

에너지 절약을 위한 전기설비 관리기술 (I)

글/지 철 근(공학박사, 전기응용기술사)

1. 부하관리기술

(1) 부하율 개선

용도, 규모에 맞추어 전력관리용 계기를 설치하여 전력의 사용추이를 파악하고 수용전력계를 설치하여 전력사용을 관리하도록 한다.

수용전력은 시시각각 또는 계절에 따라 변화하므로 어느 기간중의 평균전력과 그 기간중의 최대수요전력의 비를 부하율이라 하며 부하변동의 정도를 나타낸다.

부하율이 좋은 상태란 최대전력이 적고, 평균전력이 큰 상태이며, 기간을 통하여 평균으로 전력이 사용되는 것을 말한다.

부하율을 개선하려면 공장의 부하곡선을 그리고 이때부터 최대전력의 발생요인을 찾아서, 그 원인으로 되는 생산상황 작업방법의 개선 부하의 일부를 다른 시간대로 이동시키는 방법 등으로 시정한다.

부하율 개선효과는 국가적인 에너지 사용합리화의 요청에 따를 뿐 아니라 공장 내부에도 많은 이점이 있다.

즉, 수전설비의 용량을 저감시킴으로써 그만큼 설비비가 저감된다.

수전설비의 용량이 감소되면 기본요금도 감소된다.

그리고 변압기, 배선 등의 손실 등을 감소시킨다. 또한 부하율이 개선되면 최대 전력이 낮아지므로, 그만큼 용량의 여유를 갖게 된다.

(2) 최대전력관리

최대전력은 계약전력과 큰 관계가 있으며, 전력요금 중에서 큰 비중을 갖는 기본요금으로 나타난다.

최대전력의 관리로는 수요전력계의 설치로 전력부하의 피크 컷, 피크이동 자가발전기 가동 프로그램 제어 등으로 이를 시행하고 있다.

그리고 수요전력 감시장치로 전력초과를 사전에 억제하는 방법도 있다.

또한 수요전력 초과와 염려가 있는 경우에는 단시간 정지시킬 수 있는 설비를 미리 선택하여 두고, 공장 작업원으로 하여금 기계설비를 일시 정지시켜서 최대전력을 억제한다.

2. 역률관리

(1) 구내역률

사무용빌딩의 전력부하의 약 70%가 전동기이고 공장부하의 대부분이 전동기로 점유되고 있으나 유도전동기의 결점은 역률이 나쁜 것이다.

또한 경부하에서는 역률이 10%, 전부하에서는 역률이 90% 정도로서 부하가 걸리는 정도에 따라서 역률이 변화한다.

부하의 종합적인 회로의 부하역률이 낮으면, 전선로의 전압강하가 증가되고 설비의 유효적인 이용을 저해할 뿐 아니라 전력손실도 증가시켜서 전력요금도 높아진다.

(2) 역률개선 효과

역률개선은 전동기에 적정부하를 거는 것과 선로에 콘덴서를 삽입함으로써 이루어진다. 콘덴서는 삽입된 위치로부터 전원측으로 향하여 역률이 개선되

며 역률이 개선되면 변압기, 선로 등의 저항손실을 감소시키고 부하단에서의 전압도 확보된다.

콘덴서 설치의 선로손실을 적게 하는 뜻에서 말단에 설치하는 분산식이 고가이긴 하나 바람직한 방식이다.

중앙적인 고압콘덴서 설치의 경제적인 이점이 있으나 배전선로의 손실이 있다.

역률을 개선하면 전기요금도 저감된다.

한국전력에서는 배전계통의 용량증가, 배전손실감소, 배전전압의 개선 등의 이익이 얻어지므로 역률할인 및 할증의 제도가 있다. 즉 수용가의 기준역률은 90% 이상으로 유지되어야 하며, 전력요금 중 기본요금은 역률이 90%를 상회하는 경우에는 95%까지 1%마다 1%씩 할인한다. 역률이 90%에 미달되는 경우에는 매 1%에 대하여 기본요금의 1%씩을 추가한다.

