 5

กลุ่มฟิสิกส์และวิศวกรรมทั่วไป 1
กองฟิสิกส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

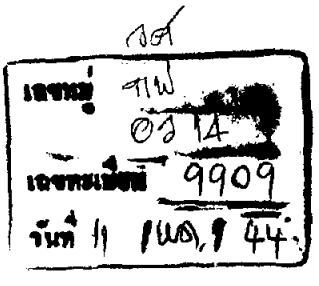
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

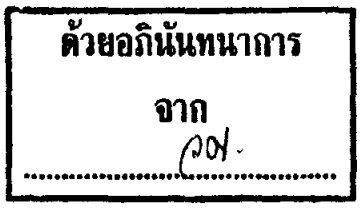
การสร้างโปรแกรมหาค่า กระแสต่อเนื่อง การสูญเสียพลังงาน และ ความต้านทานความร้อน ของสายไฟฟ้า

นายชัชชัย นบธีรานุภาพ

และ

นายเกรียงไกร โชวเจริญสุข





กลุ่มฟิสิกส์และวิศวกรรมทั่วไป 1

กองฟิสิกส์และวิศวกรรม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

ค่าของกระแสต่อเนื่องของสายไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ๆ หมายถึง ค่าของกระแสไฟฟ้าที่อนุญาตให้ไหลผ่านสายไฟฟ้าชนิดนั้นเป็นเวลานาน ๆ โดยไม่ทำให้สายไฟฟ้าร้อนเกินไปจนเกิดการลุกไหม้ติดไฟขึ้นได้ การทราบค่ากระแสต่อเนื่องของสายไฟฟ้า จะช่วยให้สามารถใช้งานสายไฟฟ้านั้นได้อย่างถูกต้อง และไม่เกิดอันตราย

งานวิจัยนี้ ได้สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าของการสูญเสียพลังงาน (Energy loss) ความต้านทานความร้อน(Thermal resistivity) เพื่อคำนวณหาค่ากระแสต่อเนื่องสูงสุด (Continuous current rating) ของสายไฟฟ้า โดยใช้การคำนวณตามแนวทางของมาตรฐาน I E C Publication 287 (1982) และได้ใช้โปรแกรมนี้เพื่อคำนวณหาค่า กระแสต่อเนื่องสูงสุด , การสูญเสียพลังงาน และความต้านทานความร้อน ของสายไฟฟ้า ตามมาตรฐาน มอก. 11 - 2531 เพื่อเป็นตัวอย่าง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
บทที่	
1. คำนำ	1
2. เครื่องมือวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	2
- กระแสต่อเนื่องสูงสุด	2
- การคำนวณหาค่า การสูญเสียพลังงาน	3
- การคำนวณหาค่า ความต้านทานความร้อน	6
3. ผลการทดลอง	12
4. วิจารณ์ผล	17
5. สรุป	18
กิตติกรรมประกาศ	19
เอกสารอ้างอิง	20
ภาคผนวก	21
- ศัพท์ทางเทคนิค	21 - 24
คำแนะนำทั่วไป	25

บทที่ 1

คำนำ

ค่าของกระแสต่อเนื่องสูงสุด (Continuous current rating)ของสายไฟฟ้า หมายถึงค่าของกระแสไฟฟ้าในขณะใช้งานโดยต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ โดยความร้อนที่เกิดขึ้นจะไม่สะสมกันมากจนเกินไป จนทำให้สายไฟฟ้าลุกติดไฟขึ้นได้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอัคคีภัยขึ้นได้ ค่ากระแสต่อเนื่องนี้ จึงเป็นค่าที่สำคัญมากค่าหนึ่งในการออกแบบเพื่อการผลิต และการใช้งานของสายไฟฟ้า ผู้ผลิตสายไฟฟ้าจึงควรที่จะคำนวณและระบุค่านี้ได้สำหรับสายไฟฟ้าหนึ่ง ๆ ส่วนผู้ซื้อหรือผู้ใช้ก็ควรทราบค่านี้ เพื่อที่จะได้ใช้งานสายไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องโดยไม่เกิดอันตราย

