

IEC 저압간선의 허용전류 감소계수에 관한 연구

(A Study on Reduction Factor in Allowable Current of IEC Low-Voltage Wire)

송영주* · 임명환 · 최대원 · 김도형 · 염성배**

(Young-Joo Song · Myung-Hwan Lim · Dae-Won Choi · Do-Hyung Kim · Sung-Bae Yeum)

Abstract

A low voltage wire should be used considering that a load used in the end is a low voltage. In regard to these wires, there are needs for research about the wire thickness calculation in accordance with IEC standard because the standardization process for IEC (KS standard) was completed on June 30, 2005, and they stopped producing NEC-standard products by the order from Korean Agency for Technology and Standards under Ministry of Knowledge Economy (former Ministry of Commerce, Industry and Energy) since July 1, 2006.

This study compared, in terms of the thickness calculation of low voltage wire, a reduction factor application by IEC standard about allowed current and an application for calculation of voltage drop. It also proposed the formula for IEC standard to decrease errors and resolve the difficulty of standardized calculation by analyzing the difference between simplified formula and standardized formula that are the most frequently used calculation method of voltage drop.

Key Words : IEC Standard, Reduction Factor, Voltage Drop

1. 서 론

사용하고자 하는 전압이 낮을수록 전력운송 문제를 소홀히 다룰 수 없다. 최종적으로 사용되는 부하가 저압인 만큼 신중을 기해 선정·사용되어야 하는 것이 저압간선이다.

전선 관련 KS 규격의 IEC 부합화를 위한 정비가

2005년 6월 30일 완료되었고 산업자원부(현 지식경제부) 기술표준원 고시 제 2004-850(2004.11.10)호에 의하여 2006년 7월 1일 이후 NEC 규격에 의한 제품의 생산이 중단되고 IEC 규격에 부합한 제품이 생산되고 있다. 따라서 IEC 규격에 적합한 전선의 굵기산정에 관한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 저압간선의 굵기 산정에 있어 허용전류에 대한 IEC 규격에 따른 감소계수 적용과 전압강하 계산 적용방식을 비교하고 가장 많이 사용되는 전압강하 계산방식인 간이계산식과 그 정식계산식에 대한 차이점을 분석하여 이에 따른 오차를 줄이고, 정식계산의 까다로움을 해소할 수 있는 IEC 규격에 대한

* 주저자 : 동신대학교 소방행정학과 교수
** 교신저자 : 홍익대학교 화학공학과 교수
Tel : 061-330-3563, Fax : 061-330-3568
E-mail : dewangell@dreamwiz.com
접수일자 : 2010년 7월 5일
1차심사 : 2010년 7월 9일
심사완료 : 2010년 8월 17일

계산공식을 제시하여 비교하였다.

2. 본 론

2.1 전압강하

전선에 전류를 흐르게 하면 전선의 임피던스로 인하여 전원측 전압보다 부하측 전압이 낮아진다. 이것을 전압강하라고 하며 전압이 너무 낮아지면 전등의 광속감소, 전동기의 토크 감소 등 많은 이상 현상이 나타난다. 전압강하는 전선 단면적에 반비례하므로 전선을 굵게 하면 해결되나 경제적인 면에서 적절한 굵기를 선택하기 위한 기준으로 전기사업자의 간선 및 분기회로에서 각각 표준전압의 2[%] 이하로 하는 것을 원칙으로 한다. 다만 전기 사용 장소 안에 시설한 변압기에 의하여 공급되는 경우 간선의 전압강하는 3[%] 이하로 할 수 있다. 또한 최 말단의 부하에 이르는 전선길이가 60[m]를 초과하는 경우의 전압강하는 부하 전류로 계산하며 표 1에 의한다[1-3].

현재 대다수의 설계가 간이계산법에 의한 전압강하 공식이 적용되고 있는 실정이다. 이는 직류저항 20[°C]를 기준으로 한 연동선의 계산식으로서 직류 저항대비 교류 임피던스 값이 온도에 따라 현저한 변화를 가져오므로 간이 계산법으로는 실제 계산 결과와는 달리 허용 기준 값보다 전압변동이 큰 상태로 설계되고 있다[4].

표 1. 전선길이 60[m] 초과 시의 전압강하
Table 1. Voltage Drop When Exceeding 60[m] of Wire Length

공급변압기 2차측 단자 또는 인입선 접속점에서 최원단 부하에 이르는 사이의 전선길이 [m]	전 압 강 하[%]	
	사용장소 안에 시설한 전용 변압기에서 공급하는 경우	전기 사업자로부터 저압으로 전기를 공급받는 경우
120 이하	5 이하	4 이하
200 이하	6 이하	5 이하
200 초과	7 이하	6 이하

2.2 전압강하 간이계산식과 정식계산

2.2.1 전압강하 정식계산[3]

교류회로의 단상에 대하여 단상 등가회로는 그림 1과 같으며 수전단 전압(E_R)을 기준으로 한다.

