

전기수용설비의 전력원단위 향상을 위한 전력관리 방안

김 세 동 <공학박사/기술사(두원공과대학 교수)>

1. 서 론

최근에 들어서 우리나라에서도 포스코 건물, 테크노피아 등과 같은 초고층 복합용도의 첨단정보빌딩이 증가하고 있다. 이와같은 특수 건축물은 빌딩자동화시스템, 사무자동화시스템 및 정보통신시스템, 그리고 정보화시대에 완벽하게 대응할 수 있는 유연성을 가진 건축물로서 신뢰도가 높은 양질의 전원공급설비를 갖추어야 한다.

아울러 첨단정보빌딩은 순간정전도 허용하지 않는 대형 컴퓨터 및 사무자동화기기의 사용이 급증함은 물론 빌딩 기능이 고도화되면서 냉방부하용 전력소비가 크게 증가되어 전기에너지 소비는 매년 급속히 증가하고 있는 실정이므로 효율적인 전력관리가 절실하게 요구되고 있다[1].

근래에 들어 전력다소비 건축물에서의 전기에너지의 합리적 이용을 위하여 부하관리, 역률관리, 최대수요전력 관리, 조명설비 관리, 전동력 응용설비 관리 개선에 에너지절약 기법을 적극 도입하여 적용하고 있다. 그러나, 선진외국에 비하여 아직도 우리나라는 전기설비의 합리적 관리를 위한 통계자료를 확보하지 못하고 있는 실정이며, 특히 업종별, 산업시설별 전력단가 또는 전력원단위에 관한 기초 자료는

전무한 실정이다.

본 연구에서는 자가용 전기설비를 중심으로 전력관리 수준의 지표가 되는 업종별 전력단가와 전력원단위 현황을 살펴보고, 합리적 전력관리 방안을 제시하고자 한다.

2. 업종별 전력단가 분석

전력단가는 단위면적당 전기요금[원/m²] 또는 단위 전력량당 전기요금[원/kWh]을 나타내며, 자가용 전기설비의 전력관리 수준을 어느 정도 판단할 수 있다. 여기서 전기요금은 최대수요전력을 기준으로 하는 기본요금과 사용 전력량을 기준으로 하는 전력사용량 요금으로 구분된다. 일반적으로 자가용 전기설비의 업종, 용도, 건축규모, 설비 구성 특성, 전력관리 방법 등에 따라 전력단가 또는 전력원단위가 많은 차이를 보일 수는 있겠으나 유사한 업종별로는 좋은 자료로 활용할 수 있을 것으로 본다.

표 1은 건축연면적과 병상수가 비슷한 종합 병원 3개소에 대한 현황과 1997년도 전력관리 현황(연간 전력사용량, 최대수요전력, 연간 전기요금, 전기설비 현황 등)을 조사하여 전력 비용을 분석한 결과 전력단가 현황을 나타낸 것이다[1-2].

표 1. 종합병원의 건축개요 및 전기설비 현황

구분	건축 연면적	병상수	주변압기 용량	전력단가 [원/m ²]
K병원	76,017m ²	834	5,900kVA	12,018
C병원	68,819m ²	857	5,450kVA	13,441
J병원	63,173m ²	859	3,000kVA	11,250

이 조사에서는 J 종합병원이 전력관리를 가장 효율적으로 하고 있는 것으로 분석되었으며, J 종합병원은 비상용발전기를 이용한 최대수요전력 관리 및 고효율 조명등(32W 형광등, 전구식 형광등)의 채택, 조명용 전원의 승압(110V→220V) 실시, 모자계량의 설치, 사적 냉장고의 억제 등 적극적인 전력관리를 실시하고 있는 것으로 조사되었다. 반면에 C대학교 종합병원의 경우에는 J 종합병원에 비해서 단위면적 [m²]당 2,191원 정도 높은 전력요금을 부담하고 있는 것으로 조사되었으며, 연간 1억 5천만원 이상의 전력요금을 추가로 부담하고 있는 것으로 분석되었다.

따라서 업무용 건축물의 효율적인 전력관리는 전기에너지 절감 측면은 물론 전력요금 절감측면에서 매우 중요한 부분이다.

참고로 표 2는 업종별 평균 전력단가를 나타낸 것이다. 표본 조사 14개 업체의 1998년도 평균 전력단가를 126.45[원/kWh]으로 조사되었으며, 가장 전력단가가 높은 업종은 공공건축물로서 평균단가에 비해 8.5% 정도 높은 137.17[원/kWh]인 것으로 나타났다.

