

# 관로 및 직매 포설에 대한 토양열저항의 검토

김 영 권 병 일 권 순 철\*

대한전선 주식회사

STUDYING SOIL THERMAL RESISTIVITY ABOUT CABLE LAYING  
OF PIPE DUCTING, DIRECT BURYING.

Y . Kim      B . I . Kwon      S . C . Kwon  
TAIHAN Electric Wire Co.,Ltd.

## ABSTRACT


Laying up homogeneous power cable in the earth, we sure that one of the most effectest fact is the r-ising of thermal resistivity. Today, system desig-ning of in and outdoor project, calculating curren-t carrying capacity totally depend on standard of JCS-168D and IEC-287 to applicate. Specially, the formula of calculating soil thermal resistivity is what is based on KENNELLY,s is usually used. In this report, Let's study the formula of soil thermal resistivity which was born in the idea of KENNELLY.

## 2. 열저항 기본식의 산출

### 1) 계산식에 사용하는 기호의 정의

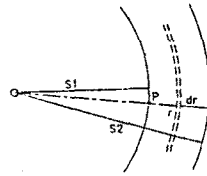
기 호	내 용
A	단 면 적
l	유효 위 치 차
g	토 앙 고 유 열 저 항
w	발 열 체 (Cable) 발 열 량
l ~ m	Cable 번호 ( 조 수 )
L0	기 존 Cable 의 지표면 에서의 깊이
L1 ~ Lm	1 ~ m 번째 Cable 의 지표면 에서의 깊이
X1 ~ Xm	기 존 Cable 과 다른 Cable 과의 중심 거리
dT	관로 및 Cable 외경

### 2) 발 열 체 (Cable) 임의의 점에서의 온도차 : dT



$$dT = T1 - T2$$

$$= g * l * w / A$$



$$dT = T1 - T2$$

$$= \frac{S2}{S1} g * w \frac{1}{2\pi r} dr$$

$$= \frac{g * w}{2\pi} \ln \frac{S2}{S1} \quad (1)$$

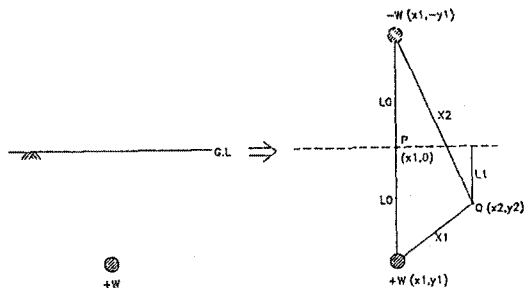
## I. 머릿말

동종의 전력 케이블을 지중에 포설 하는데 있어서 송전 용량에 가장 큰 영향을 미치는 요인의 하나가 토양 열저항의 증가에 있으며, 현재 전선업계에서는 국내 및 해외 PROJECT 의 SYSTEM DESIGN 을 하는데 있어서 허용 전류의 계산은 JCS - 168D (1980) 나 IEC-287 규격을 적용 하여 계산 하고 있으며, 특히 토양 열저항의 산출식은 Kennelly 의 식을 기본으로 하는 JCS-168D 의 식을 많이 사용 했다. 이에 본 검토서 에서는 Kennelly의 식을 중심으로 토양 열저항에 대하여 알아본다.

## II. 토양 열저항 산출의 이론적인 고찰

1. 전력 케이블을 직매 및 관로 포설 하는 경우의 토양 열저항의 계산식은 세계적으로 여러 가지의 산출식이 검토 제안되었으나 ( Kennelly 식, Neher - Mc Grath식, IPCEA, CIGRE etc. ) 전부 Kennelly 의 식에 기초를 두고 있다.