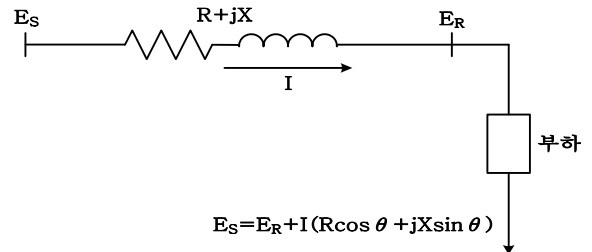


그림 1. 전압강하 등가 회로
Fig. 1. Equivalent Circuit of Voltage Drop

따라서 송전단 전압(E_S)과 수전단 전압(E_R)을 표시하면 식 (1), 식 (2)와 같다.

$$E_S = \sqrt{(E_R \cos \theta + IR)^2 + (E_R \sin \theta + IX)^2} \quad (1)$$

$$E_R = \sqrt{E_S^2 - (IX \cos \theta - IR \sin \theta)^2} - IR \cos \theta - IX \sin \theta \quad (2)$$

또한 E_S 와 E_R 을 벡터로 나타내면 식 (3)과 같다.

$$\vec{E}_S = (\vec{E}_R + IR \cos \theta + IX \sin \theta) + jI(X \cos \theta - R \sin \theta) \quad (3)$$

식 (3)에서 j 항은 실수부에 비해 극히 작은 값으로 간선거리가 3,000[m] 이내에서는 무시하여도 결과값은 차이가 없으므로 간략화하면 식 (4)와 같다.

$$E_S \approx E_R + IR \cos \theta + IX \sin \theta \quad (4)$$

식 (4)에서 구하고자하는 단위길이당의 전압강하 $e = E_S - E_R$ 는 이므로 식 (5)와 같다.

$$e = I(R \cos \theta + X \sin \theta) \quad (5)$$

실제 실무에서의 전압강하는 전기배선 방식에 따른 계수와 길이를 고려하여야 하므로 식 (6)과 같이 표현 된다.

$$e = K_w (R \cos \theta + X \sin \theta) \cdot I \cdot l \quad (6)$$

여기서 K_w 는 전기 배선방식으로서 표 2를 적용한다.

표 3. K_w 의 계수
Table 3. Factor of K_w

전기 배선 방식	K_w
단상 2선식 및 직류 2선식	2
3상 3선식	$\sqrt{3}$
단상 3선식 및 3상 4선식	1

2.2.2 전압강하 간이식계산

전기 설비의 교류회로에서의 배선 도체저항은 온도 상승, 표피효과, 근접효과에 따라 직류 저항치보다 증가하지만 무시하고 있으며 전압강하 계산 간이식은 표 3을 적용한다[1,5].

표 4. 전압강하 및 전선 단면적 계산식
Table 4. Formula of Voltage Drop and Wire Thickness

전기 배선 방식	전압강하	전선 단면적
단상 2선식 및 직류 2선식	$e = \frac{35.6 \ell I}{1000 S}$	$S = \frac{35.6 \ell I}{1000 e}$
3상 3선식	$e = \frac{30.8 \ell I}{1000 S}$	$S = \frac{30.8 \ell I}{1000 e}$
단상 3선식, 직류 3선식 및 3상 4선식	$e = \frac{17.8 \ell I}{1000 S}$	$S = \frac{17.8 \ell I}{1000 e}$

표 3의 각 공식은 회로의 각 외측선 또는 각 상전선이 평행했을 경우에 대한 것으로 전선의 도전율은 97[%]로 되어 있다.

2.3 IEC 규격과 NEC 규격의 정식계산에 따른 선로정수의 차이점 비교

케이블의 선로저항은 『전기설비 기술계산 핸드북』의 식에 따라 [XLPE 케이블]의 케이블 자료를 이용하였다. 표 4~7은 IEC와 NEC 규격에 따른 선로정수로 계산된 결과 값으로 케이블의 규격에 따라 달라지는 선로정수를 나타내었다[2,6]. 비교를 위하여 IEC 규격과 NEC 규격 모두를 나타냈으며 표4, 표5는 IEC 규격이며, 표 6, 표 7은 NEC 규격에 따른 선로정수 계산결과를 나타낸 것이다.

