

技 術 解 說

O.F 케이블 概要 및 設計에 對해서

金 成 坤*

著 者

著 者

1. 머리말
2. 世界 및 國內 O.F 케이블의 使用現況 및 考査
3. O.F 케이블의 特性
4. O.F 케이블의 設計에 對하여
5. O.F 케이블의 System Design
6. O.F 케이블의 斷面圖 및 線路系統圖
7. 結 論

1. 머리말

近來 우리나라의 電力需要가 급격히 增加함에 따라 특히 大都市의 電力에너지 供給面에서 安全性, 信賴性이 좋은 超高壓 O.F 케이블이 많이 사용되게 되었다. 그간 轉入에만 의존하여 오던 O.F 케이블을 大韓電線에서 개발 供給함에 따라 O.F 케이블의 設計 및 케이블 特性에 對하여 간단히 紹介하고자 한다.

2. 世界 및 國內 OF 케이블의 使用現況 및 추세

O.F케이블은 1924年 이탈리아의 "Pirelli"社에서 開發되어 1927年에 시카고에서 132kV 1×300mm² 全長 30.48km를 布設한 것을 最初로 하여 1936년에는 220kV급 350mm² O.F케이블이 "Pirelli"社에 의해 供給되었고 "Les Cable de Lyon"社에 의해 1950년에는 400kV급 540mm², 1957년에는 500kV 400mm² O.F케이블이 스위덴에 布設되어 운전중에 있고, 現在까지 무사고운전 되고 있으며, 세계각국의 O.F케이블은 그 信賴度가 立證되어 超高壓化가 이루어지고 있다.

한편 우리나라는 66kV급으로서 1966年에 부산간~동부산간에 亘長 1.6km가 日本 "古河電工"에 의해 最初布設되었으며, 154kV급으로서는 1971年 당인리~용산간 亘長 5.4km가 "住友電工"에 의해 布設운영중에 있다.

3. OF케이블의 特性

O.F케이블은 케이블內에 大氣壓以上の 油壓이 걸려 있으며 그 信賴性이 우수하고 電氣的 機械的 特性이 우수한 케이블로서 다음과 같은 長點을 가지고 있다.

- 1) 絕緣破壞強度가 他케이블보다 높다.

表 1. 絕緣 破壞 強度

項 目	케이블種類	Solid 케이블		OF 케이블	PE 및 架橋PE 케이블
		新케이블	최악으로 油가빠진 케이블		
直流 破壞 強度 (kV/mm)	常溫	100~110	30~40	110~120	80~100*
	60°C	85~90	—	—	—
	80°C	—	—	100~110	—
交流 破壞 強度 (kV _{eff} /mm)	短時間	40	—	—	—
	長時間	18~20	—	45~50	30~40*
衝擊 電壓 破壞 強度 (kV/mm)	常溫	100~110	45	100~110	70~130*
	80°C	90~100	—	90~100	50~80*

(*) 케이블 構造와 導體極性에 따라차이가 있음.

- 2) 最大使用電位傾度가 높다.

表 2.

케이블 종류	시 류	교 류
Solid 케이블	20~50kV/mm	~4kV/mm
G.F 케이블	30~45	2~4
O.F 케이블	~35	10~15
PE 및 架橋PE 케이블	(20)	4

- 3) 케이블 및 接續部에 결함이 생겼을때 油量警報指示로 發見되므로 電氣事故을 미연에 방지할 수 있다.

- 4) 絕緣體 두께는 同一電壓에서 他種의 케이블과 比較하여 經濟的이다.

- 5) 케이블 最低油壓이 항상 大氣壓以上이므로 高低差가 큰 곳에서도 使用할 수 있다.

- 6) 케이블에 빈번한 負荷變動에 있어서도 Void가 발생되지 않아 架橋 PE케이블에서와 같이 Void에 의

* 正會員 : 大韓電線(株)安養電線工場電力技術課長

表 3.

	O.F케이블	架橋포리에틸렌케이블
77kV	8~9mm	約 14~15mm
154kV	12.5~13.5mm	約 22mm
275kV	22mm	約 28mm

한 水 tree 현상이 전혀 발생하지 않으므로 安全하고 信賴性이 있다.

