

에너지節約 電氣設備 技術(I)

(電力管理)

池 哲 根 <서울대 공대 전기공학과 교수>
 郭 熙 魯 <충실대공대 전기공학과 교수>
 鄭 英 鎬 <한전기술연구원 연구원>

본 해설은 한전기술연구원의 위탁연구로 '89. 6 ~ '91. 6 까지 연구수행한 “설계 및 규정측면에서의 전기에너지 이용합리화 방안연구”중에서 전기설비의 에너지 절약부분을 약술 한 것이다.

본 연구는 국내외의 전기에너지 절약과 심야 전력 활용에 관한 자료를 200편 수집하여 분석하고, 또한 서울을 비롯한 부산, 광주, 대구, 전주 및 대전 등의 주요도시에 소재하고 규모가 큰 전력다소비건물인 호텔, 백화점, 병원, 빌딩, 아파트단지 및 대학교 등 162개소와 구미, 구로, 창원, 울산, 포항 및 여수등 주요공단에 소재한 전기, 전자, 금속, 기계, 화학, 약품 자동차 및 조선공업등의 전력다소비 생산업체 93개소 등 총 255개소에서의 전력시설 및 사용실태와 전기에너지 절약자료들을 일일이 방문 조사하였다. 그리고 이들 자료로부터 도출된 심야전력활용 방안과 에너지 절약 설계, 계획에 대한 가이드북을 작성 한 것으로서 관리 및 설비별 분류로 연재할 예정이다.

제 1 장 전력 관리

1.1 부하전력관리적인 설계

가. 부하율관리

(1) 부하율 개선

용도, 목적, 규모에 맞추어서 전력관리용 계

기를 설치하도록 설계하여, 전력의 사용추이를 파악하고, 수용전력계를 설치하여 전력사용을 관리하도록 계획한다.

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

$$\text{부하율} = \frac{\text{기간중의 평균전력}}{\text{기간중의 최대전력}} \times 100[\%]$$

부하율이 좋은 상태란, 최대전력이 적고, 평균전력이 큰 상태 즉, 기간을 통하여 평균으로 전력이 사용되는 상태이다. 부하율을 개선하려면 공장의 부하곡선을 그리고, 이로부터 최대전력의 발생요인을 찾아서, 그 원인이 되는 생산상황, 작업방법의 개편, 부하의 일부를 다른 시간대로 이동시키는 등의 방법으로 시정한다.

(2) 부하율 개선효과

부하율을 개선하면 국가적인 에너지합리화 사용의 요청에 따른 뿐만아니라 공장에도 많은 이점이 얻어진다. 즉, 에너지절감에 의한 최대 전력 저감, 공장가동시간대의 이동에 의한 최대전력저하의 개장자동화에 의한 무인조업으로 인한 심야전력이나 공인전력의 사용 등이다.

(가) 설비비 절감

용량을, 부하율을 좋게 하여 최대전력을 저감함으로써, 수전설비용량을 감소시킬 수 있

으므로, 그만큼의 설비비를 절감시킬 수 있다.

(나) 기본요금의 저감

우리나라의 전기요금제도는 기본요금과 전력량요금으로 되어있으므로, 수전설비용량이 감소되면 기본요금이 감소된다.

(다) 변압기, 배선 등의 손실 경감

변압기, 배선등의 손실은 전압을 인가함으로써 발생하는 무부하손실과 부하전류에 의하여 발생하는 저항손실이 있다. 보통, 기간중의 손실은 시간마다의 부하전류의 제곱의 가산에 저항을 곱한 수치로서, 기간을 1일로할 경우 다음과 같이 나타낸다.

$$L=24Pc+\sum_{i=1}^{24} i^2 R$$

L: 손실, Pc: 무부하손실, i: 부하전류, R: 저항

동기, 하기등의 조건 변화에 따라 부하가 대폭 변화하는 경우에는, 운전대수제어도 필요하다. 이와같이 부하율을 높게 유지하면, 변압기와 배선등의 손실도 경감된다.

(라) 수전기기등에 여유발생

수전기기, 간선은 최대전력시에 충분한 용량을 가져야 하지만, 부하율을 개선하여 최대전력을 낮게 할 경우 그만큼의 여유를 갖게된다.

나. 최대전력관리

(1) 계약전력

최대전력은 계약전력과 큰 관계가 있고, 전력요금중에서 큰 비중을 갖는 기본요금에 반영되므로, 계약전력에서는 수요율산정을 적절히 정하여 시행한다.

$$\text{수요율} = \frac{\text{최대수요전력}}{\text{설비 용량}} \times 100[\%]$$

(2) 최대전력의 관리

(가) 수요전력계 설비

수요전력계를 변전소내에서 설치하여 전력부하의 피크컷트, 피크이동, 자가발전설비 가동, 프로그램제어 등으로 최대전력을 관리하도록 설비한다.

(나) 수요전력 감시장치

적당한 차단회로를 삽입하여 전력초과를 사전에 억제하는 장치이다.