### 3) 등 온도 경계면의 대칭 좌표법에 의한 온도 분포의 식



제 1도에서 지중에 있는 발열체 +w의 온도 분포에 대한 지표면의 영향은 제 2도에서의 같이 지표면과 대칭인 위치에 -w의 영상 발열체가 있는 것으로 생각 하면, 지중의 임의의 위치 Q 점과 지표면 P 점의 온도치를 구해보면 다음과 같다.

i) + w 에 의한 온도차 dT1 은 (1)식 에서,

$$dT1 = \frac{g * w}{2\pi} \ln \frac{LO}{x1}$$

$$= \frac{g * w}{2\pi} \ln \frac{LO}{\sqrt{(x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2}} \quad (2)$$

ii) - w 에 의한 온도차 dT2 는,

$$dT2 = \frac{-g * w}{2\pi} \ln \frac{LO}{\sqrt{(x2 - x1)^2 + (y2 + y1)^2}} \quad (3)$$

iii) P, Q 간의 온도차 dT 는,

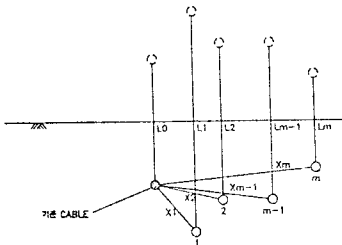
$$dT = dT1 + dT2$$

$$= \frac{g * w}{2\pi} \ln \sqrt{\frac{(x2 - x1)^2 + (y2 + y1)^2}{(x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2}}$$

$$= \frac{g * w}{2\pi} \ln \sqrt{\frac{(x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2 + 4 y1 y2}{(x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2}}$$

$$= \frac{g * w}{2\pi} \ln \sqrt{\frac{4 y1 y2}{x1^2} + 1}$$

4) 디조의 발열체에 의한 열저항의 산출



기준 Cable 에 대해서는 (4) 식을 적용 하면, 기준 Cable (NO.0) 과 지표면 과의 온도차는 다음과 같다.

(4) 식에서 x1 = d7/2, y1 = y2 = LO 이므로,

$$dT0 = \frac{g * w}{2\pi} \ln \sqrt{\frac{16 LO^2}{d7^2} + 1}$$

$$\approx \frac{g * w}{2\pi} \ln \frac{4 LO}{d7} \quad \left( \frac{16 LO^2}{d7^2} \gg 1 \right)$$

1 ~ m 번째 Cable 에 대해서는 다음과 같다.

$$dT1 = \frac{g * w}{2\pi} \ln \sqrt{\frac{4 LO L1}{x1^2} + 1}$$

$$dT2 = \frac{g * w}{2\pi} \ln \sqrt{\frac{4 LO L2}{x2^2} + 1}$$

$$dTm = \frac{g * w}{2\pi} \ln \sqrt{\frac{4 LO Lm}{xm^2} + 1}$$

기준 Cable 과 지표면과의 총 온도차 dT 는,

$$dT = dT0 + dT1 + dT2 + \dots + dTm$$

$$= \frac{g * w}{2\pi} \left( \ln \frac{4 LO}{d7} + \sum_{m=1}^{Nc} \ln \sqrt{\frac{4 LO Lm}{xm^2} + 1} \right)$$

토양 열저항 R5 는,

$$R5 = dT / w$$

$$= \frac{g}{2\pi} \left( \ln \frac{4 LO}{d7} + \sum_{m=1}^{Nc} \ln \sqrt{\frac{4 LO Lm}{xm^2} + 1} \right) \quad (5)$$