4. OF케이블의 設計에 對하여

4.1

1) 構造

單心 O.F케이블의 導體中 1,000mm² 以上은 포피호과를 고려하여 中空 6分割壓縮圓形撚線을 分割絕緣하여 使用하고 있으며, 3心 O.F케이블의 導體에는 壓縮圓形撚線이 使用되고 있다.

表 4. 154kV O.F케이블 公稱 斷面積

公稱 斷面積 mm ²		導體 形狀
단 심	200, 400, 600, 800	中空圓形 6分割 中空圓形
	1000, 1200, 1500, 2000, 2500	
3 심	150, 200, 250, 325	圓形壓縮

2) 導體設計

導體素線은 보통 2~3mm의 것을 使用하여

① 圓形撚線의 경우 層別 素線構成은

$$1+6+12+18+\dots \text{이며,}$$

② 中空圓形撚線의 경우 層別 素線數 N은

$$N = \frac{\pi(D+d)k}{d}$$

d : 소선경 D : 소선하경 k : 계수

③ 中空 6分割導體는

圓形撚線의 수순으로 Segment 斷面積과 같은 圓形撚線을 製造하여 다이프로 壓縮成形 한다.

3) 導體抵抗 計算法

交流導體抵抗 r은

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

여기에서 $\left\{ \begin{array}{l} r_0 : 20^\circ\text{C에서의 直流最大導體抵抗}(\Omega/\text{cm}) \\ k_1 : \text{最大許容溫度와 } 20^\circ\text{C의 導體抵抗의 比} \\ k_2 : \text{交流抵抗과 直流抵抗의 比} \end{array} \right.$

단, $k_1 = (1 + \alpha(T_1 - 20))$

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

$\left\{ \begin{array}{l} \alpha : \text{抵抗溫度 係數} \\ T_1 : \text{最高 許容 溫度}(^\circ\text{C}) \\ \lambda_s : \text{表皮 效果 係數} \\ \lambda_p : \text{近接 效果 係數} \end{array} \right.$

4) 油通路

亞鉛鍍鋼帶를 Spiral 모양으로 감아 형성한다.

表 5.

電 壓	60kV	154kV	275kV	500kV
油通路內徑	12mm	14mm	16mm	18mm

4.2 絕緣體

1) 絕緣體의 構造

AL被……카본지+絕緣紙+遮蔽層+동선직입포 tape

鉛被……카본지+絕緣紙+遮蔽層

카본紙를 감으면

撚線效果의 輕減에 의해 導體表面의 電位傾도가 低下하고 導體와 絕緣體의 密着이 좋아지고 導體表面의 Corona 放電이 阻止되므로 無遮蔽에 比하여 20~30% 交流破壞電壓이 上昇한다.

2) 絕緣設計

가) 交流電壓, 開閉 Susge, Impulse에 견디는 絕緣 두께 및 紙種類를 선택하는데 154kV급에서는 Impulse에 견디는 것을 기준으로 設計하고 있다.

나) 絕緣紙 Grading

絕緣層의 Stress는 絕緣層內部가 가장높고 外部로 갈수록 낮아지므로 內測에 얇은 絕緣紙, 外측에 두꺼운 絕緣紙를 감아 Grading 한다.

Stress 計算式은

$$Ex = \frac{V}{\frac{x}{2} \ln \frac{D}{d}}$$

表 6. 衝擊耐電壓試驗 電壓值

公稱 電壓 (V)	56000	77000	110000	154000	187000	220000	275000
絕緣階級 (號)	60	70	100	140	140	170	200
B I L (kV)	350	400	550	750	750	900	1050
B I L × 1.1	385	440	605	825	825	990	1155
B I L × 1.2	420	480	660	900	900	1080	1260

※ 공칭전압 187,000V, 220,000V 및 275,000V 난의 () 內는 全絕緣의 경우를 나타내며 보통 使用되지 않는다.

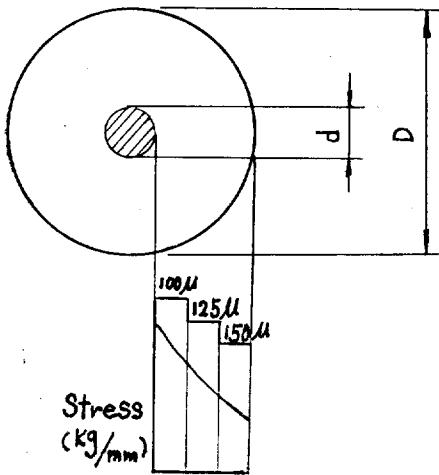


그림 1.