ค่ากระแสต่อเนื่อง มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับ ความต้านทานความร้อน(Thermal Resistance) ของฉนวนของสายไฟฟ้า และการสูญเสียพลังงาน (Energy Loss)ของกระแสไฟฟ้าในสายไฟฟ้า มาตรฐาน I E C Publication 287 (1982) ได้ให้สมการความสัมพันธ์และแนวทางในการคำนวณค่าทั้ง 3 ไว้ แต่สมการเหล่านี้มีความซับซ้อน และมีตัวประกอบที่ต้องคำนึงถึงอยู่ไม่น้อย ทำให้การคำนวณด้วยมือ หรือเครื่องคิดเลขธรรมดา ทำได้ค่อนข้างลำบากและช้ามาก ในงานวิจัยนี้ เราจึงสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณค่าทั้งสามตามแนวทางของมาตรฐาน I E C ดังกล่าวแล้ว ค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ จะเป็นประโยชน์สามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ ทดสอบ คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าและความร้อนของสายไฟฟ้า และยังใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเพื่อการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตสายไฟฟ้า และการใช้งานสายไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องและปลอดภัยสำหรับผู้ใช้

นอกจากนี้ เรายังได้ใช้ค่า พารามิเตอร์ (Parameter) ที่เหมาะสมกับประเทศไทยเพื่อคำนวณหาค่าทั้งสาม สำหรับสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน มอก. 11-2531 เป็นตัวอย่าง

บทที่ 2
เครื่องมือวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

เครื่องมือวัสดุ อุปกรณ์

1) เครื่องคอมพิวเตอร์ (CPU 286)

2) Printer

3) โปรแกรม Basic

4) กระดาษที่ใช้พิมพ์ ขนาด A 4

วิธีการ

1. หาสมการการคำนวณ ของกระแสต่อเนื่องสูงสุด การสูญเสียพลังงาน และความต้านทานความร้อน

1.1 การหาค่ากระแสต่อเนื่องสูงสุด (Continuous current rating) กระแสไฟฟ้าสลับสูงสุดสำหรับสายไฟฟ้า สามารถหาได้จากสมการเพิ่มอุณหภูมิของสายไฟฟ้าจากอุณหภูมิแวดล้อม

$$\Delta\theta = (I^2R + \tfrac{1}{2}W_d)T_1 + [I^2R(1 + \lambda_1) + W_d]nT_2 + [I^2R(1 + \lambda_1 + \lambda_2)+W_d]n(T_3+ T_4)$$

โดยที่ I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำหนึ่ง ๆ

$\Delta\theta$ = อุณหภูมิของตัวนำที่เพิ่มจากอุณหภูมิแวดล้อม (K)

R = ความต้านทานกระไฟฟ้าสลับต่อหนึ่งหน่วยความยาวของตัวนำที่อุณหภูมิการใช้งานสูงสุด (ohm/m)

W_d = การสูญเสียในฉนวนต่อหนึ่งหน่วยความยาว (W/m)

T_1 = ความต้านทานความร้อนต่อหนึ่งหน่วยความยาว ระหว่าง ตัวนำ กับ sheath (K.m/W)

T_2 = ความต้านทานความร้อนต่อหนึ่งหน่วยความยาวของ bedding ระหว่าง sheath และ armour (K.m/W)

T_3 = ความต้านทานความร้อนต่อหนึ่งหน่วยความยาวของสิ่งหุ้มภายนอกสายไฟฟ้า (K.m/W)

T_4 = ความต้านทานความร้อนต่อหนึ่งหน่วยความยาว ระหว่าง ผิวของสายไฟฟ้ากับอากาศล้อมรอบ (K.m/W)

n = จำนวนตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านของสายไฟฟ้า

λ_1 = อัตราส่วนการสูญเสียพลังงาน armour ต่อการสูญเสียรวมในตัวนำทั้งหมดในสายไฟฟ้านั้น

λ_2 = อัตราส่วนการสูญเสียใน armour ต่อการสูญเสียรวมในตัวนำทั้งหมดในสายไฟฟ้านั้น ๆ

กระแสไฟฟ้าสูงสุดหาได้จากสมการข้างต้นดังต่อไปนี้

$$I = \left[\frac{\Delta\theta - W_d[0.5\ T_1 + n(T_2+T_3+T_4)]}{RT_1 + nR(1+\lambda_1)T_2 + nR(1+\lambda_1+\lambda_2)(T_3+T_4)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

1.2 การคำนวณหาการสูญเสียพลังงาน

1.2.1 ความต้านทานกระแสสลับของตัวนำ

ความต้านทานกระสลับของตัวนำที่อุณหภูมิการใช้งานสูงสุด จากสมการข้างล่างนี้

$$R = R' (1 + y_s + y_p)$$

ซึ่ง

R = ความต้านทานกระแสสลับของตัวนำที่อุณหภูมิการใช้งานสูงสุด (ohm/m)

