

저임피던스 케이블의 허용전류에 대한 연구

A Study on Permissible Current of Low Impedance Cable

김동식*, 이종찬, 이관우, 박복기*, 박대희

(Dong-shick Kim, Jong-chan Lee, Kwan-woo Lee, Bok-gee Park, Dae-hee Park)

원광대학교 전기전자공학부, 호원대학교*

Abstract

In this study, we evaluated the relation of the test and theory of low impedance cable . As the result, We could obtained the result in accordance the test with theory in 85 ~ 95% tolerance . Test method measured the relation of the current and temperature of cable jacket, in using CT to put in 3 phase AC current simultaneously . The current and temperature of it was calculated in according to JCS-168D

1. 서 론

산업계와 최근의 빌딩 대형화, 대형병원, 대형 컴퓨터 시스템의 도입, 기타 화재 방지 시스템의 확대에 따라 전기로 구동되는 많은 기계적 시스템들로 구성되어있으며, 이들에 전기를 공급하는 선로 중에 특히 저전압(600V이하) 배선 선로가 그 비중을 많이 차지하고 있다. 따라서 특히 저압 배선 분야에서 전력공급의 대용량화가 필요하게 되었다. 저압간선은 수량이 많으므로 배선 전체의 경제면, 기술면에서 그 영향이 크게 된다.

초고층 빌딩용으로 할 때는 처음에는 대용량 송전을 목적으로 하여 부스덕트 같은 것을 주로 사용하여 왔으나 고가격, 현장가공의 어려움과 접속부가 많은 이유로 개선 및 보수점검의 면에서 케이블을 많이 사용하고 있다. 뿐만 아니라 저압의 장거리 간선에서 나타나는 전압강하를 해결하기 위하여 케이블의 크기와 허용전류에 관한 많은 기술적인 검토가 진행되고 있다. 이러한 요구에 따라서 전압강하를 적게 하는 케이블의 연구 및 설계가 검토되어지고 있으며, 최근에는 인텔리전트 빌딩내에서 경제성을 고려하는 배전시스템의 설계가 중요시 되고 있다.

본 연구는 일괄 3상 공심형 케이블의 허용전류를 JCS를 이용하여 특히 열분포를 고려한 전열저항값을 고려한 식을 세워 계산하고, 실험을 통하여 계산 값을 비교한 결과를 보고한다.

2. 3상 일괄형 케이블의 허용전류계산과 실험

일반적인 CV타입의 3상 케이블에 대한 허용전류 계산방법은 JCS와 IEC의 규격을 주로 사용하고 있다. 이 연구에서는 3상 일괄 케이블에서의 허용전류 계산은 JCS 168D 를 참고하여 계산하였다.

1) 허용 전류

케이블의 허용 전류는, 케이블의 도체저항, 유전체 손실, 열적정수 및 주위조건에 의하여 결정되어진다. 대표적인 포설방식은 관로포설, 기중포설과 직매포설이 있는데 저임피던스는 주로 기중에 포설하는 방식이다. 그러므로 다음과 같은 기중포설에 의한 식으로 계산한다.

$$I = \sqrt{\frac{T_1 - T_2 - T_d}{n \cdot r R_a}}$$

여기서, n : 케이블 선심수

r : 교류 도체저항 (Ω/cm)

T_1 : 도체 허용 최고 온도 ($^{\circ}C$)

T_2 : 주위 온도 ($^{\circ}C$)

T_d : 유전체 손실에 의한 온도상승 ($^{\circ}C$)

T_s : 일사에 의한 온도상승 ($^{\circ}C$)

R_a : 전열 저항 ($^{\circ}C \cdot cm/W$)

이때 저항은 크게 직류도체저항과 교류도체저항으로 나뉘어지며 교류도체저항은 직류도체저항에 주파수에 따른 근접효과와 표피효과에 의해 변화하며, 온도는 케이블의 사용온도를 기준으로 한다. 교류도체저항은 다음의 식으로 나타낸다.

