

전력사용설비의 에너지 절감방안 및 관리를 위한 진단기법

(Techniques of Management and Energy saving by using power installation)

정 춘 병 · 전 기 영 · 함 년 근 · 김 대 균 · 이 상 집 · 오 봉 환 · 이 훈 구 · 한 경 희
 (Choon-Byeong Chung · Kee-Young Jeon · Nyun-Gun Hahm · Dae-Gyun Kim · Sang-Chip Lee
 · Bong-Hwan Oh · Hoon-Gu Lee · Kyung-Hee Han)

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.

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 사업 추진이 불가피한 실정이다. 이를위해 에너지이용 합리화법에 의해 에너지절약 전문기업에 관한 근거를 마련 92년부터 에너지절약 전문기업(ESCO:Energy Service Company)이 활발히 활동중에 있다.

지속적인 에너지 절약 정책으로 조명기기분야에서는 전자식안정기의 기술개발과 보급으로 많은 에너지절약 효과를 보고 있다. 전동기분야도 앞으로 장기적인 에너지절약 정책으로 에너지관리공단이 고효율 에너지 기자재로 인증하여 e-마크가 부착된 고효율 유도전동기를 절전용량으로 신규설치 또는 교체 설치하는 소비자들에게 장려금을 지원하고 있다[1].

2004년도엔 냉동,냉장 창고에 대해 전력사용 실태를 조사한 바 냉동,냉장 창고에 대해 살펴본다. 인공적 방법으로 얼음을 처음으로 얻은 것이 1775년이며, 그로부터 현재에 이르는 사이에 여러 가지 방법으로 냉동공업이 발전되어 왔으나 현저하게 발전을 보게된 것은 최근의 일이다.

냉동은 식품의 저장 및 유통으로 인한 위생적 보존으로부터 공지조화, 냉동의 산업에의 응용, 의학

에의 이용, 군사적 이용 및 축산물의 사육에 이르기까지 그 응용과 이용가치는 매우 넓다. 더욱 더 컴퓨터 산업이 발전됨에 따라 냉동은 산업사회에 필요불가결한 역할이 되었다 이에 본 논문에서는 우리나라 S공장과 H냉동,냉장 창고의 효율적 운전 기법과 몇가지 기기별 전력소비형태를 알아보고 에너지 절감방안을 살펴본다. 설비중 중요한 부분에 대해 현장의 에너지 수요진단 결과를 토대로 전력점유율 및 절감 개선 방안을 제시한다[2][3].

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. 사용 중인 9,500 [kVA], 4,500 [kVA] 기준시 판단하면 전력 사용량이 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 근무시 기준값인 4.0~5.4 범위값 내에 있으므로 수전설비 용량은 적정한 것으로 판단되었다.

표 1. 수배전설비 적정용량 판단값

1일 근무시간	8이 내	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

표1의 수전설비 적정용량 판단값과 비교하면 24시간 근무시 기준값인 4.0~5.4 범위값 내에 있으므로 수전설비 용량은 적절한 것으로 판단되었다.

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 시간대 별로 평균화 되도록 생산계획을 세워 가동한다.
- 작업이 완료된 설비는 가급적이면 무부하 운전상태로 두지말고 정지(일정시간 무부하시 자동정지 장치 설치 등)시킨다.
- 비상발전기를 이용한 Peak Cut 운용한다.
- 내용년수를 초과하는 Turbo 냉동기를 흡수식 냉동기로 교체하여 Peak전력을 경감토록 한다.

2.3 정격전압 조정

수전단의 저압 전압은 380[V]이나 여러 사용처에서는 359 ~ 380[V]로 전압이 강하된 상태에서 운전되고 있다. 변압기 및 전동설비는 기기에 인가되는 정격전압에서 최대효율을 발휘하지만 과전압 및 부족전압으로 운전되어지면 제특성이 변화하면서 속도의 변화가 생긴다. 또한 부족전압은 과부하 운전이 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 운전함이 바람직하다.