R' = ความต้านทานกระแสตรงของตัวนำที่อุณหภูมิการใช้งานสูงสุด (ohm/m)

y_s = skin effect factor

y_p = Proximity effect factor

3.1.2 ความต้านทานกระแสตรงของตัวนำ

ความต้านทานกระแสตรงต่อหนึ่งหน่วยความยาวของตัวนำที่อุณหภูมิการใช้งานสูงสุด หาได้จากสมการ

$$R' = R_o [1 + \alpha_{20}(\theta - 20)]$$

ซึ่ง

R_o = ความต้านทานกระแสตรงของตัวนำที่ 20 ^{o}C (ohm/m)

α_{20} = สัมประสิทธิ์ของ mass temperature

θ = อุณหภูมิการใช้งานสูงสุด เป็นองศาเซลเซียล

1.2.2 Skin effect factor y_s

Skin effect factor หาได้จากสมการ

$$y_s = \frac{x_s^4}{192 + 0.8\, x_s^4}$$

ซึ่ง

$$x_s^2 = \frac{8\pi f}{R'} \; 10^{-7} k_s$$

f = ความถี่ของกระแสไฟฟ้า (Hz)

ค่า k_s หาได้จาก ตารางที่ 2 หน้าที่ 75 ของ I E C 287

1.2.3 Proximity effect factor y_p สำหรับสาย 2 แกน

proximity effect factor หาได้จากสมการ

$$y_p = \frac{x_p^4}{192 + 0.8\, x_p^4} \left(\frac{d_c}{s}\right)^2 \times 2.9$$

ซึ่ง

$$x_p^2 = \frac{8\pi f}{R'} \; 10^{-7} k_p$$

d_c = เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ (mm)

s = ระยะห่าง ระหว่างแกนของตัวนำ (mm)

ค่าของ k_p หาได้จากตารางที่ 2 หน้าที่ 75 ของ I E C 287

1.2.4 Proximity effect factor องสายไฟฟ้า 3 แกน

Proximity effect factor หาได้จากสมการ

$$y_p = \frac{x_p^4}{192 + 0.8x_p^4}\left(\frac{d_c}{s}\right)^2\left[0.312\left(\frac{d_c}{s}\right)^2 + \frac{1.18}{\frac{x_p^4}{192 + 0.8\,x_p^4} + 0.27}\right]$$

ซึ่ง

$$x_p^2 = \frac{8\pi f}{R'}\,10^{-7}k_p$$

d_c = เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ (mm)

s = ระยะห่าง ระหว่างแกนของตัวนำ (mm)

ค่าของ k_p หาได้จากตารางที่ 2 หน้าที่ 75 ของ I E C 287

1.2.5 Dielectric losses

dielectric losses มีค่าขึ้นอยู่กับความต่างศักดาไฟฟ้า ดังนั้น จึงมีความสำคัญที่ระดับของความต่างศักย์หนึ่ง ๆ ที่สัมพันธ์กับฉนวนที่ใช้ (ตารางที่ 3 หน้าที่ 77 ของ I E C 287 ให้ค่า U_o)ที่ซึ่งค่าของ dielectric losses ของฉนวนควรจะนำมาคิดด้วย ในกรณีของสายไฟฟ้า 3 แกน ที่มี screen หรือ สายแกนเดียว

ไม่จำเป็นต้องคำนวณ dielectric losses ของสายไฟฟ้าที่มีมากกว่า 3 แกน ขึ้นไป หรือสายไฟฟ้ากระแสตรง

Dielectric losses ต่อหนึ่งหน่วยความยาวในแต่ละเฟส หาได้จากสมการ

$$W_d = \omega C U_o^2 \tan\delta \quad (W/m)$$

ซึ่ง

ω = $2\pi f$ (1 / s)

C = capacitance ต่อหนึ่งหน่วยความยาว (F/m)

U_o = ความต่างศักย์ ระหว่างตัวนำกับสายดิน

ค่าของ tan δ หรือ loss factor ของฉนวนที่ ความถี่ และ อุณหภูมิต่าง ๆ ดูได้จากตารางที่ 3 ของ I E C

Capacitance สำหรับตัวนำกลม หาได้จากสมการ

$$C = \frac{\varepsilon}{18 \ln\left(\frac{D_i}{d_c}\right)} 10^{-9} \ (F/m)$$

ซึ่ง

ε = relative permittivity ของฉนวน

D_i = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของฉนวน (ไม่รวม screen) (mm)

d_c = เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ (mm)

1.2.6 ตัวประกอบการสูญเสีย (loss factor) ของ sheath และ screen (λ_1)และ armour (λ_2)

ตัวประกอบการสูญเสียของ sheath , screen และ armour สามารถแยกย่อยออกไปได้อีกหลายกรณี แต่ในรายงานนี้จะไม่นำมาเกี่ยวข้องถึงกรณีเหล่านี้ ดังนั้น $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$