변압기, 배전기 등의 손실이 경감된다.

전력손실은 전류의 제곱에 비례하므로 전류가 적어지면 변압기 배선설비의 전력손실이 경감된다.

또한 전기설비용량은 보통 피상전력으로 결정되므로 역률개선을 동일설비에서 계통용량이 증가된다.

그리고 역률개선은 전압강하 및 전압변동이 감소하고 전기기기의 고성능 사용이 가능하다.

(3) 역률개선 방법

1) 콘덴서 용량의 적정화

① 식으로 구하는 방법

부하의 유효전력 P, 역률 $\cos\theta_1$ 일때, 이 부하역률을 $\cos\theta_2$ 로 개선하는데 필요한 콘덴서 용량 Q는 다음 식과 같이 된다.

$$Q = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) = P\left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2\theta_1} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2\theta_2} - 1}\right)$$

계산예로서, 어느 사무소빌딩의 동력부하에서 P=1,000kW, $\cos\theta=0.8$ 인 부하를 역률 0.95로 개선하는데 필요한 콘덴서의 용량은?

$$Q = 1,000 \times \left(\sqrt{\frac{1}{(0.8)^2} - 1} - \sqrt{\frac{1}{(0.95)^2} - 1}\right)$$

$$= 1,000 \times 0.421 = 421(\text{kVA})$$

그러므로 표준용량의 콘덴서를 선정한다면, 500 [kVA]의 콘덴서를 정하여야 한다.

이 경우 전기요금의 절감은 업무용 전력의 요금이 기본요금 4,045원/kW

전력량요금 66.50원/kWh

이므로 역률이 90% 초과 95%까지는 매 1%에 대하여 기본요금의 1%씩 감액되므로 기본요금 삭감은 다음과 같다.

$$1,000 \times 40 \text{원} \times 5 = 200,000 \text{원/월}$$

$$200,000 \text{원} \times 12 \text{월} = 2,400,000 \text{원/년}$$

② 부하용량과 계수로부터 구하는 방법

콘덴서의 소요용량은 평균수요전력과 평균역률을 구하여 개선목표 역률을 정하고 다음 식으로 부터 결정한다.

$$\text{콘덴서 용량(kVA)} = \text{부하용량(kW)} \times \text{계수}$$

<표1-1> 전상용 콘덴서 용량결정계수, 1kW 부하를 기준으로 한 경우
(콘덴서 용량 kVA)

최초의 역률 [%]	개선 후의 역률 [%]			최초의 역률 [%]	개선 후의 역률 [%]		
	95	90	85		95	90	85
30	2.85	2.69	2.56	64	0.87	0.72	0.58
32	2.63	2.48	2.34	66	0.81	0.65	0.52
34	2.44	2.28	2.15	68	0.75	0.59	0.46
36	2.23	2.11	1.97	70	0.69	0.54	0.40
38	2.14	1.95	1.81	72	0.64	0.48	0.34
40	1.96	1.81	1.67	74	0.58	0.42	0.29
42	1.83	1.68	1.54	76	0.53	0.37	0.24
44	1.71	1.56	1.42	78	0.47	0.32	0.18
46	1.60	1.44	1.31	80	0.42	0.27	0.13
48	1.50	1.34	1.21	82	0.37	0.21	0.08
50	1.40	1.25	1.11	84	0.32	0.16	0.03
52	1.31	1.16	1.02	86	0.27	0.11	-
54	1.23	1.07	0.94	88	0.21	0.06	-
56	1.15	0.99	0.86	90	0.16	-	-
58	1.08	0.92	0.78	92	0.10	-	-
60	1.00	0.85	0.71	94	0.03	-	-
62	0.94	0.78	0.65	-	-	-	-

