

수변전설비의 전력관리 효율화 운용 기술

김 세 동

두원공과대학 전기과 교수/기술사

1. 서 론

전기수용설비에는 수변전설비를 비롯하여 구내 배전설비, 조명설비, 전동기 및 전동력설비(펌프, 송풍기, 승강기 등) 등 각종 부대설비가 시설되어 운용되며, 이러한 에너지원의 대부분은 전력회사로부터 공급되는 전력에 의존하고 있다.

그러나, 전력회사의 전력공급시설에 예기치 않은 사고 발생으로 전원공급이 중단될 경우 건축물 및 산업시설의 기능 마비를 초래하게 되며, 생산은 정지되고 실내 환경 유지도 불가능하며, 재해시에 인명의 안전과 재산 보전을 확보하는 것이 불가능해진다. 따라서, 전기공급시설은 안전하며 신뢰도가 높게, 그리고 경제적인 설비 구성으로 전력손실의 최소화를 도모하면서 양질의 전기를 공급할 수 있는 설비로 구성하여야 한다. 여기서, 전기설비의 양이란 부하설비용량, 기기의 종류, 구조, 형태 등 설비시스템을 구성하고 있는 개체를 말하며, 전기설비의 질이란 이것들로부터 요구되는 신뢰성, 안전성, 내구성, 유지보수성, 경제성 등을 말한다.

한편, 국내에서는 건축물 및 산업시설의 용도, 규모, 설비구성 특성 등을 고려한 정확한 전기부하 계산 및 설비특성 분석에 대한 기술자료가 전무한 실정이다. 따라서, 전기설비 설계시 설계자의 경험적 판단에 따라 설계가 이루어짐으로써 전기설비의 과잉시설을 초래하게 되고, 이로 인하여 불필요한 전력손실을 야기시키고 있는 실정으로, 효율적 유지관리가 절실하게 요구되고 있다.

본고에서는 수변전설비를 중심으로 부하관리, 최대수요전력 관리, 역률관리를 위한 효율화 운용기술에 대해서 기술하고자 한다.

2. 부하관리 개선 및 변압시설의 효율화 관리

변압기는 전기기기 중에서 가장 효율이 높은 기기이면

서 가장 손실이 큰 기기이기도 하다. 또한 전원기기로서 상시 운전되므로 적은 양의 손실 개선도 효율 향상에 크게 기여한다. 그러므로 가능한 한 고효율 변압기를 선정하면 배그 구성 및 운전 방식의 개선에서도 큰 효과를 기대할 수 있다.

변압기의 손실은 부하손(동손)과 무부하손(철손)으로 구분할 수 있으며, 무부하손은 부하의 크기에 관계없이 전압의 인가만으로도 내부에서 상시 발생하는 손실이다. 그러므로 이러한 변압기에서의 손실을 줄이는 방안으로는 고효율변압기를 선정하여 운전하는 것이 바람직하나, 기존의 변압기에 대해서도 운전관리 합리화를 도모함으로써 전력 손실을 최소화할 수 있으며, 합리화 방안으로는 부하 사용특성을 고려한 변압기의 통폐합을 통해 고효율 운전, 변압기 용량의 적정화, 합리적인 배그의 재구성, 변압기 수용률의 적정 관리, 변압방식의 개선 등이 강구되고 있다.

(1) 부하 사용특성을 고려한 변압기의 통폐합 운전

변압기의 효율적인 운용 방법은 무부하손실을 적게 하고, 최대 효율이 되는 부하용량으로 운전하는 것이다. 변압기의 무부하손실은 부하의 크기에 관계없이 일정하게 소비되며, 용량이 클수록 손실도 커지므로 무부하손실을 가능한 줄일 수 있도록 운전 관리하여야 한다.