1.3 <u>การคำนวณหาความต้านทานความร้อน</u> (Thermal resistance)

1.3.1 ความต้านทานความร้อนของส่วนประกอบของสายไฟฟ้า T_1 , T_2 และ T_3

ในหัวข้อนี้แสดงถึงสมการสำหรับการคำนวณหาความต้านทานความร้อนต่อหนึ่งหน่วยความยาวของส่วนต่าง ๆของสายไฟฟ้า T_1 , T_2 และ T_3 ค่าความต้านทานความร้อนจำเพาะของฉนวน และสิ่งหุ้มป้องกันได้ให้ไว้ใน ตาราง IV ของ I E C 287

ในกรณีที่สายไฟฟ้ามีชั้นของ screen อยู่ด้วย การคำนวณหาความต้านทานความร้อน ให้ถือเสมือนว่า เทปโลหะเป็นส่วนหนึ่งของตัวนำ หรือ sheath และ ให้ถือว่าชั้นของสารกึ่งตัวนำเป็นส่วนหนึ่งของฉนวน

1.3.1.1 ความต้านทานความร้อนระหว่างตัวนำ และ sheath T_1

ก) <u>สายไฟฟ้าแกนเดียว</u> ความต้านทานความร้อนระหว่างตัวนำและ sheath หาได้จากสมการ

$$T_1 = \frac{e_t}{2\pi} \ln\left[1 + \frac{2t_1}{d_c}\right]$$

t = ความต้านทานความร้อนจำเพาะของฉนวน (mm)

d_c = เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ (mm)

t_1 = ความหนาของฉนวน ระหว่าง ตัวนำ และ sheath (mm)

สำหรับ sheath ที่มีสันใน t_1 จะมีค่าขึ้นอยู่กับ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของ sheath

$$t_1 = \left(\frac{D_{it} + D_{ot}}{2} \right) t_s$$

ซึ่ง

D_{it} = เส้นผ่าศูนย์กลางทรงกระบอกที่สัมผัสผิวภายในของสันของ sheath (mm)

D_{ot} = เส้นผ่าศูนย์กลางทรงกระบอกที่สัมผัสผิวภายนอกของสันของsheath (mm)

t_s = ความหนาของ sheath (mm)

2) Belted cables ความต้านทานความร้อน T_1 ระหว่างตัวนำ และ sheath หาได้จากสมการ

$$T_1 = \frac{\rho_t}{2\pi} G$$

ซึ่ง

G = ตัวประกอบเรขาคณิต

2.1) Belted cable 2 แกน ซึ่งมีตัวนำกลม

ค่าตัวประกอบเรขาคณิต หาได้จากรูปที่ 2 หน้า 119 ของ I E C

2.2) Belted cable 3 แกน ซึ่งมีตัวนำกลม

ค่าตัวประกอบเรขาคณิต หาได้จากรูปที่ 3 หน้า 120 ของ I E C

1.3.1.2 ความต้านทานความร้อนระหว่าง sheath และ armour , T_2

1) สายไฟฟ้า 1 แกน , 2 แกน และ 3 แกน ซึ่งมี armour

ความต้านทานความร้อน ระหว่าง sheath และ armour , T_2 หาได้จากสมการ

$$T_2 = \frac{1}{2\pi} \rho_t \ln \left(1 + \frac{2 t_2}{D_s} \right)$$

ซึ่ง

t_2 = ความหนาของ bedding (mm.)

D_s = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของ sheath (mm.)

1.3.1.3 ความต้านทานความร้อน serving T_3

serving โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของชั้นสิ่งหุ้มต่าง ๆที่มีศูนย์กลางเดียวกัน และความต้านทานความร้อน T_3 หาได้จาก

$$T_3 = \frac{1}{2\pi} \rho_t \ln\left(1 + \frac{2t_3}{D'_a}\right)$$

ซึ่ง

t_3 = ความหนาของ serving (mm.)

D'_a = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของ armour (mm.)

<u>สำหรับเปลือกที่มีสันใน</u>

$$T_3 = \frac{1}{2\pi} \rho_T \ln\left[\frac{D_{oc} + 2t_3}{\left(\frac{D_{oc} + D_{it}}{2}\right) + t_s}\right]$$

1.3.2 ความต้านทานความร้อนภายนอก T_4

6.2.1 สายไฟฟ้าที่ติดตั้งแบบลอย

1. <u>สายไฟฟ้าที่ติดตั้งในอากาศ</u> ความต้านทานความร้อน T_4 ของอากาศที่ล้อมรอบสายไฟฟ้า และไม่ถูกแสงแดด หาได้จากสมการ

$$T_4 = \frac{1}{\pi D_e^* h (\Delta\theta_s)^{\frac{1}{4}}}$$

ซึ่ง

$$h = \frac{Z}{(D_e^*)^g} + E$$

D_e^* = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของสายไฟฟ้า หน่วยเป็นเมตร (m.)

