

전압강하를 고려한 저압간선의 설계 알고리즘

(Algorithm for the Low-Voltage Feeder Design in Consideration of Voltage Drop)

최홍규 · 고영곤* · 조계술

(Hong-Kyoo Choi · Young-gon Ko · kyeH-Sool Cho)

요 약

저압간선의 굵기는 계통의 전압강하, 간선의 포설조건별 온도 보정계수를 적용한 허용 전류 및 간선의 임피던스 값에 따라 결정된다. 따라서, 간선의 허용전류 값을 결정하기 위하여 간선의 포설조건에 따른 적정 보정계수가 적용되어야 하며, 저압간선의 정확한 임피던스 값을 분석하기 위하여 간선의 종류, 간선의 규격, 포설조건에 따른 온도, 표피효과 및 근접 효과 등이 고려되어야 한다. 본 연구는 저압계통의 전압강하를 고려한 간선의 굵기 산정에 대한 체계적인 설계 흐름도를 제시 하였으며, 일반적인 계산 방식에 비하여 오차가 적은 계수로서 저압간선 굵기 선정 설계 실무에 적용할 수 있는 계산 방식을 연구하였다.

Abstract

A size of low-voltage conductor cables is determined by the voltage drop of a system, the cable impedance and the cable ampacity based on temperature correction factor in accordance with the condition of cable installation. Therefore, the proper temperature correction factor according to the condition of cable installation should be applied to determining the cable ampacity and also the skin effect and proximity effect, along with the kind and size of conductor and the condition of cable installation, should be properly considered to analyze the proper value of resistance and the reactance of the conductors. This paper addresses the systematic design flow for determining the size of low voltage level conductor cables in calculating the voltage drop of a power system and proposes a new improved the calculating formula where error should be minimized in comparison with the general formula and which can be applied in design work for determining the size of conductor cables.

Key Words : Low-voltage conductor cables, Improved the calculating formula, Size of conductor cables

1. 서 론

복잡 다양한 시설물의 환경여건에 따라서 최종저압 부하에 알맞은 간선설계가 요구되고 있다. 간선

굵기의 결정은 사용하고자 하는 부하종류에 따른 허용전류, 거리에 따른 전압강하, 기계적 강도 및 고조파 등의 요소에 의해 결정되며 특히 포설조건에 따른 허용전류에 대한 문제는 도체에서 발생하는 열량과 절연체등에서의 방출 열 저항 관계를 고려한 온도 보정계수 등을 적용하여 부하 전류를 수용할 수 있는 도체의 최소 굵기를 찾아내야 한다. 또한, 단락시와 단시간 과부하 특성에도 견딜 수 있는 조건을 만족하는 전선의 굵기 이상의 것이어야 한다. 여기에

* 주저자 : 홍익대학교 전기공학과 박사과정 수료
Tel : 041-860-2510, Fax : 041-866-2510

E-mail : ykko@ns.kopec.co.kr

접수일자 : 2002년 3월20일

1차심사 : 2002년 3월25일, 2차심사 : 2002년 4월18일

심사완료 : 2002년 5월 3일

전압강하를 고려한 최대 포설거리가 주어진다. 우리가 일반적으로 교류 전원을 사용하기 때문에 전압강하 계산 문제에 있어서 도체의 온도상승에 따른 저항변화, 도체의 굵기와 주파수 영향에 의한 표피효과 계수 및 포설간격에 의한 근접효과 계수를 적용한 선로 저항값과 리액턴스값을 알아야 전압강하를 구할 수 있고 기준 전압강하에서의 최대포설 거리를 구할 수 있다. 380[V] 부하의 전압강하를 고려한 케이블의 최대 길이표를 제시하였으며 간략화된 연구식을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 간선의 굵기 산정 흐름도

효율적인 간선 설계를 위해 그림 1과 같이 간선 굵기 선정의 흐름도를 제시하였다.

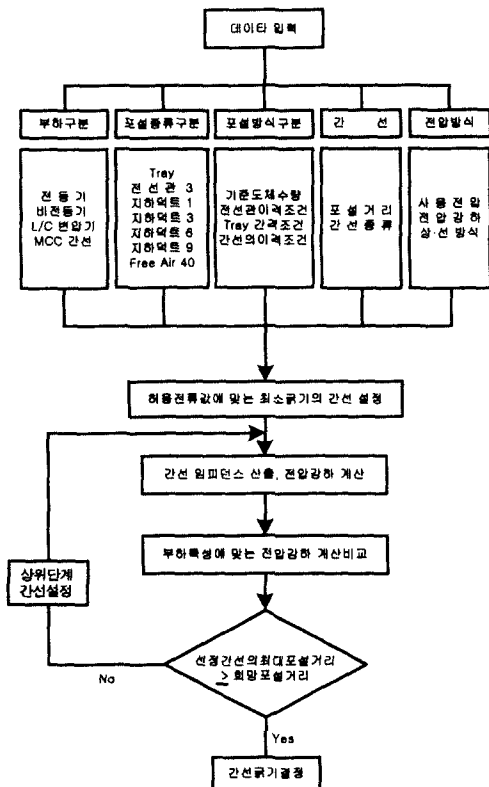


그림 1. 간선의 굵기 산정 흐름도
Fig. 1. Flow chart of feeder size computation

2.2 허용전류 계산

허용전류는 연속시 허용전류, 단락시 허용전류 및 단시간 허용전류의 3가지로 분류되나 통상 허용전류는 연속시 허용전류를 말한다. 여기에서는 제반 이론식 전개를 참조하기로 한다[1].

