

교각관통 전력케이블의 허용전류 검토

정성환 최상봉 남기영 류희석 이재덕
한국전기연구원

The Ampacity of Power Cables Installed in Concrete Bridge Exposed to Solar Radiation

S. H. Jeong S. B. Choi K. Y. Nam H. S. Ryoo J. D. Lee
K.E.R.I.

Abstract - This paper represents the ampacity calculation method of power cables installed in a concrete construction above a bridge which is exposed to solar radiation.

1. 서 론

일반적으로 전력케이블은 지중 혹은 전력구에 주로 포설되고 있다. 이와 같은 경우 허용전류는 IEC 60287규격을 이용하여 계산할 수 있다. 그런데 가끔씩 지중에 포설되어야 할 전력케이블이 교각을 통과할 경우 대기중에 노출된 콘크리트 교각을 통과거나 콘크리트로 타설된 차도 혹은 인도의 내부에 포설될 경우가 발생한다. 특히 콘크리트 내부에 포설될 경우 토양의 열특성을 콘크리트의 열특성으로 대체하여 허용전류를 계산할 수 있으나 콘크리트가 일사에 노출되어서 태양에너지를 흡수할 경우에는 IEC 60287 규격만으로는 허용전류를 계산할 수 없다.

본 논문에서는 일사에 노출된 콘크리트 내부에 전력케이블이 포설될 경우 일반적인 열역학에서 제시하고 있는 열전도 이론을 이용하여 콘크리트 내부 온도를 계산하고, 이 온도를 허용전류 계산식의 주변온도로 하여 허용전류를 계산하는 방법을 제시하였다. 여기서 사용한 열전도 이론은 콘크리트 내부에서 발생하는 열의 양이 항상 일정한 것으로 가정하였기 때문에 전력케이블에서 발생하는 열을 계산한 후 다시 열전도방정식에 대입하여 콘크리트의 온도를 계산하고 그 오차가 없을 때를 전력케이블의 허용전류로 하였으며 이 과정들을 반복적으로 수행하였다.

2. 본 론

2.1 콘크리트의 열전도와 온도

두께 L인 콘크리트 내부에서 q의 균일한 체적 열발생이 일어나고 공기에 의한 대류 계수 h과 G_s의 태양 조사가 일어나는 동안 열전도율 k인 콘크리트 내부의 정상상태 열확산방정식은 다음과 같다.

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{dT}{dx} \right) + \frac{\dot{q}}{k} = 0 \tag{1}$$

식 (1)로부터 콘크리트 내부의 온도분포방정식은 다음과 같이 되며 온도 분포는 (그림 2.2)와 같이 된다.

$$T(x) = T_s + \frac{\dot{q}L^2}{2k} \left(1 - \frac{x^2}{L^2} \right) \tag{2}$$

또한 표면에서의 에너지균형방정식은

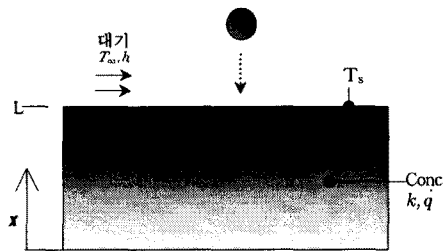
$$E'_{in} - E'_{out} + \dot{E}_g = 0 \tag{3}$$

이 되며 이것을 풀어보면 다음과 같다.

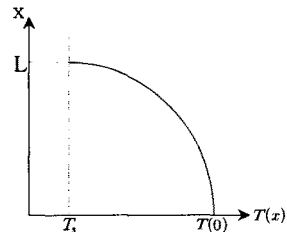
$$qL - h(T_s - T_{\infty}) + \alpha_s G_s - \epsilon \sigma T_s^4 = 0 \tag{4}$$

여기서, α_s = 일사의 흡수율(콘크리트=0.6)
ε = 콘크리트의 태양 복사율(=0.88)

식 (4)로부터 콘크리트 표면 온도 T_s를 얻을 수 있다.