สำหรับเปลือกที่มีสัน $D_e^* = (D_{oc} + 2t_3) .10^{-3}$ (m.)

h = สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อน ซึ่งได้จากสมการข้างบน โดยใช้ค่าคงที่ Z , E และ g ตามตารางที่ 5 หน้าที่ 81 หรือจากรูปที่ 7A , 7Bและ 7C หน้าที่ 124 - 126 ของ I E C ($W/m^2(K)^{5/4}$)

สายไฟฟ้าที่มี serving และ สายไฟฟ้าที่มีผิวที่ไม่เป็นโลหะ ควรจะคิดเหมือนกับว่าเป็นผิวสีดำ สายไฟฟ้าที่ไม่มีสิ่งหุ้มภายนอก ไม่ว่าจะเป็น ตัวนำไม่เคลือบ (plain conductor) หรือสายไฟฟ้าที่หุ้มด้วย armour ควรจะให้ค่าของ h = 88 % ของค่าของผิวดำ

$\Delta\theta_s$ = ความแตกต่างของอุณหภูมิของผิวของสายไฟฟ้า กับ อุณหภูมิแวดล้อม (K)

การคำนวณหาค่า $(\Delta\theta_s)^{\frac{1}{4}}$ คำนวณได้โดย

$$K_A = \frac{\pi D_e^* h}{(1+\lambda_1+\lambda_2)}\left[\frac{T_1}{n} + T_2(1+\lambda_1) + T_3(1+\lambda_1+\lambda_2)\right]$$

แล้ว

$$(\Delta\theta_s)^{\frac{1}{4}}_{n+1} = \left[\frac{\Delta\theta + \varphi_d}{1 + K_A(\Delta\theta_s)^{\frac{1}{4}}_n}\right]^{1/4}$$

ตั้งค่าเริ่มต้นของ $(\Delta\theta_s)^{\frac{1}{4}} = 2$ และคำนวณซ้ำจนกระทั่ง $(\Delta\theta_s)^{\frac{1}{4}}n + 1 - (\Delta\theta_s)^{\frac{1}{4}}n \leqslant 0.001$

ซึ่ง

$$\Delta\theta_d = W_d\left[\left(\frac{1}{1+\lambda_1+\lambda_2} - \frac{1}{2}\right) T_1 - \frac{n\,\lambda_2 T_2}{1+\lambda_1+\lambda_2}\right]$$

ตัวประกอบตัวนี้ คิดมาจากกำลังที่สูญเสียในฉนวน และมีมิติของอุณหภูมิ ถ้าการสูญเสียในฉนวนมีค่าน้อยก็ไม่ต้องนำมาคิด

$\Delta\theta$ = อุณหภูมิสูงสุดของตัวนำที่เพิ่มจากอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม

2. <u>สายไฟฟ้าที่ถูกแสงแดดโดยตรง</u>

2.1) ค่ากระแสสูงสุด

เมื่อนำผลจากแสงแดดเข้ามาคิดด้วยแล้ว กระแสสูงสุดที่อนุญาตให้ไหลผ่านสายไฟฟ้าจะเป็นไปตามสมการ ดังนี้

1) สำหรับสายไฟฟ้ากระแสสลับ

$$I = \left[\frac{\Delta\theta - W_d[0.5\,T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4^*)] - \sigma D_e^* H T_4^*}{RT_1 + nR(1+\lambda_1)T_2 + nR(1+\lambda_1+\lambda_2)(T_3+T_4^*)}\right]^{1/2}$$

2) สำหรับสายไฟฟ้ากระแสตรง

$$I = \left[\frac{\Delta\theta - \sigma D_e^* H T_4^*}{R' T_1 + nR' T_2 + nR'(T_3 + T_4^*)}\right]^{1/2}$$

ซึ่ง

σ = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีความร้อน สำหรับผิวของสายไฟฟ้า (ดูตารางที่ 6 หน้าที่ 83 ของ I E C)

H = ความเข้มพลังงานของรังสีความร้อน ควรจะเท่ากับ 10^3 W/m^2

T_4^* = ความต้านทานความร้อนภายนอกของสายไฟฟ้าในอากาศ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามรังสีความร้อน (ดูหัวข้อย่อย 6.2.1 ข้อ 2.2 ของรายงานนี้) มีหน่วยเป็น (K.m/W)

D_e^* = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของสายไฟฟ้า (m.)