○ 개선대책

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

○ 기대효과

예를 들어 부하 200[KW] 평균전압 365[V] 역률 85[%] 일 때 부하전류(I₁)

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

전압 380 [V], 역률 100 [%]로 개선시 부하전류

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

○ 전류감소량 = 372 (A) - 303 (A) = 69 [A]

○ 동손실절감에 의한 전력절감 계산

표 2 . 전동기 용량

생산라인 별	측정전압	부족전압율 (ε)	전동기(k W)
1	375	0.98	594
2	211	0.96	1,736

○ 저압전동기 동손실 절감

· 전동기용량합계(W) × 동손비(%)
× (부하율)² × (1-ε²)

· 전동기 동손비 7%(고정자동손3%
+ 회전자동손4%)

· 저압전동기 동손절감

$$594,000 \times 0.07 \times 0.6^2 \times (1 - 0.98^2) + (2,782,000 - 594,000) \times 0.07 \times 0.6^2 \times (1 - 0.96^2) = 4,914 [W]$$

○ 전력절감량 및 금액

절감전력: 4.9kW

$$4.9 [kW] \times 8,760 [h] = 42,924 [kWh/년]$$

· 절감금액

$$42,924 [kWh/년] \times 55.2 [원/kWh] = 2,369 \text{천원}$$

○ 투자비 및 회수기간

· 투자비

○ 1,000천원(변압기 Tap 조정 비용)

○ 1,500천원(콘덴서 및 개폐기 부설비용)

· 회수기간

$$2,500 \text{천원} \div 2,369 \text{천원} = 1.1 \text{년}$$

즉, 변압기의 Tap을 올려서 말단 부하 에서의 전압을 380 [V]정격으로 올리고 앞에서 검토한 바대로 역률을 진상으로 개선하면 부하전류는 69 [A]가 감소된다. 따라서 그에 대한 Tr.에서의 부하손과 변압기에서 부하단까지의 선로 저항에 의한 손실을 감소 시킬수 있고 기기 사용도 효율적이 되므로 검토후 시행을 제

안한다.

2.4 고효율 변압기 채용 전력절감

- 1) 노후 변압기의 장시간 연속 사용으로 인한 절연 열 축진으로 계통 운전 불안정 우려된다.
- 2) 유입 자냉식 변압기 4,500 [kVA]를 아몰퍼스 유입 자냉식 변압기 교체로 설비 이용율을 높인다.
- 3) 유입 자냉식 일반형 변압기를 고효율 아몰퍼스 유입자냉식 변압기로 교체하여 무부하 손실 감소 및 효율 증대
- 4) 교체된 노후 변압기는 외관 변형 점검 등 정기 점검을 강화하고 변압기 사고대비 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

- 전력절감
 - Peak 절감 : 13.6[kW]
 - kWh 절감: 13.6[kW]×8,760[h]=119,136[kWh]
- 절감금액 : 1,547천원
 - 119,136[kWh] × 55.2원=6,576,300원/년

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

- (주) 1. 변압기 제작단가는 제작사가 제시한 자료에 의함
 2. 변압기 교체는 적정시기에 아몰퍼스 변압기로 교체하는 것으로서 일반변압기 가격과의 차액만을 투자 비로 함.

- 회수기간 : 투자비/절감금액
 - 39,000천원 ÷ 6,576천원 = 6년

2.5 Harmonic 개선대책

- 고조파의 장해로 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. 일반적인 고조파 대책은 다음과 같은 여러 방법을 고려할 수 있다.

- ① Filter 설치: 수동Filter, 능동 Filter 설치.
- ② 리액터의 (ACL, DCL)의 설치
- ③ 변환기의 다펄스화:출력상수 증가(정류기의 다상화)
- ④ PWM컨버터 채용
- ⑤ 위상변위 : Phase shift Tr. 설치
- ⑥ 계통분리, 고조파내량 증가, 단락용량의 증대

2.6 역률관리

1) 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.

