

지중 송배전 전력케이블 병행구간에 대한 허용전류 계산

정성환*, 김대경, 최상봉, 이동일, 강지원, 김형수, 박준호
 한국전기연구원, 한전 전력연구원, 부산대학교

A Study on the Analysis of an Permissible Current-Carrying Capability of Transmission and Distribution Power Cables Buried in Ducts

Seong Hwan Jeong*, D.K. Kim, S.B. Choi, D. I. Lee, J.W. Kang, H.S. Kim, J.H. Park
 KERI KEPRI Pusan National University

Abstract - This paper proposes an analysis of an permissible current-carrying capability of being installed transmission power cables and distribution power cables simultaneously.

W_d : 유전체 손실 [W/m]

일반적으로 송전 케이블은 아모아층이 없기 때문에 금속 시스와 아모아 사이의 열 저항 T_2 와 아모아 손실률 λ_2 를 고려하지 않고 있다.

1. 서 론

전력케이블의 허용전류는 케이블 자체와 주변 매질의 열적 파라메타에 의해 결정되며, 특히 케이블이 매설되는 깊이에 따라 큰 영향을 받는다.

우리 나라와 같이 지중 선로를 건설하기 위한 경과지 확보가 어려운 상황에서는 동일 구간내 송전 케이블과 배전 케이블이 병행하여 부설되는 경우가 많고 모두 다 회선으로 운전하고 있는 실정이다. 이 경우 도심지 전력 수요에 능동적으로 대처하기 위하여 지중 전력케이블에 대한 허용전류 해석은 필수적이다.

허용전류 해석은 부설된 케이블이 여러 개일 때 그 중 열적으로 가장 불안정한 케이블의 도체온도가 상시최고 허용온도를 넘지 않을 때의 전류를 계산하는 것으로서 지중 송전 선로를 건설할 계획단계에서는 반드시 거쳐야 하는 과정이지만, 허용전류는 실제 부하전류와 많은 차이가 있기 때문에 지중 송전 선로 운용상 케이블에 대한 안전성 확보에는 어려움이 있다.

본 논문에서는 동일 구간내에 송전케이블과 배전케이블이 병행할 경우 송배전 케이블의 허용전류를 계산하여 그 결과를 살펴보고 선로 운용상 고려해야 할 내용에 대하여 살펴보았다.

2. 본 론

2.1 허용전류 계산식

지중 전력케이블의 허용전류를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\theta - W_d \left[\frac{1}{2} T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4) \right]}{R \left[T_1 + n(1 + \lambda_1) T_2 + n(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4) \right]}} \quad (2.1)$$

여기서, $\Delta\theta$: 도체 온도 상승분 ($=\theta_c - \theta_a$)
 n : 한 케이블내 심선(도체) 수
 R : 교류도체저항 [Ω/m]

T_1 : 절연체 열저항 [$K \cdot m/W$]
 T_2 : 시스와 아모아사이의 열저항 [$K \cdot m/W$]
 T_3 : 방식층의 열저항 [$K \cdot m/W$]
 T_4 : 케이블 표면에서 주변온도까지 외부 열저항 [$K \cdot m/W$]

λ_1 : 시스 손실률
 λ_2 : 아모아 손실률

2.1.1 케이블의 열저항

송전 케이블의 열 저항은 절연체와 방식층으로 구성된다. 일반적으로 차폐층이 존재하면 금속성 테이프는 도체 혹은 시스의 일부분으로 취급하지만 반도체층(금속화된 카본지레이프)은 절연체로 취급한다.

(1) 절연체의 열저항 T_1

단심 케이블에 대한 절연체의 열 저항은 다음과 같이 계산된다.

$$T_1 = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \left[1 + \frac{2t_1}{d_c} \right] \quad (2.2)$$

여기서, ρ_T : 절연체의 열저항률 [$K \cdot m/W$]

d_c : 도체 외경 [mm]

t_1 : 도체와 금속시사이의 절연체 두께 [mm]

(2) 방식층의 열저항 T_3

파부형 금속 시스를 가진 케이블에 대한 방식층의 열 저항은 다음과 같이 계산된다.

$$T_3 = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \left[\frac{D_{oc} + 2t_3}{\left(\frac{D_{oc} + D_{it}}{2} \right) + t_s} \right] \quad (2.3)$$

여기서, ρ_T : 방식층의 열저항률 [$K \cdot m/W$]

t_3 : 방식층의 두께 [mm]

t_s : 금속 시스의 두께 [mm]