다) 絶緣材의 특성

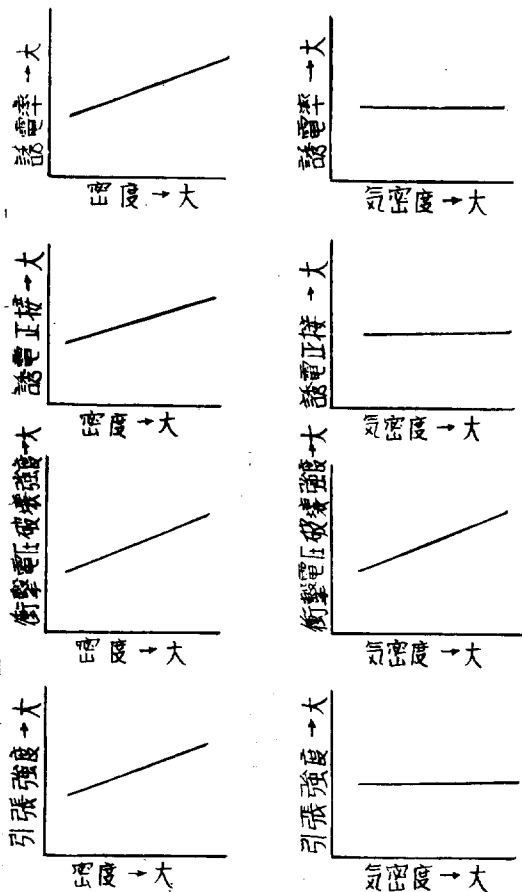
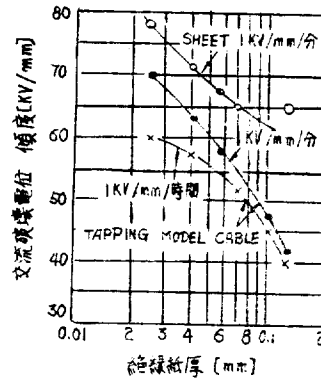


그림 2. 電力 Cable用 絶緣의 密度 및 氣密度와 油浸紙의 油特性과의 定性的 關係

表 7.

項 目	特 性	비 고
密度와 氣密度	絶緣紙의 密度, 氣密度가 높고 두께가 얇으면 衝擊電壓破壞強度가 높다.	그림 2, 3, 4. 참조
油壓와 耐壓	油壓이 높은 쪽이 Impulse 破壞強度가 높다.	그림 5, 6. 참조
油層 두께와 耐壓	全絶緣 두께 중에 油層 부분의 비가 같아도 個個의 油層 두께가 얇으면 Impulse 破壞強度가 높으며 油層의 두께 및 폭이 증가하여도 Impulse 破壞強度가 低下한다.	그림 7 참조
粘度와 耐壓	粘度가 높은 쪽이 Impulse 破壞強度가 높다.	그림 8 참조



試料: Model Cable 導體徑 20mm
 絶緣 두께 0.5mm
 有効長 70mm
 Sheet 電極徑 30mm

그림 3. 絶緣紙 두께와 O.F 油浸紙 交流破壞電位の 傾度 (3個 以上の 平均)

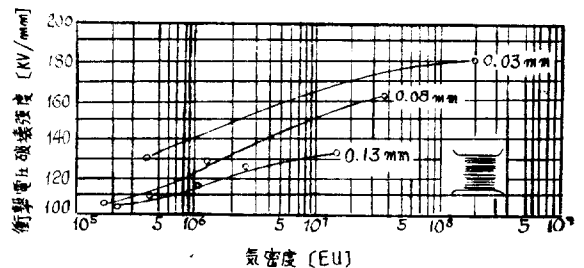
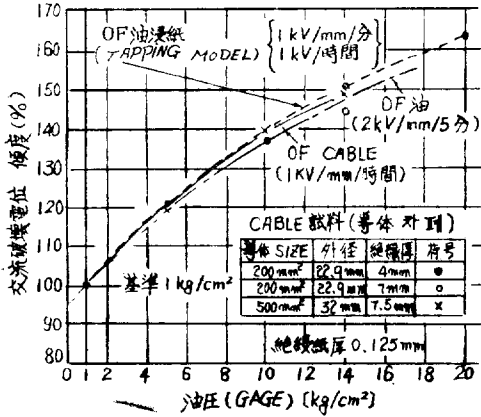


