

국제 표준에 따른 저압간선 전압강하 계산시 적용 방법 고찰

(Application Method Analysis at Voltage Drop Calculations on Low Voltage Feeder by IEC Standard)

김기현* · 이주철 · 최영규 · 김한수 · 이영철

(Gi-Hyun Kim · Ju-Chul Lee · Young-Kyu Choi · Han-Soo Kim · Young-Chul Lee)

Abstract

A conductor has been produced according to IEC standard and low voltage electrical facility has been installed according to IEC 60364. But because of many related and varied standards, it is difficult to apply to design and inspect for electrical equipment. We researched the necessity of design guide which is detailed and systematization from survey. For detailed design guide, we suggest application method and review items at calculations for voltage drop calculations on low voltage feeder by IEC 60364, BS 7671 standard and Consumer's Electrical Installation Guide.

Key Words : Voltage Drop, Cross-Sectional Areas, Low Voltage Feeder, IEC 60364, Consumer's Electrical Installation Guide

1. 서 론

전선이 국제표준(IEC)과 부합화된 한국산업표준에 따라 생산이 되고 있지만, 시설 및 설치 관련 IEC, NEC 등 많은 국제 관련 표준(IEC60364, IEC62305, 61936-1, NEC, NESC 등)에 규정되어 있어 현장에서 전기설비의 설계에 적용하기가 쉽지 않아 상세하고 체계화된 설계지침 등 설계관련 기술 자료가 필요한 것으로 조사되었다[1]. 그 중 하나로 전압강하의 국제 표준(IEC 60364, BS 7671)에서 제시하는 부분과 이를

적용할 때 필요한 요소를 검토하고, 국내에서 적용하고 있는 간이식과 비교분석을 하였다. 따라서 국제 표준에서 정의하는 전압강하율과 또한 이를 계산하기 위한 방식과 국내와의 차이점을 분석하였다. 추후로 전압강하 계산시 국내 규정 및 국제 표준을 적용시 검토 사항으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 국제 표준 적용 관련 조사 분석

전기설비기술기준에 국제표준 KS C IEC 60364를 도입한지 7년이 지난 현재 국제표준 적용에 대한 설문을 국내 전기관련 산업 중 전기설계, 시공, 공공기관 등에 종사자를 대상으로 국제표준 적용에 대한 설문을 2011.11월~2011.12월에 걸쳐 실시하였다. 그럼 1은 현재 국내 건축물 설계 시 검토되고, 반영되어야 하는

* 주저자 : 대한전기협회 기술기준처 부장
Tel : 02-3393-7664, Fax : 02-3393-7689
E-mail : ghkim51@electricity.or.kr
접수일자 : 2012년 3월 22일
1차심사 : 2012년 3월 24일
심사완료 : 2012년 4월 24일

표준 및 규정에 대한 설문에 대한 응답으로 대부분 전기설비기술기준 및 내선규정이 활용되는 것을 확인할 수 있다. 또한 유럽의 IEC 표준, BS, 북미의 IEEE, NEC, NESC 표준도 설계에 검토·활용되고 있는 것을 확인할 수 있었다.

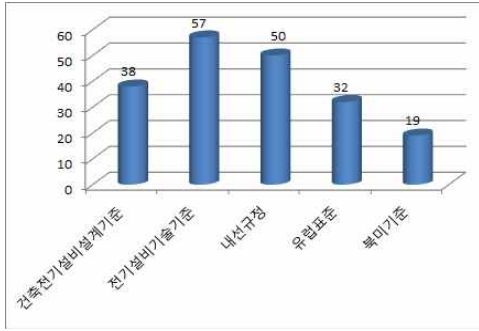


그림 1. 현재 국내 설계 시 반영되는 규격 현황
Fig. 1. The status of internal code applied at planing

또한 그림 2는 IEC 국제표준을 적용하여 설계를 할 경우 문제점이나 어려움에 대한 설문으로 가장 적용하기 어려운 이유로는 국내·IEC 체계의 상이점 및 관련 규정이 산재되어 있어 설계시 찾아 적용하기 어렵다는 응답이 전체 50[%]를 차지하고 있다. 또한 구체적인 설계 기준 자료 및 지침서 부족도 적용하기 어려운 이유로 들고 있다.