D_{it} : 파부형 금속시스의 내곡경 [mm]

D_{oc} : 파부형 금속시스의 외산경 [mm]

2.1.2 외부 열저항

관로 부설의 경우 케이블 표면에서 주변 온도까지의 외부 열저항 T_4 는 식(2.4)와 같이 세 개의 열 저항으로 구성된다.

$$T_4 = T_{41} + T_{42} + T_{43} \quad (2.4)$$

① 케이블 표면에서 관 내벽까지의 열 저항 T_{41}

② 관 내벽에서 관 외벽사이의 열 저항

(관 자체의 열 저항)

T_{42}

③ 관 외벽에서 주변온도까지의 토양 열 저항 T_{43}

2.1.2.1 케이블 표면에서 관까지의 열저항 T_{41}

관로 부설의 경우 케이블 표면에서 관 내벽까지의 열 저항은 케이블 표면에서의 대류와 복사에 의한 열 전달을 감안한 IEC 287 규격에서 추천하는 식 (2.5)를 이용하여 계산한다.

$$T_{41} = \frac{U}{1+0.1(V+Y\theta_m)D_e} \quad (2.5)$$

여기서, U, V, Y : 관의 재질과 내부 환경을 고려한 열 교환 상수

θ_m : 관의 내부 온도 [°C]

D_e : 케이블의 등가 외경 [mm]

케이블의 등가 외경 D_e 는 관 내부의 케이블 수에 따라 결정되는데, 송전케이블의 경우 관 내부에 한 개의 케이블이 부설되기 때문에 케이블의 등가 외경은 케이블의 외경이 된다. 그러나, 배전 케이블의 경우 관 내부에 3개의 케이블이 부설되기 때문에 케이블의 등가 외경 D_e 는 배전 케이블의 외경에 2.15배를 한 것이 된다.

2.1.2.2 관 자체의 열 저항 T_{42}

관 내벽에서 관 외벽사이 즉, 관 자체의 열 저항 T_{42} 는 다음과 같이 계산된다.

$$T_{42} = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \left[\frac{D_o}{D_i} \right] \quad (2.6)$$

여기서, ρ_T : 관 자체의 열저항률 [K·m/W]

D_i : 관의 내경 [mm]

D_o : 관의 외경 [mm]

2.1.2.3 토양의 열 저항 T_{43}

우리 나라의 경우 지중 선로를 위한 경과지 확보가 매우 어렵기 때문에 동일 구간내 송전 케이블 혹은 배전 케이블을 여러 개 부설하여 다회선으로 운전하는 경우가 많다. 이 경우 케이블간 상호 가열 효과가 있어서 케이블의 표면 온도를 상승시켜 허용전류를 감소시키는 요인으로 작용한다. 또 동일 구간내 케이블의 종류가 서로 다를 경우 각 케이블의 상시 최고허용온도 또는 용량이 서로 다르기 때문에 매설 깊이에 따라 허용전류가 다르다.

이와 같은 경우를 불평형 조건에서의 허용전류라 하며 이때의 토양 열 저항은 식(2.7)과 같이 계산되며, 식(2.1)의 허용전류 계산식의 분자항 즉, 도체온도 상승 분은 식(2.8)만큼 더 감소되어야 한다.

$$T_{43} = \frac{\rho_s}{2\pi} \ln(u + \sqrt{u^2 - 1}) \quad (2.7)$$

여기서, ρ_s : 토양의 열 저항률 [K·m/W]

$$u = \frac{2L}{D_e}$$

L : 지표면에서 케이블 축까지의 거리 [mm]

D_e : 관의 외경 [mm]

$$\Delta\theta_p = \Delta\theta_{1p} + \Delta\theta_{2p} + \dots + \Delta\theta_{kp} + \dots + \Delta\theta_{qp} \quad (2.8)$$

$$\text{여기서, } \Delta\theta_{kp} = W_k \frac{\rho_s}{2\pi} \ln \left(\frac{d_{pk}'}{d_{pk}} \right)$$

W_k : k번째 케이블에서 발생하는 총손실[W/m]

d_{kp}' : p번째 케이블 중심에서 k번째 케이블의

영상분 중심까지의 거리 [mm]

d_{kp} : p번째 케이블 중심에서 k번째 케이블 중심까지의 거리 [mm]

2.2 송배전케이블에 대한 허용전류 분포

2.2.1 부설조건

송배전 케이블이 병행하는 구간에 대한 부설 조건은 다음과 같다.

