

에너지절약을 위한 전기설비 관리기술(Ⅲ)

글/ 지 철 근(공학박사, 전기응용기술사)

3 배전설비

3-1 에너지절의 배전방식 설계

가정, 공장, 빌딩 등에서 채택되고 있는 배전방식에는 각종의 전기방식과 배선방식 등이 있으며, 에너지절감 측면에서의 특징을 비교하면 다음과 같다.

(1) 적정배전방식의 선정

배전선의 배전방식에는 상수, 중성선(N상) 이용의 유무, 중성접지방식 등에 따라 각종 방식이 있으며, 일반적으로 사용되고 있는 것은 단상 2선식, 단상 3선식, 3상 3선식과 3상 4선식이다.

이 네가지 배전방식에 대하여


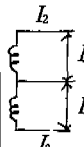
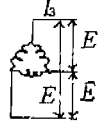

- ① 선간전압 동일
- ② 부하는 말단 집중부하로 하고, 용량 역률은 모든 경우에 대하여 동일
- ③ 전선중량 동일
- ④ 중성선위로 전류는 0

이런 조건하에서 전선전류, 전압강하 및 전력손실의 각각에 대하여 단상 2선식의 경우를 100으로 하여 비교하여 보면 표 3-1과 같다.

즉 단상 2선식 보다 단상 3선식, 3상 3선식 보다 3상 4선식이 전압강하, 배전손실이 모두 적으므로 부하의 종류, 특성에 따라 적절한 배전방식을 선정한다.

그리고 표 3-1은 전선 총중량을 같게 하여 각종의 비교를 한 것이지만, 전력손실을 같게 한 경우, 전류밀도를 같게 한 경우, 전선의 굵기를 같게 한 경우에 대하여 각종 항목에 대한 비교결과를 표 3-2

<표 3-1> 배전방식의 비교(전선총중량이 동일한 경우)

전기방식	단상2선식	단상3선식	3상 3선식	3상 4선식
결 선 도 공급전력 (역률 1.0으로 동일로 한다.) 전선총량 (동일로 한다. 단 중성선은 다른 선과 동일 단면적으로 한다.) (L:항장)	 $P = EI_1$ $v = 2S_1L$	 $P = 2EI_2$ $v = 3S_2L$	 $P = \sqrt{3} I_3 E$ $v = 3S_3L$	 $P = 3EI_4$ $v = 4S_4L$
선 전 류 [비 교]	I_1 100%	$I_2 = \frac{I_1}{2}$ 50%	$I_3 = \frac{I_1}{\sqrt{3}}$ 57.7%	$I_4 = \frac{I_1}{3}$ 33.3%
전선의 단면적 [비 교]	S_1 100%	$S_2 = \frac{2}{3}S_1$ 66.7%	$S_3 = \frac{2}{3}S_1$ 66.7%	$S_4 = \frac{1}{2}S_1$ 50%
전압강하 (p:저항률) [비 교]	$e_1 = 2IR_1$ $= 2 \frac{I_1 \rho L}{S_1}$ 100%	$e_2 = IR_2$ $= \frac{3}{4} \frac{I_1 \rho L}{S_1}$ 37.5%	$e_3 = \sqrt{3} IR_3$ $= \frac{3}{2} \frac{I_1 \rho L}{S_1}$ 75%	$e_4 = IR_4$ $= \frac{2}{3} \frac{I_1 \rho L}{S_1}$ 33.3%
배전손실 [비 교]	$Q_1 = 2I_1^2 R_1$ $= 2I_1^2 \rho \frac{L}{S_1}$ 100%	$Q_2 = 2I_2^2 R_2$ $= \frac{3}{4} I_1^2 \rho \frac{L}{S_1}$ 37.5%	$Q_3 = 3I_3^2 R_3$ $= \frac{3}{2} I_1^2 \rho \frac{L}{S_1}$ 75%	$Q_4 = 3I_4^2 R_4$ $= \frac{2}{3} I_1^2 \rho \frac{L}{S_1}$ 33.3%

<표 3-2> 각종 배전방식의 비교

비교조건	손실		전류밀도		전선 굵기	
	동일	동일	동일	동일	동일	동일
비교항목	동량비	손실비	동량비	손실비	동량비	동량비
단상 2선식	100	100	100	100	100	100
단상 3선식	37.5	50	75	25	150	
3상 3선식	75	86.6	86.6	50	150	
3상 4선식	33.3	50	66.7	16.7	200	

에 나타낸다.

