2005년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2005. 7. 18 - 20

분산부하 전압강하 계산 프로그램

강 차 녕
대한주택공사 차장 / 고려대학교 박사과정

The Voltage drops computation program on distributed random loads

Cha-Nyeong, Kang.
Korea National Housing Corporation Deputy general manager / Korea University

Abstract - The subject of this research is not only to examine effects on electrical wiring that voltage drops make in low voltage load facilities found in apartments, buildings street lightings, factories, and etc, but also to discuss the voltage drops computation program on distributed random loads to optimize their safety and economy.

Keyworld - Voltage drops, Voltage drops computation program, distributed random loads.

1. 서 론

전기 설비에 있어서 안전성, 경제성, 시공성 확보는 공통된 과제이다.

한국전기안전공사의 2003년 전기재해조사보고서에 따르면 전기재해 사고 중 저압설비의 사고는 총 321건이고 이 중 91건이 전기배선 사고로 약 29%를 차지하고 있어 저압설비중 전기배선의 안전성 확보는 매우 중요함을 알 수 있다.

전기배선에서, 전압강하는 배선의 열 누적을 초래하게 된다. 이는 절연체의 특성변화를 초래하여 절연성능 저하와 정전, 감전 등의 사고까지 파급되게 된다. 따라서 전기배선에서 전압강하의 최적화 설계는 전기설비의 경제성과 안전을 동시에 보장하는 중요한 요소가 되고 있다.

본 연구에서는 저압설비 분산부하의 전압강하가 전기배선에 미치는 영향과 전압강하 계산 프로그램을 논하고자 한다.

2. 본 론

일반적인 전기설비에 있어 부하단의 전압은 전원측 전압보다 낮다. 이는 전원측으로 부터 부하말단에 이르는 배선의 임피던스에 의해 전압이 낮아지는 것이다. 이를 전압강하라 한다.

배선의 전압강하가 작은 것이 좋겠지만, 경제성을 고려하여 허용 전압강하를 규정하고 있다.

본 연구에서는 아파트, 빌딩, 가로등, 공장 등과 같은 저압의 부하설비에 있어서 전압강하가 전기배선에 미치는 영향을 검토하고 안전성, 경제성 확보를 위한 분산부하 전압강하 계산 프로그램을 논하고자 한다.

2.1 허용 전압강하

2.1.1 전기사업법 제18조

전기사업법 제18조 및 동법 시행규칙 제18조 별표3에서 전기사업자는 표준전압을 유지하도록 하고 있다.

(별표 3) 표준전압 및 허용오차

표준전압	허용오차
110볼트	110볼트의 상하로 6볼트 이내
220볼트	220볼트의 상하로 13볼트 이내
380볼트	380볼트의 상하로 38볼트 이내

2.1.2 내선규정 120-1절

1. 저압배선중의 전압강하는 간선 및 분기회로에서 각각 표준전압의 2%이하로 하는 것을 원칙으로 하고 있다. 다만, 전기사용장소 안에 시설한 변압기에 의하여 공급되는 경우 간선의 전압강하는 3%이하로 할 수 있다.

2. 공급변압기 2차측 단자(전기사업자로부터 전기의 공급을 받고 있는 경우에는 인입접속점)에서 최원단의 부하에 이르는 전선의 길이가 60m를 초과하는 경우의 전압강하는 전항에 관계없이 부하전류로 계산하며 표1-1에 따를 수 있다.

