# 기중 다회선 부설에 대한 송전 케이블의 허용전류 저감계수에 관한 연구

정성환, 김대경, 최상봉, 이동일, 강지원, 곽방명, 탁의균, 윤형희, 김재승, 박준호, 김형수
한국전기연구원 한전 전력연구원, 한국전력공사, 부산대

# A Study on the Reduction Factor of the Permissible Current-Carrying Capability of Underground Transmission Power Cables installed in Free Air

S.H.Jeong*, D.K.Kim, S.B.Choi, D.I.Lee, J.W.Kang, B.M.Gwak, E.G.Tack, H.H.Yoon, J.S.Kim, J.H.Park, H.S.Kim
KERI KEPRI KEPCO PNU

**Abstract** - This paper calculates the reduction factors of JCS 168E standard and IEC pub 287-2-2 according to installing groups of cables in a tunnel in Korean, respectively. Also, this paper proposes a method for calculating reduction factors for groups of cables in free air.

## 1. 서 론

경제성장과 함께 생활 수준의 향상으로 대도시의 전력 수요는 지속적으로 증가하고 있다. 이와 같은 전력 수요의 증가에 대비하고 도심지 전력 계통의 공급 신뢰도를 향상시키고 도심지 미관을 고려한 환경 친화적인 송전 선로를 건설하기 위하여 지중 송전 선로의 건설은 필연적이다.

도심에서는 지중 송전선로를 위한 경과지 확보가 곤란하고 건설기간과 건설비용이 과다하기 때문에 지중 송전선로는 동일 구간(전력구)에서 가능한 한 여러 개의 회선을 동시에 부설하는 것이 경제적이다.

동일 구간내 열거 개의 지중 송전선로를 부설하면 각 케이블에서 발생한 열이 상호 영향을 주어 케이블의 표면온도를 상승시켜 허용전류를 감소시키게 된다. 이와 같이 허용전류를 감소시키는 계수를 기중 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수라 하며, 이때 허용전류는 식(1.1)과 같이 계산된다.

$$I = F_g \sqrt{\frac{\Delta\theta - W_d\left\{\frac{1}{2}T_1 + n(T_2+T_3+T_4)\right\}}{R\{T_1 + n(1+\lambda_1)T_2 + n(1+\lambda_1+\lambda_2)(T_3+T_4)\}}} \quad (1.1)$$

여기서, $\Delta\theta$ : 도체 온도 상승분($=\theta_c - \theta_a$)
$n$ : 한 케이블내 심선(도체) 수
$R$ : 교류도체저항 [$\Omega$/m]
$T_1$ : 절연체 열저항 [K · m/W]
$T_2$ : 시스와 아모아사이의 열저항 [K · m/W]
$T_3$ : 방식층의 열저항 [K · m/W]
$T_4$ : 케이블 표면에서 주변온도까지 외부 열저항 [K · m/W]
$\lambda_1$ : 시스 손실률
$\lambda_2$ : 아모아 손실률
$W_d$ : 유전체 손실 [ W/m ]
$F_g$ : 기중 다회선부설에 의한 허용전류 저감계수

기중에 여러 개의 지중 송전선로가 부설되어 있을 때의 허용전류는 식(1.1)에서 보는 바와 같이 1회선(혹은 1개 케이블)에 대한 허용전류를 먼저 계산한 후 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수를 계산하여 이 두 값을 서로 곱한 것이 된다.

본 논문은 JCS 168E 규격과 IEC 287 규격에서 각각 적용하고 있는 기중 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수를 우리 나라의 실 선로 부설조건에 대하여 계산한 후, 우리 나라 실정에 맞는 기중 다회선 부설에 대한 허용전류 저감계수의 적용방법을 제시하였다.

## 2. 본 론

JCS 168E 규격과 IEC 287규격에서 각각 적용하고 있는 기중 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수를 우리 나라의 실 선로 부설조건에 대하여 각각 검토하였다.