<표1-2> 진상용 콘덴서 용량결정계수, 1kW 부하를 기준으로 한 경우
 (콘덴서 용량 kVA)

최초의 역률 [%]	개선 후의 역률 [%]			최초의 역률 [%]	개선 후의 역률 [%]		
	95	90	85		95	90	85
30	0.86	0.81	0.77	64	0.56	0.46	0.37
32	0.84	0.79	0.75	66	0.54	0.43	0.34
34	0.83	0.78	0.73	68	0.51	0.40	0.31
36	0.82	0.76	0.71	70	0.49	0.38	0.28
38	0.80	0.74	0.69	72	0.46	0.35	0.25
40	0.79	0.72	0.67	74	0.43	0.32	0.22
42	0.77	0.71	0.65	76	0.40	0.28	0.18
44	0.75	0.69	0.63	78	0.37	0.25	0.14
46	0.74	0.67	0.60	80	0.34	0.21	0.10
48	0.72	0.65	0.58	82	0.30	0.18	0.07
50	0.70	0.62	0.56	84	0.27	0.14	0.03
52	0.68	0.60	0.53	86	0.23	0.10	-
54	0.66	0.58	0.51	88	0.19	0.05	-
56	0.64	0.56	0.48	90	0.14	-	-
58	0.62	0.53	0.46	92	0.09	-	-
60	0.60	0.51	0.43	94	0.03	-	-
62	0.58	0.49	0.40	-	-	-	-

계산 예 ①항의 문제

어느 사무소빌딩의 동력 $P=1,000\text{kW}$, $\cos\theta=0.8$ 인 부하를 역률 0.95로 개선하는데 필요한 콘덴서의 용량은 표1로 부터 계수가 0.42이므로

$$\begin{aligned} \text{콘덴서 용량 (kVA)} &= \text{부하용량 (kW)} \times \text{계수} \\ &= 1,000 \times 0.42 \\ &= 420 \text{ (kVA)} \end{aligned}$$

①항의 계산식에 의한 용량과 동일함

ㄴ) 역률조정장치 설치

진상콘덴서를 합리적으로 사용하려면 부하조건에 상응하는 콘덴서를 개폐하여야 한다. 에너지 사용합리화 측면에서도 역률의 자동제어방식이 권장되고 있다.

① 역률자동제어 설치효과

- 수용가 구내의 전력손실을 적게 한다.
- 역률개선 자동화는 수전점의 역률을 항상 100%

가깝게 유지하는 것으로 불필요한 무효전류를 전원으로 부터 취하지 않아도 되므로 선로전류가 적게 되고, 케이블, 변압기 등의 전력 손실을 경감시킨다.

- 모선전압의 변동폭을 적게 한다.

모선전압의 변동은 대부분 무효전력의 변동에 의한 것으로서 콘덴서의 자동제어는 수전점의 무효전력변동을 억제하는 것이므로 전압변동을 경감시킬 수 있다.

- 경부하시의 지나친 앞섬을 피한다.

경부하시의 콘덴서의 과대삽입은 모선전압의 상승, 구내 배전손실의 증대를 초래한다.

- 생력화를 도모한다.

② 자동제어방식의 채택

자동제어에는 특정부하의 개폐신호에 의한 제어, 프로그램제어 무효전력제어 그리고 전압, 전류 및 역률제어 등이 있으나 이들 중 모든 부하조건에 적용될 수 있는 것은 무효 전력제어방식이며, 이 방식이 가장 널리 사용되고 있다. 특정부하의 개폐신호에 의한 제어 및 타임스위치에 의한 프로그램 제어는 매우 간단하고 경제적이다.

- 프로그램제어방식

일정시간대에서 무효전력을 예측할 수 있는 경우 타임스위치에 의해 콘덴서를 개폐하는 방식으로 간편하고 저렴하지만 부하변동을 예측할 수 없는 경우에는 부적당하다.