다음으로는 병원, 백화점, 일반 건물 등의 순으로 전력단가가 높게 나타났다. 이러한 현상은 우리 국민의 생활 수준의 향상으로 쾌적한 근무 여건 및 서비스 개선에 따른 하절기 냉방수요 급증과 사무전산화

보급으로 인한 전력소비 급증 등으로 최대수요전력 및 전력사용량이 급증하고 있기 때문인 것으로 생각된다.

3. 전력원단위 분석

3.1 업종별 분석

건축물 부문에서의 전력원단위[kWh/m²]란 단위면적당 전력사용량을 의미하며, 이를 비교 분석함으로써 전력사용량의 적정 여부를 판단할 수 있다.

그림 1은 업종별 전력원단위 현황을 나타낸 것이며, 조사 대상 건축물의 평균 전력원단위는 204[kWh/m²]로 조사되었다. 공공건물과 병원, 기타 건축물의 원단위가 낮은 반면 전화국의 평균 원단위는 398[kWh/m²]로 높게 나타났다. 그리고 백화점, 호텔, 은행 등의 건축물은 평균치보다 높게 조사되었다[3-5].

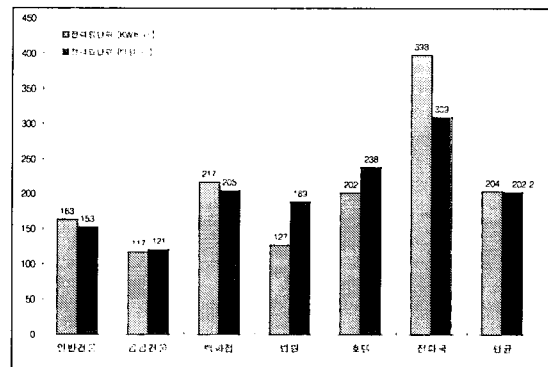


그림 1. 업종별 전력원단위

전화국은 특성상 순간정전도 허용하지 않는 전자 등 교환시스템 등이 주요 부하기기이며, 이와 같은

표 2. 업종별 평균 전력단가

전력단가	일반건물	공공건물	백화점	병원	호텔	평균
1997년도[원/kWh]	115.82	129.75	121.88	119.85	111.2	119.7
1998년도[원/kWh]	124.1	137.17	126.74	129.06	115.19	126.45

부하기기의 안정적 전원공급을 위해서는 무정전전원 장치 및 자동전압조정기의 사용이 필수적이다. 또한 이들 전기기기를 위해서는 항온항습 조건이 요구됨에 따라 절기에 관계없이 냉방 사용이 연간 가동되며, 일반 업무용 건축물과는 달리 전력사용량이 많다. 이와 같은 특수 용도의 건축에 대해서는 심야전력을 이용한 빙축열시스템의 적극 도입이 요구된다.

백화점의 경우에는 구매촉진을 위하여 조명수준이 매년 20% 이상 증가되고 있는 실정이며, 연색성이 좋은 램프의 사용이 급증되고 있다. 또한 이용 고객에 대한 서비스 개선차원에서 냉난방 가동 증가와 식품매장의 냉동기 가동으로 전력사용량이 많은 것으로 판단된다. 이러한 관점에서 볼 때 이 업종에는 흡수식 냉방기 또는 빙축열 냉방기, 고효율 조명기기, 고효율 전동기의 사용을 통한 전력사용 합리화를 유도할 필요가 있는 것으로 지적된다.

특히, 시장건물과 같은 기타 건축물의 경우에는 건물구조 및 방식에 있어서 조약성을 면치 못하고 있기 때문에 조명 및 냉난방 효율이 나쁜 것으로 판단된다. 시장건물의 경우 전체 전력사용량 중 조명부분의 전력사용 구성비가 약 80%로 높은데 효율이 나쁜 백열전구와 40[W] 형광등의 사용이 대부분이어서 조명전력의 소비가 많은 것으로 지적된다. 따라서, 조명전력의 사용량은 냉방부하 증가의 원인을 제공하고 있으므로 이의 개선을 통한 전력원단위 관리가 시급한 것으로 지적된다.