[표 2] 전선길이 60m를 초과하는 경우의 전압강하

공급변압기 2차측 단자 또는 인입접속점에서 최원단의 부하에 이르는 사이의 길이(m)	전압강하 (%)	
	사용장소 안에 시설한 전용변압기에서 공급하는 경우	전기사업자로부터 저압으로 전기를 공급받는 경우
120 이하	5 이하	4 이하
200 이하	6 이하	5 이하
200 초과	7 이하	6 이하

2.1.2 허용 전압강하 결정

(1) 부하의 기기를 손상하지 않는 범위내일 것
(2) 부하단자 전압의 변동폭이 적을 것
(3) 각 부하의 단자전압이 균일할 것
(4) 배선중의 전력손실이 적을 것
(5) 경제적일 것

2.2 전압강하가 전기설비에 미치는 영향

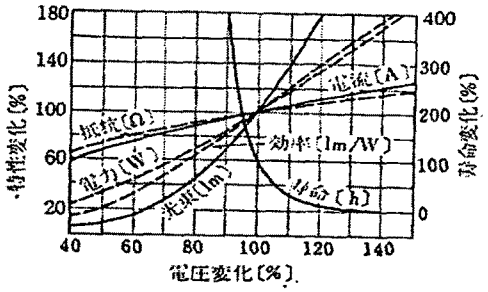
부하단 전압이 정격전압에 대하여 1% 낮아질 경우, 백열전구의 광속은 3% 떨어지고, 유도전동기 토오크는 2% 감소하게 된다.

2.2.1 백열전구의 전압특성

전구에 인가되는 전압을 변화시키면 필라멘트의 온도가 변하고, 전류, 전력, 광속,효율, 수명 등은 전압의 변화에 따라서 지수 함수적으로 변화하게 된다.

$$\frac{l}{L}=(\frac{F}{f})^{3.85}=(\frac{V}{v})^{13.5}$$

여기서, 전구의 정상값 L : 수명, F : 광속, V : 전압
(변동값 l, f, v)



(그림 1) 전구의 전압변화에 의한 특성, 수명변화

2.2.2 유도전동기 토오크-전압특성

(1) 토오크 특성

$$T\propto V_1^2\text{이므로}\ T\propto T(\frac{V_1'}{V_1})^2,\quad s=\frac{1}{V_2}$$

(2) 3상유도전동기 최대토오크 특성

$$\tau_m=KoE_2^2\frac{1}{2x_2}$$

(3) 3상유도전동기 기동토오크 특성

$$T_{st}=\frac{P}{2xf}\frac{m_1V_1^2r_2}{(r_1+r_2)^2+(x_1+x_2)^2}$$

2.3 단일부하 전압강하

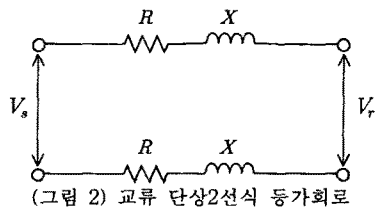
2.3.1 직류2선식

전압강하 $=V_dV_s-V_r=2IR$

전압강하율 $\varepsilon=\frac{V_s-V_r}{Vr}\times100$

여기서, Vs : 송전단전압, Vr : 수전단전압
R: 전선 1선당의 저항, I : 전류

2.3.2 교류 단상2선식



(그림 2) 교류 단상2선식 등가회로

전압강하$e_1=V_s-V_r=2I(Rcos\theta+Xsin\theta)$

전압강하율$\varepsilon_1=\frac{V_s-V_r}{Vr}\times100$

$$=\frac{2I(Rcos\theta+Xsin\theta)}{Vr}\times100$$

여기서 cosθ : 역률, R : 1선당 저항,
X : 1선당의 리액턴스

2.3.3 교류 3상3선식

·전압강하$e_3=V_s-V_r=\sqrt{3}I(Rcos\theta+Xsin\theta)$

·전압강하율$\varepsilon_3=\frac{V_s-V_r}{Vr}\times100$

$$=\frac{\sqrt{3}I(Rcos\theta+Xsin\theta)}{Vr}\times100$$

여기서, cosθ : 역률, R : 1선당 저항,
X : 1선당의 리액턴스

2.3.4 저항만을 고려한 경우

교류 회로에서의 전압강하는 저항과 리액턴스, 역률을 고려하여야 하지만, 선로의 저항만 고려한다면(역률=1) 전압강하 및 전선단면적은 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