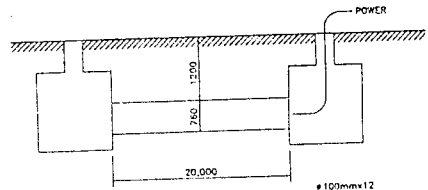
3. 기본 이론식의 심신로에의 적용에 있어서의 문제점 상기 (5) 식에서 보는 바와 같이 토양 열저항은 Cable 의 조수에 비례하여 일정 하게 증가 (최의 승에 비례)하는 것으로 되니, 실제로는 보통 지하수의 존재 및 Cable 의 배치 형상에 의한 열분포(흐름)가 정확한 Kennelly 의 열저항 분포를 나타낸다. 그 결과 상기 (5)의 Kennelly식의 보정 계수로서 일반적으로 저감율 이라는 factor 를 사용하나, 지하수의 존재 및 형상등에 의하여 토양 열저항이 어느 정도 변화 하는 가를 이론적으로 구하는 것은 매우 어려우며, 특히 JCS - 168D 에는 권로의 경우에 대해서는 12조 ( 4회선 ) 까지의 저감 계수가 상수로 표시 되어 있으나 직매 포설의 경우에는 1조 및 2조 이상으로 2원화 되어 있어 디조 포설의 경우에는 적용하는데 어려움이 있다.

### III. 일본의 토양 열저항 실험 연구 검토

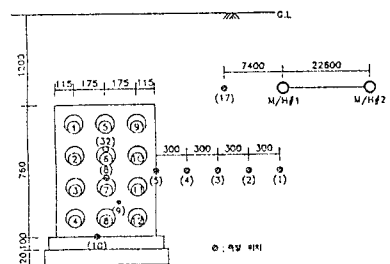
토양 열저항의 저감율의 적용을 위하여 일본의 관서 전력 주식 회사와 SEI 공동으로 실시한 실험 선로와 제 국제규격을 대비하여 토양 열저항 저감율의 실제 적용에 대하여 검토한다.

#### 1. O.F CABLE 일정 부하 장기 과전실험(관서 전력+SEI)

- 1) 실험 설치 방법  
가) Man-hole 및 권로 설치도



나) 권로 단면도 및 온도 (열저항) 측정 위치도



2) 실험용 Cable

실험에 사용된 Cable 은 표 1과 같다.

표 1-Cable 구조표 (60kV 1C:200mm<sup>2</sup> O.F Cable)

Material	두께 (mm)	외경(mm)
Spiral (JD 20mm $\phi$ )	0.8	13.6
도체	48 / 2.3	22.8
절연체	7.05	36.9
연피	2.8	42.5
민 Tape	0.8	44.1
Stainless Tape	0.4	44.9
네오프렌 방시층	3.7	52.3

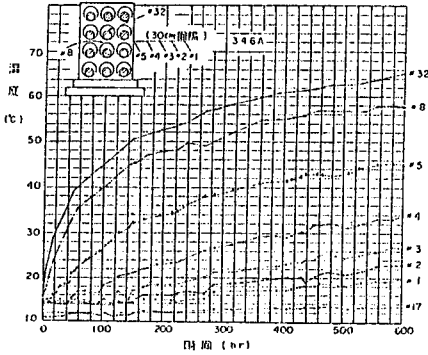
3) 풍전 시험 결과

장기 과전 시험 결과를 표 2 에 나타 내었으며, 표 2 는 대표적인 4 점에 대해서 풍전 최종시의 온도 상승치를 표시 하며, #32 는 NO. 6 Cable 중앙의 방시층 상, #8은 NO.7관로 내면, #5는 Concrete 외면의 토양이 집히는 부분이며, #17은 제 2 도에서 보는 비외경이 토양의 기저 온도를 나타 낸다.

표 2 - 장기 과전 시험 결과

풍전 조수	풍전전류 (A)	풍전시간 (hr)	풍전 Cable 번호	풍전최종시온도상승치(°C)			
				# 32	# 8	# 5	# 17
1	592	312	6	31.4	13.4	6.2	- 2.3
3	466	264	6, 7, 10	30.5	19.9	10.6	- 0.2
6	400	240	2,3,6,7, 11	35.0	28.8	15.4	0.5
9	400	460	1,5,9 제외	49.2	41.2	25.7	- 2.2
12	346	600	-	49.0	43.6	29.8	1.7

제 3 도 - 12조 600 시간 온도 상승 곡선



4) 관로 토양 부분 열저항 저감율

최종 온도 상승치에 대한 관로 토양 부분 열저항 저감율은 표 3 과 같다.

