

送電用 電力 케이블의 전기적특성(1)

기술해설

21~1~1

The Prospects for Underground Transmission System in Korea

이 재 숙*

(Chae Sook Lee)

筆者註, 架空送電線의 전기특성은 corona 損等 특수한 것을 제외하고는 이론공식에 의하여 비교적 간단히 그리고 정확한 數值를 구할 수 있었으나, 地中線의 전기특성은 導體의 近接效果, 絕緣體의 誘導損, pipe 내의 渦流損, 그리고 土壤의 放熱效果 등이 그 영향을 미치므로 간단치 않고 따라서 그 이론공식도 대단히 복잡하다. 그러나 본문에서는 관계기술서적에서 필요부분을 抄錄하여 우리나라에서 始初로 사용될 154KV pipe type cable의 線路定數 許容電流等 그 전기특성을 산출하는데 필요한 數式을 소개하고, 그 계산도 실시하고자 한다.

1. pipe type cable의 構造

韓電에서 현재 購買途中에 있는 cable의 技術仕様은 대략 아래와 같다.

公稱電壓: 161KV.

導 體: 單心 638.4mm² 圓形壓縮軟銅線.

鋼 管: 外徑: 6 $\frac{5}{8}$ 吋

두께: $\frac{1}{4}$ 吋

材質: ASTM-A-523

coating; 外部 0.06吋以上の
押出 polyethylene.

内部: dearcas 745 compound.

絕緣油: polybutene系 210°F의 粘度: 約 60.

設置方法: 直埋式

길이: 0.91m(30呎)

間隙: 0.61m(2呎)

이상과 같은 仕様에 應札한 대표적 cable의 구조는 그림 1과 같으며, 導體의 主要絕緣材는 抽含浸紙이고, 그全體두께는 15mm 정도였다.

鋼管內에는 3條의 cable 芯이 삽입되며, 이러한 cable 芯의 鋼管內部에서의 배열형태는 두 종류로 구분될 수 있으며, 그 하나는 정삼각형이고, 다른 하나는 cradle 形이다.

2. 線路定數

1항에서 설명한 pipe type cable의 導體抵抗, inductance, capacitance 및 conductance를 산출하는데 사용되는 수식을 소개하고자 한다.

1) 導體의 交流抵抗(r)

地中 cable의 교류저항은 그 直流抵抗(r_0)을 기준으로 하여 다음식에 의하여 계산할 수 있다.

$$r = r_0 \times k_1 \times k_2$$

단, r_0 : 20°C에 있어서 直流最大抵抗(Ω/cm)

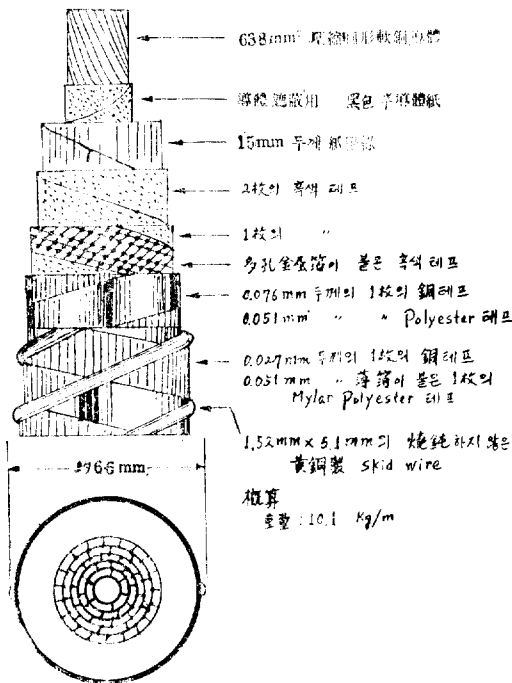


그림 1. pipe type cable의 구조

*정회원: 주석회차 제원기술단 상무이사

k_1 ; 任意的 最高許容溫度의 抵抗과 20°C에 있어서 抵抗과의 比.

k_2 ; 交流抵抗과 直流抵抗과의 比.