- 역률제어

이 방식은 부하의 역률을 검출회로에 의하여 측정하여 그 값을 초기설정값과 비교하여 지상이 되면 콘덴서를 투입하고, 진상이 되면 제거하는 방식으로 가격은 비교적 고가이기는 하나 부하상태에 대한 적응이 높은 장점이 있다.

- 무효전력제어

이 방식은 회로의 무효전력을 측정하여 초기에 설정한 값과 비교하여 콘덴서를 투입, 제어하는 방식으로 설비비가 저렴하고 간단하여 최근에 많이 이용되고 있다.

ㄷ) 전력콘덴서의 적정설치 장소

콘덴서는 선로손실을 적게 하는 뜻에서 말단에 설

치하는 것이 바람직 하지만, 저압콘덴서는 고가이고 구조가 크며, 설치 스페이스에 문제가 있다.

수전단에 설치한 고압콘덴서로 역률을 개선하면 기본전력요금의 할인으로 조기에 자금회수를 할 수 있다.

그러나 콘덴서를 부하단에 설치하는 경우에, 저압간선의 말단에 집합하여 설치하게 되면 그 계통에 큰 부하 변화가 있을 경우, 그에 따라 콘덴서군을 개폐할 수 있는 설비도 하여야 한다. 또한 각 전동기마다 개폐기를 공유하여 설치하는 경우에는 저압전동기에서의 콘덴서용량(kVA)은 부하입력(kVA)보다 크지 않도록 선정하고, 고압전동기에서는 다음의 용량을 초과하지 않는 콘덴서 용량을 선정하도록 한다.

$$\text{콘덴서용량 [kVA]} \leq 5.7 \times I_0$$

(여기서 I_0 는 전동기 부하전류)

콘덴서는 개별설치하는 방식이 가장 효과적이기는 하지만 종합설비비가 높아지므로, 모선에 일괄하여 설치하는 집합식의 경우가 많다.

콘덴서의 개별설치방식은 저압의 경우에 사용되고, 집합설치방식은 고압의 경우에 경제적이다.

수전단에서 역률개선용 콘덴서를 설치함으로써 전력손실의 경감, 변압기와 같은 설비용량의 감소, 전압강하 경감 등의 효과를 얻을 수 있으며, 콘덴서 설치위치에 따라 에너지 절약의 양이 크게 좌우된다.

일반적으로 그림1과 같은 계통을 갖는 공장에서

효율을 높이기 위하여 콘덴서 위치의 선정은 다음 네곳으로 대변할 수 있다.

① 수전지점에 설치

전력을 공급받는 인입부의 모선에 설치하는 경우로서 그림1의 ①에 해당된다. 역률은 $\text{Cos}\theta_1$ 에서 $\text{Cos}\theta_2$ 로 개선되고 부하전류는 변화가 없기 때문에 공장내에서는 절전효과가 없지만, 계통 전체에서 역률개선에 따른 이득을 얻을 수 있다.

② 전기실 모선에 설치

대전력을 사용하는 공장에서는 1차 수전후 분기 배전하여 각 설비에 전력을 공급하고, 각 분기소에 전기실이 배치된다. 즉 그림1의 ②지점에 해당되며 여기에 역률개선용 콘덴서를 설치한다. 이 경우 선로손실을 경감시키게 된다.

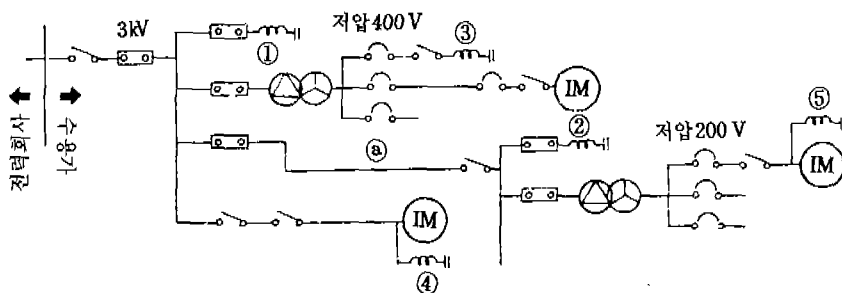
③ 변압기 2차측에 설치

그림1의 ③지점, 즉 변압기 2차측에 접속하는 경우로서, 이때 부하전류, 부하역률은 변화하지 않지만 변압기의 1차, 2차전류가 감소하므로 변압기의 손실 및 1차 선로손실을 경감시킬 수 있다.