2.3 포설방식에 따른 열 저항 계산 및 허용전류

질연체의 열 저항 계산은 IEEE 835-1994의 계산식을 근거로 하여 계산결과를 표 1에 제시하였다[2].

2.4 케이블 보정계수 (Derating Factor)

케이블의 전류용량은 아래의 조건들에 의해 영향을 받으므로 각 케이블 설치상태에 따라 적정 보정계수(Derating-Factor)에 의하여 보정을 한다[1].

표 1. 600 [V] CV케이블의 허용 전류표
Table 1. Ampacity table of 600 [V] CV cable

케이블 사이즈	케이블 설치 조건별 최대 허용 전류 (A)							
	AWG /MCM	NEMA WGS TABLE 3-3	노출 전선관 (랜내 도 계수 3 이하, 40°C)	지하덕트, 25°C				FREE AIR 40°C
				1회로	3회로	6회로	9회로	
35	-	10	29	35	32	28	26	37
5.26	10	14	37	45	40	35	32	48
55	-	15	38	46	41	36	33	49
80	-	23	48	58	51	45	40	64
8.37	8	24	49	60	53	46	41	66
13.30	6	34	65	78	69	59	53	89
14	-	35	67	80	71	61	54	92
21.15	4	49	85	103	90	76	68	120
22	-	51	87	105	92	77	69	123
33.62	2	75	112	136	117	98	88	162
38	-	85	121	148	126	105	94	178
42.41	1	95	131	160	136	112	100	195
53.49	1/0	115	151	184	155	128	113	225
60	-	127	161	197	165	136	120	244
67.43	2/0	140	173	211	176	145	128	264
85.01	3/0	140	207	242	201	164	145	308
100	-	162	228	266	220	179	157	342

전압강하를 고려한 저압간선의 설계 알고리즘

107.20	40	172	238	278	229	186	163	369
127.00	250	214	366	309	253	204	179	405
150	-	247	294	341	277	222	196	462
152.00	300	-	296	344	279	224	196	456
177.00	350	285	324	376	303	243	212	504
200	-	316	348	403	323	258	225	545
203.00	400	-	351	406	326	260	227	550
250	-	383	396	457	364	288	251	629
253.00	500	387	398	460	366	290	252	634
303.60	600	-	460	509	402	316	276	714
325	-	498	476	526	415	325	284	742
380.00	750	565	517	570	447	349	303	815
400	-	590	529	583	456	356	309	837
500	-	715	591	647	500	390	338	949
507.00	1000	724	595	651	503	392	340	957

2.4.1 주위온도 및 도체 온도 보정계수

주위온도 및 도체 온도에 따른 보정계수는 IEEE 835-1994의 계산식을 참조하기로 한다[2].

2.4.2 케이블 트레이에 설치시 Grouping Factor

케이블의 이격거리가 1개의 케이블 직경보다 크게 유지되면 보정계수가 적용되지 않으나 그 이하이면 ICEA P-46-426을 참조하기로 한다[3].

2.4.3 노출전선관 내에 설치시 Grouping Factor

전선관의 이격거리가 [4전선관 직경] ≤ [전선관간 이격거리] ≤ [1 전선관 직경]인 경우는 Grouping Factor를 적용하고, 전선관 이격거리가 [4전선관 직경] 이내일 때는 전선관내 도체수에 따른 보정계수를 적용한다. 단, 이격거리가 한 개의 전선관 직경보다 크게 유지되면 보정계수는 1.0이며, Grouping Factor는 ICEA P-46-426을 참조하기로 한다[3].

2.5 간선의 임피던스 계산

2.5.1 교류 도체 실효저항 [r]

600[V] CV 케이블 압축형 150[mm]를 예로하여 교류도체 실효저항을 구하면 표 2와 같다. 여기에서 F(x) 함수표 및 G(x) 함수표는 “전기설비 기술계산 핸드북” 기다리 pp. 115~170을 참고하기로 한다[9].

표 2. 교류도체 실효저항값 계산 결과표
Table 2. Calculation table of AC conductor effective resistance value

입력값	r_0 [Ω/cm·20℃]	동/알루미늄	사용온도 [℃]	도체외경	분할구분	도체중심간폭	주파수
	0.0000012	동	90	14.7	비분할	18.7	60[Hz]
출력값	r						도체 굵기
			1.60281E-06 [Ω/cm]			0.160281122E-06 [Ω/km]	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
$k_1 =$	사용온도에서 도체저항과 20[℃] 도체저항비 $k_1=1+a(T_1-20)$	=	1.2751
	여기서 a는 저항온도계수로서	동 0.00393 선택 알루미늄 0.00403 동	0.00393
	$T_1 =$ 사용온도[℃]	=	90
$k_2 =$	교류저항과 직류저항비 $k_2 = 1 + k_3 + k_4$	=	1.0137163
	$k_3 = F(X)$ (표미효과계수)	0.9(중) 8(형)	0.005
	$X = \sqrt{\frac{8\pi/\mu_s \cdot K_{dl}}{r_0 k_1 \times 10^9}}$	=	0.9765907
	$K_{dl} =$	비분할 1 4분할 0.44 6분할 0.39	1
	λ_A (근점효과계수) $= \frac{\frac{3}{2}(\frac{d_1}{s})^2 G(X')}{1 - \frac{5}{24}(\frac{d_1}{s})^2 H(X')}$	=	0.0087163
$d =$	도체외경	=	14.7
$s =$	도체중심간폭	=	18.7
$X' =$	$\sqrt{0.8} \cdot X$	=	0.8734893
종속	0.8(중)	$F(X')$	0.003
형속	8(형)	$G(X')$	0.009
	$H(X') = \frac{F(X')}{G(X')}$	=	0.3333333