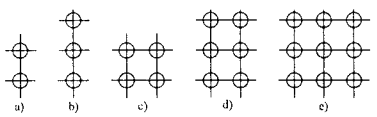
### 2.1 JCS 168E의 허용전류 저감계수

JCS 168E 규격에서 채택하고 허용전류 저감계수는 〈표 2.1〉과 〈표 2.2〉와 같다. 이 값은 저압케이블에 대한 실험치를 근거로 한 것으로서 JCS 168D(1980) 규격에서부터 채택해 오고 있다. 최근 지중 송전케이블에 대하여 케이블 표면간 이격거리가 50㎜이상일 경우 상호 열 영향을 무시할 수 있고, 이 경우 허용전류 저감계수를 적용할 필요가 없다는 보고가 있다. 그러나, 케이블 표면간 이격거리가 50㎜미만에 대해서는 아직까지 정확한 결론이 없기 때문에 현재 JCS 168D 규격에 규정된 값을 그대로 적용하고 있는 실정이다. 향후 일본에서 이에 대한 검토가 있을 것으로 예상된다.

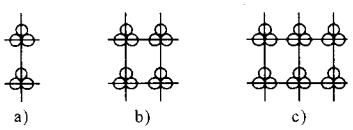
### 2.2 IEC 287 규격의 허용전류 저감계수

IEC 287-2-2 규격의 기중 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수는 아래와 같은 부설조건에 대하여 적용할 수 있다.

① 사각 배열되는 단심케이블이 최대 9개일 때




② 삼각 배열된 삼상케이블이 최대 6회선일 때




한편, IEC 287-2-2 규격의 기중 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수는 〈표 2.3〉의 (3)열에 나타낸 것과 같이 상호 열 영향을 무시할 수 없는 경우에 한해서 식(2.1)에 의해 계산하고 있다.

$$F_g=\sqrt{\frac{1}{1-k_i+k_l\times\left(\frac{T_{4g}}{T_{4l}}\right)}} \qquad (2.1)$$

여기서, $k_l=\frac{\text{케이블표면온도상승분}}{\text{도체온도상승분}}=\frac{W\cdot T_{4l}}{\theta_c-\theta_a}$

이때, $(T_{4g}/T_{4l})$의 계산은 식(2.2)에 의해 반복법으로 계산된다. 반복 계산을 위한 $(T_{4g}/T_{4l})$의 초기 값은 〈표 2.3〉의 (4)열에 $(h_l/h_g)$값으로 가정한다. 만약, $e/D_e$의 비가 1.4이하이면, 반복 계산을 하지 않고 $(T_{4g}/T_{4l})$은 $(h_l/h_g)$로 한다.

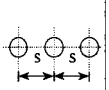
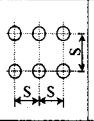
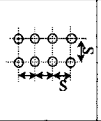
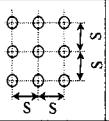
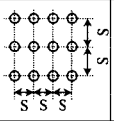
$$(T_{4g}/T_{4l})_{n+1}=(h_l/h_g)\left[\frac{1-k_l}{(T_{4g}/T_{4l})_n}+k_l\right]^{0.25} \qquad (2.2)$$

## 2.3 전력구 부설에 대한 허용전류 저감계수 계산 예

(그림 2.1)과 같이 삼각배열된 345kV 2000㎟ XLPE Cable을 2회선 부설한 전력구의 경우 허용전류 저감계수를 계산하여 보았다. 이때, 1회선에 대한 허용전류는 1611.5[A]이며, 아래와 같이 부설조건을 상정하였다.

① 전력구 내부 온도 : 40℃
② 90℃ 교류도체저항 : 1.3688E-5 〔Ω/m 〕
③ 금속 시스 손실률 : 0.8617

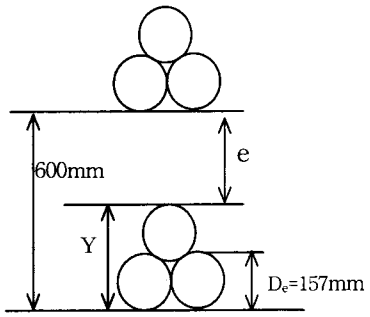
〈표 2.1〉 JCS 168E의 기중 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수

| 조수 | 저감계수 $\eta_0$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 6 | 4 |
| 배열 / 중심간격 | ○ | |  | | |
| $S=d_5$ | 1.00 | 0.85 | 0.80 | 0.70 | 0.70 |
| $S=2d_5$ | | 0.95 | 0.95 | 0.90 | 0.90 |
| $S=3d_5$ | | 1.00 | 1.00 | 0.95 | 0.95 |
| 조수 | 저감계수 $\eta_0$ | | | | |
| | 6 | 8 | 9 | 12 | |
| 배열 / 중심간격 |  |  |  |  | |
| $S=d_5$ | 0.60 | - | - | - | |
| $S=2d_5$ | 0.90 | 0.85 | 0.80 | 0.80 | |
| $S=3d_5$ | 0.95 | 0.90 | 0.85 | 0.85 | |