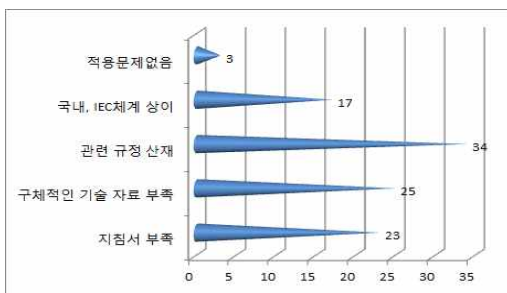


그림 2. 국제 표준 현장 적용의 어려운 원인
Fig. 2. The cause of problems at applying IEC standard

따라서 국제 표준 적용 시 관련 규격이 너무 많이 산재되어 있어 적용하기 어렵고, 적용해도 적합성 부분에 대해 의문이 많이 있어 이를 해결하기 위한 상세

건축전기설비 설계 지침의 필요성을 확인하였으며 이번엔 저압 간선 전압강하 계산시 적용 방법을 분석·고찰한다.

3. 전압강하 계산 방법 분석

3.1 정식 및 간이식 계산 방법

전선에 전류가 흐르면 전선의 임피던스로 인하여 전원 측 전압보다 부하 측 전압이 낮아진다. 이것을 전압강하라고 하며 전압이 너무 낮으면 전등은 광속이 감소하고, 전동기는 토크가 감소하는 등 많은 이상 현상이 나타나게 된다. 전압강하는 전선 단면적에 반비례하므로 전선을 굵게 하면 해결되나 경제적인 면에서 적절한 굵기를 선택하기 위한 기준으로 내선규정에서는 전기사업자는 간선 및 분기회로에서 각각 표준전압의 2[%]이하로 하는 것을 원칙으로 한다[2]. 다만 전기 사용 장소 안에 시설한 변압기에 의하여 공급되는 경우 간선의 전압강하는 3[%] 이하로 할 수 있다. 또한 최 원단의 부하에 이르는 전선길이가 60[m]을 초과하는 경우는 전용변압기 사용과 전기사업자로 공급 받는 경우에 따라 전압강하 적용률이 다르게 되어 있다[2].

3.1.1 정식 전압강하 계산법

교류회로에서의 전압강하는 직류회로와는 달리 부하역률, 회로의 유도리액턴스, 표피효과 등에 영향을 받으며 정상상태의 교류 회로 1상당에 대한 전압강하는 식 (1)에 의해 V_d 로 나타낼 수 있고, 그림 1과 이 표시할 수 있다. 간선의 전압강하 V_d 는 전원 측 전압 (E_s)에서 부하 측 전압(E_r) 사이의 전선에서 발생하는 전압 강하로 계산된다[3].

$$E_s = E_r + (IR\cos\theta + IX\sin\theta) + j(IX\cos\theta - IR\sin\theta)$$

$$V_d = E_s - E_r = (IR\cos\theta + IX\sin\theta) + j(IX\cos\theta - IR\sin\theta) \quad (1)$$

위 식에서 j 항은, 간선거리가 비교적 짧으면 무시

할 수 있으므로, 전압강하 식을 간략화하면 식 (2)와 같다.

$$V_d = E_s - E_r \tag{2}$$

$$= I(R\cos\theta + X\sin\theta)$$

식 (2)에서 등가임피던스 $R\cos\theta + X\sin\theta$ 는 전선 굵기, 간격, 부하 역률에 따라 정해지는 것이며, 사전에 단위길이당의 등가임피던스 [Ω/m]을 활용할 수 있다.