2.5.2 리액턴스 계산 [X]

600[V] CV 케이블 압축형 150[mm]를 예로하여 교류도체 리액턴스값을 케이블 배치형태에 따라 계산하면 표 3, 표 4와 같다. 표 2와 표 3은 CV Cable 600[V] 3C 150[mm] 압축 도체를 기본으로 계산 프로그램을 실행시킨 결과이며 표 4는 CV Cable 600[V] 1C 150[mm] 압축도체를 병행 배치할 경우 XL 값을 계산한 계산과정을 나타낸 것이다[5, 7, 8, 9].

표 3. 교류도체 리액턴스값 계산 결과표 (3심 압축)
Table 3. Calculation of AC conductor reactance value (3 core compression)

입력값	$n[\Omega/\text{km} \cdot 20^\circ\text{C}]$	종 / 알루미늄	사용온도 [°C]	도체 외경	분 합 구분	질 연 의 경	주파수
	1.24E-06 $[\Omega/\text{cm}]$	동	90	14.7	비분할	18.7	60
출력값	C가 무시된 삼각 배치	X=	8.92556E-07 $[\Omega/\text{cm}]$		0.000255365 $[\Omega/\text{km}]$		도체 중심간폭
	C가 무시된 병행 배치	X=	1.06676E-06 $[\Omega/\text{cm}]$		0.10667561 $[\Omega/\text{km}]$		18.7
질 연 계 료 유 전 율	유침지(보통지)	3.7	가교폴리에틸렌	2.3		선택유전율	2.3
	유침지(저손절지)	3.4	에틸렌프로필렌고무	4.0		D_{12}	18.7
	부 필 고 무	4.0	규 소 고 무	4.0		D_{20}	18.7
	폴 리 에틸렌	2.3	PVC	7.0		D_{31}	37.4
$X_L = \omega L = 2\pi f L = 0.089 [\Omega/\text{km}]$ $L = 0.05 + 0.4605 \log_{10} \frac{D_e}{r} [\text{mH}/\text{km}] = 0.0002368 [\text{H}/\text{km}]$							

표 4. 교류도체 리액턴스값 계산 결과표 (병행배치)
Table 4. Calculation of AC conductor reactance value (Parallel compression)

$X_L = \omega L = 2\pi f L = 0.107 [\Omega/\text{km}]$
$L = 0.05 + 0.4605 \log_{10} \frac{D_e}{r} [\text{mH}/\text{km}] = 0.000283 [\text{H}/\text{km}]$
$D_e(\text{기하평균거리}) = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} = 23.560524$

2.6 전압강하

전선의 임피던스로 인한 전압강하에 의해 전압이 너무 낮아지면 전등은 광속이 감소, 전동기는 토크가 감소하는 등 많은 이상현상이 나타나게 된다. 전압강하는 전선 단면적에 반비례하므로 전선을 굵게 하면 해결되나 경제적인 면에서 적절한 굵기를 선택하기 위한 기준으로 전기사업자의 간선 및 분기 회로에서 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[10].

2.6.1 직류회로의 전압강하 계산식

$$\Delta e = 2 \cdot L \cdot I \cdot R \quad [V] \quad (2-1)$$

여기서 Δe : 선로의 전압강하 [V]

L : 선로의 길이 [m]

I : 부하 전류 [A]

R : 선로 저항 $[\Omega]$

2.6.2 교류회로의 전압강하 계산식

가. 간이계산식[10]

전 기 방 식	전압 강하 [V]	전선 단면적 $[\text{mm}^2]$
단상 2선식,	$e = \frac{35.6LI}{1000A}$	$A = \frac{35.6LI}{1000e}$
3상 3선식	$e = \frac{30.8LI}{1000A}$	$A = \frac{30.8LI}{1000e}$
단상 3선식, 3상 4선식	$e' = \frac{17.8LI}{1000A}$	$A = \frac{17.8LI}{1000e'}$

나. 정식계산식

교류도체 온도상승의 저항값, 근접효과, 표피효과, 리액턴스등에 영향을 받는 교류회로의 1상당에 대해 생각하면 식 (2-2)이 성립한다[9, 10, 11].

$$\Delta e = E_s - E_R = (IR \cos \theta + IX \sin \theta) + j(LX \cos \theta - IR \sin \theta) \quad (2-2)$$

위 식에서 j 항은 극히 적으므로 식 (2-3)과 같다.

$$\Delta e \approx I(R \cos \theta + X \sin \theta) \quad (2-3)$$

여기에서 R 과 X 값은 표 2~4를 참조하기로 한다.