(1) 교류 단상2선식 및 직류방식

$$e=2IR=2I\rho\frac{L}{A}$$

$$=\frac{LI}{A}\times2\times\frac{1}{58}\times\frac{100}{97}=0.035549\times\frac{LI}{A}$$

$$=\frac{35.6LI}{1000A}$$

$$\boxed{A=\frac{35.6LI}{1000e}}$$

(2) 교류 3상3선식

$$e=\sqrt{3}IR=\sqrt{3}I\rho\frac{L}{A}$$

$$=\sqrt{3}\times\frac{LI}{A}\times\frac{1}{58}\times\frac{100}{97}=\sqrt{3}\times0.017775\times\frac{LI}{A}$$

$$=\frac{30.8LI}{1000A}$$

$$\boxed{A=\frac{30.8LI}{1000e}}$$

(3) 교류 단상3선식, 3상4선식, 직류3선식

$$e'=IR=I\rho\frac{L}{A}$$

$$=\frac{LI}{A}\times\frac{1}{58}\times\frac{100}{97}=0.017775\times\frac{LI}{A}$$

$$=\frac{17.8LI}{1000A}$$ 로 표현될 수 있다.

$$\boxed{A=\frac{17.8LI}{1000e}}$$

여기서, e : 각 선간의 저압강하[V]
e′ : 외측선 또는 각 상의 1선과 중성선 사이의 전압강하[V]
A : 전선의 단면적[㎟]
L : 전선 1본의 길이[m]
I : 전류

이때, 직류3선식, 교류 단상3선식, 3상4선식에 대한 계산식은 각 선전류는 평행으로 가정하고, 고유저항 $\rho=\frac{1}{58}\frac{100}{\sigma}$, 각 전선의 도전율 σ = 97%라 한다.

그러나 교류회로의 특성이 반드시 고려되어야 한다면, 위 식에 의해 산출된 값에 특성계수를 곱하여 계산할 수 있다. 이 특성계수는 전원주파수, 배선 상호간의 간격,

전선의 굵기와 관련이 있고 어느 것이나 커지면 특성계수의 값도 커지는 경향이 있다.

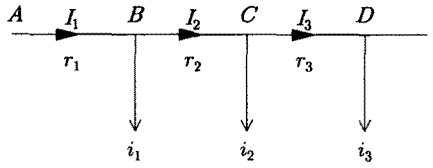
전선의 굵기를 계산하였을 때는 계산한 전선의 굵기에 대해서 허용전류를 조사한 후 부하의 최대사용전류 이상의 허용전류를 가지는가를 검토하여야 한다.

2.4 분산부하의 전압강하

2.4.1 분산부하

저압설비중 가로등, 아파트, 공장 등의 부하설비의 전원공급은 전원측 모선에서 각 간선을 거쳐 각 회로별 부하에 연결되는 균일 또는 불균일한 분포의 분산부하임을 알 수 있다.
전기공급방식에 따라 전압강하 산정은 다음과 같다.

2.4.2 직류 2선식



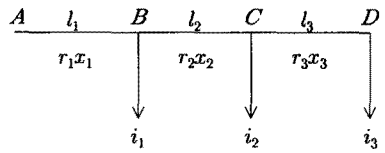
(그림 3) 직류2선식 분산부하 배선도

$$v = (i_1 + i_2 + i_3 ..... + i_n)r_1 + (i_2 + i_3 ..... + i_n)r_2$$

$$= i_1 r_1 + i_2(r_1 + i_2) + i_3(r_1 + r_2 + r_3) + ...$$
$$.... + i_n(r_1 + r_2 + r_3 + ... + r_n)$$
$$+ (i_3 ..... + i_n)r_3 + ... + i_n r_n$$

여기서, AB, BC, CD 각 구간의 왕복2선 저항을 r_1, r_2, r_3, 각 구간에 흐르는 전류를 I_1, I_2, I_3라 한다.