3.1.2 간이 전압강하 계산법

전기 설비의 교류회로에서의 배선 도체저항은 온도 상승, 표피 효과, 근접효과에 따라 직류 저항치보다 증가하지만 무시하고 있다[2-3]. 간이 계산식은 직류회로의 전압강하를 나타내는 식 (3)과 R 값을 단면적 S로 변경한 것으로 식 (4)를 이용하여 표 1과 같이 배전 방식에 따라 전압강하 식을 정의하였다.

표 1. 간이 전압강하의 공식
Table 1. Equation of simplified voltage drop

전기 방식	전압강하 식	비고
단상 2선식	$e = \frac{35.6 IL}{1000A}$	선간
3상 3선식	$e = \frac{30.8 IL}{1000A}$	선간
단상 3선식 및 3상 4선식	$e = \frac{17.8 IL}{1000A}$	대지간

$$V_d = 2LIR \tag{3}$$

여기서 L : 선로의 길이 [m]
I : 부하 전류 [A]
R : 선로 저항 [Ω]

$$R = \rho \frac{L}{S} [\Omega] \tag{4}$$

식 (4)에서 ρ 값은 도체의 도전을 및 고유저항 값으로 기준온도 20[$^{\circ}C$]에서 경동선의 고유 저항 값을 기준으로 한 것으로 약 17.8의 값이 산출된다. 간이 계산식의 경우는 이를 기준으로 전기 방식에 따라 단상 2

선식의 경우 35.6(17.8 \times 2), 3상 3선식은 30.8(17.8 $\times\sqrt{3}$), 단상 3선식 또는 3상 4선식의 경우는 17.8(17.8 \times 1)을 적용한 것으로 표 2와 같다[3-4].

3.2 국제 표준에서의 전압강하 계산식

IEC 60364-5-52 부속서 G에 의하면 표 2에서 정의하는 전압강하를 초과하지 않도록 규정하고 있다[5,6]. 부하전류가 흐를 때 회로의 시작점과 부하기기 단자 사이에는 임피던스에 의한 전압강하가 발생한다. 따라서 부하의 단자전압이 정확한 성능에 요구되는 한계 이내로 유지할 수 있도록 전 부하전류가 흐르는 상태에서 도체의 단면적을 결정할 필요가 있다. 최대 전압강하는 국가에 따라 각각 다를 수 있지만 IEC 표준에서 저압설비에 대한 전압강하율은 표 2와 같이 제시하고 있다.

표 2. 전압 강하율
Table 2. Percentage voltage drop

설비의 유형	조명	기타 용도 (난방 및 동력)
A : 저압 일반 배전계통으로부터 저압 인입점	3[%]	5[%]
B : 일반 배전용 중압계통으로부터 공급되는 수용가 중압/저압 변전소	6[%]	8[%]

(*) 각 최종회로 안의 전압강하는 (A)에서 주어진 값을 초과해서는 안 된다. 설비기기의 배선설비가 100[m]보다 긴 경우에는 위에서 제시한 전압강하가 100[m]를 초과하는 배선설비의 미터 당 0.005[%] 씩 증가할 수 있다. 이 증가가 0.5[%] 보다 커서는 안 된다. 전압강하는 기기의 수요에 의해 결정되며, 부동률 혹은 회로의 설계전류 값에 영향을 받는다.

이러한 전압강하의 한계는 통상 정상상태 운전조건인 경우이며, 기동전류가 큰 전동기를 기동시킬 때는, 몇 개의 부하를 동시에 개폐시킬 때는 적용되지 않는다. 전압강하가 표 2에 주어진 값을 초과하면, 더 굵은

케이블이나 전선을 사용해야 한다. IEC 60364에서 국내의 간이계산식에 의해서 전압강하를 계산하는 식은 제시되어 있지 않고 BS 7671 부속서 12에서 표 2와 동일한 전압강하율을 적용하고 있고, 설계자가 회로의 전압강하를 계산할 때 단순 계산 접근을 할 수 있도록 식과 관련 테이블을 제시하고 있다[7-8]. 일반적으로 전압강하를 계산할 때 설계자는 처음에는 간단한 접근을 하고, 추후에 훨씬 정확한 방법으로 고려할 것이다. 단순 접근으로부터 얻어진 값이 단지 설계 값의 여유 값에 근접했을 경우 설계자는 도체 단면적의 증가를 사전에 방지하기 위해 더욱 정확한 방법을 사용해서 다시 계산을 할 것이다.