그림 4. 氣密度와 衝擊電壓破壞強度와의 關係 (圖中數字는 紙 두께)



() 內는 電壓上昇速度
그림 5. O.F Cable의 油壓과 交流破壞電位の 傾度

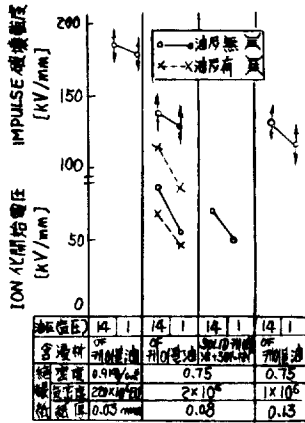


그림 6. 油壓의 Impulse 破壞強度 및 Ion 化開始電壓에 미치는 影響

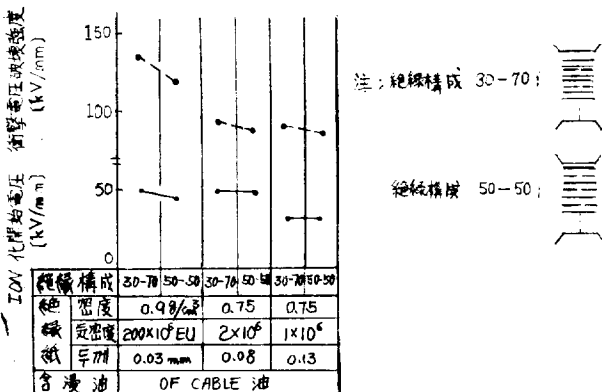


그림 7. 絶緣構成의 衝擊電壓破壞強度 및 Ion 化開始電壓에 미치는 影響

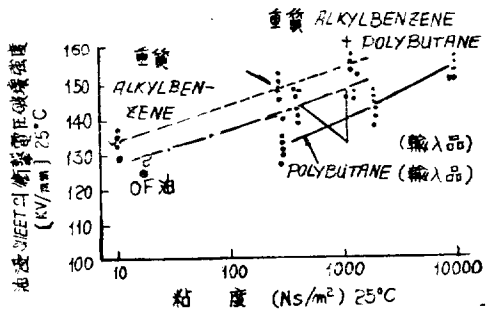


그림 8. 油浸紙衝擊電壓破壞強度와 浸油粘度와의 關係

4.3 金屬 Sheath

純鉛, 合金鉛, 알미늄이 使用되고 있으며, 그 두께 t 는

鉛被의 경우

$$t = \frac{D}{40} + 1.5$$

알미늄被의 경우

$$t = \frac{D}{50} + 0.6$$

알미늄은 굴곡특성이 좋도록 Corrugation을 둔다.

鉛被의 경우 油壓補強에 Stainless Steel tape가 使用되며 두께 t 는

$$t = \frac{KPD_1}{K\sigma}$$

단, t : 補強帶 두께

D_1 : 補強帶 下徑

P : 常時最高 油壓

σ : 許容 hoop stress

常時最高油壓에 의한 O.F.케이블의 種類로서는 아래와 같다.

表 8.

種 別	常時油壓	使用地型
低 油 壓 O.F Cable	3kg/cm ² 以下	一般的地型
中 油 壓 O.F Cable	6kg/cm ² 以下	高低差가 33~66m의 경우
高 油 壓 O.F Cable	18kg/cm ² 以下	高低差가 66m 이상의 경우

5. OF케이블의 System Design

5.1 정 의

O.F.케이블은 다른 電力케이블과 달라 設計에서부터 工事까지를 일괄 Design 하는데 이를 System Design 이라 하며 이는 최소의 경비를 들여 각 Route의 실정

에 맞게 가장 적절하고 경제적으로 Design 하는 것을 말한다.