상기에 있어서, k_1 는 架空線에 있어서와 같이 다음식에 의하여 계산한다.

$$k_1 = \{1 + \alpha(T_1 - 20)\}$$

여기서 α 는 抵抗溫度係數

銅 : 0.00393

아루미 : 0.004

k_2 는 다음식에 의하여 계산되고 地中 cable에 특이한 근접효과를 내포하고 있다.

$$k_2 = \{1 + \beta(\lambda_s + \lambda_p)\}$$

여기서, λ_s ; 表皮效果係數

λ_p ; 近接效果係數

β ; pipe type cable에 對한 係數

1.7.....正三角形配置.

2.0.....cradle 配置.

한편, 20°C에 있어서 直流最大抵抗은 대체로 架空線의 경우와 같이 다음식에 의하여 계산된다.

$$r_0 = \frac{10^3}{58Aq_c} k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \quad (\Omega/\text{km})$$

但, A ; 導體斷面積 (mm²)

표 1. 導電率

種 類	素線徑(mm)	導電率
硬 銅 線	0.40以上~ 2.0未滿	0.96
	2.0 以上~12.0以下	0.97
軟 銅 線	0.10以上~0.30未滿	0.98
	0.30以上~0.50 "	0.99
	0.50以上~12.0以下	1.00
錫鍍金硬銅線	0.80以上~1.0 未滿	0.94
	1.0 以上~2.0 "	0.95
	2.0 以上~8.0 以下	0.96
錫鍍金軟銅線	0.10以上~0.26未滿	0.93
	0.26以上~0.50 "	0.94
	0.50以上~2.0 "	0.90
	2.0 以上~8.0 "	0.97
	8.0 以上~12.0 "	0.98

注 : 아루미 導體의 導電率은 61%

非壓縮導體.....計算斷面積.

壓縮導體.....公稱斷面積.

q_c 導電率

銅導體의 導電率(q_c)은 표 1과 같다.

素線燃込率(k_c)은 표 2와 같다.

표 2. 素線燃込率

燃 線 方 法	素 線 燃 込 率	
同 心 燃 線	素線數 ≤ 60	1.02
	素線數 ≥ 61	1.03
中 空 燃 線	5層以上	1.04
	4層以下	1.03
壓 縮 導 體 (分割導體包含)	200mm ² 및 2以下	1.02
	201mm ² 以上	1.03

다음 多心 cable의 集合燃込率(k_2)은 표 3과 같다.

표 3. 集合燃込率

cable의 種類		集合燃込率
抽紙 cable	分割導體	1.01
	分割導體以外의 多心 cable	1.01
고무 plastic cable	分割導體	1.01
	分割導體以外의 多心 cable	1.02

다음 壓縮成形에 의한 加工硬化係數(k_3)은 표 4와 같다.

표 4. 加工硬化係數

銅 導 體	아루미 導體
成形導體 500 > A > 325.....1.0	成形導體.....1.01
250 > A > 100...1.005	壓縮導體.....1.01
80 > A.....1.01	
壓縮導體.....1.01	

다음 最大導體抵抗係數(k_4)은 표 5와 같다.

표 5. 最大導體抵抗係數

cable 種類		最大導體抵抗係數(k_1)	備 考
抽紙 cable	壓縮導體	1.01	—
	中空撚線	$(d/d-\Sigma)^2$	d : 標準素線徑(mm) Σ : 公差 (mm)
	圓形撚線	$\frac{1}{2}(d/d-\Sigma)^2$	$1.0 \leq d < 3.2$ $\Sigma=0.04$ $3.2 \leq d < 6.0$ $\Sigma=0.03$
고 무 plastic cable	圓形·扇形 導 體	素線徑 2.0mm 未滿.....1.04 " 2.0mm 以上.....1.03	—
	壓縮成形 導 體	1.03	—

다음 본문에 되돌아가, k_2 에 내포되어 있는 表皮効果(λ_s)와 近接効果(λ_p)를 산출하는 수식을 소개한다.