따라서, 수전설비용량이 최대수요전력에 비하여 현저하게 크고, 부하율(평균전력/최대전력)이 낮은 경우에는 부하 사용특성과 변압기 배그 구성 형태를 면밀하게 검토하여 통폐합 운전할 수 있는 방안을 검토할 수 있으며, 또한 변압기 부하측간에 연락용 차단기(Tie Breaker)를 설치하여 계절별 또는 요일별로 부하율이 낮은 변압기를 운휴함으로써 전력용 변압기의 손실을 최소화할 수 있다.

그림 1은 P 건축물의 단선도를 나타낸 것이며, 부하율에 따라 전력용 변압기의 병렬운전 및 TIE 운전이 가능하도록 설계되어 전력용 변압기의 효율적 운용이 가능하

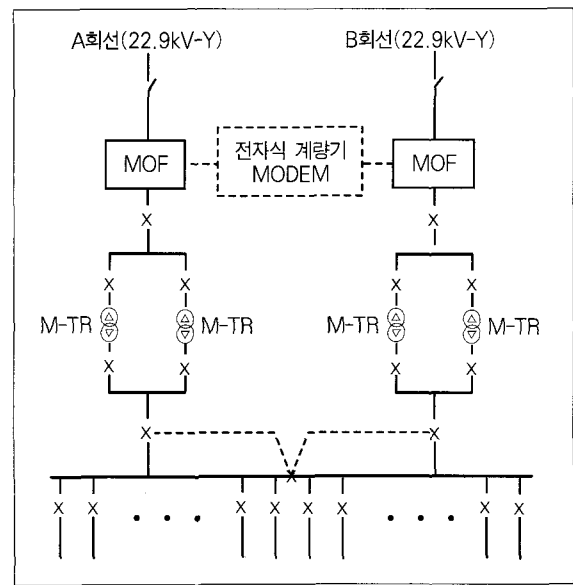
고 손실을 최소화할 수 있어, 최근에 전력 다소비형 건축물에서 많이 적용하고 있다.

(2) 변압기의 합리적 배그구성

일반적으로 변압기의 배그 구성은 전등/동력 등의 부하종류별, 냉방/난방용 부하, 중간기 계절부하 등의 계절부하 종류별, 심야전력 부하, 전기방식(사용전압 구분) 등에 따라서 변압기의 배그수를 정하고 있으나, 건축물 및 산업시설의 부하 사용특성과 전기방식 등을 고려한 종합적인 검토를 통하여 합리적인 배그의 재구성이 요구된다.

(3) 변압기 용량의 적정화 및 수용률의 적정관리

변압기의 용량 결정은 경제성과 전력절감 측면에서 볼 때 가장 중요한 위치를 차지하고 있다. 변압기 용량이 부하에 비하여 작은 경우에는 과부하 운전이 되어 전압강하가 커지며, 장기간 과부하 운전을 계속하면 권선의 온도가 상승하고 절연물이 열화되어 수명이 단축된다. 반면에 너무 클 경우에는 무부하손 및 부하손의 증대에 따



〈그림 1〉 전기설비의 단선도

른 전력손실이 많이 발생하게 된다. 이러한 관점에서 볼 때 변압기의 용량은 최적의 효율적 측면에서 수용률 약 75% 정도의 운전이 가장 적당하다.

그러나, 실태조사 결과 국내 전력다소비 건축물 및 산업체 평균 수용률이 40~50%를 유지하고 있는 것으로 분석되며, 40% 이하인 수용가도 많은 것으로 지적되고 있다.

(4) 고효율 저손실형 변압기의 채용

변압기의 종류에는 유입식, 건식, 몰드식 등이 있으며, 에너지 절약형 변압기를 채용하도록 한다. 참고로 표 1은 변압기 용량 500kVA를 기준으로 하였을 때의 유입식과 몰드식 변압기의 무부하 손실과 부하 손실의 차이를 비교한 것이며, 표 2는 변압기의 종류별 장단점을 나타낸 것이다. 근래에 들어 옥내용으로 10,000kVA 이하

에서는 몰드식 변압기를 많이 채택하고 있다.

