

전력 사용설비의 에너지 절감방안 및 관리를 위한 진단기법

이상 집*, 전기영*, 함년근*, 김대균*, 강승욱**, 오봉환***, 이훈구****, 한경희*
 *명지대학교, **명지전문대학, ***가톨릭상지대학, ****웅인송담대학

Techniques of Management and Energy saving by using power installation

S.C. Lee*, K.Y. Jeon*, N.G. Harm*, D.G. Kim*, S.W Kang**, B.H. Oh***, H.G. Lee****, K.H. Han*
 *Myongji Univ., **Catholic Sangji College, ***Myongji College, ****Yong-in Songdam College

Abstract - The human beings have increased concern about energy saving and alternative energy. The power demand has increased the growth of industry and the improvement of life. We have to explore alternate energy sources and utilize effectively domestic resources. The lighting equipments developed energy saving by using an electric ballast. The load installation should be promoted to rational power management, according to the network, intelligent, and high-function.

Therefore, this paper has studied the method of energy saving and consulting.

이므로 수전설비 용량은 적절한 것으로 판단되었다.

표 1. 수배전설비 적정용량 판단값

1일 운전시간	8이내	8~12	12~16	16~20	20~24
수전설비 단위사용량 (MWh/kVA)	1.3~1.8	2.0~2.7	2.7~3.6	3.3~4.5	4.0~5.4

1. 서 론

부존자원이 부족한 우리나라의 에너지 소비량은 매년 10% 내외의 높은 증가율을 보이고 있다. 특히, 국민의 욕구가 점차 편의성, 안정성, 청정성을 추구함에 따라 고급 에너지인 전기의 소비량은 더욱 높은 소비증가율을 보이고 있어 에너지의 해외 의존도가 97% 이상인 우리나라로서는 전기부문에 대한 적절한 수요관리 사업추진이 불가피한 실정이다. 이를 위하여 에너지이용 합리화법에 의해 에너지절약 전문기업에 관한 근거를 마련 92년부터 에너지절약 전문기업(ESCO:Energy Service Company)이 활발히 활동중에 있다.[1]

지속적인 에너지 절약 정책으로 조명기기분야에서는 전자식안정기의 기술개발과 보급으로 많은 에너지절약 효과를 보고 있다. 전동기기분야도 앞으로 장기적인 에너지절약 정책으로 에너지관리공단이 고효율 에너지 기구제로 인증하여 E-마크가 부착된 고효율 유도전동기를 절전용량으로 신규설치 또는 교체 설치하는 소비자에게 장려금을 지원하고 있다. 산업이 발전함에 따라 전력수요는 지속적으로 증가하게 되므로 에너지 절약의 필요성이 높아지고 있다. 그 대책의 일환으로 전력장치의 효율증대 및 절약기법을 연구 개발하여 보급하여야 할 것이다.[2-4]

이에 본 논문에서는 우리나라 S 공장의 수배전설비와 몇가지 기기별 전력소비형태를 알아보고 에너지 절감방안을 살펴본다. 설비중 중요한 부문에 대해 현장의 전기수요진단 결과를 토대로 전력점유율 및 절감 개선 방안을 제시한다.

2. 전력설비

2.1 수배전 설비

S공장의 수전용 변압기는 9,500 [kVA] 1대 4,500 [kVA] 1대를 22,900 [V]로 수전하여 공급하면서 3,000 [kW] 상용발전기를 병렬 운전하고 있다. 사용중인 9,500 [kVA], 4,500 [kVA] 기준시 판단하면 전력사용량이 2001년은 73,565 [MWh]이므로 전력소비량을 기준으로 하여 수배전설비의 적정용량을 판단하면 수전설비의 단위용량 [kVA] 당 5.2[MWh/kVA]이다. 표1의 수전설비 적정용량 판단값과 비교하면 24시간 운전시 기준값인 4.0~5.4 범위값 내에

2.2 월별 Peak관리 및 발전기 사용

대부분의 수용가가 6월, 7월, 8월에 최대 peak가 증가하는 추세인데 이는 하절기 냉방부하에 따른 냉동기의 가동에 따른 것으로 Peak관리를 보다 적극적으로 할 필요가 있다. 현재 발전실적을 보면 주로 5~9월 사이에 심야시간대를 제외한 시간에 발전을 하고 있다. 발전전력은 5월 700kW, 6월 1,400kW, 7~9월 1,500kW의 최대출력을 내고있어 설비용량의 1/2수준을 유지하고 있다.