2.6.3 간이계산식과 정식계산식의 차이점 분석

가. 간이 계산식의 경우

식 (2-1)에서 R 값은 단면적 S 로 환산하여 변경한 식으로 식 (2-4)과 같다.

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad [\Omega] \quad (2-4)$$

여기에서 ρ 값은 도체의 도전을 및 교류 저항값 (20°C 기준)으로 17.8의 값이 산출된 것이다. 또한 여기에 전기방식 $[K_w]$ 값을 감안한 것으로서 단상 2선식의 경우 $17.8 \times 2 = 35.6$, 삼상 3선식의 경우 $17.8 \times \sqrt{3} = 30.8$, 단상 3선식 및 3상 4선식의 경우 $17.8 \times 1 = 17.8$ 로 계산되어진 것이다.

나. 정식계산의 경우

표 2~4에서 예시된 계산결과와 같이 교류전원에서 실효저항값은 실제로 도체에 허용되는 온도계수를 감안하였고 도체가 굵어짐에 따라 표피효과와 근접효과를 계산한 것이다. 또한 전선의 배치 방법에 따라 리액턴스 값을 산출하여 R 값과 X 값을 부하전

전압강하를 고려한 저압간선의 설계 알고리즘

류와 부하역률에 관계되는 벡터 해석에 의한 전압강하 계산식을 유도한 것이다.

2.6.4 연구식 계산 알고리즘

가. 연구배경

현재 국내 각 대학교 및 전문대학에서 교육되고 있는 간이 계산식이 실제 실무에 적용되고 있어 이에 대한 정식계산과 간이식계산의 차이점을 분석한 결과 많은 차이가 있음에도 표 2~4에서 예시된 것과 같이 계산 절차가 복잡하고 (참조되어야 할 F(x) 함수표 및 G(x) 함수표 생략 [9]) 까다로운 손쉬운 간이 계산법만을 이용하고 있다는 점에서 좀더 실무자가 편리하게 이용하도록 정식계산 결과값에 비하여 오차가 적은 계산이 이루어지도록 유도하고자 연구하게 되었다.

나. 연구계산식 유도

식 (2-1)에서 제시된 직류회로의 전압강하 계산식을 응용하여 식 (2-5)과 같이 표현된다.

$$\Delta e = K_w \cdot Z \cdot I \cdot L \quad (2-5)$$

여기서 $Z = R \cos \theta + X \sin \theta$

K_w : 단상 2선식의 경우 : 2

단상 3선식, 3상 4선식 : 1

3상 3선식 : $\sqrt{3}$

위 식 (2-5)에서 CV 케이블 90[°C]로 환산되어지는 임피던스 값을 Z_{90} 으로 표현하고 p값을 임의의 계수 H_{cc} 로 표현하면 식 (2-6)과 같다.

$$Z_{90} = H_{cc} \cdot \frac{1}{S} [\Omega] \quad (2-6)$$

즉 단위 길이당 임피던스 Z_{90} 은 식 (2-7)과 같다.

$$Z_{90} = H_{cc} \cdot \frac{1}{S} [\Omega/m] \quad (2-7)$$

식 (2-7)을 H_{cc} 계수로 환산하면 식 (2-8)과 같다.

$$H_{cc} = Z_{90} \cdot S \quad (2-8)$$

일반적으로 부하의 역률값이 실제 실무에서 90[%] 이상유지토록 보상되어 사용되므로 Z_{90} 은 표 5에 나타낸바와 같으며 H_{cc} 값을 산출하면 표 6과 같다.

표 5. 정식계산, 간이계산 및 연구식계산 결과비교
Table 5. Comparison Formality with simplicity and study formular

CV / XLPE three conductor KS C 3611

구분 전선 규격 [mm]	직류 저항 [Ω- 20℃]	교류임피던스(60Hz, cosθ=0.9) [Ω/km - 90℃] (정식계산)			간이식 계산(Z) [Ω/km -90℃]	연구식 계산(Z) [Ω/km -90℃]	S×Z 계수 (정식)	S×Z 계수 (간이식)	S×Z 계수 (연구식)
		R	X	$Z_{90} = \sqrt{R^2 + X^2}$					
20	9.42	12.011	0.1190	10.82795	8.9	11.0	21.72	17.8	22.0
35	5.3	6.7580	0.1096	6.130011	5.065	6.285	21.45	17.8	22.0
55	3.4	4.3353	0.1096	3.94669	3.235	4.0	21.72	17.8	22.0
8(C)	2.34	2.9637	0.1069	2.73156	2.225	2.75	21.83	17.8	22.0
14(C)	1.34	1.7086	0.0983	1.581081	1.271	1.571	22.13	17.8	22.0
22(C)	0.84	1.0625	0.0884	1.0172	0.809	1.0	22.37	17.8	22.0
36(C)	0.49	0.6260	0.0825	0.603804	0.468	0.578	22.94	17.8	22.0
60(C)	0.31	0.3976	0.0821	0.38093	0.295	0.398	23.83	17.8	23.9
100(C)	0.18	0.2397	0.0828	0.256225	0.178	0.249	25.62	17.8	24.943
150(C)	0.12	0.1602	0.0832	0.183159	0.118	0.181	27.47	17.8	27.258
200(C)	0.09	0.1215	0.0835	0.148497	0.089	0.148	29.77	17.8	29.688
250(C)	0.07	0.0996	0.0837	0.128368	0.071	0.128	32.09	17.8	32.046
325(C)	0.05	0.0783	0.0837	0.108352	0.054	0.108	35.21	17.8	35.317