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

여기서, r_0 : 20°C에서 직류 최대 도체 저항

k_1 : 최고 허용 온도의 도체 저항과 20°C의 도체저항의 비

k_2 : 교류 저항과 직류 저항의 비

단, $k_1 = 1 + a(T_1 - 20)$

a : 저항 온도 계수

$k_2 = 1 + \lambda_1 + \lambda_2$

λ_1 : 표피효과 계수

λ_2 : 근접효과 계수

위 식의 20°C에서 직류 최대 도체 저항 r_0 는 직류최대도체

저항으로 케이블의 구조와 제조방식에 따라 여러 가지 계수가 사용하여 계산한다.

도체가 동심 원형인 경우의 직류도체저항은 아래식으로 계산한다.

$$r_0 = \frac{10^{-3}}{58A \eta_c} K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \times 10^5 \quad (\Omega/cm)$$

- A : 도체 단면적 (mm²)
- η_c : 도전율
- K_1 : 소선 연입율
- K_2 : 분할도체 및 다심케이블의 집합 연입율
- K_3 : 압축성형에 의한 가공 경화 계수
- K_4 : 최대 도체저항 계수

또한 도체가 원통형인 경우는 아래식으로 계산한다.

$$r_s = \frac{40 \rho_s}{\pi(d_1' - d_0)} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{d_1'}{L_s}\right)^2} \times 10^{-5} \quad (\Omega/cm)$$

- L_s : 도체 피치 (mm)
- d_1' : 도체 중심경 (mm)
- ρ_s : 도체의 고유저항 ($\mu\Omega \cdot cm$)
- d_1 : 도체 외경 (mm)
- d_0 : 도체 내경 (mm)

교류도체저항에 관련되는 표피효과 및 근접효과는 주파수에 의하여 도체에 흐르는 전류는 표면에 집중하여 흐르게 되는데 이는 교류저항을 증가시킨다. 이 효과에 의한 계수를 표피효과계수라 하며 베셀함수를 사용하여 계산할 수 있다. 여기에서 도체가 원형일 경우는 다음과 같이 표피효과 및 근접효과의 계수를 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

(a) 표피 효과

$$\lambda_s = F(X) = \frac{X(b_{\sigma}X \cdot b_{\sigma}'X - b_{\sigma}X \cdot b_{\sigma}'X)}{2\{(b_{\sigma}X)^2 + (b_{\sigma}'X)^2\}} - 1$$

$$X = \sqrt{\frac{8\pi f \mu_s \cdot K_A}{r_0 K_1 \times 10^3}}$$

K_A ~ 도체 계수 1

여기서 r_0 : 사용온도에서의 직류 최대 도체 저항 (Ω/cm)

μ_s : 도체의 비투자율

(b) 근접 효과

근접효과는 도체가 인접할 때 흐르는 전류에 의하여 전하가 반발함으로써 실제적인 도선단면적의 감소효과로 인해 저항성분이 증가함을 의미한다. 이 경우에는 직류일 경우에 이 효과는 발생하지 않는다.

$$\lambda_s = \frac{\frac{3}{2} \left(\frac{d_1}{S}\right)^2 G(X)}{1 - \frac{5}{24} \left(\frac{d_1}{S}\right)^2 H(X)}$$

d_1 : 도체 외경 (mm)

S : 도체 중심간 폭 (mm)

$$X' = \sqrt{0.8} X = 0.894 X$$

$$G(X) = \frac{X}{4} \frac{b_{\sigma}X \cdot b_{\sigma}'X + b_{\sigma}X \cdot b_{\sigma}'X}{(b_{\sigma}X)^2 + (b_{\sigma}'X)^2}$$

$$H(X) = \frac{F(X)}{G(X)}$$

다음에 도체가 원통형일 경우 도체 계수는 아래식과 같다.