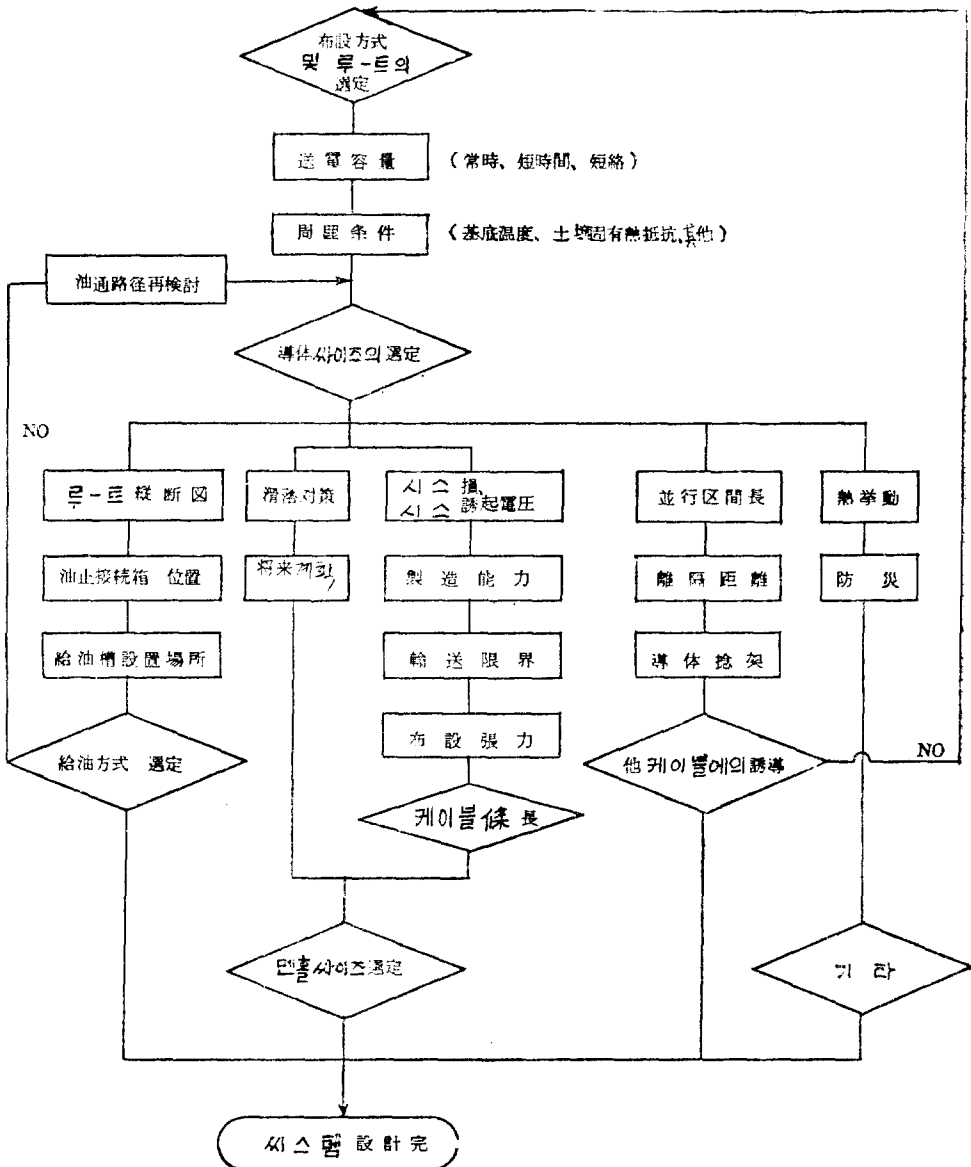
5.2 設計에 必要한 事項

- 電壓(kv)
- 送電容量(MVA)
- 亘長(m)
- 布設條件은 { 直埋
 管路
 洞道
- 回線數

- 終端部の 種類는 { ○氣中屋內 또는 屋外型 終端箱
 ○Gas 中終端箱
 ○油中終端箱

- 接續部는 어디에 두는가
 { 布設張力은? (管路)
 루트의 굵목은 없는가? (평면도를 받는다)
 맨홀 설치는?
- 給油槽는 어디에 무엇을 쓸 것인가?
- 기타 온도조건 등 그 Route의 특수성은 무엇인가?

5.3 OF케이블 System Design의 概略 flow chart



5.4 許容電流

케이블의 許容電流는 導體最高許容溫度, 諸損失, 熱抵抗 및 基底溫度에서 결정된다.