④ 부하와 병렬로 설치

그림1의 ④지점에 해당되며 전동기 등의 부하에 접속하는 경우이다.

이 경우 부하전류가 감소함에 따라 부하선로 손실, 변압기 손실, 변압기 1차 선로손실을 경감시킬 수 있다.



<그림 1> 역률개선용 콘덴서의 설치위치

3. 전압관리

일반적으로 전기기기는 그의 정격전압에서 사용하는 경우 가장 효율이 좋고, 그것보다 높거나 낮아도 효율이 떨어지므로 적절한 전압을 유지하는 것이 중요하다.

(1) 적정전압유지

전기기기의 적정전압은 기기의 명판에 쓰여 있는 정격전압이며, 공급전압의 차이에 따라서 다음과 같이 특성이 변화한다.

전동기에서는 전압의 제곱에 비례하여 토크가 변화하고, 또한 전압의 제곱에 반비례하여 슬립이 변화한다.

전압의 변화와 전동기 특성의 관계를 표 1에 표시한다.

형광등, 수은등 및 메탈할라이드등은 정격전압 이외의 전압은 부적당하며, 전압이 높거나 낮으면 수명이 심하게 짧아진다.

<표 1> 전압변동이 유도전동기에 미치는 영향

	전압변동	
	90% 전압	110% 전압
시 동 토크	-19%	+21%
% 슬 립	+23%	-17%
전 부 하 속 도	-15%	+1%
효 율 (전부하)	-2%	약간 증가
역 물 (전부하)	+1%	-3%
시 동 전 류	-10~-12%	+10~+12%

백열전구의 수명은 전압의 13.5곱에 반비례하고, 전압이 정격전압의 5% 변화로 수명이 배로 되거나 반감된다.

전열기에서는 전압의 제곱에 비례하여 발열량이

변화한다.

수전점에서의 전압변동이나 자가용설비내의 부하 변동에 의한 전압변동이 심할 것으로 예상되는 수용가에 대해서는 다음과 같은 관리적인 설비계획이 필요하다.

- 부하시 탭변환 변압기에 의한 전압제어설비 부설
- 적정회로 전압선정
- 적절한 전원분할계획

(2) 전압변동 최소화

전압변동은 계통의 부하변화에 의하여 변압기, 배선 등에서 생기는 임피던스 강하가 변화함으로써 발생한다. 이것을 작게 하기 위해서는

- 변압기 용량을 충분히 한다.
- 배선의 굵기를 충분히 한다.
- 간선의 분할을 적절히 한다.
- 배선발단에 콘덴서 삼입으로 무효전류를 억제한다.

전압변동이 심해지면 플리커가 되거나 전동기의 회전율, 전자개폐기의 개방 등으로 운전조업에도 문제가 발생한다.

(3) 전압불평형 시정

부하의 불평형에서 전압불평형이 발생하며, 전압 불평형이 있게 되면 역상전류가 흐르고, 전동기에서는 회전방향과 반대의 회전자계가 생겨서 역상토크가 발생한다.

그 때문에 전동기에서는 동손, 철손 등이 증가하고, 온도상승, 소음증가가 생기며, 효율도 저하한다.

발생원인에는 계통에 큰 단상부하나 3상 불평형부하가 있는 경우나 변압기의 V-V결선 등으로 발생하므로 이들에 대한 전압불평형을 시정한다.

<다음호에 계속...>

절전 365일