(그림 2.1) 일사에 노출된 콘크리트 모델



(그림 2.2) 콘크리트내의 온도 분포

2.2 허용전류 계산

2.3.1 상정조건

(1) 일사량

기상청에서 발표하는 일사량은 월별 누적치를 나타낸다. 일반적으로 1년 중 7, 8월에 누적일사량이 가장 많은 것으로 나타나는데, 기상청에서 계속하고 있는 일사량을 열 해석용으로 사용하기 위해서는 다음과 같은 관계식을 이용하여 변환하여야 한다. 그 결과 제주지역의 일 평균 일사량은 대략 500W/㎡ 정도이다. 따라서 기상 이변을 고려하여 본 허용전류 계산에 사용한 제주지

역의 일사량 G_s 는 650 W/㎡로 상정한다.

$$G_s = \frac{MJ}{Time} \times \frac{1}{3600} \quad [J/m^2 \cdot s = W/m^2] \quad (5)$$

여기서, MJ : 기상관측 누적일사량 [MJ/㎡]
 $Time$: 누적시간 [hour]

(2) 대기조건

(가) 대기온도 : $T_\infty = 34^\circ C$

(제주시역의 평균 최고온도)

(나) 공기의 대류계수 : $h = 5 W/m^2 \cdot K$

(3) 콘크리트의 열적 상수

(가) 열전도율 : $k = 1.0 W/m \cdot K$

(나) 흡수율 : $\alpha_s = 0.6$

(다) 복사율(여기서는 반사율) : $\epsilon = 0.88$

(4) 콘크리트내부는 정상상태이다.

(5) 관로상단까지의 거리 : $L = 0.2385m$

2.3.2 콘크리트 표면내의 온도

콘크리트 표면의 온도는 위와 같은 상정조건으로부터 식 (4)에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$n q L - 5(T_s - 307) + 0.6 \times 650 - 0.88 \times 5.67 \times 10^{-8} T_s^4 = 0$$

여기서, T_s : 콘크리트의 표면온도 [K]

n : 콘크리트내의 케이블 수

$q = W_c(1 + \lambda_1) + W_d$ [W/m]

$W_c = I^2 R$: 도체손실 [W/m]

W_d : 유전체손실 [W/m]

따라서, 콘크리트내의 온도는 식 (2)로 다음과 같이 계산 된다.

$$T(x) = T_s + \frac{n \times q L^2}{2k} \left(1 - \frac{x^2}{L^2} \right) = \theta_a \quad (6)$$

여기서 계산된 콘크리트내의 온도를 허용전류계산식의 주변온도 θ_a 로 한다.

2.3.3 허용전류 계산식

허용전류는 IEC 60287에서 제시한 아래와 같은 허용전류 계산식을 적용한다.

$$I = \sqrt{\frac{\theta_c - \theta_a - W_d(0.5T_1 + T_3 + T_4)}{R(T_1 + (1 + \lambda_1)(T_3 + T_4(L_7)))}} \quad (7)$$

여기서, R : 교류도체저항

T_1 : 절연체의 열저항 [K·m/W]

T_3 : 방식층의 열저항 [K·m/W]

T_4 : 외부열저항 [K·m/W]

$T_1 = T_{11} + T_{12} + T_{13}$

T_{11} : 관로내부의 열저항 [K·m/W]

T_{12} : 관로 자체의 열저항 [K·m/W]

T_{13} : 관로밖에서 주변온도(θ_a)까지의 토양

(콘크리트) 열저항 [K·m/W]