3.2.1 영국 표준(BS 7671)에 따른 전압강하 계산법

전압강하는 전선 허용전류 계산을 위해 중요한 요소의 하나로 설치 길이 및 조건, 온도, 부하 역률 등을 고려하여 계산을 해야 한다. 하지만 이 경우에 대한 정확한 정보가 있지 않을 경우에는 개략적으로 전선의 전압강하 및 허용전류를 계산하게 된다. BS 7671에서는 표로 제시한 값을 이용하여 전압강하 계산 방법에 대해 제시를 하고 있다[7,8]. 표 3은 전선 도체 굵기 및 AC, DC 회로에서 사용하는 전압 강하 식을 제시하고 있다.

표 3. 국제표준에서 간이 전압강하의 공식
Table 3. Equation of simplified voltage drop for IEC

도체 단면적 [mm ²]	전압강하 식
16[mm ²] 이하 또는 DC 회로 도체	$\frac{(mV/A/m) \times I_b \times l}{1000} [V]$
25[mm ²] 이상의 도체	$\frac{(mV/A/m)_z \times I_b \times l}{1000} [V]$

BS 7671의 부속서 4에서 전압강하 테이블에서 기준 계수(mV/A/m) 값이 주어진다[7]. I_b 는 회로의 설계 전류 값을 표시하고, 길이 l [m]은 설계 케이블의 길이 값을 표시한다. 16[mm²] 또는 그 이하의 단면적인 도체를 가진 케이블에 대한 인덕턴스는 무시할 수 있으며,

기준계수(mV/A/m) 값은 도표화되어져 있다. 16[mm²]보다 더 큰 도체를 가진 케이블에서는 단면적의 임피던스 값은 저항성분(mV/A/m)r과 무효성분(mV/A/m)x과 함께, (mV/A/m)z로서 주어진다. AC 회로에서 역률에 대하여 전압강하를 계산하기 위한 표 기준계수(mV/A/m) 값 (대형 케이블 크기에 대한 표에 나타난 기준계수(mV/A/m)z 값의 사용은 케이블의 위상각이 부하의 위상각과 동일할 때 엄밀히 말하면 정확하다. 케이블의 위상각이 부하의 위상각과 동일하지 않을 때는 표 기준계수(mV/A/m) 또는 (mV/A/m)z 값의 직접적인 사용은 실제 값보다 더 큰 전압강하의 계산된 값이 발생할 수 있다. 어떤 경우에 따라서는 전압강하를 계산할 때 부하역률을 고려하는 것이 유리할 수도 있다. 따라서 전압강하의 더 정확한 평가를 위해서는 온도 보정, 부하 역률 보정 방법이 사용된다.

3.2.2 동작온도의 보정

16[mm²] 또는 그 이하의 단면적인 도체를 갖는 케이블에 관련해서는 [mV/A/m]의 설계 값은 표의 값을 계수 c_t 로 곱함으로써 얻어지고, c_t 의 값은 식 (5)과 같이 계산을 한다.

$$C_t = \frac{230 + t_1}{230 + t_p} \tag{5}$$

여기서

t_p : 최대 허용되는 정격 허용 도체 온도, [°C]

t_1 은 다음 식 (6)과 같이 계산을 한다.