배전방식은 변전설비, 배선, 분전반 등의 규모와 전력손실, 전선굵기, 전압강하가 각각 다르므로 동일한 부하조건에서의 배전방식의 결정은 경제성이 좋은 단상 3선식 또는 3상 4선식으로 결정하는 것이 좋다.

배전선로에서 선로의 저항은 적게 부하의 단자전압 및 역률은 크게 유지해야 한다.

선로의 저항은 전선의 길이에 비례하고, 굵기에 반비례하므로 짧은 전선을 짧게 배선하는 것이 전력손실을 줄이는 것이 된다.

또한 전압을 2배로 하면 손실은 1/4이 되며, 반면 같은 전력을 같은 손실로 공급할 때 전압을 2배로 하면 전선의 굵기는 1/4로 줄어 승압은 배선의 전력손실 경감뿐 아니라 전압상태의 개선이나 공사비의 절감에 유효한 방법이다.

그리고 부하의 역률을 개선하는 것도 배선의 전력손실을 줄이는 효과가 있다.

- ① 단상 2선식 : 30[kW] 이하의 소용량을 쓰는 일반주택에서 간선으로 쓰이고 있다. 100[V] 또는 200[V]로 전동용, 콘센트용으로 쓰인다.
- ② 단상 3선식 : 회로전압을 100[V]/200[V]로 양용할 수 있고 3[kW]이상의 일반 전등, 40[W]이하의 형광등, 0.75[kW]이하의 단상전동기 등과 같이 용량이 비교적 큰 부하의 배선과 30[kW]이상 50[kW]정도의 배전선에 사용한다. 이 방식을 분전반의 간선으로 채택하면, 전선의 양이 많이 절약된다.

③ 3상 3선식 : 일반 빌딩이나 공장에 시설되는 기계의 전동기는 대부분 3상 220[V]나 3상 380[V]정격으로 되어 있다. 따라서 동력전원으로 많이 사용되고 있다.

④ 3상 4선식 : 이 방식은 220[V]/380[V]가 많이 쓰이며 3상동력과 단상전동부하에 공급할 수 있다.

(2) 적정배선방식의 선정

근래에는 재래식의 나뭇가지 배선방식 이외에, 루

<표 3-3> 각종의 배선방식

명칭	나뭇가지방식	루프방식	네트워크방식	벙킹방식
배선 형태도				
장점	① 배선의 형태가 단순하기 때문에 보수 용이	① 공사정전의 범위가 소부분이다. 또 원방제이용 구분개폐기의 사용에 의한 사고시의 정전범위가 축소	① 신뢰도를 높일 수 있다. ② 전력손실, 전압강하가 경감 된다	① 전력손실, 전압강하가 경감 된다. ② 소형전동기의 시동에 의한 플리커를 완화할 수 있다.
단점	① 사고, 공사 정전의 범위가 넓어진 다. ② 전력손실, 전압강하가 크다.	① 보호장치가 복잡하게 된다.	① 부하밀도가 높지 않으면 경제적으로 불리하다. ② 보호장치가 복잡하게 된다.	① 변압기의 고압측 퓨즈선로 구분개폐기의 보호전류값을 적당히 협조하지 않으면 사고시에 정전이 될 우려가 있다.

프방식, 네트워크방식 및 벙킹방식의 배선방식이 전력손실을 줄일 수 있으며 빌딩이나 공장에서 눈에 띄게 많이 사용되고 있다.