(a) 表皮効果의 계산식

圓形 및 分割中空導體의 경우

$$\lambda_s = F(X) = \frac{X \{ \text{ber} X \text{bei}' X - \text{bei} X \text{ber}' X \}}{2 \{ (\text{ber}' X)^2 + (\text{bei}' X)^2 \}} - 1$$

$$X = \sqrt{\frac{8\pi f \mu_s \cdot K_{s1}}{r_0 K_s \times 10^9}}$$

K_{s1}	非分割 導體	1
	4分割 "	0.44
	6分割 "	0.39

단, $r_0 K_s$: 사용온도에 있어서 直流導體抵抗(Ω/cm)

μ_s : 導體의 比透磁率 銅 및 알루미늄.....1.0

(b) 近接効果의 계산식

$$\lambda_p = \frac{\frac{3}{2} \left(\frac{d_1}{s} \right)^2 G(X')}{1 - \frac{5}{24} \left(\frac{d_1}{s} \right)^2 H(X')} \dots\dots\dots (3.3)$$

d_1 : 導體外徑

s : 導體中心間隙

$$X' = \sqrt{0.8} X = 0.894 X$$

$$G(X') = \frac{X' \text{ber} X' \text{ber}' X' + \text{bei} X' + \text{bei}' X'}{4 \{ (\text{bei} X')^2 + (\text{ber} X')^2 \}}$$

$$H(X') = \frac{F(X')}{G(X')}$$

상기 양계산에 필요한 $F(X)$ 및 $G(X)$ 의 값은 표 7 및 표 8에 표시되는 바와 같다.

(2) Inductance (I)

地中 cable 의 inductance 를 산출하는 공식은 架空線에 대한 것과 동일한 다음식이 사용된다.

$$L = 0.2 \log_e \frac{2S}{d_1} + 0.05 \quad \text{mH/km}$$

但, s = 導體相互間의 中心距離(mm)

d_1 = 導體外徑 (mm)

한편, Westinghouse 社의 T&D 참고서에 의하면, pipe type cable 의 inductance 는 表皮効果와 近接効果의 영향을 받아 그 산출식은 간단치 않고, 도체가

cradle 배치인 경우는 정삼각형배치 때보다 약 15% inductance 값이 증가한다는 것이다.

(3) 靜電容量(Capacitance)

pipe type cable 의 도체는 金屬箔膜의 tape 가 그 절연체위를 둘러싸고 있으므로 靜電容量은 架空線에 대한 것과 같은 공식을 사용할 수 있다.

$$C = 0.0243 \frac{\Sigma}{\log_{10} \frac{d_2}{d_1}} \quad \text{또는} \quad \frac{\Sigma}{2 \log_e \frac{d_2}{d_1}} \times \frac{1}{9} \dots\dots \mu F/km$$

단, d_2 = 絕緣體外徑 (mm)

d_1 = 導體外徑 (")

Σ = 誘電率

그리고 誘電率의 값은 표 6과 같다.

표 6. 誘電率(Σ)

油浸紙.....3.7	Butil 고무.....4.0
polyethylene 2.3	Chroroblane...6.0
架橋 Polyethylene 2.3	Bynil.....7.0
天然고무.....4.0	

(4) Conductance

地中 cable 에서는 conductance 의 逆數인 절연저항으로 기술되어 있으므로 이에 따르기로 한다.

架空線에서는 碼子沿面の 漏洩電流 그리고 진선표면의 corona 전류의 크기에 따라 等價 conductance 의 값이 정해졌으나 일반 사용전압에서는 그 값이 무시할 수 있을만큼 적었다.