표 6. S, Z_{90} , H_{cc} 값
Table 6. Value of S, Z_{90} , H_{cc}

단면적 [mm ²]	20	35	55	8	14	22	36	60	100	150	200	250	325
Z_{90}	10.8	6.15	3.94	2.73	1.58	1.01	0.60	0.33	0.25	0.18	0.14	0.12	0.10
H_{cc}	21.7	21.4	21.7	21.5	22.1	22.5	23.5	25.6	27.4	29.7	32.0	35.3	

표 6에서 H_{cc} 값을 그래프로 나타내면 그림 2와 같으며 그림 2에서 나타낸바와 같이 2.0[mm²]에서 38[mm²]까지는 그의 변화값이 거의 일정하고 60[mm²]부터는 변화곡선이 주어지므로 H_{cc} 계수를 단일화된 식으로 표현하면 복잡한 식과 오차범위가 크므로 2단계로 분리하였다. 즉 H_{cc} 를 H_{cc-38} 과 H_{cc60} -계수로 하여 H_{cc-38} 은 단일 수치로한 평균값 22로 하고 H_{cc60} -을 Curve Expert 프로그램에 의한 분석과 Excel 프로그램에 의한 분석을 통하여 공식을 유도하였다.

다. Curve Expert 프로그램에 의한 분석

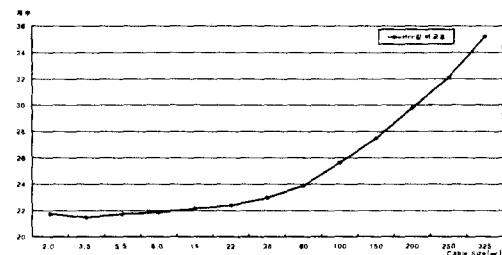


그림 2. H_{cc} 계수값
Fig. 2. Value of H_{cc}

그림 2에서 나타낸 값을 60[mm]부터 그 이상의 값을 Curve Expert 프로그램에 입력하여 분석하면 $H_{CC60\sim} = a \cdot e^{bs}$ 식으로 나타내어진 결과값은 식 (2-9)과 같으며 오차는 0.25[%]이다.

$$H_{CC60\sim} = 22.11022 \cdot e^{0.00145518245s} \quad (2-9)$$

여기에서 그림 3과 그림 4는 Curve Expert 프로그램을 이용하여 표 6의 Data를 근거로한 Curve Fitting 결과로서 오차값이 가장 적은 지수함수식으로 적용된 프로그램의 화면을 나타낸 것이다.

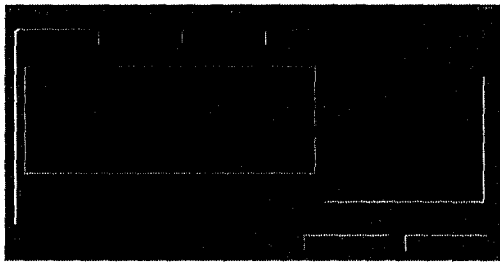


그림 3. 지수함수식 적용
Fig. 3. Exponential Fit

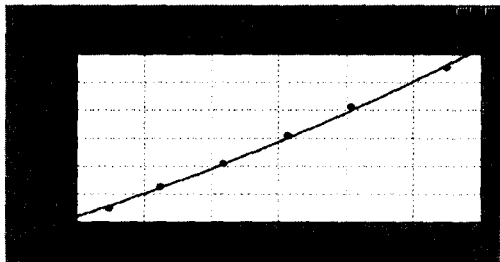


그림 4. 지수함수식 적용
Fig. 4. Exponential Fit

라. Excel 프로그램을 이용한 분석

Excel 프로그램에서 표 6의 값을 그래프를 이용한 추세선 공식으로 분석한 결과 로그함수식 $a + b \cdot \ln S$ 으로 나타내는 식은 오차가 크고 지수함수 적용에 의한 분석은 오차가 적으나 그식이 오히려 복잡하므로 오차의 정도를 최소화한 실용적인 측면에서 식 (2-10)으로 설정하여 그 결과값을 분석하였다[12].

$$H_{CC60\sim} = a \cdot \ln(S)^b + c \quad (2-10)$$

식 (2-10)에서 오차의 범위를 최소로 하기 위한 조건은 C값을 60[mm]값으로 하고 나머지 항을 0으로 하기 위한 값을 만들기 위하여 식 (2-10)을 식 (2-11)으로 변형하였다.

$$H_{CC60\sim} = a \cdot \ln\left(\frac{S}{60}\right)^b + c \quad (2-11)$$

식 (2-11)을 Excel 프로그램으로 분석하면 식 (2-12)과 같은 결과 오차 0.23[%]로 최소화 된다.

$$H_{CC60\sim} = 4.16 \cdot \ln\left(\frac{S}{60}\right)^{1.88} + 24 \quad (2-12)$$

마. 연구된 전압강하 계산식 정리

Curve Expert 프로그램과 Excel 프로그램에서 분석한 결과 오차의 정도는 비슷하지만 간략화된 공식으로서 Excel 프로그램으로 분석한 계수값을 적용하기로 하였다.