이는 배전선의 보호레어의 발달에 의한 전력공급 신뢰도 향상과 에너지 절약 추진 때문이다.

표 3-3에서 각종 배선방식의 특성을 표시한다.

(3) 배전선을 굵게 함으로써 얻는 선로손실 경감의 계산예

그림 3-2에서 표시하는 3상지중배선에서 선로손실을 구하면, O-A-B-C-D사이의 저항 및 전류는 그림 3-3(a)와 같이 되므로, 각점 사이의 전력 손실은

$$O-A\text{간} : W_{OA} = 3 \times 190^2 \times 0.1434 \approx 15.530[\text{Wh}]$$

$$A-B\text{간} : W_{AB} = 3 \times 140^2 \times 0.1191 \approx 7.003[\text{Wh}]$$

$$B-C\text{간} : W_{BC} = 3 \times 90^2 \times 0.1878 \approx 4.503[\text{Wh}]$$

$$C-D\text{간} : W_{CD} = 3 \times 50^2 \times 0.513 \approx 3.848[\text{Wh}]$$

로 되며 O-D간의 전력손실은 다음과 같다.

$$W = W_{OA} + W_{AB} + W_{BC} + W_{CD} \approx 30.944[\text{kWh}]$$

지금 O-D의 전구간을 3C-100[mm²]로 배선한다면, 이 경우의 각점 사이의 저항분포는 그림 3-3(b)와 같이 되므로 동일한 계산을 하면

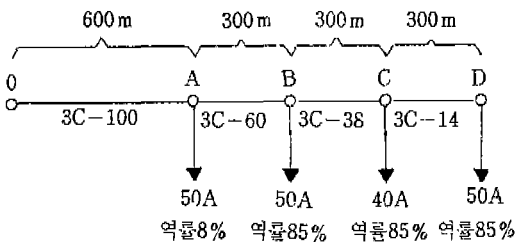
$$W_{OA} = 3 \times 190^2 \times 0.1434 \approx 15.530[\text{Wh}]$$

$$W_{AB} = 3 \times 140^2 \times 0.0717 \approx 4.215[\text{Wh}]$$

$$W_{BC} = 3 \times 90^2 \times 0.0717 \approx 1.7420[\text{Wh}]$$

$$W_{CD} = 3 \times 50^2 \times 0.0717 \approx 537[\text{Wh}]$$

$$W = W_{OA} + W_{BC} + W_{CD} \approx 22.024[\text{kWh}]$$



<그림 3-2> 3상 지중배전선로의 예

	0	A	B	C	D
저항(Ω/1선)		0.1434	0.1191	0.1878	0.513
전류(A)		190	140	90	50

(a) 그림 3-3의 경우

	0				
저항(Ω/1선)		0.1434	0.0717	0.0717	0.0717
전류(A)		190	140	90	50

(b) 전구간 100mm²의 경우

<그림 3-3> 3상 지중배선의 저항, 전류분포에

로 되며 선로손실차는

$$30.944[\text{kWh}] - 20.024[\text{kWh}] = 8.92[\text{kWh}]$$

저감률 28.8[%]를 얻는다.

이것을 전력비가 1[kWh]당 60원이라면

$$(8.92 \times 365 \times 24) \times 60 = 4.68 \times 10^6 \text{원}$$

로 되며 연간 468만원의 경비 절감된다.

3-2 배전전압 적정화에 의한 에너지 절약설계

구내에서 사용하는 전력의 질은 전원으로부터 떨어져 있거나 부하의 변동이 있더라도 주파수 변동이 없고, 전압강하가 적으며, 전압변동이 적은 것이 필요하다. 이들 중에서 주파수는 전력회사의 계통이 서로 연계되어 대전력계통을 구성하고, 상시 주파수 조절이 이루어지고 있으므로 안정되어 있으나, 전압강하와 전압변동 등은 에너지 절약 측면에서 검토할 필요가 있다.