สำหรับเปลือกที่มีสันภายใน $D_e^* = (D_{oc} + 2\,t_3) \cdot 10^{-3}$ (m.)

t_3 = ความหนาของสิ่งหุ้มภายนอก (mm.)

2.2) ความต้านทานความร้อนภายนอก T_4^*

สายไฟฟ้าที่ถูกแสงแดดโดยตรง T_4^* สามารถคำนวณหาได้โดยวิธีของหัวข้อย่อย 6.2.1 ข้อ 2.1 ของรายงานนี้) ยกเว้น การคำนวณค่า $(\theta_s)^{\frac{1}{4}}$ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$(\Delta\theta_s)^{1/n+1} = \left[\frac{\Delta\theta + \Delta\theta_d + \Delta\theta_s}{1 + K_A(\Delta\theta_s)^{1/n}}\right]^{1/4}$$

ซึ่ง

$$\Delta\theta_{ds} = \frac{\sigma D_e^* H}{(1+\lambda_1+\lambda_2)}\left[\frac{T_1}{n} + T_2(1+\lambda_1) + T_3(1+\lambda_1+\lambda_2)\right]$$

ตัวประกอบตัวนี้ คิดมาจากกำลังที่สูญเสียในฉนวน และมีมิติของอุณหภูมิสำหรับรังสีความร้อนโดยตรง

บทที่ 3

ผลการทดลอง

โปรแกรมการคำนวณ

ต่อไปนี้เป็นการแสดงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้สร้างขึ้นสำหรับการคำนวณหาค่า กระแสต่อเนื่องสูงสุด การสูญเสียพลังงาน และความต้านทานความร้อน ของสายไฟฟ้า เป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วยภาษา เบสิก (Basic) เมื่อเรียกใช้งาน คอมพิวเตอร์ก็จะดำเนินการถามข้อมูลเกี่ยวกับสายไฟฟ้าที่จะทำการคำนวณ หลังจากข้อมูลเรียบร้อยแล้ว คอมพิวเตอร์ก็จะทำการคำนวณและแสดงค่าที่คำนวณได้ ดังต่อไปนี้

```
10 CLS
20 PRINT "Calculate continuous current rating of a cable"
30 PRINT
40 PRINT "Which cable ?"
50 PRINT "   1. single-core cable"
60 PRINT "   2. two-core cable"
70 PRINT "   3. three-core cable"
80 PRINT "   [choose : 1,2,3]...";
90 N$ = INKEY$
100 IF N$ = "" THEN 90
110 PRINT N$
120 N = VAL(N$)
130 PI = 3.1415926#
140 RHOT = 5
150 PRINT
160 INPUT "Maximum operating temperature of conductor (oC) = ";THETA
170 PRINT
180 INPUT "Ambient temperature (oC) = ";THETAA
190 DTHETA =THETA-THETAA
200 PRINT
210 INPUT"diameter of conductor (mm) = "; DC
220 GOSUB 420
230 NUMERATOR = DTHETA - WD (.5 * T1 + N * (T1 + T2 + T3))
```

```
240 DIVIDER = R * T1 + N * R * (1 + LAMDA1) + N * R * (1 + LAMDA1 + LAMDA2) * (T
3 + T4)
250 I = SQR(NUMERATOR / DIVIDER)
260 PRINT
270 PRINT"**********************************"
280 PRINT
290 PRINT "T1 (K.m/w) = ";T1
300 PRINT
310 PRINT "T2 (K.m/W) = ";T2
320 PRINT
330 PRINT "T3 (K.m/w) = ";T3
340 PRINT
350 PRINT "T4 (K.m/W) = ";T4
360 PRINT
370 PRINT "Permissible current rating (A) = "; I
380 PRINT
390 PRINT "******************************************"
400 PRINT
410 END
420 REM*****************************************
430 PRINT
440 INPUT "d.c. resistance of the conductor at 20 oC (ohm/km) = ";ROK
450 RO=ROK/1000
460 ALPHA20 = .00393
470 RDASH = RO * (1 + ALPHA20 * (THETA - 20))
480 PRINT
490 INPUT "ks (table II page 75) = "; KS
500 PRINT "rdash =  ";RDASH
510 XS2 = 8 * PI * 50 *.0000001 * KS / RDASH
520 YS= XS2 *XS2/(192+ .8*XS2*XS2)
530 IF N=1 THEN 730
540 IF N=2 THEN 580
550 IF N=3 THEN 680
560 '
570 REM***calculate yp for two-core cable
580 INPUT "kp (table II page 75) = ";KP
590 XP2 = 8*PI*50*.0000001*KP/RDASH
600 PRINT
610 INPUT "distance between conductor axes (mm) = ";S
```

```
620 YP=XP2^2*(DC/S)^2*2.9/(192+.8*XP2^2)
630 PRINT"ys = ";YS
640 PRINT"yp = ";YP
650 GOTO 730
660 '
670 REM*****calculate yp for three-core cable******
680 INPUT "kp (table II page 75) = ";KP
690 XP2 = 8*PI*50*.0000001*KP/RDASH
700 INPUT "distance between conductor axes (mm) = ";S
710 BRAC=.312*(DC/S)^2+1.18/(XP2^2/(192+.8*XP2^2)+.27)
720 YP = XP2^2*(DC/S)^2*BRAC/(192+.8*XP2^2)
730 R = RDASH*(1+YS+YP)
740 PRINT
750 PRINT "a.c. current resistance of conductor"
760 PRINT "at maximum operating temperature (ohm/m) = ";R
770 IF N=1 THEN 810
780 IF N=2 THEN 870
790 IF N=3 THEN 920
800 '
810 REM********calculate T1 for single-core cable*********
820 PRINT
830 INPUT "thickness of insulation (mm) = "; TI
840 T1 = RHOT * LOG(1+2*TI/DC) /(2*PI)
850 GOTO 960
860 '
870 REM ******calculate T1 for two-core belted cable with circular conductor
880 INPUT "geometric factor G (figure 2,page 119) = ";G
890 T1 = RHOT*G/(2*PI)
900 GOTO 960
910 '
920 REM *******calculate T1 for three-core belted cable with circular conductor
930 INPUT "geometric factor G (figure 3,page 120) = ";G
940 T1 = RHOT*G/(2*PI)
950 '
960 REM*******calculate T4**********
970 PRINT
980 INPUT "external diameter of cable (m) = ";DESTAR
990 Z=.21:E=3.94:G=.6
1000 REM *table V page 81
```

```
1010 H = Z/(DESTAR ^G) + E
1020 KA=PI*DESTAR*H*(T1/N+T2*(1+LAMDA1)+T3*(1+LAMDA1+LAMDA2))/(1+LAMDA1+LAMDA2)
1030 DTHETAS1#=0
1040 DTHETAS2#=2
1050 DIFF#=ABS(DTHETAS2#-DTHETAS1#)
1060 IF DIFF#>.001 THEN 1070 ELSE 1100
1070 DTHETAS1#=DTHETAS2#
1080 DTHETAS2#= SQR(SQR((DTHETA+DTHETAD)/(1+KA*DTHETAS1#)))
1090 GOTO 1050
1100 DTHETAS#= DTHETAS2#
1110 T4=1/(PI*DESTAR*H*DTHETAS#)
1120 RETURN
```