〈표 2.2〉 JCS 168E의 기중 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수

| 중심배열간격 | 단 | 저감계수 $\eta_0$ | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | | | | | 3 | | | | | | | | | | |
| | 열 | 7~20 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8~20 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9~10 | 11~12 | 13~15 | 16~19 | 20 |
| $S=d_5$ | | 0.70 | 0.60 | 0.56 | 0.53 | 0.51 | 0.50 | 0.48 | 0.41 | 0.37 | 0.34 | 0.32 | 0.31 | 0.30 | 030 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| $S=2d_5$ | | 0.80 | - | 0.73 | 0.72 | 0.71 | 0.70 | - | - | 0.68 | 0.66 | 0.65 | 0.65 | 0.64 | 0.63 | 0.62 | 0.61 | 0.60 |

(회로 손실률=0.03, 와전류 손실률=0.8317)
④ 외부 열저항 $T_{4l}$ := 0.3461




(그림 2.1) 전력구 부설 조건

### 2.3.1 JCS 168E 규격의 허용전류 저감계수

(그림 2.1)에서 보는 바와 같이 삼각배열된 전력케이블의 중심간격은 600㎜이다. 이 값은 삼각배열된 전력케이블의 등가외경(2.16x157=339.12㎜)의 2배보다 작기 때문에 〈표 2.1〉에서 보는 바와 같이 $S=2d_5$인 조건에 해당되며 이때, 기중 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수는 0.95가 된다.

### 2.3.2 IEC 287 규격의 허용전류 저감계수

(그림 2.1)과 같은 전력구 부설에 대하여 〈표 2.3〉을 이용하여 기중 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수를 계산하면 다음과 같다.

① 회선간 케이블 수직 간격 : e
$e=600-Y=307.0340$
② 열교환 계수의 비 : $h_l/h_g$

$\frac{e}{D_e}<4$ 이므로,

$h_l/h_g=1.106\left(\frac{e}{D_e}\right)^{-0.078}=1.0496$

③ 외부 열저항의 비 : $T_{4g}/T_{4l}$
$h_l/h_g(=1.0496)<1.4$ 이므로,
$T_{4g}/T_{4l}=1.0496$

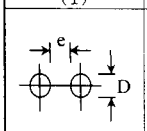
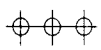
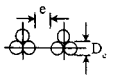
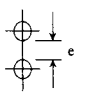
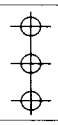
④ 케이블 표면온도상승비 : $k_l=\frac{W\cdot T_{4l}}{\theta_c-\theta_a}$

$k_l=\frac{W\cdot T_{4l}}{\theta_c-\theta_a}=\frac{I^2R_{ac}(1+\lambda_1)\cdot T_{4l}}{\theta_c-\theta_a}=0.4580$

⑤ 허용전류 저감계수 : $F_g$

$F_g=\sqrt{\frac{1}{1-k_l+k_l\,(T_{4g}/T_{4l})}}=0.9888$

〈표 2.3〉 IEC 287-2-2 규격의 허용전류저감계수의 계산조건

| 케이블배열 | 상호 열영향을 무시할 수 있는 간격 $e/D_e \geq$ | 상호 열 영향을 무시할 수 없는 간격 및 계산 조건 | |
|---|---|---|---|
| | | $e/D_e \leq$ | $h_1/h_g$의 평균값 |
| (1) | (2) | (3) | (4) |
|  | 0.5 | 0.5 | 1.41 |
|  | 7.5 | 0.75 | 1.65 |
|  | 1.0 | 1.0 | 1.2 |
| | 1.5 | 1.5 | 1.25 |
|  | 2 | 2 혹은 0.5 | $1.085(e/D_e)^{-0.126}$ 혹은 1.35 |
|  | 4 | 4 혹은 0.5 | $1.19(e/D_e)^{-0.136}$ 혹은 1.57 |
| | 4 | 4 혹은 0.5 | $1.106(e/D_e)^{-0.078}$ 혹은 1.39 |
| | 0.5 | 0.5 | 1.23 |

### 2.3.3 두 규격의 허용전류 저감계수 비교

(그림 2.1)과 같은 전력구 부설에 대하여 JCS 168E 규격과 IEC 287 규격에서 적용하고 있는 기중 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수를 각각 계산하여 허용전류를 계산한 결과는 〈표 2.4〉와 같다.