〈표 1〉 변압기의 종류별 손실량 비교

항 목	유입식 변압기	몰드식 변압기	손 실 차	비 고
무부하 손실	2,100W	1,750W	350W	변압기 용량 500kVA 기준
부하 손실	6,350W	5,900W	450W	
전 손 실	8,450W	7,650W	800W	

(5) 변압방식의 개선

변압방식에는 직강압방식과 2단 변압방식이 있으며, 특고압→고압→저압(380/220V)의 2단계 변압방식을 지양하고, 직강압방식(특고압→저압)을 채택할 경우 변압손실을 절감할 수 있으나, 전기설비기술기준 제33조(특별고압을 직접 저압으로 변성하는 변압기의 시설)에 준하여 시설하는 것이 바람직하다. 표 3은 직접 강압방식과 2단 강압방식의 장단점을 나타낸 것이며, 최근에

〈표 2〉 변압기의 종류와 특징 비교

항 목	종 류	유입 변압기	건식 변압기	몰드 변압기
절연의 종별		A종	H종	F종, B종
권선의 온도, 상승 온도		55℃	120℃	95℃, 75℃
사 용 장 소		옥내, 옥외	옥내	옥내
연 소 성		가연성	난연성	난연성
폭 발 성		폭발 가능성이 있음	비폭성	비폭성
내 습 성		개방형은 흡수	흡수 경우 있음	비흡수성
내 진 성		강함	강함	극히 강함
소 음		2,000kVA 기준 ≒ 61 dB	2,000kVA 기준 ≒ 76 dB	2,000kVA 기준 ≒ 72 dB
절 연 특 성		안정(경년 변화)	불안정	안 정
단시간 과부하내량(과부하전 부하의 70%인 경우)		150% 부하: 15분	150% 부하: 15분	210% 부하: 15분
내오손 특성		좋다	나쁘다	좋다
Surge Impulse		크다	크다	작다
전 력 손 실		중	대	소
치 수		크다(1)	작다(0.84)	작다(0.67)
중 량		크다(1)	작다(0.96)	작다(0.87)
보 수 점 검		1. 질소가스 누설점검 2. 유면계 및 기름누설 점검 3. 온도계 감시 4. 정기적 절연유특성 5. 정기적 절연물점검	1. 외관 점검 2. 온도계 감시 3. 냉각 Fan 점검 4. 정기적 진공 청소기 청소 5. 정기적 건조 상태 점검	1. 외관 점검 2. 온도계 감시 3. 냉각 Fan 점검 4. 정기적 진공 청소기 청소 5. 정기적 외관 세밀 점검
소 화 설 비		필요	유입변압기보다 소형	유입변압기보다 소형
경 제 성		100	180	200

〈표 3〉 변압방식의 종류와 특징 비교

구 분	직 접 강 압 방 식	2 단 강 압 방 식
시 설 비	시설비가 다단강압방식에 비해 적다.	특고, 고압 변성변압기가 시설되어야 하고, 그에 따른 수변 전설비가 시설되어야 하므로 시설비가 많이 든다.
시 설 면 적	적다(1.0)	크다(1.3)
안 전 성	배전선로 차단용량 증대로 안전성에서 불리하다.	배전선로 차단용량 감소로 안전성, 경제성에 유리하다.
에너지 절약 효과	특고에서 곧바로 저압으로 강압되므로 변압기 손실면에서 유리하다.	특고에서 고압을 거쳐 저압으로 강압되므로 변압기 손실면에서 불리하다.
역률 개선 효과	특고측에서 역률 개선 설비가 필요하므로 비용이 증가된다.	고압측에서 변압기별 역률설비를 단계별로 조작하여 최적 역률 관리가 가능하다.
전력 공급 신뢰도	변압기 1차가 곧바로 22.9 kV이어서 특고측 전력계통 사고시 전력공급에 지장을 초래할 수 있다.	전력 계통 사고시 고압 Bank로 구분되어 있어 사고시 파급 효과가 크다.
유지, 관리 보수성	전압이 단일 계통이어서 유지, 보수, 관리가 용이하다.	전압이 2중계통이어서 유지, 관리, 보수가 불리하다.