그러나, 地中 cable 에서는 'conductance 의 영향은 무시할 수 없다. Westinghouse 社 T&D 참고서 78항에 나타나 있는 수식을 다음에 소개한다.

$$R = \frac{1.112 C}{f \cdot \epsilon \cos \phi} \times 10^6 \quad \Omega/km$$

단, f : 周波數

ϵ : 誘電率
 $\cos\phi$: 絶緣力率
 G : 形狀係數

單心 cable: $G=2.303 \log_{10} \frac{d_2}{d_1}$

윗식에 있어 絶緣力率は 전압, 온도에 따라 변화하고 力率角度가 작을 때는 절연체의 誘電正接($\tan \delta$)과 같은 값이 된다. 그리고 絶緣力率의 값은 표 9와 같다.

표 9. $\cos\phi$ 即 $\tan \delta$ 의 최대치

Cable 온도(°C)	Solid	Oil Filled	Gas Filled
	Paper	Low Pressure	Low Pressure
25~60	0.009	0.0060	0.009
70	0.015	0.0075	0.013
80	0.021	0.0090	0.018
85	0.025	0.0097	0.022
90	0.030	0.0105	0.027

注: 신장제작의 $\cos \phi$ 값은 본표보다 낮고 평범위하게 변화한다.

3. 線路定數의 계산

장차 수도서울을 관통하여 敷設될 161KV 1250cm (633.4mm²), pipe type cable 의 線路定數를 前記 계산식에 의하여 산출해 보기로 한다.

(1) 20°C 의 직류저항(r_0)

$$r_0 = \frac{10^3}{58Aq_c} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$$

$$= \frac{10^3}{58 \times 633.4 \times 1.0} \times 1.03 \times 1.0 \times 1.01 \times 1.01$$

$$= 0.0286 \quad \Omega/\text{km}$$

(2) 75°C 의 교류저항(r)

$$k_1 = 1 + \alpha(T_1 - 20)$$

$$= 1 + 0.00393(75 - 20) = 1.216$$

$$k_2 = 1 + \beta(\lambda_s + \lambda_p)$$

$$X = \sqrt{\frac{8\pi f \mu_s \cdot K_{s1}}{\gamma_0 K_1 \times 10^9}} = \sqrt{\frac{8\pi \times 60 \times 1 \times 1}{0.0286 \times 1.216 \times 10^{-5} \times 10^9}}$$

$$= 2.08$$

표 7에서

$$\lambda_s = F(X) = 0.091$$

$$X^1 = 0.894X = 0.894 \times 2.08 = 1.86$$

표 7 및 8에서

$$F(X') = 0.059$$

$$G(X') = 0.140$$

$$H(X') = F(X')/G(X') = 0.059/0.14 = 0.421$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \times 633.4}{0.9\pi}} \approx 31.5\text{mm (그림 1에서)}$$

$$S = 2 \times \frac{31.5}{2} + 2 \times 17.25 = 66\text{mm}$$

$$d_1/S = 31.5/66 = 0.4775$$

$$(d_1/S)^2 = 0.228$$

$$\lambda_p = \frac{3/2(d_1/S)^2 G(X^1)}{1 - \frac{5}{24}(d_1/S)^2 H(X^1)} = \frac{1.5 \times 0.228 \times 0.14}{1 - \frac{5}{24} \times 0.228 \times 0.421}$$

$$= 0.0488$$

$$k_2 = 1 + \beta(\lambda_s + \lambda_p) = 1 + 1.7(0.091 + 0.0488) = 1.238$$

$$r = 0.0286 \times 1.216 \times 1.238 = 0.0431 \quad \Omega/\text{km}$$

(3) Inductance(L)

$$L = 0.2 \log_e \frac{2S}{d_1} + 0.05$$

$$= 0.2 \log_e \frac{2 \times 66}{31.5} + 0.05 = 0.2 \times 3.74 + 0.05 = 0.798$$

$$\text{mH/km}$$

Reactance

$$\omega L = 2\pi f L = 2\pi \times 60 \times 0.798 \times 10^{-3} = 0.301 \quad \Omega/\text{km}$$