(1) 전압강하 대책

부하에 걸리는 전압은 전원전압보다 낮다. 이것은 전류가 배선중을 통하는 사이에 임피던스에 의하여 전압이 떨어지는 전압강하 때문이다.

전동기, 조명기구 및 전열기는 정격전압에서 사용하는 것이 효율이 좋다.

전압강하가 크면 효율이 떨어짐과 동시에 수명단축을 초래한다.

즉 부하설비에 걸린 전압이 부하의 정격전압보다

1[%] 낮아질 때에는 백열전구에서는 3[%] 어둡게 되고, 형광등은 2[%] 어두워 지며, 유도전동기에서는 2[%]의 토크가 떨어지고, 전열기에서는 발열량이 2[%] 줄어든다.

따라서 옥내배선의 전압강하는 될 수 있는대로 적게 함이 요망되지만 경제성을 고려하여 보통은 인입선의 1[%], 간선에서 1[%], 분기회로에서 2[%] 이하로 하고 있다.

그러므로 배선설계시에는 전압강하를 제한하는 것을 반영하여야 한다.

구내 배전선로의 일반적인 허용전압강하는 다음과 같다.

1~60[m] : 3[%]이하(간선에서 2[%]이하)

60~120[m] : 5[%]이하(간선에서 3[%]이하)

120~200[m] : 6[%]이하(간선에서 4[%]이하)

200[m]초과 : 7[%]이하(간선에서 5[%]이하)

구내 배전선로의 전압강하를 줄이는 것은 전선의 굵기를 조절하여 행한다.

(2) 전압변동 대책

공장이나 빌딩의 조업시와 그 이외의 시간 또는 평일과 휴일에는 변전실의 송출전압이 변동한다.

현장에서의 전압변동이 클 것으로 예상되면 다음의 대책이 강구되어야 한다.

① 높은 전압으로 부하의 중심점으로 배전한다.

높은전압으로 배전하면 전류가 작게 되므로 저압측의 전압강하가 저감된다.

② 배전선의 임피던스를 적게 한다.

전압강하는 전류와 임피던스의 곱이므로 임피던스를 적게 하면 전류가 변화하여도 그의 곱인 변동이 적게 된다.

③ 전압조정장치의 채택

전압강하가 너무 크거나 전압변동폭이 허용범위내에 들어가지 않을 경우에는 전압조정장치를 설치한다.

- 부하시 전압조정기
- 부하시 탭변환변압기
- 유도전압조정기
- 변압기의 탭 조정
- 승압기

④ 전력콘덴서의 자동개폐

전력콘덴서는 역률개선과 동시에 전압을 올릴 수 있다.

변전소 수전점의 전압은 전력회사 계통 전체의 부하시용 상태에 따라 시시각각으로 변한다.

일반적으로 중부하 시간대에서는 수전전압이 낮아지고 경부하시인 야간이나 휴일에는 수전전압이 올라 간다.

변전소에서의 전압조절은 변압기의 탭변환, 유도전압조정기(IVR), 부하시 자동전압조정기 OLTC를 용량이 큰 변압기에서는 부착하고 있다.

전기사업법에서의 허용전압변동폭은 표 3-5와 같다.

<표 3-5> 허용전압 변동폭

배 전 선	유지해야 할 전압
100[V]	100V의 상하로 26V이내
200[V]	200V의 상하로 20V이내
220[V]	220V의 상하로 13V이내
380[V]	380V의 상하로 38V이내

변전소의 수전전압의 변동도 문제이지만, 실제로 부하의 수전점에서의 전압의 상태가 어떻게 되느냐 하는 것이 전기기기의 효율적 운전에 더욱 중요한 고려대상이 된다.

따라서 구내 배전선로에서의 전압강하를 제한 하는 것을 전기설계시에 반영하여야 한다.