들어 에너지절약 및 경제성을 고려하여 직접 강압방식을 많이 채용하고 있다.

3. 최대수요전력 관리 개선

근래에 들어 설비의 고급화, 대형화 등으로 전력소비가 급속히 증가하면서 전력비율의 절대 부족현상이 발생되고 있으며, 하절기마다 최대수요전력의 효율적 관리 대책이 강구되고 있다. 이에 따라 한전에서 1991년 6월 1일부터 전기공급규정을 개정하여 기본요금 12개월 연동제를 실시하고, 1995년 5월에는 전기요금을 최대수요전력 중심으로 대폭 인상하였으며, 최근 1997년 7월 1일부터 월별 피크와 하계 피크로 나누어 12개월 연동제 및 월별 피크제어를 실시하여 분야별로 전기요금을 대폭 인상하였다.

또한 여름철의 최대수요전력을 예측하여 이를 발전설비의 전력공급량에 따라 조정하는 각종 수요관리 대책을 세우고 있으나, 실질적으로 최대수요전력을 절감하거나 억제할 효과적인 수요관리 수단이 부족해서 현재까지 유용한 부하관리 DSM(Demand Side Management) 대책을 시행치 못하고 있는 실정이다.

최대전력 수요제어(Peak Demand Control)의 목적은 최대수요전력의 증가를 방지하기 위한 것이며, 수용가의 시설에 악영향을 주지 않는 범위에서 일시적으로

차단할 수 있는 부하를 제어함으로써 최대전력을 억제하는 것이다.

우리나라의 수요시한은 15분을 기준으로 하고 있으며, 최대수요전력을 적절히 제어하기 위한 방식에는 ① 부하의 피크컷(Peak Cut) 제어, ② 부하의 피크시프트(Peak Shift) 제어, ③ 설비부하의 프로그램 제어, ④ 자가용발전설비의 가동에 의한 피크제어 방식이 있으며, 간단히 개요를 설명하면 다음과 같다.

(1) 부하의 피크컷(Peak-Cut) 제어방식

어느 시간대에 집중하는 부하가동을 다른 시간대로 옮기는 것이 공정상 곤란한 경우, 목표전력을 초과하지 않도록 일시적으로 차단할 수 있는 일부 부하를 강제 차단하는 방식이다.

(2) 부하의 피크시프트(Peak-Shift) 제어

최대수요전력을 구성하고 있는 부하 중 피크시간대에 다른 시간대로 운전을 옮길 수 있는 부하를 검토하여 피크부하를 다른 시간대로 이행시키는 방식이며, 심야전력을 이용하는 빙축열 냉방시스템이 적용되고 있다. 빙축열 냉방시스템은 심야전력을 이용하여 야간에 얼음 또는 냉수를 생산, 저장하였다가 낮시간대의 냉방에 이용하는 냉방방식으로 최근 정책적으로 자금 지원 및 기술 지원을 통하여 보급을 촉진하고 있다.

(3) 설비부하의 프로그램 제어

이 방식에는 디맨드컨트롤러(Demand Controller)가 이용되고 있으며, 이 장치는 디맨드제어에 의한 최대 수요전력을 억제하기 위하여 마이크로프로세서를 내장시킨 고도의 감시제어기능을 가진 최대수요전력 감시제어 장치이다. 다시 말해서, 항상 전력부하 상태를 감시하고 있다가 수요시한인 15분내에 사전에 설정된 목표전력을 초과할 것 같으면 경보를 발생시킴과 동시에 일시적으로 차단 가능한 부하부터 순차적으로 최대 8개 회로까지 차단시켜 최대수요전력을 억제하는 장치이고, 부하가 떨어지면 다시 순차적으로 사전에 입력된 프로그램에 의해 부하를 투입시킨다.