즉, 선로임피던스 $Z [\Omega/km]$ 는 단면적 $S [mm^2]$ 으로 환산될 수 있는 계수를 H_{CC} 라 하여 전압강하 $\Delta e [V]$ 를 구하면 다음 식 (2-13)과 같다.

$$\Delta e = H_{CC} \cdot \frac{L}{1000S} \cdot K_w \cdot I [V] \quad (2-13)$$

여기서 계수 H_{CC} 를 2단계로 구분하면 식 (2-14), (2-15)과 같다.

$$H_{CC-38} = 22 \quad (2.0 \sim 38[mm] \text{까지 적용}) \quad (2-14)$$

$$H_{CC60\sim} = 4.16 \times \ln\left(\frac{S}{60}\right)^{1.88} + 24 \quad (60 \sim 325[mm] \text{까지 적용}) \quad (2-15)$$

식 (2-14)과 식 (2-15)을 식 (2-13)에 대입하면

$$\Delta e_{-38} = \frac{k_w \cdot 22 \cdot I \cdot L}{1000S} [V] \quad (2-16)$$

$$\Delta e_{60\sim} = \frac{k_w \cdot (4.16 \times \ln\left(\frac{S}{60}\right)^{1.88} + 24) \cdot I \cdot L}{1000S} [V] \quad (2-17)$$

따라서 식 (2-16)과 식 (2-17)이 연구된 식의 결과이며 그 결과 값을 Excel을 이용하여 표 5에서 나타내었으며 표 5의 결과값을 그림 5, 6, 7, 8과 같이

전압강하를 고려한 저압간선의 설계 알고리즘

그래프를 통하여 비교 하였다. 또한 380[V]에서 전압 강하 3[%]를 예시로한 케이블 최대 허용길이를 표 7, 8, 9의 "380[V] 부하의 케이블 최대 허용길이"에 나타내었다.

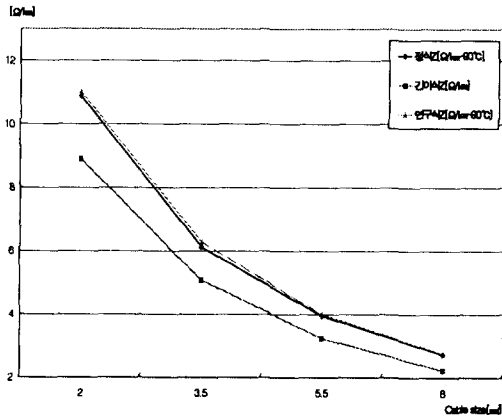


그림 5. 정식계산, 간이계산 및 연구식계산 결과 비교 (2-8 [mm])

Fig. 5. Comparison results computed by formalized, simplified and proposed formular (2-8 [mm])

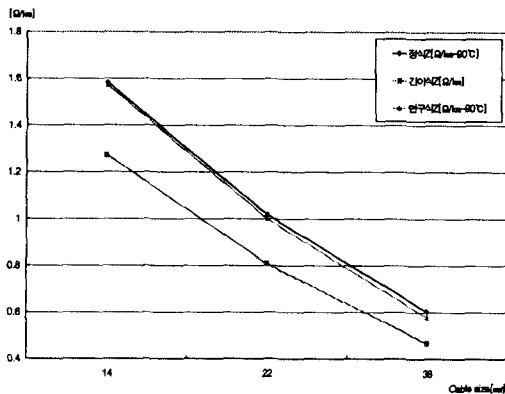


그림 6. 정식계산, 간이계산 및 연구식계산 결과 비교 (14-38 [mm])

Fig. 6. Comparison results computed by formalized, simplified and proposed formular (14-38 [mm])

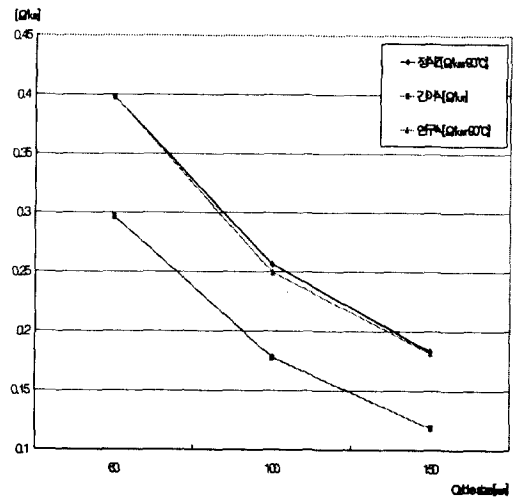


그림 7. 정식계산, 간이계산 및 연구식계산 결과 비교 (60-150 [mm])

Fig. 7. Comparison results computed by formalized, simplified and proposed formular (60-150 [mm])

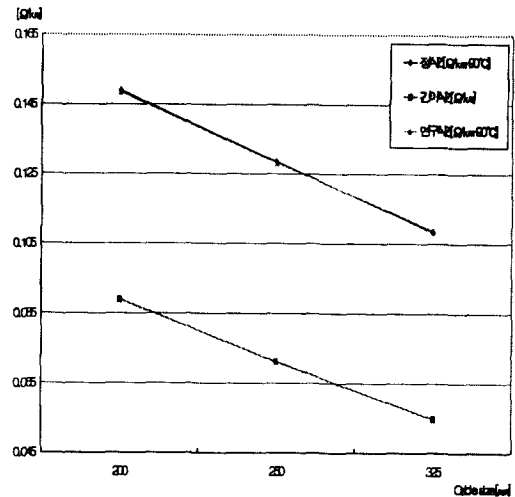


그림 8. 정식계산, 간이계산 및 연구식계산 결과 비교 (200-325 [mm])