(3) 전하수평형

각 상간의 부하는 항상 평형을 취하지 아니하면 전압에 불평형이 일어난다. 전압에 불평형이 있으면 소위 역상전류가 흘러서 전동기에서는 회전방향과 반대의 회전자계가 생겨서 역상토크가 발생한다. 이때문에, 전동기에서는 동손, 철손이 증가하고, 온도 상승, 소음증가가 있으며 효율은 저하한다.

전압불평형의 발생원인으로는 계통에 큰 단상부하나 3상 불평형 부하가 있는 경우나 변압기의 V-V결선에 의하여 발생한다.

(4) 부하불평형에 의한 문제

가) 단상3선식의 부하불평형에 의한 기기동작부실

그림 3-4에서 AN, BN 사이에 부하전류가 각각 100[A] 20[A]라면, 중성선에 흐르는 전류는 부하로부터 전원으로 향하여

$$100[A] - 20[A] = 80[A]$$

흐르므로, 각상의 전압강하는

$$\text{A상 } 100[A] \times 0.1[\Omega] = 10[V]$$

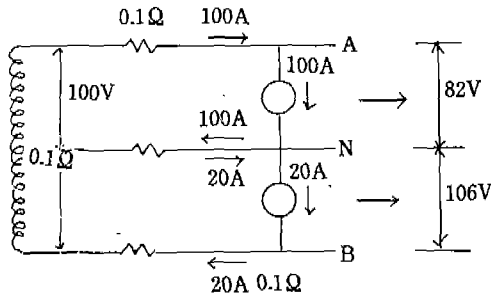
$$\text{B상 } 20[A] \times 0.1[\Omega] = 2[V]$$

$$\text{중성선 } 80[A] \times 0.1[\Omega] = 8[V]$$

따라서 AN간의 전압 $100[V] - 8[V] = 82[V]$

NB간의 전압 $100[V] + 8[V] - 2[V] = 106[V]$

이와같이 중복부하측의 전압(N간의 전압82[V])은 경부하간의 전압(BN간의 전압106[V])보다 낮아져서 100[V]의 기기가 정상적으로 동작할 수 없다.



<그림 3-4> 부하의 불평형

나) 부하의 불평형에 의한 배전선 손실의 예

3상 3선식 회로에서 각 선간의 평형부하를 접속한 경우 그림 3-5(a)에서 표시하고, 극단적인 경우로서 동일용량의 부하를 V접속으로 접속한 경우를 그

림 3-5(b)에서 표시한다.

이들의 선로손실을 비교하여 본다.

①△접속평형부하의 경우

$$|I_a| = |I_b| = |I_c| = \sqrt{3}I$$

따라서 선로손실 L_a 는

$$L_a = 3(\sqrt{3}I)^2R = 9I^2R$$

②V접속불평형부하의 경우

$$I_a = \sqrt{3} \times 1.5I$$

$$I_b = I_c = 1.5I$$

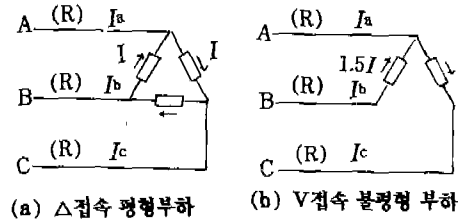
따라서 선로손실 L_b 는

$$L_b = \{(\sqrt{3} \times 1.5I)\}^2R + 2 \times (1.5I)^2R = 11.25I^2R$$

로 되며 (b)의 경우의 손실은 (a)의 경우의 1.25배로 된다.

즉 단상부하를 부주의로 단상 3선전원이나 3상3선전원에 설비하는 것을 피하고 각 단상부하를 평형하게 설비하도록 유의한다.

본장은 지철근저, 문운당발간의 에너지 절약 전기설비기술에서 요약된 것이므로 더욱 구체적인 사항은 상기 서적을 참조하기 바란다.



<그림 3-5> 3상 3선식회로 부하접속도

전기안전은 지켜지는 것이 아니고 지키는 것입니다