$$t_1 = t_a + \frac{I_b^2}{I_{ta}^2} (t_p - t_r) [°C] \tag{6}$$

t_a : 현장 또는 예측되는 온도 [°C]

t_r : 기준 주위 온도 [°C] (BS7671에서 30°C)

I_b : 회로의 설계 전류 [A]

I_{ta} : 최대 허용 전류 [A]

t_p 는 최대 정격 허용 동작 온도이다. 이 등식은 단지

BS 3036 퓨즈와 다른 과전류 보호 장치, 그리고 실제 주위 온도가 30[°C]이거나 30[°C]보다 더 큰 곳의 경우에 적용된다. 16[mm²] 보다 더 큰 도체의 단면적을 갖는 케이블에 대해서는 오직 전압강하의 저항성분은 온도에 의해 영향을 받고, 그러므로 계수 C_1 는 오직 (mV/A/m)의 표의 값에 적용되고, (mV/A/m)z의 설계 값은 C_1 (mV/A/m)r 과 (mV/A/m)x의 백터의 합에 의해서 주어진다. 전압강하의 저항성분이 해당되는 리액턴스 부분(즉 $x/r \geq 3$ 일 때)에 비해 훨씬 작은 경우에, 매우 큰 도체의 크기에 대해서는 보정 계수를 고려할 필요가 없다.

3.2.3 부하역률 보정

16[mm²] 또는 그 이하의 도체를 갖는 케이블에서의 mV/A/m의 설계 값은 표의 값을 부하의 역률(cos ϕ)로 곱함으로써 대략적으로 구할 수 있다. 16[mm²] 이상의 단면적인 도체를 갖는 케이블에서의 mV/A/m의 설계 값은 다음 식 (7)에 의해서 얻을 수 있다.

$$\cos\theta \times ((mV/A/m)r) + \sin\theta \times ((mV/A/m)x) \quad (7)$$

평평한 구조에서의 단심케이블에서의 표의 값은 외장케이블에 적용되며, 240[mm²] 이상의 단면적 그리고 0.8 이상의 역률일 때는 외부케이블과 중심케이블의 사이에서의 전압강하에 대해서는 경시될 수도 있다.

3.2.4 국내·외 전압강하 적용 방법 비교

국내 내선규정에서 정의하고 있는 간의 계산 방법과 IEC 60364와 IEC 규정에서 인용하고 있는 BS7671에서 적용하고 있는 표 3의 방식에 따른 전압강하를 비교하였다.

전압강하 계산 예로 단상회로에서 10[mm²] 단면적으로 2심 MI케이블, 구리도체, PVC를 사용한다. 사용 길이가 40[m], $I_b = 65$ [A]일 때 전압강하는 얼마인가?

1) IEC 60364와 BS7671에서 적용하고 있는 표 3의 간이 전압강하 적용 시

단상 회로에 적합한 테이블은 표 4G1B의 세로줄 두 번째를 이용하면[7], (mV/A/m) 값이 4.2를 얻을 수 있

으므로 전압강하는 표 3에서 정의한 다음 식에 의해 계산된다.

$$e = \frac{(mV/A/m) \times I_b \times l}{1000} \quad V$$

$$= \frac{4.2 \times 65 \times 40}{1000} = 10.9 \quad V$$

2) 내선규정에서 정의하고 있는 표 1의 전압강하 식 적용 시

단상 회로의 이므로 표에서 제시한 식을 사용하고 설계전류와 사용 길이, 단면적을 적용하면 다음과 같이 계산된다.

$$e = \frac{35.6 \times I \times L}{1000 \times A}$$

$$= \frac{37.8 \times 65 \times 40}{1000 \times 10} = 9.8 \quad V$$

같은 조건을 국제 표준과 국내 규정에서 정의하는 식을 적용하였을 때 전압강하 계산 값이 국내가 적게 계산되어 허용전류 계산시에 국제 표준을 적용할 때 보다 적은 굵기의 도체를 사용할 가능성이 크다. 도체 굵기 산정은 온도와 허용전류, 전압강하, 보호기기 등을 검토해서 선정하도록 되어 있어서 전압강하의 계산 시 보다 정확하게 계산이 되어야 할 장소에서는 적용 시 검토가 필요하다고 판단이 된다.