許容電流는 그 通電時間에서 常時, 短時間, 短絡의 3種類로 나누어지는데 計算式으로는

1) 常時許容電流 計算式(直埋 및 管路)

$$I_1 = \sqrt{\frac{T_1 - T_0 - T_d}{n \cdot \gamma \cdot R_{iA}}}$$

n : 케이블 線心數

γ : 交流導體 實効抵抗(Ω/cm)

T_1 : 常時導體 許容溫度[$^{\circ}C$]

T_0 : 基底溫度[$^{\circ}C$]

T_d : 誘電體損에 의한 溫度上昇[$^{\circ}C$]

R_{iA} : 全熱抵抗[$^{\circ}C-cm/W$]

2) 短時間 許容電流 計算式

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{n\gamma_2} \left\{ \frac{T_2 - T_1}{R_{int}(1 - e^{-\alpha_1 t_0}) + R_{out}(1 - e^{-\alpha_2 t_0})} + nI_1^2 \gamma_1 \right\}}$$

I_2 : 短時間 許容電流[A]

I_1 : 常時 許容電流[A]

T_2 : 短時間 導體 許容溫度[$^{\circ}C$]

T_1 : 常時 導體 許容溫度[$^{\circ}C$]

n : Cable 線心數

γ_2 : 短時間 導體許容溫度에서의 交流導體 實効抵抗[Ω/cm]

γ_1 : 過負荷 電流通電前的 交流導體 實効抵抗[Ω/cm]

R_{int} : 케이블 部分 熱抵抗[$^{\circ}C-cm/\omega$]

R_{out} : 管路 및 土壤의 熱抵抗[$^{\circ}C-cm/\omega$]

α_1 : 케이블部分溫度上昇 時定數의 逆數

α_2 : 管路 및 土壤部分 溫度上昇時定數의 逆數

t_0 : 過負荷 繼續時間[時]

5.5 OF케이블의 給油計算

O.F케이블은 內部가 絕緣油로 채워져 있고 항상 大氣壓以上이 걸려 있으므로 負荷投入에 의해 油壓이 上昇하거나 負荷遮斷에 의한 油壓降下時에도 항상 케이블 및 付屬品의 許容油壓以內에 오도록 設計한다.

1) 過渡油壓變化

케이블內 絕緣油의 單位길이, 單位時間당 脹膨, 收縮量을 Oil demand a 라 하고 油流抵抗을 b 라 하면,

그릴의 給油端에서 x 點까지의 油壓變化量 ΔP 는

$$\Delta P = \int_0^x dP = -ab \left(l_x - \frac{1}{2} x^2 \right)$$

$$a = a_{max} e^{-mt}, \quad a_{max} = a_0 n (i^2 \gamma + Wd)$$

$$b = 0.815 \frac{\eta}{n\pi\gamma^4} \times 10^{-4} [g \cdot sec/cm^6]$$

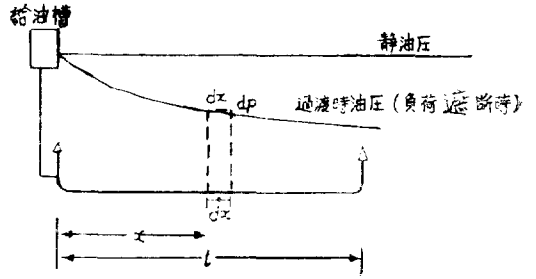


그림 9. O.F 케이블 給油系統

- η : 絕緣油의 粘度[$c \cdot p$]
- n : 油通路 數
- r : 油通路 內半徑
- a_0, m : 케이블 構造에 의한 固有定數

2) 給油方式의 選定

給油方式은 各種 油槽를 Route의 地形, 負荷狀況, 保守의 難易點等を 고려하여 結定한다.

종류로서는

① 편단 F.T 給油

② 편단 P.T 給油

③ F.T-P.T 給油

④ 양단 P.T 給油가 있으나 일반적으로 양단 P.T 給油가 使用되고 있다.

P.T: Pressure Tank(압력유조)

F.T: Feeding Tank(충력유조)

5.6 布設張力의 檢討

管路布設의 경우에는 布設引入張力을 計算하여 가장 經濟적인 최대포설장을 산출해 낸다.

수평굴곡부에 對한 計算式은 아래의 例와 같다.

$$T_1 = T_0 \cosh(\mu\theta) + \sqrt{T_0^2 + (\omega R)^2} \sinh(\mu\theta)$$

T_0 : 管路口 引入張力

T_1 : 管路口 引出張力

μ : 摩燃係數

θ : 屈曲部角度

ω : 케이블 單位重量

R : 굴곡부의 곡률반경

5.7 OFF SET 計算

케이블의 熱伸縮을 吸收하고 金屬시스의 疲勞를 防止 하는 것을 주목적으로 맨홀部分에서 OFF SET를 設值하여 준다.