· 개선대책

- 전기용량이 큰 기기는 생산계획시 가능하면 동시 가동대수를 줄이고 시간대별로 평준화 되도록 생산계획을 세워 가동한다.
- 작업이 완료된 설비는 가급적이면 무부하 운전상태로 두지 말고 정지(일정시간 무부하시 자동정지 장치 설치 등)시킨다.
- 전력종합감시를 위한 SCADA system 및 Demand controller에 의해 최대수요전력의 억제를 도모한다.
- 비상발전기를 이용한 Peak Cut을 운용한다.
- 내용년수를 초과하는 Turbo 냉동기를 흡수식 냉동기로 교체하여 Peak전력을 경감토록 한다.

2.3 정격전압 조정

수전단의 저압 정격전압은 380[V]±10%이나 여러 사용처에서는 359~380[V]로 전압이 강하된 상태에서 운전되고 있다. 변압기 및 전동설비는 기기에 인가되는 정격전압에서 최대효율을 발휘하지만 과전압 및 부족전압으로 운전되어지면 제 특성이 변화하면서 속도의 변화가 생긴다. 또한 부족전압은 과부하운전이 되기도 하며 특히 변압기나 전동기의 경우 전류의 증가를 가져오며 동손 증가로 작용되어져 기기수명단축, 기기효율저하, 저항에 의한 손실이 증가하게 된다. 배전 간선별로 부하단 기기의 정격전압에 맞게 운전합이 바람직하다.

· 개선대책

- 변압기의 Tap을 조정하여 말단부하의 전압을 380/220[V]로 하여 전력손실을 감소한다.

· 기대효과

- 부하단 용량이 200[KW]이고 평균전압 365[V], 역률 85[%] 일 때 부하전류 I₁은 다음과 같다.

$$I_1 = \frac{200,000}{365 \times \sqrt{3} \times 0.85} = 372 \text{ [A]}$$

-전압 380 [V], 역률 100[%]로 개선시 부하전류 I_2 는

$$I_2 = \frac{200,000}{380 \times \sqrt{3}} = 303 \text{ [A]}$$

-전류감소량 = 372 (A) - 303 (A) = 69 [A]

표2는 두 개의 전동기 라인에서 동손실 절감에 의한 전력 절감을 살펴보기 위한 것이다.

표 2. 전동기 용량

생산라인별	측정전압	부족전압율(ε)	전동기(kW)
1	375	0.98	594
2	211	0.96	2,188

· 저압전동기 동손실

-용량합계(W)×동손비(%)×(부하율)²×(1-ε²) (1)

-전동기 동손비 7%(고정자동손3% + 회전자동손4%)

-저압전동기 동손절감

$$594,000 \times 0.07 \times 0.6^2 \times (1 - 0.98^2) + 2,188,000 \times 0.07 \times 0.6^2 \times (1 - 0.96^2) = 592 + 4,322 = 4,914 \text{ [W]}$$

· 전력절감량 및 금액

-절감전력: 4.9kW

-전력절감: 4.9 [kW] × 8,760 [h] = 42,924 [kWh/년]

-절감금액: 42,924[kWh/년]×55.2[원/kWh] = 2,369천원

· 투자비 및 회수기간

-투자비: 2,500천원 (변압기 Tap 조정 및 콘덴서 재배치 및 개폐기 부설비용)

-회수기간: 2,500천원 ÷ 2,369천원 = 1년

즉, 변압기의 Tap을 올려서 말단부하에서의 전압을 380[V] 정격으로 올리고 앞에서 살펴본 바와 같이 역률을 진상으로 개선하면 부하전류는 69[A]가 감소된다. 따라서 그에 대한 Tr.에서의 부하손과 변압기에서 부하단까지의 선로저항에 의한 손실을 감소시킬수 있고 기기 사용도 효율적이 되므로 검토후 시행을 제안한다.

2.4 고효율 변압기 채용

· 전력절감 개선 방안

-노후 변압기의 장시간 연속 사용으로 인한 절연열 축진으로 계통 운전 불안정이 우려된다.

-4,500[kVA] 유입 자생식 변압기를 아몰퍼스 유입 자생식 변압기로 교체하여 설비 이용율을 높인다.

-유입 자생식 일반형 변압기를 고효율 아몰퍼스 유입 자생식 변압기로 교체하여 무부하 손실 감소 및 효율을 증대시킨다.

-교체된 노후 변압기는 외관 병형 점접 등 정기 점접을 강화하여 변압기 사고 대비를 위하여 예비변압기로 보관한다.

표 3. 변압기 무부하손실 현황

변압기	규격(kV)	용량(kVA)	무부하손실(W)		
			일반형	아몰퍼스형	절감
#1	22.9/ 0.22~0.38	4,500	16,000	2,400	13,600

표3은 변압기 무부하손실이며 표4는 변압기 가격표이다.