ค่าที่หาได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของสายไฟฟ้า **ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม** (มอก. 11 - 2531) ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

พื้นที่หน้าตัดระบุ (mm^2)	T_1 (K.m/W)	T_4 (K.m/W)	กระแสต่อเนื่อง (A)
0.5	0.73	4.75	10.4
1.0	0.58	4.42	15.2
1.5	0.49	4.14	19.2
2.5	0.35	3.70	25.9
4.0	0.43	3.34	33.8
6.0	0.37	2.89	43.7
10.0	0.35	2.49	59.7
16.0	0.29	2.22	78.7
25.0	0.28	1.94	103.5
35.0	0.24	1.74	126.5
50.0	0.24	1.60	161.5
70.0	0.21	1.43	188.2
95.0	0.20	1.28	228.7
120.0	0.18	1.20	262.1
150.0	0.18	1.09	297.7

สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวนแกนเดียว แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 300 โวลต์

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

จะเห็นได้ว่า โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นนี้ สามารถใช้ในการคำนวณหาค่า กระแสต่อเนื่อง การสูญเสียพลังงาน และความต้านทานความร้อน ได้ทันทีซึ่งใช้เวลาในการป้อนข้อมูลประมาณ 5 - 10 นาที ก็สามารถทราบผลได้เลย ผิดกับการคำนวณด้วยเครื่องคิดเลขแล้วต้องใช้เวลาในการคำนวณ ประมาณ 30 - 40 นาที จึงจะได้ผล ถ้าจำนวนตัวอย่างมากๆแล้วจะยิ่งใช้เวลามากหลายเท่าตัว ซึ่งถ้าใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์แล้วถึงจำนวนตัวอย่างจะมากเท่าไร ก็จะได้ผลในเวลาอันรวดเร็ว ทำให้ประหยัดแรงงานตลอดจนยังสามารถทำงานได้เป็นจำนวนมากด้วย