맨홀내 OFF SET 부분의 케이블伸縮에 의한 시스의 最大歪는 보통 Bauer氏의 簡略式에서 求한다.

$$\epsilon = \frac{4rM}{L^2 + F^2} \cdot \frac{L}{F}$$

M : 케이블 伸縮량

r : 시스의 平均外半徑

L : OFF SET의 길이

F : OFF SET巾

OFF SET 길이 L은

$$L \geq \frac{27M + \sqrt{47^2 M^2 - \epsilon^2 F^4}}{\epsilon \cdot F}$$

5.8 滑落檢計

傾斜地에 布設되는 케이블은 熱伸縮에 따라 滑落現狀이 일어나는데 이를 防止하는 對策을 檢討하여 준다 熱伸縮에 의한 케이블의 滑落은 傾斜角度, 管路摩擦係數, 케이블重量, 溫度變化量, 케이블의 屈曲剛性等에 關係한다. 支持方法으로는 上端固定方式, 中間點固定方式 등이 있다.

5.9 Sheath 誘起電壓 計算

Sheath 回路의 誘起電壓 및 Sheath 回路損失을 줄이기 위해 직접접지, 片端접지, 抵抗接地, Reactance 접지, Crossbonding等 여러가지가 쓰여지고 있는데 그중 O.F에서는 가장경제적이고 안전한 Crossbonding 방식이 주로 쓰여지고 있다. Crossbonding 방식은 各상의 Sheath 유기전압이 3個구간의 길이가 같을 경우 正相分, 逆相分이 상쇄되어 Sheath 循環電油損을 Zero에 가깝도록 할 수 있다. 또한 零相大地歸路는 直接 bond의 경우와 변화가 없으므로 事故時 保安에도 영향이 없다.

6. OF 케이블 단면도 및 선로계통도

7. 結 論

概要와 設計에 對하여 紹介하였다.

O.F케이블은 그 安全度, 信賴性을 바탕으로 超高壓化되어 있고 現在까지의 實績으로서 他의 추종을 不許하는 우수한 케이블이다.

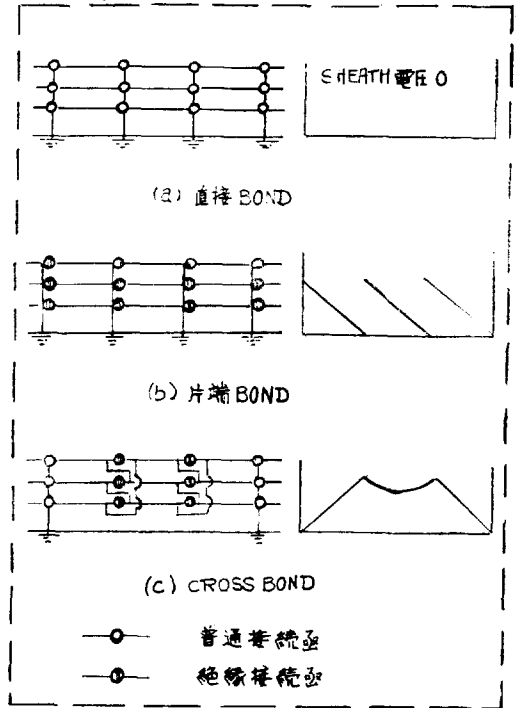


그림 10. Sheath 回路接地方法과 Sheath 電壓分布

특히 O.F케이블은 電線綜合技術의 總和로서 이제 우리나라에서 大韓電線이 O.F케이블을 開發함으로써 케이블의 超高壓化를 이룩하게 되었다. 더욱 더 생로운 技術의 습득, 연구와 노력으로 超高壓의 先鋒이 되어 줄 것을 바라마지 않는다.