(4) Capacitance(C)

$$C = \frac{\Sigma}{2 \log_e \frac{d_2}{d_1}} \times \frac{1}{9} = \frac{3.7}{2 \log_e \frac{57}{31.5}} \times \frac{1}{9} = 0.348 \mu F/\text{km}$$

Susceptance

$$\omega c = 2\pi f c = 2\pi \times 60 \times 0.348 \times 10^{-6} = 0.000132 \quad v/\text{km}$$

(5) 절연저항

$$G = 2.303 \log_{10} \frac{d_2}{d_1} = 2.303 \log_{10} \frac{57}{31.5} = 0.593$$

$$R = \frac{1.112G}{f \cdot \epsilon \cdot \cos\phi} \times 10^6 = \frac{1.112 \times 0.593}{60 \times 3.7 \times 0.00825} \times 10^6 = 0.36 \times 10^6 \quad \Omega/\text{km}$$

4. 전력 Cable 의 許容電流(Ampacity) 계산 방법(JCS-168-B)

地中線에 앞서 架空線의 許容電流를 검토해 보면, 架空線의 도체는 ACSR 또는 銅等의 裸線이고 導體接續도 금속만으로 된 接續管을 사용하고, 絶緣材도 磁器로 된 애자와 空氣이므로 架空線의 허용전류는 도체 자체의 그 기계적특성이 변질하지않는 허용온도범위 내에서 결정되는 것이다. 그리고 架空線에 있어서는 극히 짧은 亘長의 것을 제외하고는 그 최대사용전류는 도체의 허용온도보다 전압강하의 허용치에서 제한되고, 그 수치는 허용온도에 대한 것보다 상당히 下廻하고 있다.

따라서 架空線에 있어서는 사용전류가 허용전류에 가까워지는 예는 稀少하고, 또 電流過多로 인하여 전선이 용단되는 사고도 殆히 없다.

그러나, 地中線에 있어서는 도체가 油浸紙로 절연되고, 도체접속 또는 端子部는 合成樹脂 또는 compound

를 사용하고 있는 관계로 그 허용전류는 도체자체의 온도에 대한 기계적 특성보다 그 絶緣材의 耐熱特性에서 정해지고, 그 수명도 裸線으로 사용하는 架空線의 그것보다 상당히 낮아진다.

地中線의 이러한 絶緣材는 비교적 얇은 온도에서 변질되어 電氣事故를 발생시키고, 그 수명도 단축시킬 우려가 있으므로 地中線의 許容電流算出은 신중을 기해야 한다. 그리고 단락사고 발생시의 단락전류로 인하여 발생하는 열에 대해서도 도체의 허용온도범위 내에 들어오는지 검토해야 한다.

(1) 허용전류

cable의 허용전류는 cable의 도체저항, 誘電體損失, 熱의定數 및 주위조건에 의하여 결정된다. 다음은 JCS-168-B에서 直埋式 pipe type cable에 관한 것을 초록한 것이다.

$$I = \sqrt{\frac{T_1 - T_2 - T_d}{nrR_{th}}}$$

- 但, n: cable의 線心數
- r: 導體의 交流實効抵抗 (Ω/cm)
- T_1 : 導體의 許容最高溫度 ($^{\circ}C$)
- T_2 : 基底 即 주위溫度 ($^{\circ}C$)
- T_d : 誘電體損失에 의한 溫度上昇 ($^{\circ}C$)
- R_{th} : 全 熱抵抗 $^{\circ}C \cdot cm/w$

(2) 導體交流抵抗(r)

$$r = r_0 k_1 k_2$$

$$r_0 = \frac{10^8}{58.4 q_c} K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$$

第2章 線路定數 參照

(3) 絶緣體의 熱抵抗(R_1)

pipe type cable의 경우,

$$R_1 = \frac{\rho_1}{6\pi} \log_e \frac{d_2}{d_1}$$

- 단, ρ_1 : 絶緣體의 고유열저항 ($^{\circ}C \cdot cm/W$)
- d_1 : 도체외경
- d_2 : 絶緣體외경, 遮蔽層 및 pipe type cable의 補強層을 포함한다.