4. 결 론

국제 표준에서 정의하는 허용 최대 전압강하율과 전압강하 계산 방법과 국내 적용 규정에 대해서 조사하였다. 또한 같은 조건에서 국제 표준과 국내 규정에서 정의하는 식을 적용하였을 때 계산 값이 적어 허용전류 계산시에 국제 표준을 적용할 때 보다 적은 굵기의 도체를 사용할 가능성이 있다. 따라서 국제 표준에서 정의하는 전압강하율과 또한 이를 계산하기 위한 방식을 분석하여 국내와의 차이점을 제시하였다. 추후로 전압강하 계산시 국내 규정 및 국제 표준 적용시 현장 상황에 따른 적용 방법이 검토되어 전선의 굵기

산정에 필요한 전압강하 부분을 보다 타당하게 산정하여 회로의 안전성 및 경제성을 확인할 필요가 있다고 판단된다.

본 연구는 국토해양부 R&D정책인프라 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- [1] Gi-Hyun Kim, Ju-Chul Lee, Young-Kyu Choi, Han-Su Kim, Young-Chul Lee, "Assessment method and Calculations for Protective conductor of TN-S system and IEC 60364 application", KIIEE, Vol. 26, No 2, 2012. 02.
- [2] Consumer's Electrical Installation Guide, Korea electric Association, 2010.
- [3] Hong-Kyoo Choi, Young-gon Ko, yeh-Sool Cho, "Algorithm for the Low-Voltage Feeder Design in Consideration of Voltage Drop", KIIEE, Vol.16, No.3 2002, pp 84-92.
- [4] Myung-Hwan Lim, "Study on Reduction Factor in Allowable Current of IEC Low-voltage Wire", Hongik University, 2010.
- [5] KS C IEC 60364-series : 2008.
- [6] Electrical installations handbook of Germany (EDITION 3), OMN PLS, 2008.
- [7] IEE Wiring Regulations, 'Requirements for Electrical Installations' BS 7671, 2008.
- [8] Electrical Installation Calculations for compliance with BS 7671, Forth Edition, ECA, 2008.

◆ 저자소개 ◆



김기현 (金基鉉)
 1971년 5월 1일생. 1997년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 졸업(석사). 2007년 동 대학원 졸업(박사). 2003~2011년 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원 근무. 전기안전기술사. 2011년 11월~현재 대한전기협회 기술기준처 부장.



이주철 (李柱喆)
 1960년 6월 4일생. 1994년 서울과학기술대 졸업. 2010년 서울시립대 전기공학과 석사과정. 한국전기안전공사 과장. 2001년~현재 대한전기협회 기술기준처 실장.



최영규 (崔永圭)
 1963년 10월 19일생. 1986년 전북대학교 졸업. 1990~2005년 한국전력기술 근무. 2005~2011년 현대엔지니어링 등 근무. 2011년~현재 대한전기협회 기술기준처 팀장.



김한수 (金漢洙)
 1964년 7월 21일생. 1992년 부경대 전기공학과 졸업. 1994년 경성대 산업공학과 졸업(석사). 2008년 서울과기대 신에너지공학과 졸업(박사). 1983~1997년 한국전력공사 근무. 1997년~현재 대한전기협회 기술기준처 처장. 본 학회 사업이사.



이영철 (李永喆)
 1952년 6월 11일생. 1972년 조선이공대 졸업. 1993년 광주대 전기공학과 졸업. 1996년 전남대 전기공학과 졸업(석사). 1979~2011년 한국전기안전공사 전기안전교육원 원장. 건축전기설비기술사. 전기안전기술사. 2011년 10월~현재 대한전기협회 기술기준처 연구위원.