(4) 자가용발전설비의 가동에 의한 피크제어 방식

목표전력을 초과하는 최대수요전력에 해당하는 부하를 자가용발전설비로 분담하게 하는 방식이며, 일반적으로 일정 규모 이상의 수용가에서는 자가용발전설비의 설치 의무화되고 있으므로 부하특성을 면밀히 검토하여 자가용발전설비의 전원공급에 의해 최대수요전력을 억제한다. 에너지관리공단의 실태 결과(1997년도)에 의하면, 산업시설 및 건축물 수용가 570개소 중 47개소에서 이 방식을 적용하고 있는 것으로 나타났으며, 이 중에서 비상용 자가발전기를 가동할 경우 최대수요전력의 경감 가능한 잠재량은 298.8kW 정도로 추정하고 있다.

최대수요전력 관리 대책으로는 직접 부하제어방식과 간접 부하제어방식이 있는데, 일본을 비롯한 외국에서 널리 사용되는 직접 부하제어방식으로 디맨드 컨트롤러를 이용하여 여름철 냉방부하를 직접적으로 제어하는 방식이 보급되고 있다. 그러나, 국내에서도 수년전부터 일부 업체가 디맨드 컨트롤러를 보급하고 있으나, 디맨드 컨트롤러를 실제 수용가 부하에 적용하는 데에는 한전 거래용 최대수요전력량계와 동기 불일치 문제로 정확한 최대수요전력을 측정하는 데에 어려움이 있었다. 최근에 한전에서 거래용 최대수요전력량계의 단자를 개방하고

있으므로 앞으로 많은 보급이 예상되고 있다.

4. 역류관리 개선

전력부하는 일반적으로 유도성 부하로 인하여 낮은 역률의 무효전력이 발생하게 되며, 전기설비 중 비교적 역률이 나쁜 부하는 동력부하로서 전체 전력부하의 약 2/3 정도에 해당한다. 이로 인하여 선로손실과 변압기 부하 손이 증가하고, 전압강하 및 수전설비 용량이 커지게 된다. 또한 역률이 90% 이하를 유지하게 될 경우 전기공급규정에 의하여 전기요금을 누진으로 부담하게 된다.

따라서, 무효전력 발생분을 줄이기 위하여 진상용 콘덴서를 설치, 역률을 개선하여야 한다. 그러나, 역률을 지나치게 높게 하여 진상 상태를 유지하게 되면 전압과 형의 일그러짐 및 계기의 오동작, 페런티 현상에 따른 말단 전압 상승으로 인한 전기제품의 손상 등을 일으킬 우려가 있으므로 역률은 반드시 지상을 유지할 수 있도록 하여야 하고, 경부하시에 콘덴서를 자동 개폐 제어할 수 있어야 한다. 여기에서 역률관리 개선 효과 및 콘덴서 용량 산정 방법, 설치 방법 등에 대해서 간단히 살펴본다.

(1) 역률 개선 효과

(가) 변압기, 간선의 손실 절감

전력손실은 전류의 제곱에 비례하므로 전류가 적어지면 변압기 및 간선에서의 전력손실이 경감된다.

$$\left\{ I^2 R = \left(\frac{P}{V \cos \theta} \right)^2 R \right\}$$

(나) 전압강하의 개선

전압 강하 및 전압 변동이 감소하고, 전기 기기의 고효율 사용이 가능하다.

$$\{ \Delta V = R \cos \theta + X \sin \theta \}$$

(다) 설비 용량의 실질적 증가

전기설비용량은 보통 피상전력으로 결정되므로 역률 개선으로 동일 설비에서 계통 용량이 증가된다.

$$\left\{ \text{피상전력} = \frac{\text{유효전력}}{\cos \theta} \right\}$$

(라) 전기요금의 저감

수용가의 기준 역률은 90% 이상으로 유지되어야 하며, 전력요금 중 기본 요금은 역률이 90%를 상회하는 경우에는 95%까지 1%마다 1%씩 할인된다. 역률이 90%에 미달되는 경우에는 매 1%에 대하여 기본요금의 1%씩 추가 누진된다.