(4) Cable 外裝의 열저항(R_2)

pipe type cable의 경우

$$R_2 = \frac{\rho_2}{6\pi} \log_e \frac{d_4}{d_3}$$

- 但 ρ_2 : 外裝部의 고유열저항 ($^{\circ}C \cdot cm/W$)
- d_3 : 外裝下徑
- d_4 : 外裝外徑

(5) Cable 표면의 放散熱抵抗(R_3)

pipe type cable의 경우

(a) cable 표면부터 鋼管內面까지의 열저항

$$R_3 = \frac{74}{\sqrt{d_s}}$$

단, d_s : skid wire 下徑 (mm)

(b) pipe 表面放散熱抵抗

$$R_6 = \frac{10\rho_3}{\pi d_7}$$

- 단, ρ_3 : 표면고유열저항 ($^{\circ}C \cdot cm^2/W$)
- d_7 : pipe 외경(mm)

(6) 土壤의 열저항

(a) pipe 防蝕層의 열저항(R_4)

$$R_4 = \frac{600}{2\pi} \log_e \frac{d_5 + 2t_2}{d_5}$$

- 但, d_5 : pipe 외경
- t_2 : pipe 防蝕層의 두께

(b) 土壤의 열저항(R_5)

$$R_5 = \frac{g \cdot q_2}{2\pi} \left[\log_e \frac{4L_0}{d_7} + \sum_{\Sigma}^{N_c-1} \log_e \sqrt{\frac{4L_0 L_m}{X_m^2} + 1} \right]$$

- 단, g: 土壤의 固有熱抵抗 ($^{\circ}C \cdot cm/W$)
- q_2 : 土壤熱抵抗의 低減率
- L_0 : 熱抵抗을 구하는 基準 cable의 地表面부터 그 중심까지의 깊이.
- L_m : m番차 cable의 地表面부터의 깊이.
- X_m : 基準 cable과 m番차 cable과의 中心 距離.
- N_c : pipe 條數
- d_7 : pipe 防蝕層外徑

(7) 誘電體損失 및 誘電體損失에 의한 溫度上昇(T_d)

pipe type cable의 誘電體損失에 의한 온도상승은 다음 식에 의하여 구해진다.

$$T_d = W_d \left(\frac{1}{2} R_1 + R_3 + R_4 + R_5 \right)$$

본식에서 誘電體損失(W_d)는 다음과 같다.

$$W_d = 2\pi f c \frac{E^2}{3} n \tan\delta \times 10^{-5} \text{ (W/cm)}$$

- 단, f: 周波數 (Hertz)
- c: 靜電容量 ($\mu F/km$)
- E: 最高線間電壓 (KV)
- $\tan\delta$: 誘電正接
- n: 線心數

(8) pipe 損失

pipe type cable의 補強層 및 pipe內 渦流損失은 다음과 같이 산출된다.

$$P_s = P_r + P_p = \frac{W_r}{W_c} + \frac{W_p}{W_c}$$

- 단, P_r : 補強層損失率
- P_p : pipe內 渦流損失率
- W_r : 補強層損失 (W/cm)
- W_p : pipe內 渦流損失 (W/cm²)
- W_c : 導體損失 (W/cm)

P_r 및 P_p 의 계산은 다음식에 의한다.