2.4.3 교류 단상2선식



(그림 4) 교류 단상2선식 분산부하 배선도

$$v = r(l_1 i_1 cos\theta_1 + l_2 i_2 cos\theta_2 + l_3 i_3 cos\theta_3)$$
$$+ x(l_1 i_1 sin\theta_1 + l_2 i_2 sin\theta_2 + l_3 i_3 sin\theta_3)$$

2.4.4 분산부하의 전압강하 계산 예

(그림 4)와 같은 분산부하 회로에서,
- 저압으로 공급받는 교류 단상2선식 220V이고, 부하말단에 이르는 배선거리 합은 일반적으로 200미터를 초과하므로 전압강하는 6%이하, 다만 인입선의 전압강하를 1%(e=2V), 차단기로부터 각 부하말단에 이르는 배선(A점에서 D점의 말단까지)의 전압강하는 5%(e=11V)이하로 한다.
- 부하전류 및 각 구간거리는 조도에 따라 정해지므로, 부하전류를 각각 i_1=6A, i_2=10A, i_3=7A, 구간거리를 l_1=35m, l_2=29m, l_3=34m라 한다.
- 부하의 역률을 1이라 한다.

이 회로에서 미지수인 전선단면적을 구할 수 있다. 여기서 총 전압강하가 주어졌으므로 개략 3구간의 전류비 또는 거리비로 전압강하를 정하고(11V ≒ 6:10:7 또는 11 V ≒ 35:29:34) 각 구간별 단면적을 구하여 보면,

(1) 전류비에 의한 각 구간 단면적 산정

$$e_1 = e \times \frac{i_1}{\sum_{n=1}^{3} i_n} = 11 \times \frac{6}{(6+10+7)} = 2.9\,V$$

$$A_1 = \frac{35.6 L_1 I_1}{1000 e_1} = \frac{35.6 \times 35 \times 6}{1000 \times 2.9} = 2.6\,㎟$$

⇒ A_1'(규격전선) = 4㎟ 이때 전압강하 $e_1' = 1.9\,V$

$$e_2 = 11 \times \frac{10}{(6+10+7)} = 4.8$$

⇒ A_2'(규격전선) = 2.5㎟ 이때 전압강하 $e_2' = 4.1\,V$

$$e_3 = 11 \times \frac{7}{(6+10+7)} = 3.3$$

⇒ A_3'(규격전선) = 4㎟ 이때 전압강하 $e_3' = 2.1\,V$

$$e = e_1' + e_2' + e_3' = 1.9 + 4.1 + 2.1 = 8.1\,V$$

(2) 거리비에 의한 각 구간 단면적 산정

$$e_1 = e \times \frac{l_1}{\sum_{n=1}^{3} l_n} = 11 \times \frac{35}{(35+29+34)} = 3.9$$

$$A_1 = \frac{35.6 L_1 I_1}{1000 e_1} = \frac{35.6 \times 35 \times 6}{1000 \times 3.9} = 1.9\,㎟$$

⇒ A_1'(규격전선) = 2.5㎟ 이때 전압강하 $e_1' = 3.0\,V$

$$e_2 = 11 \times \frac{29}{(35+29+34)} = 3.3$$

⇒ A_2'(규격전선) = 4.0㎟ 이때 전압강하 $e_2' = 2.6\,V$

$$e_3 = 11 \times \frac{34}{(35+29+34)} = 3.8$$

⇒ A_3'(규격전선) = 2.5㎟ 이때 전압강하 $e_3' = 3.4\,V$

$$e = e_1' + e_2' + e_3' = 3.0 + 2.6 + 3.4 = 9.0\,V$$

2.5 분산부하의 전압강하 계산 실용식

앞서 2가지 계산결과에서 각 구간별 전선의 1㎟ 당 전압강하의 차이가 크다. 즉 특정구간에 전압강하가 집중되어 절연체의 열 누적으로 사고를 초래할 수 있다.