표3-최종온도 상승치에 대한 관로토양부분 열저항저감율

풍전 조수	풍전전류 (A)	풍전시간 (hr)	발생 열량 (W/cm)	관로토양부분 열저항 (°C/W/cm)	저감율 (%)
1	592	312	0.386	46.1	100
3	466	264	0.238	110	79.7
6	400	240	0.176	180	65.0
9	400	460	0.176	283	68.2
12	346	600	0.131	359	65.0

2. 실측 결과의 각종 열저항 계산식의 비교 검토

1) 제 계산식과 비교 검토

상기 관서 전력 및 SEI의 실험 신로 실측 결과의 각종 토양 열저항 계산식에 의해 산출된 값을 비교 하면 표 5 와 같다.

2) 토양 열저항의 제 계산식

각종 토양 열저항의 제 계산식을 표 4 에 나타내었다.

표 4 - 토양 열저항 제 계산식

규격	계산식
JCS - 168D (일본)	$R_5 = \frac{rc \cdot N \cdot Lf}{2\pi} \pm \ln \frac{4l}{De}$
Neher - McGrath	$R_5 = \frac{0.366 \cdot rc \cdot \log \frac{De}{De_0} + Lf \cdot \log \frac{(4l/D_0)}{4l}}{2\pi} \pm W \cdot Lf \cdot G$
직매식	$R_5 = \frac{rc \cdot Lf}{2\pi} \pm \ln \frac{(4l)}{De} \cdot F$
IRCEA (미국)	$R_5 = \frac{rc \cdot Lf}{2\pi} \pm N$

rc : 토양 고유 열저항, rc : 관로 Concrete 고유 열저항  
 Lf : 손실율, N : Cable 조수, De : 관로 내경  
 l : 지표면에서 관로 중심까지의 깊이, F : 상호 근접 계수  
 W : Duct Constant

IV. 검토 결과

상기의 실험 및 계산식의 검토 과정에서 아래 사항의 검토가 가능하다.

1. JCS - 168D 에서는 관로 Concrete 부분의 열저항을 무시하고 계산하니 관로 및 Concrete 부분에도 상당한 열저항이 있음을 알수있다.
2. 토양 고유 열저항은 실험 계산식에서는 관계없이 일정 하고, 토양 열저항 R5 는 매설 깊이에 비례하여 증가 하니 실제의 토양에서는 매설 깊이가 깊어 지면 지하수의 존재 등에 의해 토양의 함수율이 증가하여 열저항의 감소를 예상할 수 있다.

표 5 - 토양 열저항의 저감율

조수	JCS - 168D			직 매 안	
	1공 1조	1공 3조	직 매	Flat	Trefoil
1	1.0	0.9	1.0		0.9
2	0.9	0.85	0.9		0.85
3	0.85	0.8		0.9	0.8
4	0.8	0.75			0.75
5	0.8	0.7			
6	0.8			0.85	
7	0.75				
8	0.75				
9	0.75			0.75	
10	0.75				
11	0.7				
12	0.7			0.7	

\* 직매식 Cable 중심간격 1.5D 이상일 것.

##### 참고 문헌 #####

1. Cable의 허용 전류-일본 전선 공업회 규격 (JCS-168D 1980)
2. O.F Cable의 일정부하 장기과전 시험 (SEI회보 제 73 호)
3. 관로 내에 포설된 전력 Cable 의 온도 상승에 대해서 (SEI 회보 제 54 호)
4. The Calculation of the Temperature Rise and Load Capability of cable system (AIEE 1957, M.H McGrath)
5. Electrical Engineer's Handbook (Pender Delmar)
6. The Theory of Oil Filled Cable (SEI Review No. 31)
7. Electrical Cables Handbook (BICC Handbook)