〈표 2.4〉 두 규격의 허용전류 저감계수 비교
(1회선 허용전류 : 1611.5[A])

| 규격 | 저감계수 | 허용전류 [A] | 비고 |
|---|---|---|---|
| JCS 168E | 0.95 | 1530.9 | |
| IEC 287-2-2 | 0.9888 | 1593.4 | △4% |

〈표 2.4〉에서 보는 바와 같이 JCS 168E 규격으로 계산한 허용전류는 IEC 287규격으로 계산한 허용전류보다 약 4%정도 과소 평가하고 있음을 알 수 있다. 즉, JCS 168E 규격을 적용할 경우 지중 송전선로의 허용전류는 IEC 287규격 보다 훨씬 낮게 평가될 수 있다.

### 2.4 허용전류 저감계수의 적용 방법

앞 절의 결과에서도 알 수 있는 바와 같이 JCS 168E 규격을 이용하여 기중 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수를 적용할 경우 허용전류는 IEC 287규격보다 낮게 평가될 수 있다. 또, 2.1절에서 언급한 바와 같이 케이블 표면간 이격거리가 50㎜이상일 경우 케이블 상호간의 열 영향을 무시할 수 있다는 보고가 있다.

한편, 우리 나라의 경우 케이블 표면간 수평 이격 거리는 IEC 287규격의 조건을 충족시키는 경우가 대부분이므로 수직 이격 거리만을 고려하면 된다.

따라서, 우리 나라의 경우 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수의 적용 방법을 다음과 같이 제안한다.

① 〈표 2.3〉의 조건을 만족하는 수평 이격 거리로 부설한다.

② 수직 이격 거리와 전력구내 좌우 벽면 및 하부벽면과의 이격 거리가 〈표 2.3〉의 조건을 만족하도록 부설하며, 그렇지 못할 경우 〈표 2.3〉의 조건에 대하여 식(2.1)을 적용하여 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수를 계산한다.

③ 3회선 이상이 수직으로 부설될 경우
- 최하단 선로 : 하부 벽면과 차 상위 선로간의 수직 이격 거리를 고려한 허용전류 저감계수를 각각 계산한 후 이 값들을 곱하여 최종 기중 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수로 한다.
- 중간 선로 : 상하 선로간의 수직 이격 거리를 고려한 허용전류 저감계수를 각각 계산한 후 이 값들을 곱하여 최종 기중 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수로 한다.
- 최상단 선로 : 하부 선로간의 수직 이격거리를 고려한 허용전류 저감계수를 작각 계산한 후 이 값들을 곱하여 최종 기중 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수로 한다.

## 3. 결 론

JCS 168E 규격과 IEC 287 규격의 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수를 우리 나라 부설조건에 대하여 적용한 결과 JCS 168E 규격이 IEC 287 규격보다 허용전류를 과소 평가할 수 있음을 알았다. 또, IEC 287 규격의 다회선 부설에 의한 허용전류 저감계수를 이용하여 우리 나라 부설 조건에 대한 적용방법을 제시하였다.

### [참 고 문 헌]


[1] 정성환 외, "전력구 부설에 대한 지중 전력 케이블의 허용전류 계산 열 회로에 관한 연구", 2000년도 추계부문학술대회, pp159-161, 2000

[2] 정성환 외, "우리 나라 실정에 맞는 전력구에 대한 외부열저항 계산식에 관한 연구", 2000년도 추계부문학술대회, pp162-164, 2000

[3] IEC 287-2-2 "Electric Cables - Calculation of the Current Rating, Part 2 : Thermal Resistance-Section 2 : A Method for Calculating Reduction Factors for Groups of Cables in Free Air, Protected from Solar Radiation", 1995. 8

[4] JCS 168E, "전력케이블의 허용전류", 일본전선공업회, 1995

[5] 國井 久美子외 2인, "洞道布設케이블 許容低減率의 檢證", T.IEE Japan, Vol.121-B, No.3, pp378-383, 2001