$$K_A = \frac{d_1 - d_0}{d_1 + d_0} \left(\frac{d_1 + 2d_0}{d_1 + d_0}\right)^2$$

여기서, d_1 : 도체 외경 (mm)

d_0 : 도체 내경 (mm)

F(X) 및 G(X): 베셀함수

허용전류를 계산하는 열저항은 케이블에 온도차이가 있을 경우 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 열의 흐름이 발생하는데 이 흐름을 방해하는 것이 열저항이다. 일반적으로 절연체인 경우 열저항이 높고 도체인 경우는 열저항이 매우 낮다. 절연체의 A상과 B상사이의 절연두께에 의해 결정된다. 저임피던스 전선은 A상과 B상사이, B상과 C상사이, C상과 외피사이의 열저항은 절연체와 표면 방산 열저항으로 구분되며 아래와 같은 식으로 나타낸다.

먼저 절연체의 열저항은 아래와 같으며,

$$R_1 = \frac{\rho_1}{2\pi} \cdot \log e \frac{d_2}{d_1}$$

여기서, ρ_1 : 절연체의 고유 열저항 ($^{\circ}C \cdot cm/W$)

d_1 : 도체 외경 (mm)

d_2 : 절연 외경 (mm)

케이블의 표면 방산 열저항은 케이블 표면이 공기와 접할 경우 열의 흐름을 방해하게 되는데 이는 표면 반경이 작을수록 크게 되고 반경이 클수록 작게 되며, 식은 아래와 같다.

$$R_2 = \frac{10 \rho_2}{\pi d_3}$$

여기서, ρ_2 : 표면 방산 고유 열저항 ($^{\circ}C \cdot cm^2/W$)

d_3 : 케이블 외경 (mm)

허용전류를 좌우하는 유전체 손실에 의한 온도상승과 전열저항은 교류성분배의해 절연체의 손실이 온도가 증가할수록 커지나, 케이블의 전압이 낮을 경우(11kV)이하는 그 영향이 작기 때문에 무시해도 큰 영향을 미치지 않는다. 또한 전열저항은 아래식과 같다.

$$R_{th} = R_{11} + (1+P) R_{12}$$

여기서, R_{th} : 전열 저항 ($^{\circ}C \cdot cm/W$)

R_{11} : 내부 절연체 열저항

P: 내부 외부 도체의 발생 손실율

R_{12} : 외부 절연체 및 외부의 열저항

2. 실험장치 및 측정결과

3상 일괄형 케이블의 허용전류를 직접 측정하기 위하여 그림 1과 같은 회로를 갖는 장치를 제작하였다.

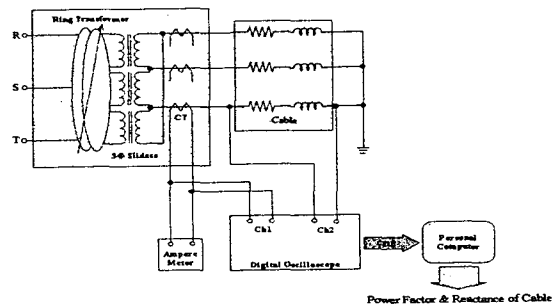


그림 1 3상 전원 및 측정회로도

3 상의 도체의 케이블을 시단은 3상전원에 중단은 일괄 접합을 한후 접지를 하였다. 중심A의 전류를 인가하면서 케이블의 표면 온도를 각각 측정하였다. 사용된 케이블의 구조는

그림 2와 같은 공심형 60sq로 케이블의 조장은 20m이다.