- 전력절감
 - Peak 절감: 13.6[kW]
 - 절감량: 13.6[kW]×8,760[h]=119,136[kWh]
- 절감금액: 6,576천원
 - 119,136[kWh] × 55.2원=6,576,300원/년
- 투자금액 및 회수기간
 - 투자금액 비교는 표 4와 같다.
 - 회수기간: 투자비/절감금액
 - 39,000천원 ÷ 6,576천원 = 6년

표 4. 변압기 가격

변전실	규격(kV)	용량(kVA)	투자금액(천원)		
			아몰퍼스형(A)	일반형(B)	차액(A-B)
수전실	22.9/ 0.22~0.38	4,500	85,000	46,000	39,000

※ ① 변압기 제작단가는 제작사가 제시한 자료에 의한
② 변압기 교체는 적정시기에 아몰퍼스 변압기로 교체하는 것으로서 일반변압기 가격과의 차액만을 투자비로 함.

2.5 고조파 개선대책

고조파의 장애로 인하여 IEEE C57.12.00-1987 [2]에서는 고조파 전류를 제한하고 있으며 그 상한치는 정격전류의 5%를 넘지 않도록 하고 있다. 본 공장의 UPS 2차측에서 측정된 결과 고조파 전압 왜형율은 개별 전압 왜형율의 기준치인 3%보다 높고 고조파전류 제한치 TDD 값보다 높게 나타나 이에 대한 대책이 세워져야 하겠다.

· 고조파 대책 방안

- Filter 설치: 수동 Filter, 능동 Filter 설치.
- 리액터의 (ACL, DCL)의 설치.
- 변환기의 다펄스화: 출력상수 증가(정류기의 다상화)
- PWM컨버터 채용.
- 위상변위: Phase shift Tr. 설치.
- 계통분리, 고조파내량 증가, 단락용량의 증대.

2.6 역률관리

· 현황

- 실적치 분석결과 역률을 95% 이상관리하고 있어 한전의 역률 보상혜택을 충분히 받고 있으므로 적정관리하고 있다.
- 폐수처리장 3.3kV 지역 변전실은 83~85%의 역률을 나타내므로 역률개선을 통해 절감효과를 얻을 수 있으나 이미 수전단에서 한전이 주는 혜택을 모두 받아 투자비 회수기간이 길게 나와 투자 타당성은 미약하다.

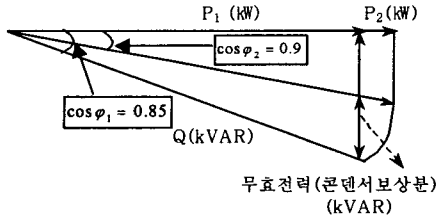
· 역률 저하시 개선대책

- 일반적으로 콘덴서 관리는 변압기 2차측에 적정 용량의 콘덴서를 부착하여 평균부하에 대한 역률을 개선하고, 기동이 빈번한 유도성 부하에 대해서는 부하말단에 콘덴서를 부착하여 역률관리를 하는 것이 바람직하다.
- 말단 동력부하에 역률개선용 콘덴서를 부착할 경우 부하의 투입 및 차단에 따라 콘덴서도 같이 On/Off가 이루어지도록 개폐기 2차측에 설치하는 것이 바람직하다.
- 말단별로 개폐기 2차측에 콘덴서를 분산 설치하여 선로 및 변압기 동손실을 절감한다. 분산 관리에도 적정 역률이 95%미만시 변압기 2차측에 추가로 콘덴서를 부착하여 집중관리를 병행하도록 한다.
- 현재 전력부하의 역률개선에 필요한 콘덴서용량 [Q(kVAR)] 산정은 식(2)를 이용한다.
- 변압기 부하율 감소로 변압기 여유율 향상

· 역률개선 콘덴서 용량 산정

$$Q(\text{kVAR}) = \text{측정전력 (kW)} \times$$

$$\left[\frac{\sqrt{1 - \left(\frac{\text{현재역률}(\%)^2}{100}\right)}}{\left(\frac{\text{현재역률}(\%)}{100}\right)} - \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{\text{목표역률}(\%)^2}{100}\right)}}{\left(\frac{\text{목표역률}(\%)}{100}\right)} \right] \quad (2)$$



무효전력(콘덴서보상분)
(kVAR)

그림 1. 역률개선

$$\text{-여유율(예)} = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100 =$$

$$\frac{Q(\cos \phi_2 - \cos \phi_1)}{Q \cos \phi_1} \times 100 = 5.9(\%)$$

-콘덴서 용량[C(F)]

$$C(F) = \frac{Q \times 10^3}{\omega V^2} = \frac{Q \times 10^3}{2\pi f V^2} \quad (3)$$

· 절감전력 [P(kW)]

$$P = W_R \times \left(\frac{i_1}{i_R}\right)^2 \times \left(1 - \frac{\cos^2 \phi_1}{\cos^2 \phi_2}\right) \quad (4)$$

여기서, P : 부하(kW), i_R : 1차 정격전류(A), i_1 : 1차 부하전류(A), $\cos \phi_1$: 개선전 역률, $\cos \phi_2$: 개선 후 역률, W_R : 정격부하손(kW), f : 계통주파수(Hz), V : 계통전압

2.7 고효율 전동기 채용

2.7.1. 고효율 전동기의 특징

전동기에서 발생하는 손실은 무부하손과, 부하손으로 나뉘어지며 고효율전동기의 특징은 다음과 같다.