λ_1 : 전력케이블의 시스에서 발생하는 열을 도체손실(W_c)의 비로 나타낸 시스손실률

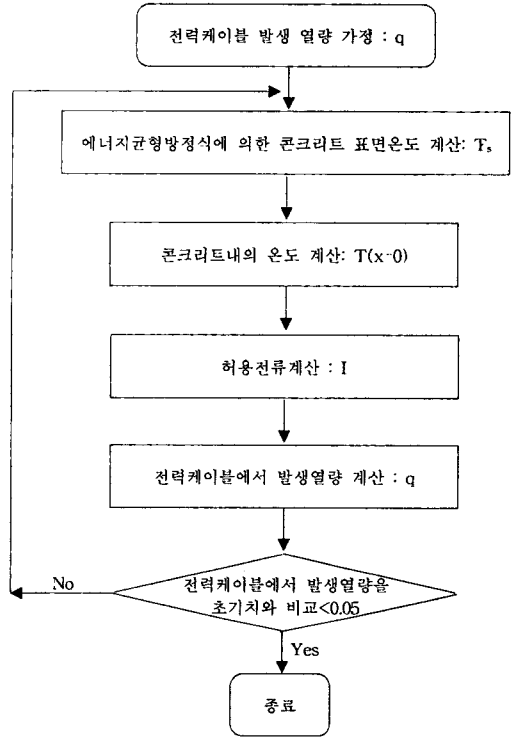
θ_c : 전력케이블의 도체 최고허용온도 [°C]

XLPE 전력케이블의 경우 90°C

2.3.3 허용전류 계산 흐름도

콘크리트내부에서 발생하는 열량은 설된 전력케이블에서 발생하는 열량이 되는데 이 열량은 콘크리트 내의 온도를 계산할 때 사용한 초기열량과 차이가 나기 때문에

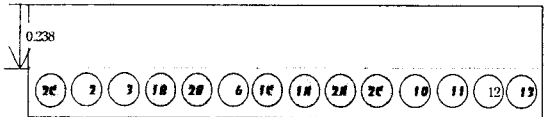
허용전류를 계산한 후 다시 한번 더 열량을 계산한다. 만일 이 열량이 그 이전단계에서 계산된 열량과 차이가 없으면 허용전류 계산은 종료한다. (그림 2.3)은 허용전류를 계산하는 흐름도를 나타낸다.



(그림 2.3) 허용전류 계산 흐름도

2.3.4 허용전류 계산 결과

(그림 2.4)와 같은 포설조건에 대하여 154kV 2000㎍ XLPE케이블 2회선이 (그림 2.4)와 같이 포설되었을 때 허용전류 계산결과는 <표 2.1>과 같다.



(그림 2.4) 포설조건

<표 2.1> 허용전류 계산 결과

회선수	허용전류	주변온도	표면온도	대기온도
1	1818.53 A	36.45°C	32.29°C	34°C
2	1635.29 A	41.06°C	34.32°C	34°C

만일 154kV 2000㎍ XLPE케이블의 2회선 혹은 4회선이 아래와 같은 한전 표준설계 기준으로 포설되었을 때의 허용전류와 비교하기 위하여 허용전류를 계산해보면 <표 2.2>와 같다.

(1) 토양 열저항률 : 0.9

(2) 주변온도 : 25°C

(3) 매설깊이 : 1200mm

<표 2.2> 표준설계기준에서의 허용전류

배열	회선수	허용전류	주변온도
4단배열	1	1573.48 A	25℃
	2	1399.83 A	
2단배열	1	1644.82 A	25℃
	2	1539.54 A	

표에서 보는 바와 같이 일사에 노출된 콘크리트 내부에 포설된 전력케이블의 허용전류가 일반 지중에 포설되었을 때의 허용전류에 비해 비록 주변온도를 높을지라도 오히려 큰 것을 알 수 있다. 이것은 전력케이블의 매설 깊이가 일반 지중으로 포설된 것보다 낮고 전력케이블간의 이격거리가 크기 때문인 것으로 사료된다. 그러나, 교각 위의 상정조건(회선수의 추가)과 기후의 변동(일사량 등)이 있을 경우 허용전류는 상정조건에 따라 다시 검토해야 할 필요가 있다.

3. 결 론

본 논문은 일사에 노출된 콘크리트내에 전력케이블이 포설되었을 때 허용전류를 계산하는 방법을 제시하였다. 이와 같은 방법은 지중에 포설되면서 전력케이블 주변의 열적 환경이 서로 다른 조건에 대하여 각각에 대한 기본적인 열역학 이론을 적용함으로써 전력케이블의 허용전류를 계산할 수 있는 기초적인 기술을 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEC 60287-1-1, "Electric Cables - Calculation of the Current Rating, Part 1 : Current Rating Equations (100% Load Factor) and Calculations of Losses, , Section 1 : General", 1995, 8
- [2] Frank P. Incropera, David P. DeWitt, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", 1996