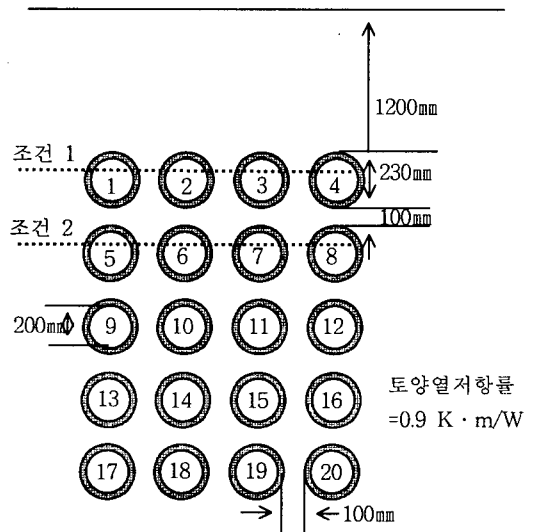
2.2.1.1 전력케이블

○ 배전케이블: 22.9kV 325mm² CN-CV 4회선

○ 송전케이블: 154kV 2000mm² XLPE 4회선

2.2.1.2 부설조건

동일 구간내 송배전 케이블의 부설 현황은 그림 (2.1)과 같다. 송전 케이블 4회선은 관로번호 9번부터 20번까지 부설된다. 조건 1에 대한 배전 케이블은 관로번호 1번에서 4번까지 이고, 조건 2에 대한 배전케이블은 관로번호 5번에서 8번까지이다.



그림(2.1) 부설조건

2.3.2 허용전류 해석

그림 (2.1)과 같이 송전케이블 4회선과 배전 케이블 3회선이 각각 부설되어 있을 경우에 대한 허용전류 해석 결과는 <표 2.1>과 <표 2.2>와 같다.

3. 결 론

<표 2.1>과 <표 2.2>에서 보는 바와 같이 송전케이블의 허용전류는 배전 케이블이 배열에는 큰 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. 그러나, 배전케이블의 허용전류는 배열방식에 따라 큰 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있다.

〈표 2.1〉 조건 1에 대한 허용전류 분포

관로번호 (Case1)	8회선	7회선 (Full-1)	6회선 (Full-1-2)	5회선 (Full-1-2-3)
배전1	1	350.87	-	-
배전2	2	309.28	347.00	-
배전3	3	309.28	323.62	358.70
배전4	4	350.8	357.01	370.07
3단	9	970.69	1055.41	1121.11
	10	757.70	828.04	907.55
	11	757.70	797.06	859.25
	12	970.69	989.29	1023.31
4단	13	925.92	968.66	1002.17
	14	718.59	752.48	787.09
	15	718.59	739.66	767.75
	16	925.94	937.97	956.80
5단	17	1032.01	1056.36	1075.07
	18	887.78	905.77	922.14
	19	887.78	900.26	913.95
	20	1032.01	1041.00	1052.48

141-143, 1999

(2) 정성환 외, "지중전력케이블의 허용전류 산정 규격의 최근 동향", 1999년도 추계학술대회, 328-330, 1999

(3) 정성환 외, "관로부설 송전케이블의 허용전류 계산 프로그램 개발", 2001년 춘계학술대회, 2001

〈표 2.2〉 조건 2에 대한 허용전류 분포

관로번호 (Case 2)	8회선 (Full)	7회선 (Full-5)	6회선 (Full-5-6)	5회선 (Full-5-6-7)
배전1	5	318.73	-	-
배전2	6	272.65	303.97	-
배전3	7	272.65	283.43	310.07
배전4	8	318.73	323.43	331.91
3단	9	941.95	1069.55	1141.57
	10	707.02	794.39	911.28
	11	707.02	741.52	812.99
	12	941.97	955.33	981.55
4단	13	923.34	976.98	1011.86
	14	705.29	746.45	788.23
	15	705.30	726.54	757.55
	16	923.37	933.58	949.76
5단	17	1036.07	1063.48	1081.21
	18	888.38	908.49	925.19
	19	888.38	901.26	914.70
	20	1036.06	1044.47	1054.37

[참 고 문 헌]

(1) 정성환 외, "온도의존성 항목을 고려한 지중배전케이블의 허용전류 계산에 관한 연구", 1999년도 추계학술대회.