표 5. IEC 규격 간선의 최대온도에 대한 직류저항대비 교류 임피던스값(20℃)

Table 5. AC Impedance Value opposed to Direct Current Resistance about Maximum Temperature of IEC standardized wire(20℃)

R/X변화 전선규격	직류저항 [Ω-20℃]	교류 임피던스[60Hz][Ω/km-20℃]			
		R	X	Z	cosθ
1.5[mm ²]	12.1	12.1000	0.1361	12.1008	0.9999
2.5[mm ²]	7.41	7.4100	0.1284	7.4111	0.9998
4[mm ²]	4.61	4.6100	0.1215	4.6116	0.9997
6[mm ²]	3.08	3.0800	0.1165	3.0822	0.9993
10[mm ²]	1.83	1.8300	0.1109	1.8334	0.9982
16[mm ²]	1.15	1.1500	0.1082	1.1551	0.9956
25[mm ²]	0.727	0.7270	0.1911	0.7517	0.9671
35[mm ²]	0.524	0.5245	0.1856	0.5564	0.9427
50[mm ²]	0.387	0.3875	0.1847	0.4292	0.9027
70[mm ²]	0.268	0.2686	0.1801	0.3234	0.8307
95[mm ²]	0.193	0.1937	0.1773	0.2626	0.7377
120[mm ²]	0.153	0.1540	0.1757	0.2336	0.6590
150[mm ²]	0.124	0.1252	0.1761	0.2161	0.5796
185[mm ²]	0.0991	0.1006	0.1749	0.2018	0.4987
240[mm ²]	0.0754	0.0774	0.1742	0.1906	0.4062
300[mm ²]	0.0601	0.0626	0.1720	0.1830	0.3420

표 6. IEC 규격 간선의 최대온도에 대한 직류저항대비 교류 임피던스값(90℃)

Table 6. AC Impedance Value opposed to Direct Current Resistance about Maximum Temperature of IEC standardized wire(90℃)

R/X변화 전선규격	직류저항 [Ω-20℃]	교류 임피던스[60Hz][Ω/km-90℃]			
		R	X	Z	cosθ
1.5[mm ²]	12.1	15.4287	0.1361	15.4293	1.0000
2.5[mm ²]	7.41	9.4485	0.1284	9.4494	0.9999
4[mm ²]	4.61	5.8782	0.1215	5.8795	0.9998
6[mm ²]	3.08	3.9273	0.1165	3.9290	0.9996
10[mm ²]	1.83	2.3334	0.1109	2.3361	0.9989
16[mm ²]	1.15	1.4664	0.1082	1.4704	0.9973
25[mm ²]	0.727	0.9270	0.1911	0.9465	0.9794
35[mm ²]	0.524	0.6682	0.1856	0.6934	0.9635
50[mm ²]	0.387	0.4940	0.1847	0.5274	0.9367
70[mm ²]	0.268	0.3422	0.1801	0.3867	0.8849
95[mm ²]	0.193	0.2467	0.1773	0.3038	0.8121
120[mm ²]	0.153	0.1958	0.1757	0.2631	0.7443
150[mm ²]	0.124	0.1591	0.1761	0.2373	0.6704
185[mm ²]	0.0991	0.1276	0.1749	0.2165	0.5895

R/X변화 전선규격	직류저항 [Ω-20℃]	교류 임피던스[60Hz][Ω/km-90℃]			
		R	X	Z	cosθ
240[mm ²]	0.0754	0.0978	0.1742	0.1997	0.4894
300[mm ²]	0.0601	0.0786	0.1720	0.1891	0.4158

표 7. NEC 규격 간선의 최대온도에 대한 직류저항대비 교류 임피던스값(20℃)
Table 7. AC Impedance Value opposed to Direct Current Resistance about Maximum Temperature of NEC standardized wire(20℃)

R/X변화 전선규격	직류저항 [Ω-20℃]	교류 임피던스[60Hz][Ω/km-20℃]			
		R	X	Z	cosθ
2.0[mm ²]	9.42	9.42	0.2075	9.4222	0.99
3.5[mm ²]	5.3	5.3	0.1955	5.3036	0.99
5.5[mm ²]	3.4	3.4	0.1899	3.4053	0.99
8[mm ²]	2.34	2.34	0.1854	2.3473	0.99
14[mm ²]	1.34	1.34	0.1752	1.3514	0.99
22[mm ²]	0.849	0.849	0.1721	0.8662	0.98
38[mm ²]	0.491	0.4915	0.1639	0.5181	0.94
60[mm ²]	0.311	0.3114	0.1618	0.3509	0.88
100[mm ²]	0.187	0.1877	0.1618	0.2478	0.75
150[mm ²]	0.124	0.1252	0.1571	0.2009	0.62
200[mm ²]	0.0933	0.0949	0.1582	0.1845	0.51
250[mm ²]	0.0754	0.0774	0.1552	0.1735	0.44
325[mm ²]	0.0579	0.0605	0.1538	0.1653	0.36

표 8. NEC 규격 간선의 최대온도에 대한 직류저항대비 교류 임피던스값(90℃)
Table 8. AC Impedance Value opposed to Direct Current Resistance about Maximum Temperature of NEC standardized wire(90℃)