P_r 의 계산

$$P_r = \frac{2r_p x_m^2}{r(r^2 + x_m^2)}$$

但, $r_p = \frac{r_a r_w}{r_a + r_w}$ (Ω/cm)

r_a : 補強層의 저항(Ω/cm)

r_w : skid wire의 抵抗(Ω/cm)

x_m : 補強層 reactance (Ω/cm)

r : 導體交流抵抗 (Ω/cm)

r_a, r_w 및 x_m 의 계산

$$r_a = \frac{\rho_a}{A_p} \sqrt{1 + \left(\frac{\pi D_{am}}{l_a}\right)^2} \times 10^{-6} \text{ (Ω/cm)}$$

$$r_w = \frac{\rho_w}{A_p} \sqrt{1 + \left(\frac{\pi D_{wn}}{l_w}\right)^2} \times 10^{-6} \text{ (Ω/cm)}$$

단, ρ_a, ρ_w : 補強層 및 skid wire의 固有抵抗($\mu\Omega \cdot cm$)
 A_p : 補強層 및 skid wire의 斷面積(cm^2)
 D_{am}, D_{wn} : 補強層 및 skid wire의 平均直徑
 l_a, l_w : 補強層 및 skid wire의 卷線 pitch
 注: ρ_a, ρ_w 는 通常의으로 $50^\circ C$ 의 값을 취한다.

$$x_m = 4\pi f \log_e \left(\frac{4d_s}{d\delta + d_s} \times 10^{-9} \right) \text{ (Ω/cm)}$$

단, $d\delta$: skid wire의 下徑
 d_s : skid wire의 徑

P_p 의 계산

$$P_p = \begin{cases} \frac{1.15d_s - 0.149D_i}{r} \times 10^{-9} \text{ (정삼각배치)} \\ \frac{0.438d_s + 0.226D_i}{r} \times 10^{-9} \text{ (cradled 배치)} \end{cases}$$

단, d_s : skid wire의 徑 (mm)
 D_i : pipe 내경 (mm)

(9) 全熱抵抗(R_{th})

直埋式 pipe type cable의 경우는 다음식에 의하여 산출된다.

$$R_{th} = R_1 + (1 + P_r)R_3 + (1 + P_r + P_p)(R_4 + L_f R_5)$$

단, L_f : 損失率

5. 許容電流의 계산(1)

수도서울을 관통하여 설치될 161KV 1250mcm (633.4 mm^2), pipe type cable의 許容電流를 前 4章의 수식에 의하여 계산해 보기로 한다.

(1) 敷設條件

敷設條件은 그림 2와 같다. 即

敷設깊이 : 3呎

相互거리 : 2呎

土壤固有熱抵抗 : $0.9 \times 100^\circ C \cdot cm/W$

損失率 : 0.625(負荷率 75%에 해당한 값)

(2) 導體抵抗

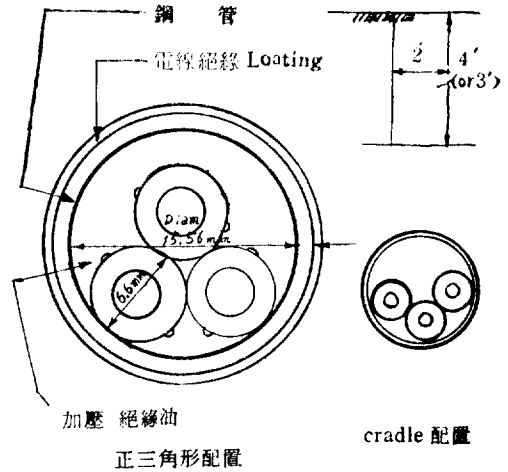


그림 2. High pressure oil filled pipe type cable의 단면

2條의 鋼管을 설치하고, 이중 하나만에 3條의 單心導體가 삽입되고, 絕緣油는 巡環됨으로 cable의 사용온도는 $85^\circ C$ 까지 허용될 수 있다.