따라서, 어느 구간이든 전선의 단위체적당(1㎟) 전압강하가 균일하도록 설계가 요구된다. 즉 열 방산을 고르게 하여 절연체를 보호할 필요가 있다.

분산부하는 각 구간의 거리가 다르고, 분기회로의 부하크기가 다르므로, 총 허용전압강하를 구간의 거리(임피던스) 및 전류에 비례하여 구간 전압강하를 분배하고 단면적을 구할 수 있다. 다만, 구해진 단면적을 규격전선으로 선정하면 전압강하 분포가 다소 달라질 수 있고, 각 구간별 전압강하를 미리 분배하였으므로, 총 전압강하는 줄어들지만 경제적으로 부담이 되게 된다.

따라서 전 구간에서 단위면적당 전압강하 분포를 균일하게 배분하고 또한 경제성을 고려한 전압강하 산정식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

① 총 전압강하를 구간별 전압강하로 분배하고 첫 구간에서 전압강하로 산정된 단면적(규격전선으로 선정)에 의해 다시 전압강하를 산정한다.

여기서, n : 해당구간, m : 말단구간, e : 총 전압강하, e' : 지전구간까지의 전압강하의 합

$$e_n = e \times \frac{l_n \times i_n}{\sum_{j=1}^{m}(l_j \times i_j))}$$

$$A_1 = \frac{35.6 \times l_1 \times i_1}{1000 \times e \times \frac{l_n \times i_n}{\sum_{j=1}^{m}(l_j \times i_j)}}$$

② 다음 구간부터는 총 전압강하 중 이전 구간까지의 전압강하 합을 뺀 나머지 허용전압강하를 ①과 같이 반복하면 둘째 구간이 계산되고, 이를 반복하여 말단구간까지 계산한다.

$$e_n = (e - e') \times \frac{l_n \times i_n}{\sum_{j=1}^{m}(l_j \times i_j) - \sum_{k=1}^{n}(l_{k-1} \times i_{k-1})}$$

$$A_n = \frac{35.6 \times l_n \times i_n}{1000 \times (e - e') \times \frac{l_n \times i_n}{\sum_{j=1}^{m}(l_j \times i_j) - \sum_{k=1}^{n}(l_{k-1} \times i_{k-1})}}$$

$$= \frac{35.6 \times \sum_{j=1}^{m}(l_j \times i_j) - \sum_{k=1}^{n}(l_{k-1} \times i_{k-1})}{1000 \times (e - e')}$$

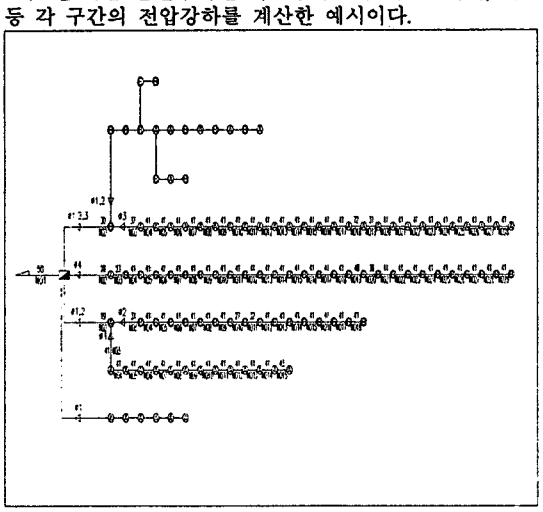
이 식을 실용식(K식)이라 칭하기로 한다.

2.6 분산부하 전압강하 계산 프로그램

앞서 살펴 본 바와 같이 다수의 분산부하에서 구간별 전압강하 및 전선의 단면적을 계산하기란 매우 복잡하여 진다.따라서 이 실용식을 적용한 전압강하 계산 프로그램을 검토하여 보자

2.6.1 프로그램에 의한 계산 예

(그림 6)은 분산부하인 가로등설비의 배선도이며, 가로등 각 구간의 전압강하를 계산한 예시이다.