R/X변화 전선규격	직류저항 [Ω-20℃]	교류 임피던스[60Hz][Ω/km-90℃]			
		R	X	Z	cosθ
2.0[mm ²]	9.42	12.011	0.2075	12.013	0.99
3.5[mm ²]	5.3	6.7580	0.1096	6.7589	0.99
5.5[mm ²]	3.4	4.3353	0.1096	4.3367	0.99
8[mm ²]	2.34	2.9837	0.1059	2.9856	0.99
14[mm ²]	1.34	1.7086	0.0993	1.7115	0.99
22[mm ²]	0.849	1.0825	0.0984	1.0870	0.99
38[mm ²]	0.491	0.6260	0.0925	0.6328	0.98
60[mm ²]	0.311	0.3976	0.0921	0.4082	0.97
100[mm ²]	0.187	0.2397	0.0928	0.2570	0.93
150[mm ²]	0.124	0.1602	0.0892	0.1834	0.87

R/X변화 전선규격	직류저항 [Ω-20℃]	교류 임피던스[60Hz][Ω/km-90℃]			
		R	X	Z	cosθ
200[mm ²]	0.0933	0.1215	0.0905	0.1516	0.80
250[mm ²]	0.0754	0.0996	0.0887	0.1334	0.74
325[mm ²]	0.0579	0.0783	0.0867	0.1169	0.67

표 8은 150[mm²] 케이블을 예로 들어 교류도체의 실효저항을 구하는 과정을 나타낸 것이다.

표 9. 교류도체 실효저항값 계산 결과표
Table 9. Result Table of AC conductor Effective Resistance Calculation

입력값	r_0 [Ω/km-20℃]	동 / 알루미늄	사용온도 [℃]	도체외경 [mm]	분할구분	도체중심 간격[mm]	주파수 [Hz]												
	0.0000012	동	90	147	비분할	18.7	60												
출력값	$r =$			1.60281E-06 [Ω/cm]	0.160281122E-06 [Ω/cm]		도체급기 150C												
$r =$ 사용온도에서의 교류도체 실효저항 $r = r_0 \times k_1 \times k_2 = 1.603E-06$																			
$r_0 = 20[℃]$ 에서의 직류최대 도체저항[Ω/cm] = 1.24E-06																			
사용온도에서 도체저항 20[℃] 도체저항비 $k_1 = 1 + a(T_1 - 20) = 1.2751$																			
$k_1 =$	여기서 a 는		동	0.00393	선택 : 동	0.00393													
	저항온도계수로		알루미늄	0.00403															
$T_1 =$ 사용온도[℃] = 90																			
교류저항과 직류저항비 $k_2 = 1 + \lambda_S + \lambda_P = 1.0137163$																			
$\lambda_S = F(X)$ (표피효과계수) 0.9(중), 8(형) = 0.005																			
$X = \sqrt{\frac{8\pi f \mu \cdot K_S}{r_0 k_1 \times 10^9}}$ <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td>$k_{S1} =$</td><td>비분할</td><td>1</td><td>비분할</td></tr> <tr><td></td><td>4분할</td><td>0.44</td><td>비분할</td></tr> <tr><td></td><td>6분할</td><td>0.39</td><td>비분할</td></tr> </table>								$k_{S1} =$	비분할	1	비분할		4분할	0.44	비분할		6분할	0.39	비분할
$k_{S1} =$	비분할	1	비분할																
	4분할	0.44	비분할																
	6분할	0.39	비분할																
$\lambda_P = \text{근접 효과계수} = \frac{\frac{3}{2} \left(\frac{d_1}{s}\right)^2 G(X)}{1 - \frac{5}{24} \left(\frac{d_1}{s}\right)^2 H(X)} = 0.0087163$																			
$d_1 =$ 도체외경[mm] = 147																			
$s =$ 도체중심간격[mm] = 18.7																			
$X' = \sqrt{0.8 X} = 0.8734893$																			
종축 0.8[중] $F(X) = 0.003$																			
횡축 8[형] $G(X) = 0.009$																			
$H(X') = \frac{F(X')}{G(X')} = 0.3333333$																			

2.4 Curve fitting을 활용한 감소계수 선정

앞 절에서 구한 실효저항 값 및 임피던스 값을 Curve fitting 프로그램을 이용하여 감소계수를 선정하였다.

2.4.1 IEC 규격에 대한 최적계수 선정

간선의 단면적에 대한 CV 케이블 90[°C]에서의 임피던스 값을 표시하면 아래의 식 (7)과 같다.

$$Z_{C90} = H_{CC(IEC)} \frac{1}{S} \quad (7)$$

식 (7)에서 $H_{CC(IEC)}$ 값을 표 5에서 구하면 표 9와 같다.