(2) 콘덴서 용량 산정 방법

(가) 수식으로 구하는 방법

부하의 유효전력 P, 역률 $\cos \theta_1$ 일 때, 이 부하의 역률을 $\cos \theta_2$ 로 개선하는데 필요한 콘덴서 용량 산정은 다음과 같다.

$$Q = P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

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

(나) 부하 용량과 계수로부터 구하는 방법

내선규정(부록 콘덴서 부설에 관한 참고사항)에서 제시하고 있는 콘덴서 용량 적용 계수를 이용하여 산정하는 방법으로 다음 식으로부터 결정한다.

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

(다) 콘덴서 부설용량 지표로부터 구하는 방법

내선규정(부록 콘덴서 부설에 관한 참고사항)에서 제시하고 있는 전동기, 용접기 등의 부하에 대해서는 정격출력 기준으로 콘덴서 용량을 결정한다.

(라) 수전용 변압기의 무부하손 보상을 위한 콘덴서 용량 산정 방법

한국전력공사에서는 수전용 변압기의 무부하손 보상을 위하여 표 4와 같이 변압기 용량 기준으로 콘덴서를 설치하도록 유도하고 있다.

(3) 콘덴서 설치 장소

역률개선용 콘덴서는 부하말단에 설치하는 것이 합리적인 전력사용을 위해 바람직하지만, 관리의 용이성과

〈표 4〉 변압기용량에 따른 콘덴서용량

변압기 용량	콘덴서 용량
500kV까지	5%
500kV 초과 2,000kV까지	4%
2,000kVA 초과	3%

설치비의 저렴함 등으로 수전단측에만 콘덴서를 설치하여 역률을 보상하고 있는 수용가도 상당히 있는 것으로 지적된다. 따라서, 전동기 부하측과 변압기 모선측에 분산 설치하는 방법이 가장 바람직하다.

특히 산업시설의 경우 부하측 설비의 부하 변동이 클 경우에는 부하측 개폐기 2차측에 측정 역률에 적합한 콘덴서를 설치하고, 부족한 역률 보상을 위해 변압기 2차측에서 고정 역률을 보상하거나 자동역률 보상장치를 이용한다. 또 다른 방안으로는 변압기 2차측 및 부하에 콘덴서를 설치한 후 부족분에 한해서만 변압기 1차측에서 자동역률 보상장치를 이용하여 소량의 역률 보상을 하도록 하는 것이 바람직하다.

자동역률 제어장치는 역률의 자동제어가 가능한 장치이며, 프로그램제어 방식, 무효전력제어 방식 등이 있으나 무효전력 제어방식이 가장 많이 이용되고 있다. 무효전력제어방식은 회로의 무효전력을 측정하여 초기에 설정한 값과 비교하여, 콘덴서를 투입, 제거하는 방식으로 설비비가 저렴하고 간단하여 널리 적용되고 있다.

5. 분산형 전원에 의한 전력관리 개선

가. 분산형 전원의 개념

분산형 전원이란, 기존의 전력회사의 대규모 집중전원과는 달리 소규모로서 소비지 근방에 분산 배치가 가능한 전원을 의미하며, 가스터빈발전, 디젤엔진발전, 연료전지발전, 태양광발전, 풍력발전, 초전도저장설비 등이 포함된다. 최근에는 태양광발전, 연료전지발전, 풍력발

전 등의 신전원에 대하여 적극적으로 전력계통에 도입하고 있다.