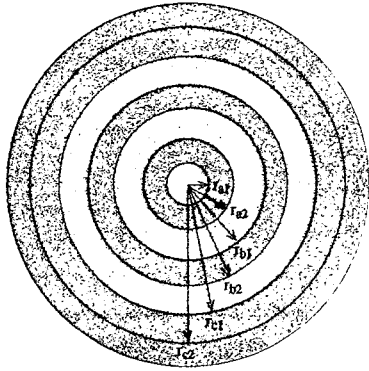


그림 2 케이블의 단면도

- r_{a1} : 제 1도체내반경[m]
- r_{a2} : 제 1도체외반경[m]
- r_{b1} : 제 2도체내반경[m]
- r_{b2} : 제 2도체외반경[m]
- r_{c1} : 제 3도체내반경[m]
- r_{c2} : 제 3도체외반경[m]

그림 3은 3상의 도체에 전류를 인가하면서 시스의 온도를 시간에 따라서 측정한 결과이다. 본 측정은 허용전류 계산값과 실험값이 얼마나 일치하는지를 확인하기 위한 결과이다. 실험결과로서 인가 허용전류와 시스의 온도는 계산값과 비교하여 90~95%정도의 범위내에서 일치되고 있다. 그러나 200A를 인가 하였을 때 180A와 비교하여 표면의 온도 차이가 없는 것은 3φ슬라이더스의 고전류에서의 자속포화에 의한 현상때문이라 생각된다.

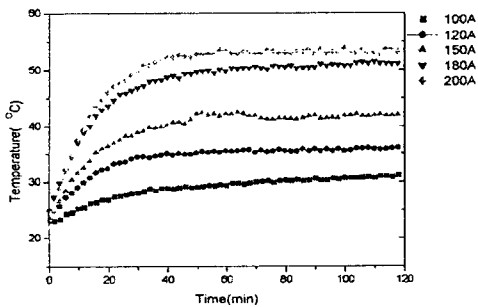


그림 3 도체전류에 따른 케이블의 표면온도 특성

표1은 본 실험을 통하여 얻어진 인가전류와 표면온도와의 관계를 나타낸 결과이다. 3상의 도체에 일정시간동안 인가전

류를 변경시켰을때 케이블의 표면 온도를 나타낸 결과이다. 이결과를 고찰하면 허용전류의 계산식은 3상 일괄 케이블의 허용전류식에 적합한 것으로 판단된다.

여기에서 인가전류는 실제 케이블에 흘린 전류를 말하며, 인가시간에 따른 일정온도에 도달하기 위한 전류를 계산전류라 말한다. 이와같은 초기온도와 최종온도의 값은 실험과 계산식이 95%범위로 유의하다는 것을 알 수 있었다. 본 계산은 JCS-168D에 의하여 허용전류를 계산한 값이다.

표 1. 계산전류와 통전전류의 상관관계

통전전류	100	120	150	180	200
계산전류	94	112	133	158	170
계산전류 통전전류	94 %	93.5%	88.6%	87.8%	85%
초기 온도	22.6	23.5	23.8	24.9	22.4
최종 온도	31.2	35.9	41.9	51	53

3. 결론

3상의 전원을 제작하여 3상 일괄형 케이블의 허용전류를 평가할 수 있었다. 이와같은 결과는 향후에 단상만이 아니고, 3상을 일괄로 측정 할 수 있는 방법을 제시하였다. 특히 3상 일괄 케이블의 허용전류 계산식을 전열저항 값을 케이블의 구조에 적합하도록 응용하여, 실제 인가전류에 의한 케이블의 표면온도의 측정을 통하여 허용전류의 계산식이 85~95% 범위의 적합성을 지니는 것을 확인할 수 있었다.

[참고문헌]

- [1] Ikeda. et al : Power Lines in Intelligent Buildings, The Institute of Electrical Engineers of Japan, Wire and Cable Research Group(EC89-2)
- [2] Ikeda nad Yoshikawa : Development of Twin Flat Type Low Impedance Cable, Proceedings of the 1988 Institute of Electrical Installation Engineers of Japan Symposium, pp 119(1988.9)
- [3] TWIN FLAT Low-Impedance Cable(TF-CV).Fujikura Technical Report No. 75, p. 60(1988. 10)