표 10. S , Z_{C90} , $H_{CC(IEC)}$ 값
Table 10. Values of S , Z_{C90} , $H_{CC(IEC)}$

단면적[mm ²]	Z_{C90}	$H_{CC(IEC)}$
1.5	15.4294	23.144
2.5	9.4494	23.623
4	5.8794	23.517
6	3.9290	23.574
10	2.3361	23.361
16	1.4702	23.523
25	0.9683	24.207
35	0.6755	23.712
50	0.5043	25.215
70	0.3558	24.906
95	0.2643	25.108
120	0.2170	26.040
150	0.1850	27.750
185	0.1584	29.304
240	0.1350	32.400
300	0.1205	36.150

표 9에서 $H_{CC(IEC)}$ 값을 하나의 계수 식으로 나타내고 자 간선의 단면적 대비 공식을 여러 수식을 통하여 분석하였다. 분석 방식으로는 Curve Expert 프로그램을

이용한 Curve fitting을 사용하였다.

표 9에서 $H_{CC(IEC)}$ 값을 그래프로 나타내면 그림 2와 같다.

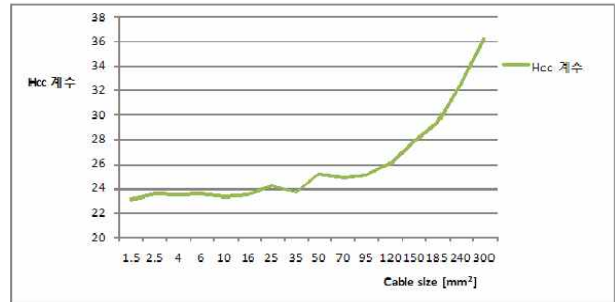


그림 2. $H_{CC(IEC)}$ 계수값 변화 그래프
Fig. 2. Graph of $H_{CC(IEC)}$ Factor Value Change

계수값 변화 그래프를 보면 1.5[mm²]에서 35[mm²]까지는 변화 값이 거의 일정하고 50[mm²]부터는 변화곡선이 주어지므로 $H_{CC(IEC)}$ 계수를 단일화된 식으로 표현하면 식이 복잡해지고 오차범위가 커지므로 2단계로 구분하였다. 즉 $H_{CC(IEC)}$ 를 $H_{CC(IEC) \sim 35}$ 과 $H_{CC(IEC)50 \sim}$ 의 2가지 계수로 하여 $H_{CC(IEC) \sim 35}$ 은 식 (7)을 이용하여 구한 단일 수치로 한 평균값 23.58로 선정하고 나머지 $H_{CC(IEC)50 \sim}$ 을 Curve Expert 프로그램에 의한 분석을 활용하여 유도하였다.

2.4.2 Curve Expert 프로그램에 의한 분석

$H_{CC(IEC)}$ 값을 50[mm²]부터 그 이상의 값을 Curve Expert 프로그램에 입력하여 분석하였다. Curve Expert 프로그램으로 시뮬레이션 한 것 중에서 오차가 가장 적은 몇 가지 모델을 선정하였다.

그림 3과 같이 $y = a + bx$ 의 식으로 분석한 결과 수식은 식 (8)과 같다.

$$H_{CC(IEC)} = 21.383918 + 0.04611707 \cdot S \quad (8)$$

그림 4와 같이 $y = a \cdot e^{bx}$ 의 식으로 분석한 결과 수식은 식 (9)와 같다.

$$H_{CC(IEC)} = 22.070631 \cdot e^{0.0016003068 \cdot S} \quad (9)$$

그림 5와 같이 $y = a \cdot b^x$ 의 식으로 분석한 결과 수식은 식 (10)과 같다.

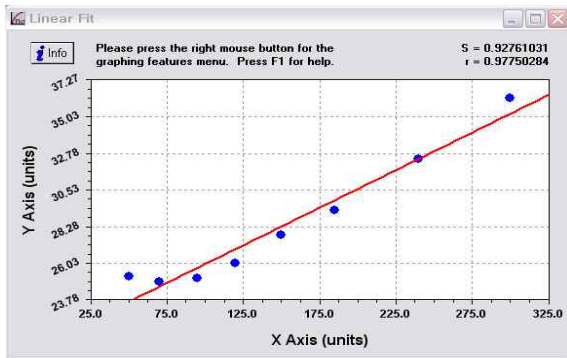


그림 3. Linear Fit 그래프
Fig. 3. Graphs of Linear Fit

그림 6과 같이 $y = a + bx + cx^2$ 의 식으로 분석한 결과 수식은 식 (11)과 같다.