Fig. 8. Comparison results computed by formalized, simplified and proposed formular (200-325 [mm])

표 7. 380[V] 부하의 케이블허용길이표 (정식계산)
Table 7. Cable allowable length of 380[V] load (Computation by formalized formular)

OPEN-TOP TRAY에 설치시 (RANDOM FILL)			케이블 최대 허용 굵장 (m)										3[%]		three-conductor		
부하 전류	FLA	1.25x FLA	케이블 굵기 (A)	케이블 최대 허용 굵장 (m)										3[%]		three-conductor	
				3.5	5.5	8	14	22	38	60	100	150	200	250	325		
			허용 전류 (A)	10	15	23	35	51	85	127	162	247	316	383	488		
1.4	1.8			614	952	1377	2379	3897	6229	9448	14679	20534	25259	29299	34711		
2.1	2.6			409	635	918	1586	2465	4153	6298	9766	13689	16840	19533	23141		
2.3	2.9			373	580	838	1448	2251	3791	5751	8935	12499	15375	17834	21128		
3.4	4.3			253	392	567	979	1522	2565	3890	6044	8455	10401	12064	14293		
3.9	4.9			220	342	494	854	1327	2236	3391	5269	7371	9067	10518	12460		
5.5	6.9			156	242	350	606	941	1566	2405	3736	5227	6430	7458	8836		
8.8	11.0			-	151	219	378	588	991	1503	2335	3267	4019	4661	5522		
13.0	16.3			-	-	148	256	398	671	1017	1581	2211	2720	3155	3738		
16.9	21.1			-	-	114	197	306	516	783	1216	1701	2092	2427	2875		
24.7	30.9			-	-	-	135	210	353	535	832	1164	1432	1681	1967		
32.4	40.5			-	-	-	-	160	269	408	634	887	1097	1288	1500		
40.0	50.0			-	-	-	-	129	218	331	514	719	884	1025	1215		
48.0	60.0			-	-	-	-	-	182	276	428	599	737	855	1012		
63.0	78.8			-	-	-	-	-	138	210	326	456	561	651	771		
77.0	96.3			-	-	-	-	-	-	172	267	373	459	533	631		
86.0	107.5			-	-	-	-	-	-	154	239	334	411	477	565		
113.0	141.3			-	-	-	-	-	-	-	182	254	313	363	430		
148.0	185.0			-	-	-	-	-	-	-	-	194	239	277	328		

표 8. 380[V] 부하의 케이블허용길이표 (간이식계산)
Table 8. Cable allowable length of 380[V] load (Computation by simplified formular)

OPEN-TOP TRAY에 설치시 (RANDOM FILL)			케이블 최대 허용 굵장 (m)										3[%]		three-conductor		
부하 전류	FLA	1.25x FLA	케이블 굵기 (A)	케이블 최대 허용 굵장 (m)										3[%]		three-conductor	
				3.5	5.5	8	14	22	38	60	100	150	200	250	325		
			허용 전류 (A)	10	15	23	35	51	85	127	162	247	316	383	488		
1.4	1.8			740	1163	1692	2981	4653	8037	12690	21150	31725	42301	52876	68738		
2.1	2.6			494	776	1128	1974	3102	5358	8460	14100	21150	28200	35250	45826		
2.3	2.9			451	708	1030	1802	2832	4892	7724	12874	19311	25748	32185	41841		
3.4	4.3			305	479	697	1219	1916	3309	5225	8709	13063	17418	21772	28304		
3.9	4.9			266	418	607	1063	1670	2885	4555	7592	11389	15185	18981	24675		
5.5	6.9			188	298	431	754	1184	2048	3230	5384	8076	10767	13459	17497		
8.8	11.0			-	185	269	471	740	1279	2019	3365	5047	6730	8412	10936		
13.0	16.3			-	-	182	319	501	666	1367	2278	3417	4555	5694	7403		
16.9	21.1			-	-	140	245	365	666	1051	1752	2628	3504	4380	5694		
24.7	30.9			-	-	-	168	264	456	719	1199	1798	2398	2997	3896		
32.4	40.5			-	-	-	-	201	347	548	914	1371	1826	2285	2970		
40.0	50.0			-	-	-	-	163	281	444	740	1110	1481	1851	2406		
48.0	60.0			-	-	-	-	-	234	370	617	925	1234	1542	2005		
63.0	78.8			-	-	-	-	-	179	282	470	705	940	1175	1528		
77.0	96.3			-	-	-	-	-	-	231	385	577	769	981	1250		
86.0	107.5			-	-	-	-	-	-	207	344	516	689	861	1119		
113.0	141.3			-	-	-	-	-	-	-	262	393	524	655	852		
148.0	185.0			-	-	-	-	-	-	-	-	300	400	500	650		

표 9. 380[V] 부하의 케이블허용길이표 (연구식계산)
Table 9. Cable allowable length of 380[V] load (Computation by proposed formular)