나. 태양광발전을 이용한 전력관리 사례

계통연계형 태양광발전시스템은 태양광을 전기로 변환하는 태양전지를 전자재와 일체화하여 건물 외벽이나 유희공간에 설치하고, 태양전지에서 발생된 전력을 건물 내부의 전원으로 사용하기 위하여 한전의 전력계통선에 연계시켜 사용하는 방식이다. 이와 같이 분산형 신전원을 이용하여 최대수요전력 시간대 뿐만 아니라 상용시에 자체 발전함으로써 수용가의 전력관리를 도모하고 있다.

최근 창원시청 청사에 30kW 및 삼성건설기술원 건물에 100kW 규모의 태양광발전시스템을 도입하여 운용중에 있다.

다음은 창원시청사에 설치된 태양광발전설비의 개요이다.

- 발전 가능 용량 : 30kW
- 주요 공급 부하 : 전등 전열 부하
- 연간 발전량 : 45,000kWh

삼성건설기술원은 연간 약 250,000kWh의 전력을 생산하여 건물의 전등 전열부하의 상당 부분을 자체 발전하여 공급하고 있고, 자체 부하의 16%에 해당하는 수요 전력을 발전하여 공급하고 있는 것으로 나타났다. 설치 개요 및 공급 부하는 다음과 같다.

- 발전 가능 용량 : 100kW
- 주요 공급 부하 : 전등 전열부하

-연간 발전량 : 150,000kWh(건물 전체 사용전력량의 16% 분담 제어)

6. 결 론

최근에 들어서는 우리나라에서도 테크노마트 등과 같은 초고층 복합용도의 첨단정보빌딩이 증가하고 있으며, 이와 같은 특수 건축물에 있어서는 순간정전도 허용하지 않는 부하기기의 사용이 급증함은 물론 빌딩기능이 고도화되면서 냉방부하용 전력소비가 크게 증가되어 전기에너지 소비는 매년 급속히 증가하고 있는 실정이다. 따라서 효율적인 전력관리를 위해서도 합리적인 전기설비의 구성은 매우 중요하며, 또한 Life Cycle 측면에서 에너지절약의 극대화가 적극 검토되고 있다.

우리나라의 전기에너지 절약 방향은 전기기기의 효율 향상인 하드웨어 중심으로 추진되어 왔으며, 에너지의 소비를 크게 좌우하는 전기설비의 시스템 설계나 운영관리 등 소프트웨어 측면은 등한시되어 왔다.

전기설비에서의 에너지절약은 에너지절약 전기기기의 도입, 그리고 에너지절약적인 설비의 시스템 설계와 운영 관리 등으로 이루어지며, 이들 중 소프트웨어 측면의 시스템 설계나 운영에서의 에너지절약이 Life Cycle 측면에서 매우 효과적이므로, 대형 수용가의 경우에는 적극적인 전기수용설비의 효율적인 전력관리가 절실하게 요청된다. □

· ~ 참고문헌 ~ ·

1. 김세동, 최도혁, 전력관리 효율화 운용방안, 한국건설기술연구원, 1997
2. 김세동, 유상봉, 수변전설비의 안전관리 및 합리적 운용, 전기안전관리사 직무교육 교재, 한국전력기술인협회, 1998
3. 이태원, 김세동 외, 관람집회시설의 에너지절약을 위한 설계기준에 관한 연구, 건설교통부/한국건설기술연구원, 1994
4. 장명철 외, 대형건물 정밀진단 및 절전잠재량 조사, 한국전력공사, 1997
5. 옥용연 외, 전력수요관리 잠재량 조사를 위한 대형 산업체 진단, 한국전력공사, 1997
6. 장명철 외, 전력다소비업종 부하 이동 방안 연구, 한국전력공사, 1996
7. 지철근, 에너지절약 전기설비기술, 문운당, 1996
8. 대한전기협회, 내선규정, 1998