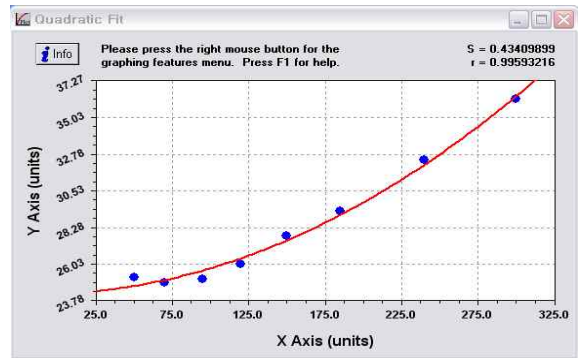


그림 6. Quadratic Fit 그래프
Fig. 6. Graphs of Quadratic Fit

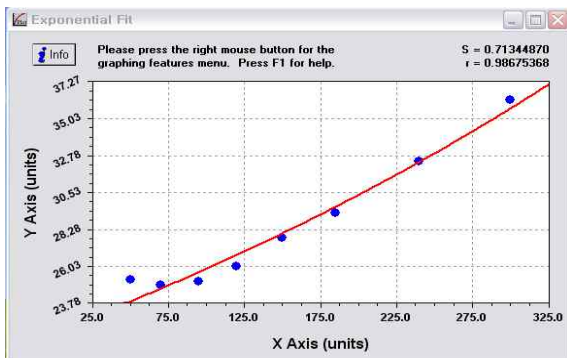


그림 4. Exponential Fit 그래프
Fig. 4. Graphs of Exponential Fit

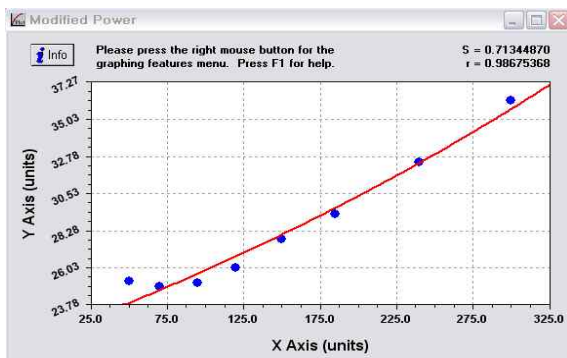


그림 5. Modified Power Fit 그래프
Fig. 5. Graphs of Modified Power Fit

$$H_{CC(IEC)} = 22.070631 \cdot 1.0016016^S \quad (10)$$

$$H_{CC(IEC)} = 24.21 + 0.0034S + 0.000124S^2 \quad (11)$$

표 11. IEC 간선의 규격에 따른 수식 대비 오차분석
Table 11. Error Analysis of Each Formula by IEC wire Standard

식 번호	평균오차	오차[%]	적용대상	비고
8	0.68677	2.50046	50[mm ²]이상	
9	0.49657	1.84887	50[mm ²]이상	
10	0.49569	1.84893	50[mm ²]이상	
11	0.31418	1.14488	50[mm ²]이상	선정

50[mm²] 이상의 단면적을 s 에 대입하여 정식과 비교해 본 결과 오차가 1.145[%]로 가장 낮은 Quadratic Fit 모델의 수식 $H_{CC(IEC)} = 24.21 + 0.0034S + 0.00012S^2$ 로 선정하였다.

선로 임피던스 $Z[\Omega/m]$ 는 단면적 $s[mm^2]$ 로 환산될 수 있는 계수를 $H_{CC(IEC)}$ 라 하여 전압강하 $e[V]$ 를 구하면 식 (12)와 같다.

$$e = H_{CC(IEC)} \cdot K_w \cdot I \cdot L [V] \quad (12)$$

여기서 계수 $H_{CC(IEC)}$ 를 간선의 굵기에 따라 2단계로 구분하면 식13, 식 (14)와 같다.

IEC 저압간선의 허용전류 감소계수에 관한 연구

$$H_{CC(IEC) \sim 35} = 23.58 \quad (1.5 \sim 35[\text{mm}^2] \text{ 적용}) \quad (13)$$

$$H_{CC(IEC)50 \sim} = 24.21 + 0.0034S + 0.00012S^2 \quad (50[\text{mm}^2] \text{ 이상 적용}) \quad (14)$$

위의 식을 전압강하 계산 간이식 식 (12)에 대입하면 식 (15), 식 (16)이 된다.

$$e_{(IEC) \sim 35} = \frac{K_w \cdot 23.58 \cdot I \cdot L}{1000S} \quad [V] \quad (15)$$

$$e_{(IEC)50 \sim} = \frac{K_w \cdot (24.21 + 0.0034S + 0.00012S^2) \cdot I \cdot L}{1000S} \quad [V] \quad (16)$$

위의 식을 적용한 전압강하 연구식, 전압강하 정식 계산식, 전압강하 간이계산식을 적용한 IEC 규격의 계산값을 비교하면 표 11과 같다.