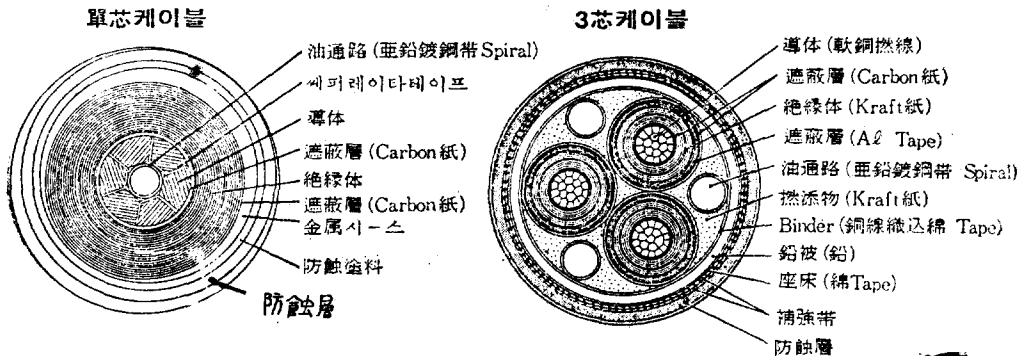
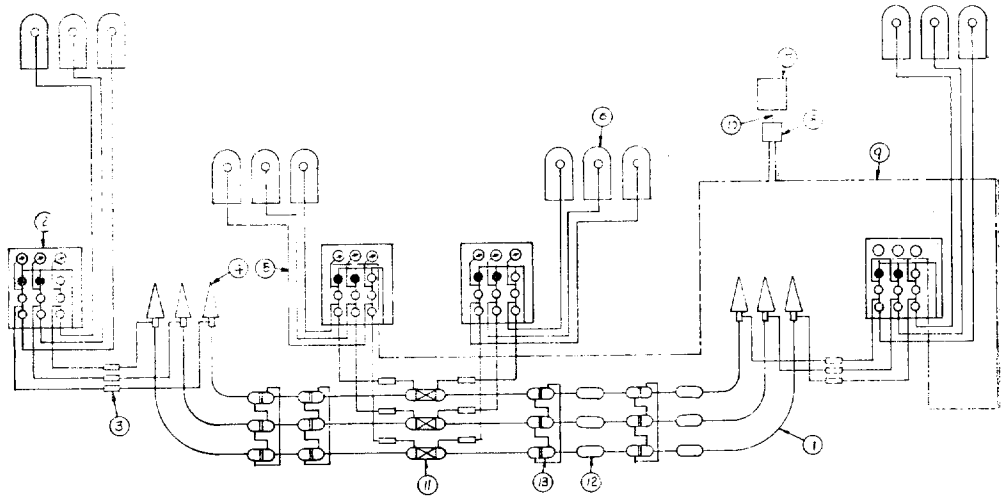


그림 11.



- | | | |
|----------------------|----------------|-----------|
| 1. OF 케이블 | 2. Valve Panel | 3. 絶緣接手 |
| 4. 終端箱(氣中, 油中, gas中) | 5. 軸油管 | 6. 壓力油槽 |
| 7. 警報受信裝置 | 8. 端子箱 | 9. 制御 케이블 |
| 10. 制御 케이블 | 11. 油止接續箱 | 12. 普通接續箱 |
| 13. 絶緣接續箱 | | |

그림 12. 單心 OF케이블의 線路系統圖

<p. 18에서 계속>

費는 7천圓이다.

團體委員은 31個 團體로서, 主로 電力會社, 重電機 메이커, 電線會社, 電氣電子研究所, 電氣學會 등이 加入하고 있다. 個人會員은 49名으로서 22名은 大學教授 이고, 나머지는 메이커와 研究所에서 從事하는 人士이다.

그리고 CIGRE 研究委員會(本部)의 日本委員은 15 個의 研究委員會에 各各 1名씩 參加하고 있다.

明年 8月 下旬에서 9月 上旬에 걸쳐서 파리에서 開催되는 CIGRE 第28次 定期總會를 앞두고, 日本에서

는 벌써부터 研究委員會에서 發表할 論文을 募集하고 있는데, 그 要約文은 今年 3月 29日까지 提出하고, 그 中 7片을 選定하여 4月 30日까지 파리本部에 登錄하고 選定된 論文에 對하여는 9月 14日까지 本論文(英文 9 페이지, 6,300語)을 國內委員會에 提出하도록 日程이 짜여져 있다.

따라서, 우리나라에서 明年 總會에 參加하는 것으로 가정한다면, 國內委員會의 組織 日程은 매우 타이트하다고 하겠다.