(다) 최대전력의 억제

수요전력초과의 염려가 있는 경우에는, 단시간 정지시킬 수 있는 설비를 미리 선택하여 두고, 그 공정작업원에게 통보하여 기계설비를 일시 정지하여 최대전력을 억제한다.

1.2. 역률관리적인 설계

가. 구내역률

사무용빌딩의 전력부하의 약 70[%]가 전동기이고, 공장부하의 대부분이 전동기로 점유되고 있으나, 유도전동기는 역률이 나쁜 결점이 있다. 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.

나. 역률개선효과

역률개선은, 전동기에 적정부하를 걸고, 선로에 콘덴서를 삽입함으로써 이루어진다. 콘덴서는 삽입된 위치로부터 전원측으로 향하여 역률이 개선되며, 역률이 개선되면 변압기, 선로 등의 저항손실이 감소되고, 부하단에서의 전압도 확보된다.

콘덴서설치는 선로손실을 작게하는 뜻에서 말단에 설치하는 분산식이 바람직한 방식이지만 고가인 단점이 있다. 중앙식인 고압콘덴서설치는 경제적 이점이 있기는 하나 배전 선로의 손실이 있다.

역률을 개선하면 얻어지는 효과는 다음과 같다.

① 전기요금의 저감

수요자측의 역률개선 실시는, 전력회사측에서 보면, 배전계통 용량증가, 배전손실감소, 배전전압의 개선 등 이익이 얻어지므로, 한국전력에서는 역률에 따른 할인 및 할증의 제도를 실시하고 있다. 즉, 수용가의 기준 역률은 90[%] 이상으로 유지되어야 하며 전력요금중 기본요금은 역률이 90[%]를 상회하는 경우에는 95[%]까지, 역률 1[%]마다 1[%]의 요금

표 1.1. 진상용콘덴서 용량결정계수, 1kW부하를 기준으로 한 경우

(콘덴서용량 kVA)

최초의 역률 [%]	개선후의 역률[%]			최초의 역률 [%]	개선후의 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	—	—	—	—

표 1.2 진상용콘덴서 용량결정계수, 1kVA부하를 기준으로 한 경우

(콘덴서용량 kVA)

최초의 역률 [%]	개선후의 역률[%]			최초의 역률 [%]	개선후의 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	—	—	—	—

할인된다. 역률이 90[%]에 미달되는 경우에는 매 1[%]에 대하여 기본요금의 1[%]씩으로 추가한다.

② 변압기, 배전선등의 손실경감

전력손실은 전류의 제곱에 비례하므로, 전류가 적어지면 변압기, 배선설비에서의 전력손실이 경감된다.

③ 설비용량의 실질적 증가

전기설비용량은 보통 피상전력으로 결정되므로 역률 개선으로 동일설비에서 계통용량이 증가된다.

④ 전압강하의 개선 전압강하 및 전압변동이 감소하고, 전기기기의 고성능 사용이 가능하다.

다. 역률개선방법

(1) 콘덴서 용량의 적정화

(가) 식으로 구하는 방법

소형콘덴서의 용량산출은 다음과 같이한다.

부하의 유효전력 P, 역률 $\cos\theta_1$ 일때, 이 부하 역률을 $\cos\theta_2$ 로 개선하는데 필요한 콘덴서 용량 Q는

$$Q = P[\text{kW}](\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$

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

“계산예”

어느 사무소빌딩의 동력부하에서

$P=1,000[\text{kW}]$, $\cos\theta=0.8$ 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 선정하여야 한다.

이 경우 전기요금의 절감은,
업무용전력의 요금은

기본요금 4.045원/kWh
전력량요금 66.50원/kWh

이고 역률이 90[%]초과 95[%]까지는 매 1[%]에 대하여 기본요금의 1[%]씩 감액되므로 기본요금삭감은

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

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

(나) 부하용량과 계수로부터 구하는 방법
콘덴서의 소요용량은 평균수요전력과 평균역률을 구하여 개선 목표역률을 정하고, 다음 식으로부터 결정한다.

$$\text{콘덴서용량}[\text{kVA}] = \text{부하용량} \times \text{계수}$$

“계산예”전절의 문제

어느 사무소 빌딩의 동력 $P=1,000\text{kW}$, $\cos\theta=0.8$ 인 부하를 역률 0.95로 개선하는데 필요한 콘덴서의 용량은 표 1.1로부터 계수 0.42이므로

$$\text{콘덴서용량}[\text{kVA}] = \text{부하용량}[\text{kW}] \times \text{계수}$$

$$= 1,000 \times 0.42$$

$$= 420[\text{kVA}]$$

전절의 계산식에 의한 용량과 동일하다.

(2) 역률조정장치 설치

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

(가) 역률자동제어 설치효과

① 수용가 구내의 전력손실을 적게한다.

역률개선 자동화는 수전점의 역률을 항상 100[%]가깝게 유지하는 것으로, 불필요한 무효전류를 전원으로부터 취하지 않아도 되므로 선로전류가 적게되고, 케이블, 변압기등의 전력손실을 경감시킨다.