표 12. 전압강하 정식, 간이식, 연구식 계산 비교표
Table 12. Comparison Chart of Standardized, Simplified, Research-type Voltage Drop Calculation

R/X변화 전선규격	직류저항 [Ω/ 20℃]	약식계산 (Z) [Ω/km -90℃]	연구식계산 (Z) [Ω/km -90℃]	S × Z 계수 (정식)	S×Z 계수 (약식)	S×Z 계수 (연구식)
1.5[mm ²]	12.1	11.85439	15.72175	23.14	17.78	23.58
2.5[mm ²]	7.41	7.11296	9.43305	23.62	17.78	23.58
4[mm ²]	4.61	4.44560	5.89566	23.52	17.78	23.58
6[mm ²]	3.08	2.96373	3.93044	23.57	17.78	23.58
10[mm ²]	1.83	1.77824	2.35826	23.36	17.78	23.58
16[mm ²]	1.15	1.11140	1.47391	23.52	17.78	23.58
25[mm ²]	0.727	0.71130	0.94331	24.21	17.78	23.58
35[mm ²]	0.524	0.50807	0.67379	23.71	17.78	23.58
50[mm ²]	0.387	0.35565	0.49396	25.22	17.78	24.70
70[mm ²]	0.268	0.25403	0.35814	24.91	17.78	25.07
95[mm ²]	0.193	0.18718	0.27028	25.11	17.78	25.68
120[mm ²]	0.153	0.14819	0.22034	26.04	17.78	26.44
150[mm ²]	0.124	0.11855	0.18378	27.75	17.78	27.57
185[mm ²]	0.0991	0.09612	0.14686	29.30	17.78	27.17
240[mm ²]	0.0754	0.07409	0.13464	32.40	17.78	32.31
300[mm ²]	0.0601	0.05928	0.12206	36.15	17.78	36.62

[비고] 소수점 3자리에서 반올림한 값

2.5 사례연구

본 논문에서 선정된 연구식을 사용하여 현재 건설 중인 현장의 전압강하를 계산하였다. 또한 전압강하의 정식계산, 간이식을 사용한 계산을 통하여 그 오차를 비교하였다.

현장은 경기도 김포시 소재의 ○○아파트이며 현장의 부하 계산서는 그림 7과 같다.

분전반명 (부하명)	배전방식			부하용량(VA)	
	상	선	전압 [V]	총부하	수용부하
LM-501A	3	4	380/220	174,000	135,720
LM-501B	3	4	380/220	240,000	146,400
LM-502A	3	4	380/220	167,000	130,260
LM-502B	3	4	380/220	240,000	146,400
LM-503	3	4	380/220	204,000	134,640
LM-504A	3	4	380/220	252,000	166,320
LM-504B	3	4	380/220	234,000	154,440
LM-505	3	4	380/220	300,500	165,275
LM-510	3	4	380/220	293,500	161,425
LM-506A	3	4	380/220	254,000	154,940
LM-506B	3	4	380/220	174,000	135,720
LM-507	3	4	380/220	428,000	222,560
LM-508	3	4	380/220	414,000	215,280
LM-509	3	4	380/220	413,000	218,890
LM-511	3	4	380/220	279,500	162,110

그림 7. 부하계산서
Fig. 7. Load Statement

11개 동으로 이루어져 있고 전기실 저압반에서 각 동의 판넬까지의 거리는 다음과 같다.

표 13. 각 동과 전기실까지의 거리
Table 13. Distance from Each Building to Electricity Room

동	거리[m]
1	248
2	293
3	314
4	235
5	202
6	249

동	거리[m]
7	179
8	48
9	110
10	200
11	243

11개동의 전압강하를 전압강하 계산식의 간이계산식, 정식계산식, 연구식으로 각각 비교해 오차를 분석하였다.

전기실 저압반에서 각 동 판넬까지의 거리가 가장 먼 3동을 예를 들어 그 차를 분석하였다.

먼저 전류 I[A]를 구하면 식 (17)이 된다.

$$I = \frac{P}{K_w \cdot V} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{20400}{\sqrt{3} \cdot 380} = 309.95[A] \quad (17)$$

표 11을 이용하여 전압강하 e[V]를 간이계산식, 정식계산식, 연구식으로 각각 구하면 아래와 같다.

$$e(\text{간이식}) = \frac{K_w \cdot I \cdot L}{1000 \cdot A} = \frac{17.8 \cdot 309.95 \cdot 314}{1000 \cdot 240} = 7.22[V] \quad (18)$$

$$e(\text{정식}) = \text{Excel 프로그램 사용} = 13.14[V] \quad (19)$$

$$e(\text{연구식}) = \frac{K_w \cdot I \cdot L}{1000 \cdot A} = \frac{32.31 \cdot 309.95 \cdot 314}{1000 \cdot 240} = 13.10[V] \quad (20)$$

전압 강하율로 나타내면 간이계산식의 경우 3.28[%], 정식계산식의 경우 5.97[%], 5.95[%]로 나타나 간이계산식의 경우 실제 설계의 허용범위인 5[%] 이내에 존재하나 정식계산식과 연구식을 사용한 계산식의 값을 허용범위를 초과하게 된다. 결국 실제 전압강하는 정식계산식으로 계산된 값으로 존재하므로 간이계산식으로 계산해 설계할 경우 부정확한 설계가 될 수 있다.