OPEN-TOP TRAY에 설치시 (RANDOM FILL)			케이블 최대 허용 굵장 (m)										3[%]		three-conductor		
부하 전류	FLA	1.25x FLA	케이블 굵기 (A)	케이블 최대 허용 굵장 (m)										3[%]		three-conductor	
				3.5	5.5	8	14	22	38	60	100	150	200	250	325		
			허용 전류 (A)	10	15	23	35	51	85	127	162	247	316	383	488		
1.4	1.8			598	940	1368	2393	3761	6496	9403	15018	20621	25243	29249	34512		
2.1	2.6			399	627	912	1596	2507	4331	6268	10012	13747	16829	19499	23008		
2.3	2.9			364	572	832	1457	2289	3954	5723	9147	12552	15955	17804	21007		
3.4	4.3			246	387	563	986	1549	2675	3872	6184	8491	10394	12044	14211		
3.9	4.9			215	338	491	859	1350	2332	3375	5391	7402	9052	10500	12389		
5.5	6.9			152	239	348	609	957	1654	2393	3823	5249	6426	7445	8785		
8.8	11.0			-	150	218	381	598	1034	1498	2389	3281	4016	4653	5491		
13.0	16.3			-	-	147	258	405	700	1013	1617	2221	2719	3150	3717		
16.9	21.1			-	-	113	198	312	538	779	1244	1708	2091	2423	2859		
24.7	30.9			-	-	-	136	213	368	533	851	1169	1431	1658	1956		
32.4	40.5			-	-	-	-	163	281	408	649	891	1091	1264	1491		
40.0	50.0			-	-	-	-	132	227	329	526	722	884	1024	1208		
48.0	60.0			-	-	-	-	-	189	274	438	601	736	853	1007		
63.0	78.8			-	-	-	-	-	144	209	334	458	561	650	787		
77.0	96.3			-	-	-	-	-	-	171	273	375	459	532	627		
86.0	107.5			-	-	-	-	-	-	153	244	336	411	476	562		
113.0	141.3			-	-	-	-	-	-	-	186	255	313	362	428		
148.0	185.0			-	-	-	-	-	-	-	-	195	239	277	326		

3. 결 론

저압간선의 굵기는 계통의 전압강하, 간선의 포설 조건별 온도 보정계수를 적용한 허용 전류 및 간선의 임피던스 값에 따라 결정된다. 따라서 저압 간선의 굵기 산정에 있어서 체계적인 설계 흐름도를 제시 하였으며 간선의 포설조건별 적정 보정계수를 적용하여 허용전류 값을 결정하고 저압 간선의 종류, 규격별로 온도변화, 표피효과, 근접효과 등을 고려한 직류저항 값 대비 교류 임피던스 값의 변화정도를 분석하였다. 표 5에서 나타낸바와 같이 교류 Z [Ω -90 $^{\circ}$ C]/직류 R[Ω -20 $^{\circ}$ C] 비율에서 간이식의 경우보다 2.0~38[mm]까지는 평균 1.24배이고 60[mm]부터는 그 값이 점차적으로 증가되어 325[mm]인 경우는 1.98배 정도 높아지는 것을 알 수 있다. 현재 국내 각 대학교 및 전문대학 과정에서는 간이화 공식으로 교육되고 있으며 또한 국내 다수의 전기설계사무소에서 적용되고 있는 실정이나 이는 직류저항 20[$^{\circ}$ C]를 기준으로 한 연동선의 계산식이며 직류 저항대비 교류 임피던스 값이 온도에 따라 현저한 변화를 가져오므로 간이 계산법으로는 실제 계산 결과와는 달리 허용 기준값보다 전압변동이 큰 상태로 설계되고 있다. 따라서, 간이 계산식으로는 교육에서부터 실제 설계까지 배제 되어야 하며 본 논문에서 제시한 바와 같이 연구된 식의 활용을 기대하고자 한다.

References

- [1] NEMA WC52-1986(CEA P-54-440)(Ampacities of Cables in open-top Cable Trays).
- [2] IEEE 835-1994(IEEE Standard Power Cable Ampacity Tables).
- [3] IEEE S-135-1-1962(CEA P-46-426)(Power Cable Ampacities Volume 1-Copper Conductors).
- [4] IEC 949-1988(Calculation of Thermally Permissible Short-Circuit Currents, taking into account Non-Adiabatic Heating Effects).
- [5] KS C 3611-1933 [600V 폴리 에틸렌 케이블].
- [6] KS C 4202-1977 [일반용 저압 3상 유도 전동기].
- [7] JCS 168E - 1995 [전력 케이블 허용전류-1].
- [8] NEC HANDBOOK-1999 Article 310(Conductors for General Wiring).
- [9] "전기 설비 기술계산 핸드북", 기다리, pp. 115~170.
- [10] 최홍규외, "전력 사용시설물 설비 및 설계", 성안당, pp. 245~398, 1999.

- [11] 新版・電力 ケーブル 技術 ハンドブック, 電氣書院, 1989.
- [12] Microsoft Excel2000.

◇저자소개◇

최 홍 규 (崔洪圭)
 홍익대학교 전기, 전자 컴퓨터공학부 교수. 전기설비 연구소 소장.

고 영 곤 (高英坤)
 1953년 9월 10일생. 1978년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1999년 홍익대학교 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료.

조 계 솔 (趙啓術)
 1958년 11월 3일생. 2002년 홍익대학교 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.