② 모선전압의 변동폭을 적게한다.

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

③ 경부하시의 지나친 앞섬을 회피한다.

경부하시의 콘덴서의 과대삽입은 모선전압의 상승, 구내 배전손실의 증대를 초래한다.

④ 성력화를 도모한다.

(나) 자동제어 방식의 채택

자동제어에는 특정부하의 개폐신호에 의한 제어, 프로그램제어, 무효 전력제어 그리고, 전압, 전류 및 역률제어가 있으나 이들 중 모든 부하조건에 적용될 수 있는 것은 무효전력제어이며 이 제어방식이 널리 사용되고 있다. 특정

부하의 개폐신호에 의한 제어 및 타임스위치에 의한 프로그램제어는 매우 간단하고 경제적이다.

① 프로그램제어방식

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

② 역률제어

이 방식은 부하의 역률을 검출회로에 의하여 측정하여 그 값을 초기설정치와 비교하여 지상이되면 콘덴서를 투입하고 진상이되면 제거하는 방식으로 가격은 비교적 고가이기는 하나 부하상태에 대한 적용이 높은 장점이 있다.

③ 무효전력제어

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

(3) 전력콘덴서의 적정설치 장소

콘덴서는 선로손실을 적게하는 뜻에서 말단에 설치하는 것이 바람직하지만 저압콘덴서는 고가이고, 구조가 크고 설치 공간에 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 콘덴서 용량[kVA]은 부하입력[kVA]보다 크지 않도록 선정하고, 고압전동기에서는 다음의 용량을 초과하지 않는 콘덴서 용량을 선정하도록 한다.

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

여기서 I_0 : 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.

수전단에 역률 개선용 콘덴서를 설치함으로써 전력손실의 경감, 변압기와 같은 설비용량의 감소, 전압강하의 경감등의 효과를 얻을 수 있는데, 이때 콘덴서 설치 위치에 따라 에너지 절약의 양이 크게 좌우된다.

1.3 전압관리적인 설계

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

가. 적정전압

전기기기의 적정전압은, 기기 명판에 쓰여있는 정격전압이며, 공급전압의 차이에 따라서 다음과 같이 특성이 변화한다.

전동기에서는 전압의 제공에 비례하여 토크가 변화하고, 또한 전압의 제공에 반비례하여 슬립이 변화한다. 전압의 변동과 전동기 특성의 관계를 표 1.3에서 표시한다.

형광등, 수은등 및 메탈 할라이트등은 정격전압이외의 전압에서는 사용이 부적합하며, 전압이 높거나 낮으면 수명은 심하게 짧아진다. 백열전구의 수명은 전압의 13.5승에 반비례하고, 전압이 정격전압의 5[%] 변화로 수명이 배로 되든가 반감된다.

전열기에서는 전압의 제공에 비례하여 발열량이 변화한다. 수전점에서의 전압변동이나 자가용설비내의 부하변동에 의한 전압변동이 심

표 1.3. 전압변동이 유도전동기에 미치는 영향

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

할 것이 예상되는 수용가에 대해서는 다음과 같은 전압 관리적인 설비계획이 필요하다.

① 탭 변환 변압기에 의한 전압제어설비 부설

② 적정회로 전압선정

③ 적정한 전원 분할 계획

나. 전압변동

전압변동은 계통의 부하변화에 의하여 변압기, 배선등에서 생기는 임피던스 강하가 변화하므로써 발생한다. 이것을 작게 하기 위해서는

① 변압기 용량을 충분히 한다.

② 배선의 굵기를 충분히 한다.

③ 간선의 분할을 적절히 한다.

④ 배선말단에 콘덴서 삽입으로 무효전류를 억제한다.

전압변동이 심해지면 플리커, 전동기의 회전불량, 전자개폐기의 개방 등이 발생하여 운전조업에도 문제가 발생한다.

다. 전압불평형

부하의 불평형에서 전압불평형이 발생하며, 전압불평형이 있게되면, 역상전류가 흐르고, 전동기에서는 회전방향과 반대의 회전자계가 생

겨서 역상토크가 발생한다.

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

발생원인에는 계통이 큰 단상부하, 3상 불평형부하가 있는 경우나 변압기의 V-V결선 등으로 발생하므로, 이들에 대한 대책으로 전압 불평형을 시정한다.

1.4 에너지 절약 실무 요령

1) 진상 콘덴서 설치로 역률을 개선하여, 변압기, 선로에서의 저항손실을 감소시킨다.

2) 콘덴서는 선로손실을 적게하는 뜻에서 말단에 설치하는 분산식이 바람직하다.

3) 진상 콘덴서 설치로 역률개선에 의한 전력요금경감을 기할 수 있다.

4) 역률자동제어장치를 설치하여 경부하시의 지나친 앞섬을 피할 수 있다.

5) 역률자동제어장치를 설치하여 모선전압의 변동폭을 적게한다.

6) 최대전력계를 설치하여 전력요금을 경감시킨다.