2) 역률 저하시 개선대책

- 일반적으로 콘덴서 관리는 변압기 2차측에 적정 용량의 콘덴서를 부착하여 평균부하에 대한 역률을 개선하고, 기동이 빈번한 유도성 부하에 대해서는 부하말단에 콘덴서를 부착하여 역률관리 하는것이 바람직 하다.
- 또한, 말단 동력부하에 역률개선용 콘덴서를 부착할 경우 부하의 투입 및 차단에 따라 콘덴서도 같이 On/Off가 이루어지도록 개폐기 2차측에 설치하는 것이 바람직하다.
- 역률개선 대책은 다음과 같다.
 - 부하별로 개폐기 2차측에 콘덴서를 분산 설치하여 선로 및 변압기 동손실을 절감한다. 분산 관리에도 적정 역률이 95%미만시 변압기 2차측에 추가로 콘덴서를 부착하여 집중관리를 병행하도록 한다.

2.7 고효율 전동기 채용

2.7.1. 고효율 전동기의 특징

- 1) 효율의 극대화로 우수한 절전효과 철심, 권선 의 최적설계 및 고급자재 사용으로 손실을 표준대비 20~30%저감시켜 수전설비 및 전력소비량의 절 약이 가능
- 2) 낮은 온도상승으로 권선 수명 연장
F중절연 채택, Service Factor 1.15를 적용하 여, 온도상승에 여유를 확보함으로써 권선의 절 연수명, 즉 전동기 수명을 연장
- 3) 높은 경제성
손실이 적은 절전형이므로 표준전동기보다 제품 비용은 상승되나 운전 중 cost가 낮으므로 초기 상승비용을 단기간에 회수 가능할 뿐만 아니라 운전시간이 길어 질 수록 경제성이 높아짐
- 4) 저 소음화
풍손저감을 위한 외부팬 형상 및 구조 변경으 로 통풍음, 전자음이 작아져 표준전동기 대비 38dB정도 소음이 작아짐.
- 5) 높은 호환성
대부분의 용량이 표준 전동기와 외형치수가 동 일하여 기존 전동기와 호환성을 유지할 수 있 으며, IEC 및 NEMA Frame 모두대응
- 6) 적용 부하
 - (1) 가동율이 높고 연속운전이 되는 곳
 - (2) 정속 운전이 필요한 곳(저진동, 저소음)
 - (3) Peak부하가 걸리는 곳(여름철 공조용)
 - (4) 전원용량이 적고, 설비증가가 제한된 곳

표 5. 고효율 전폐형 전동기의 효율 Data

용 량 (kW)	4 극	
	고 효 율	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 절감 금액은 다음과 같다. 가동시간이 적거나 또는

실 운전부하의 크기(측정치)가 적은 경우에는 투자비 회수기간이 높다.

$$\text{○ 절감량} = \text{출력치} \times$$

$$\frac{[\text{고효율전동기효율} - \text{일반전동기효율}]}{\text{고효율전동기효율}} \times \text{가 동시간}$$

$$\text{○ 연간절감액} = [\text{연간 절감량} \times \text{전력단가}]$$

표 6. 펌프전동기 절감산출

구분	정격출 력(kW)	출력 치 (kW)	전동기 가격(천원)		절감량 (kWh)	절감액(원/년)	투자비 (천원)	투자비회 수 기 간 (년)
			일반	고 효 율				
원 수 조	15	12	487	995	4,937	272,925	508	1.9
폐수 처리	55	42	2,754	4,981	15,360	849,101	2,227	2.6
가압 부상	11	9	376	741	4,544	251,215	365	0.9
중 간 조	30	31	1,052	2,216	13,093	723,789	1,164	1.6
용수	19	15	698	1,367	6,271	346,659	669	1.9

4. 결론

전기설비에서 에너지의 효율적인 이용을 위해서 설비의 이용률을 최대한 높이고 전력 손실을 최소화할 수 있도록 설비 자체를 에너지 절약형으로 설계하여야 한다. 진단결과 공장에서의 전력 및 피크저감을 위해서는 수용가에게 적극적인 절전마 인드를 고취하고 고효율 기기를 사용하도록 제도 적 보완장치 마련이 필요하다.