บทที่ 4

วิจารณ์ผล

โปรแกรมที่สร้างขึ้นนี้ มีประโยชน์ที่ใช้ในการคำนวณหาค่า กระแสต่อเนื่อง การสูญเสียพลังงาน และความต้านทานความร้อน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในงานการออกแบบเพื่อการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม และยังใช้ช่วยในการวิเคราะห์ทดสอบทางด้านความร้อนของสายไฟฟ้า ตลอดจนยังเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้สายไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

บทที่ 5

สรุป

จากการศึกษาแล้ว ทำให้ทราบว่า ในการหาค่า กระแสต่อเนื่อง การสูญเสียพลังงาน และความต้านทานความร้อน ของสายไฟฟ้า มีสูตรที่ใช้ในการคำนวณหาที่สลับซับซ้อน และมีความยุ่งยากมาก ทำให้ทำงานและออกผลรายงานได้ช้ามาก หรือไม่ก็อาจจะไม่สามารถคำนวณได้เลยในกรณีไม่มีเครื่องคิดเลข โปรแกรมที่สร้างขึ้นสามารถช่วยประหยัดเวลาในการทำงานเป็นอย่างมาก และยังสามารถช่วยในการหาค่าทั้ง 3 ของสายไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

กิตติกรรมประกาศ

การสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์การหาค่า กระแสต่อเนื่อง การสูญเสียพลังงาน และความต้านทานความร้อน ของสายไฟฟ้า ผู้จัดทำได้จัดทำร่วมกับ นายเกรียงไกร โชวเจริญสุข ผู้จัดทำขอขอบคุณนายเกรียงไกร โชวเจริญสุขที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

1. I E C Publication 287 (1982) : Calculation of the Continuous Current Rating of Cables (100 % Load Factor).

2. I E C Publication 50 - 461 : International Electrotechnical Vocabulary.

3. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม , สำนักงาน. สายไฟฟ้าชนิดตัวนำทองแดงกลมหุ้มด้วยฉนวน และเปลือกนอกโพลี่ไวนิลคลอไรด์. มอก. 11 - 2531 พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2532.

ภาคผนวก

คำศัพท์ทางเทคนิค

ความหมายของคำศัพธ์ทางเทคนิคต่อไปนี้ ได้มาจาก I E C Publication 50-461

conductor - A part of a cable which has the specific function of carrying current.

plain conductor - A metal conductor in which the wire or wires are not coated with an additional metal.

stranded conductor - A conductor consisting of a number of individual wires, all or some of which generally have a helical form.

shaped conductor - A conductor the cross section of which is other than circular.

sector-shaped conductor - A shaped conductor the cross section of which approximates to a sector of a circle.

insulation (of a cable) - Insulating materials incorporated in a cable with the specific function of withstanding voltage.

conductor insulation - Insulation applied on a conductor or a conductor screen.

screen (of a cable) - Conducting layer(s) having the function of control of the electric field within the insulation. It may also provide smooth surfaces at the boundaries of the insulation an assist in the elimination of spaces at these boundaries.

conductor screen - An electrical screen of non-meiallic and/or metallic material covering the conductor.

insulation screen; core screen - An electrical screen of non-metallic and/or metallic material covering the insulation.

shield (of a cable) - A surrounding earthed metallic layer to confine the electric field within the cable and/or to protect the cable from external electrical influence.
Note. - Metallic sheaths and earthed concentric conductors may also serve as shields.

sheath - A uniform and continuous tubular covering of metallic or non-metallic material, generally extruded.

Note. - The term sheath is only used for metallic coverings in North America, where as the term jacket is used for non-metallic coverings.

armour - A covering consisting of a metal tape(s) or wires, generally used to protect the cable from external mechanicl effects.

bedding - A cushioning layer or layers applied to a cable immediately beneath a metallic layer such as the armour or the reinforcement.

reinforcement - Tapes or strips or wires, usually metallic, applied over a sheath to enable it to withstand mechnical stresses generally due to internal pressure.

serving - One or more non-extruded layers applied to the exterior of a cable.

belted cable - A multiconductor cable in which part of the insulation is applied to each conductor individually, and the remainder is applied over the assembled cores.

thermal resistance (of an element of cable)
- The temperature difference between the interior and the exterior surfaces of that element, divided by the heat flux which traverses it.

คำแนะนำทั่วไป

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นนี้ ไม่ได้ครอบคลุมถึง กรณีสายไฟฟ้าที่มี armour , screen และ reinfocement ต่าง ๆ รวมทั้งกรณีการติดตั้งสายไฟฟ้าภายในท่อ ซึ่งควรจะได้มีการจัดทำในโอกาสต่อไป