1~11동의 전압강하를 계산하여 비교하면 표 13과 같다. 전압강하 정식 계산식을 사용하여 계산할 경우 전압 강하율[%]에서 간이식에 비하여 케이블의 단면적에 따라 최대 3[%]에 이르는 오차를 보였다. 그러나

연구식을 적용하여 계산했을 때에는 최대 오차가 약 0.5[%]에 불과하게 나타났다. 또한 간이식을 사용하면 11개동 모두 전압강하 허용범위에 분포하지만 정식계산식과 연구식을 적용하면 11개의 동 중에서 정식계산시 2개동, 연구식계산시 3개동만이 전압강하 허용범위에 분포함을 알 수 있었다.

표 14. 각 계산방식에 따른 전압강하 계산 결과표
Table 14. Result Chart of Voltage Drop by Each Calculation Method

동	부하 용량 [VA]	간선 거리 [m]	전류 [A]	간이식 전압강하율 [%]	정식 전압강하율 [%]	연구식 전압강하율 [%]
1	174,000	248	264.37	3.54	5.51	5.48
2	167,000	293	253.73	3.25	5.35	4.96
3	204,000	314	309.95	3.28	5.97	5.96
4	252,000	235	382.87	3.94	6.48	6.01
5	300,500	202	456.56	4.03	6.64	6.16
6	293,500	200	445.93	3.90	6.42	5.95
7	254,000	249	385.91	4.20	6.92	6.41
8	428,000	179	650.28	3.92	7.14	7.12
9	414,000	48	629.01	1.32	2.17	2.02
10	413,000	110	627.49	3.02	4.97	4.61
11	279,500	243	424.66	4.51	7.43	6.89

3. 결 론

최종적으로 사용되는 부하가 저압인 만큼 신중을 기해 선정·사용되어야 하는 것이 저압간선이다. 저압간선의 굵기는 계통의 전압강하, 허용전류 및 임피던스 값에 의해 결정된다. 최근에는 OA기기 등의 사용 증가에 따라 고조파에 따른 영향에 대한 관심이 높아져 고조파의 영향 또한 저압간선의 선정에 중요한 요소로 자리 잡았다. 따라서 저압간선의 선정이 더욱 복잡해지고 어려워진 실정이다.

본 논문에서는 저압간선의 굵기 산정에 IEC 규격에 따른 감소계수 적용과 전압강하 계산 적용방식을 비교하고 가장 많이 사용되는 전압강하 계산방식인 간이계산식과 그 정식계산식에 대한 차이점을 분석

하여 이에 따른 오차를 줄이고, 정식계산의 까다로움을 해소할 수 있는 IEC 규격에 대한 계산공식을 제시하였다.

국내의 경우 전압강하 간략식이 대부분 적용되고 있는 실정이다. 그러나 간이 계산식은 실제와의 오차가 매우 큼을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제시한 오차를 최소화한 계산공식을 적용된다면 보다 정확한 설계가 가능할 것이다.

본 연구는 2009학년도 홍익대학교 교내 연구비로 수행되었음.

References

- [1] 최흥규 외, “전력사용 시설물 설비 및 설계”, 성안당, 2008.
- [2] 정용기, “전기 설비 기술계산 핸드북”, 의제, 2007.
- [3] “IEC-60364해설서-건축전기설비”, 한국전기안전공사, 2005.
- [4] 조계술, “저압 간선의 설계기법에 관한 연구”, 한국조명전기설비 학회, 2001.
- [5] “배전설비 설계기술”, 한국전력기술인협회, 2009.
- [6] “IEEE 835 [IEEE Standard Power Cable Ampacity Tables]”, 1994.

◇ 저자소개 ◇



승영주(宋榮柱)

1970년 11월 21일생. 1993년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 동신대학교 교수.



임명환(林明煥)

1954년 11월 29일생. 2007년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2010년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).



최대원(崔大源)

1981년 7월 1일생. 2007년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).



김도형(金度衡)

1975년 3월 1일생. 1997년 홍익대학교 전자전기공학부 졸업. 1999년 동대학원 전자정보통신공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자정보통신공학과 박사과정.



염성배(廉聖培)

1947년 2월 3일생. 1974년 서울대학교 화학공학과 졸업. 1977년 동 대학원 공업화학과 졸업(석사). 1988년 동 대학원 화학공학과 졸업(박사). 1977~1989년 2월 홍익공업전문대학 교수. 1989년 3월~현재 홍익대학교 교수.