본 연구에서는 수변전설비, 고효율전동기, 내동 냉장창고에 대한 절감개선 방안을 제시하였다. 설 비 모두 고효율 기기를 선정하여 운전함이 바람직 하며 또한 에너지절 약에 대한 관심과 투자로 고효율기와 절약기법 기술을 개발하여 지속적인 에너지절약을 펼쳐나가야하겠다.

본 연구는 명지대학교 산업기술연구소의 지원으 로 수행 되었습니다.

참고문헌

- [1]권석두."(신기술)전기설비설계",2003.3. 두양사 pp49
- [2]이상집."중,소형 건축물설비의 효율적 전력관리방안의 연 구"1998.7 C pp838
- [3]에너지관리공단."에너지절약 전문기업 투자사업 및 투자사 례"1998.4 pp7
- [4] 에너지관리공단."에너지관리진단보고서(전기)" 2003. 8

3. H냉동, 냉장창고에 대한 진단결과 [4]

○ 수배전 설비

문 제 점	개 선 방 안
<p><수전현황분석></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 수전설비의 단위용량(kVA)당 전력소비량은 2002년을 기준으로 하여 1.87(Mwh/kVA/년)으로 나타나 수전설비 적정용량 판단값과 비교시, 일8~12시간 근무시 기준값인 2.0~ 2.7 범위값에 미달하므로 2002년의 전력사용상태에서는 수전설비가 다소 과용량임. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 변압기의 부하분담율을 조정하여 변압기를 통합, 효율을 향상시키고 무부하 전력손실을 경감시킨다
<p><Peak관리></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 당사의 Peak 전력은 하절기 7,8,9월에 최대치가 다른 달의 최대치 보다 300(kW)이상 높게 나타나므로 연간 전력요금(기본요금) 부담이 가중되고 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Demand Controller를 설치하여 peak 전력을 현재 1,845(kW)에서 300(kW) 낮은 1,545(kW)를 목표치로 선정, 관리 할 때 기본요금 경감이 가능하다.
<p><역율관리></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 수전단역율은 2002년 월평균 99 (%)이며 진단시 역율은 96(%)로 나타나 역율관리는 매우 양호하다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공장가동 정지시간인 야간에는 Condenser 조정이 없어 진상이 우려되므로 Condenser를 조정

○ 공기압축기

문 제 점	개 선 방 안
<p><토출압 강하></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 압축공기 사용설비의 필요 Air 압력보다 높게 공급하므로 압축전력이 증대되고 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 압축공기의 압력손실을 최소화하여 공기압축기 토출압력을 낮추어 공급함으로써 압축전력을 줄인다.
<p><흡입공기 온도저하></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 압축기의 흡입공기는 외부공기를 흡입하고 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 압축기의 흡입공기를 냉수를 이용, 흡입온도를 저가시켜 압축효율을 제고하여 전력절감.

○ 냉,온수 순환 Pump

문 제 점	개 선 방 안
<ul style="list-style-type: none"> ○ 필요양정보다 과양정의 펌프가 설치되었고 밸브개도로 유량, 양정을 조절. 이에 밸브 교축 손실이 발생되고 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 적정 양정의 펌프로 교체함으로써 밸브 교축손실을 없앤다.

○ Spray Pump

문 제 점	개 선 방 안
<ul style="list-style-type: none"> ○ 고양정의 펌프가 선정되어 과부하 운전되고 있으며, 이로 인해 운전동 력이 증가하고 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Impeller 외경을 가공하여 Pump 유량, 압력을 조정하여 운전동력을 절감.