- 효율의 극대화로 우수한 절전효과 중심, 권선의 최적설계 및 고급자재 사용으로 손실을 표준대비 20~30% 저감시켜 수전설비 및 전력소비량의 절감이 가능하다.
- 낮은 온도상승으로 권선 수명 연장이 가능하다.
- F중절연 채택, Service Factor 1.15를 적용하여, 온도 상승에 여유를 확보함으로써 권선의 절연수명, 즉 전동기 수명을 연장시킨다.
- 높은 경제성
 - 손실이 적은 절전형이므로 표준전동기보다 제품비용은 상승되나 운전 중 cost가 낮으므로 초기 상승비용을 단기간에 회수 가능할 뿐만 아니라 운전시간이 길어 질수록 경제성이 높아진다.
- 저소음화
 - 풍손저감을 위한 외부팬 형상 및 구조 변경으로 통풍음, 전자음이 작아져 표준전동기 대비 38dB 정도 소음이 작아진다.
- 높은 호환성
 - 대부분의 용량이 표준 전동기와 외형치수가 동일하여 기존 전동기와 호환성을 유지할 수 있으며, IEC 및 NEMA Frame으로 모두 대응한다.
- 적용 부하
 - 가동율이 높고 연속운전이 되는 곳.
 - 정속 운전이 필요한 곳(저진동, 저소음).
 - Peak부하가 걸리는 곳(여름철 제조용).
 - 전원용량이 적고, 설비비가 제한된 곳.

표 5. 고효율 전제형 전동기의 효율 Data

용량 (kW)	4극	
	고효율	KS 표준형
0.75	82.5	71.5
1.5	85.5	78.0
2.2	87.5	81.0
3.7	87.6	83.0
5.5	90.2	85.0
7.5	90.2	86.0
11.0	92.4	87.0
18.5	93.0	88.5
22.0	93.6	89.0
37.0	94.5	90.0

2.7.2 절감량 및 절감금액 산출

전동기 교체시 경제성을 산출하고 측정전력 및 공장 가동시간에 따른 전력절감 효과 및 절감금액은 다음과 같다. 가동시간이 적거나 또는 실 운전부하의 크기(측정치)가 적은 경우에는 투자비회수기간이 높다.

· 절감량 = 출력치 ×

$$\left[\frac{\text{고효율전동기효율} - \text{일반전동기효율}}{\text{고효율전동기효율}} \right] \times \text{가동시간}$$

· 연간 절감액 = [연간 절감량 × 전력단가]

표 6. 펌프전동기 절감산출

구분	정격출력(kW)	용량치(kW)	절감량(kWh)	절감액(원/년)	투자비(천원)	투자비회수기간(년)
원수조	15	12	4,937	272,925	508	1.9
폐수처리	55	42	15,360	849,101	2,227	2.6
가압부상	11	9	4,544	251,215	365	0.9
중간조	30	31	13,093	723,789	1,164	1.6
용수	19	15	6,271	346,659	669	1.9

3. 결 론

전기설비에서 에너지의 효율적인 이용을 위해서는 설비의 이용률을 최대한 높이고 전력 손실을 최소화할 수 있도록 설비 자체를 에너지 절약형으로 설계하여야 한다. 진단결과 공장에서의 전력 및 피크저감을 위해서는 수용가에게 적극적인 절전마인드를 고취하고 고효율기기를 사용하도록 제도적 보완장치 마련이 필요하다.

본 연구에서 변압기 운전시간으로 적정용량을 판단한 후, 정격전압 조정으로 절감방안을 제시하였고, 아몰퍼스형 변압기를 사용할 경우의 전력 절감량을 산출하여 기존과의 경우와 비교 검토하였다. 또한, 역률관리와 고효율전동기에 대한 절감개선 방안을 제시하였다. 그러므로 모든 설비를 고효율기기로 선정하여 사용하는 것이 많은 에너지를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 효율적인 운전도 가능함을 확인하였다.

[참고 문헌]

- [1] 권석두, "(신기술)전기설비설계", 두양사, pp49., 2003.3.
- [2] 이상집, "대한전기학회학술대회"중,소형 건축물설비의 효율적 전력관리방안의 연구", pp838., 1998.7.
- [3] (주)대일이앤씨, "전기수요관리진단지침서", pp40., 2002.3.
- [4] 에너지관리공단, "에너지절약 전문기업 투자사업 및 투자사례", pp7., 1998.4.