$$20^\circ C \text{의 直류최대저항 } r_0 = 0.0286 \times 10^{-5} \text{ } \Omega/cm$$

$$85^\circ C \text{의 直류최대저항 } r_0 k_1 = 0.0286 \times 1.255 \times 10^{-5} \text{ } \Omega/cm$$

$$85^\circ C \text{의 表皮效果 } \lambda_s = F(X)$$

$$X = \sqrt{\frac{8\pi f k_{st}}{r_0 k_1 \times 10^9}} = \sqrt{\frac{8\pi \times 60 \times 1}{0.0359 \times 10^4}} = 2.05$$

數表에서

$$\lambda_s = F(X) = 0.086$$

$85^\circ C$ 의 근접효과

$$\text{도체의徑}(d_1) = 31.5mm$$

$$\text{도체간의 間격}(S) = 66mm$$

$$X' = \sqrt{0.8} \times 2.05 = 1.83$$

$$G(X') = 0.132, F(X') = 0.056$$

$$H(X') = F(X')/G(X') = 0.056/0.132 = 0.424$$

따라서

$$\lambda_p = \frac{3/2(d_1/S)^2 G(X')}{1 - \frac{5}{24}(d_1/S)^2 H(X')} = \frac{1.5 \times \left(\frac{31.5}{66}\right)^2 \times 0.132}{1 - \frac{5}{24} \left(\frac{31.5}{66}\right)^2 \times 0.424} = 0.0461$$

$85^\circ C$ 의 교류최대저항

$$r = r_0 k_1 k_2 = r_0 k_1 \{1 + \beta(\lambda_s + \lambda_p)\}$$

$$= 0.0286 \times 10^{-5} \times \{1 + 1.7(0.086 + 0.0461)\} \times 1.255$$

$$= 0.0286 \times 10^{-5} \times 1.255 \times 1.224 = 0.44 \times 10^{-6} \text{ } \Omega/cm$$

(3) 誘電體損失

$$W_d = 2\pi fcn \frac{E^2}{3} \tan\delta \times 10^{-6}$$

$$= 2\pi \times 60 \times 0.348 \times 3 \times \frac{161^2}{3} \times 0.005 \times 10^{-6}$$

$$= 0.1695 \text{ W/cm}$$

(4) 熱抵抗

絕緣體熱抵抗

$$R_1 = \frac{\rho_1}{6\pi} \log_e \frac{d_2}{d_1} = \frac{550}{6\pi} \log_e \frac{57}{31.5} = 17.3$$

$$^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$$

境界面熱抵抗

$$R_3 = \frac{74}{\sqrt{d_6}} = \frac{74}{\sqrt{59}} = 9.63 \quad ^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$$

pipe 防蝕層熱抵抗

$$R_4 = \frac{600}{2\pi} \log_e \frac{d_5 + 2t_2}{d_5} = \frac{600}{2\pi} \log_e \frac{168.3 + 2 \times 1.77}{168.3}$$

$$= 1.8^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$$

土壤熱抵抗(1회선설치)

$$R_5 = \frac{g \cdot q_2}{2\pi} \log_e \frac{4L_e}{d_7} = \frac{100 \times 0.9}{2\pi} \log_e \frac{4 \times 1218}{171.8}$$

$$= 14.33 \log_e 28.14 = 14.33 \times 3.346$$

$$= 48^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$$

<제21권 제2호(1971년 3월호)에 계속>

謹 賀 新 年

會員諸位의 建勝을 비나이다

1972년 元旦

大韓電氣學會

會 長	丁 性 桂				
副 會 長	韓 萬 春	辛 基 祚			
總務理事	崔 元 銀	成 樂 正			
財務理事	申 芝 秀	吳 宗 煥			
編修理事	朴 旻 鎬	李 允 鍾			
	玄 京 鎬				
調 查 理 事	李 在 淑	成 英 權			
企 劃 理 事	姜 錫 圭	李 承 院			
	梁 興 錫				
監 事	金 相 演	宋 吉 永			