(그림 5) 가로등 배선도

- 공급전압 : 교류 단상2선식 220V
- 전압강하 : 5% (11V) 이하
- 구간거리 : 분기점점까지의 거리를 고려함
- 부하종류 : 고압나트륨램프
- Program tools : Excel V2002
- Back data : 부하의 특성(전류), 전선 종류, 규격 등

Devision		18	No.1	No.2	No.3	...	No.18
Total		26	26	14	13	...	13
Input	NH400W	0				...	
	NH250W	26	12	1	1	...	1
	MH175W	0				...	
	Dist.(m)		15	30	35	...	34
output (실용식 적용)	I (A)		15.6	1.3	1.3	...	1.3
	ΣIa(안정시) (A)	33.80	33.8	18.2	16.9	...	1.3
	$l_n \times i_n$		507	546	591.5	...	44.2
	$\sum_{j=1}^{m}(l_j \times i_j) - \sum_{k=1}^{n}(l_{k-1} \times i_{k-1})$		5,764	5,257	4,711	...	44.2
	A_n(㎟)		18.7	18.4	18.0	...	7.5
	A(㎟)		22.0	22.0	22.0	...	8.0
	e_n(V)	10.99	0.82	0.88	0.96	...	0.20
	A_n'(㎟)		22.0	22.0	22.0	...	22.0
	e_n'(V)	9.33	0.82	0.88	0.96	...	0.07
Pipe conduit		HI36	HI36	HI36	HI36	...	HI36

2.6.2 프로그램의 특징

(1) 활용이 간편함 (엑셀)
(2) 복잡한 회로에서도 간단한 입력만으로 계산
(3) 설계시간 단축
(4) 수작업시의 오류예방
(5) 실용식에 의해 각 전선의 부담률 균형화
(6) 전선의 안전성, 내구성 확보

2.6.3 프로그램의 활용

저압의 거의 모든 설비는 전원측으로부터 간선을 통하여 다수가 분기되는 분산부하 시스템을 구성하고 있으므로 거의 모든 설비에 이 프로그램을 활용할 수 있다.

현재 가로등, 보안등 설비에서는 설계 및 설계변경 등에 이 프로그램을 활용하고 있다.

3. 결 론

분산부하의 전선 선정을 위한 전압강하 계산은 반복계산 및 많은 시간이 소요되고 있다.

이 실용식 및 프로그램은 수십 m에서 수백 m에 이르는 배선의 특성에 따라 최적으로 단면적을 선정할 수 있어 수작업으로 계산시의 오류, 소요시간 등 문제점 해소와 경제성을 제고할 수 있다.

또한, 예시한 가로등 배선뿐만 아니라, 아파트, 빌딩의 간선, 플랜트설비의 간선 선정 등에 폭넓게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

[1] 송길영, "송배전공학", 동일출판사, 1988.
[2] 김용주, "송배전공학", 형설출판사, 1982.
[3] 권세혁 외, "건축전기설비上", 교문사, 1992.
[4] 강차녕, "가로등 전압강하계산", 대한주택공사, 1997.
[5] 한국전기안전공사, "2003전기재해조사보고서", 2004.
[6] 한국산업규격, "KSC IEC 60364", 132절, 2002.
[7] 이원교, "전기설비의 설계 및 시공", 동일출판사, 1995.
[8] 최홍규, "전력사용시설물설비 및 설계", 성안당, 2001.
[9] 김세동, "전력설비 기술계산 해설", 동일출판사, 1999.
[10] 의제, "신 전기설비 기술계산핸드북", 제2판.
[11] 검정연구회, "전력공학", 동일출판사, 2000.
[12] 정용기 외, "수변전설비의 계획과 설계", 의제, 1995.
[13] 지철근,정용기, "최신 전기설비", 문운당, 1995.
[14] W.D. stevenson, jr, "Elements of power system analysis", 1982.