그림 2는 일본의 업종별 전력원단위를 나타낸 것으로서, 우리나라에 비하여 전력원단위가 전업종에 걸쳐 높게 나타나는데, 이의 원인은 사무자동화 및 빌딩자동화시스템 등이 도입되면서 전력 사용비율이 높기 때문인 것으로 지적된다.

이상과 같이 국내에서도 최근 건축물의 대형화, 초고층화, 설비 구성의 복잡화, 중앙감시화, 고기능화, 사무자동화 및 빌딩설비의 자동화 등으로 냉방 수요의 급증으로 인하여 전력사용도 증가되고 있으며, 이에 따라 전력원단위도 증가하는 추세이다.

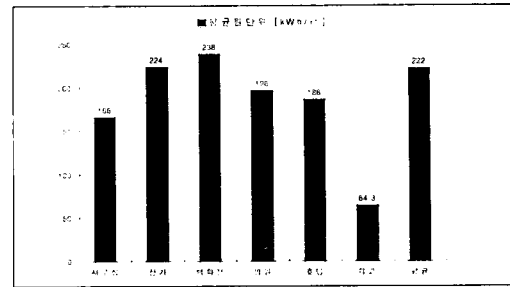


그림 2. 일본의 업종별 전력원단위

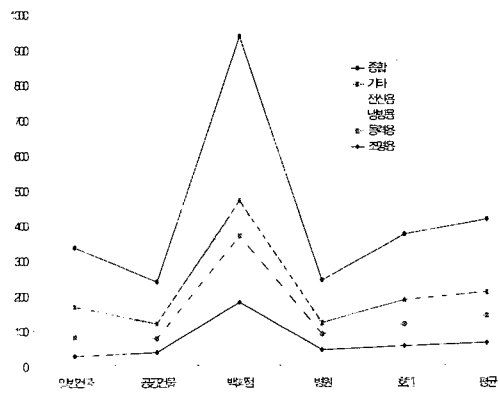


그림 3. 업종별 부하용도별 전력원단위(kWh/m²)

3.2 부하용도별 분석

그림 3은 업종별 부하용도별 전력원단위를 나타낸 것이며, 조사 결과 전력원단위가 가장 높은 항목은 동력용으로서 평균 77.6[kWh/m²]로 조사되었고, 다음은 조명용으로 나타났다. 특히 백화점은 전산용을 제외한 거의 모든 항목이 타 업종에 비하여 전력원단위가 높아 지속적인 전력원단위 분석 및 관리를 통한 전력사용 합리화가 절실히 요구된다. 조명용 전력원단위가 가장 높은 건물은 백화점으로서 179[kWh/m²]이고, 원단위가 가장 낮은 건물은 병원으로서 45.0[kWh/m²]로 조사되었다. 이는 영업 특성상 불가피한 것으로 판단되며, 향후 기존 광원을 고효율 광원(32W 슬림형 형광등의 사용, 백열전구 대신에 전구식 형광등의 사용)으로 대체하고, 자기식 안정기를 전자식 안정기로 대체하는 등 조명부문에 대한 투자

가 요구된다.

동력용 전력원단위도 건물 특성상 백화점이 가장 높은 것으로 나타났다. 따라서, 백화점에 대하여 동력부하의 효율화를 기할 수 있는 방안이 절실히 요구된다. 또한 국민생활 및 소비패턴의 향상으로 앞으로 백화점 업종의 지속적인 전력증가가 예상되는 바 백화점에 대한 합리적인 전력사용 등이 이루어질 수 있는 방법을 강구하여야 할 것이다.

4. 합리적 전력관리 방안

4.1 수변전설비

1) 저손실형 변압기의 채용

변압기는 전기기기중에서 가장 효율이 높은 기기 이면서 가장 손실이 큰 기기이기도 하다. 또한 전원 기기로서 상시 운전되는 특징이 있으므로 적은 양의 손실 개선도 효율 향상에 크게 기여하므로 가능한 고효율 변압기를 선정하고, 몰드변압기 및 아몰퍼스 변압기의 채용이 요구된다.

2) 변압기 용량의 적정 설계

변압기의 용량 결정은 경제성과 전력절감 측면에서 볼 때 가장 중요한 기기이다. 실태조사 결과 국내 전력다소비 건축물 및 산업체 평균 수용률이 40 ~ 50%를 유지하고 있는 것으로 분석되며, 40% 이하를 유지하고 있는 수용가도 많은 것으로 지적되고 있다. 따라서, 전기수용설비의 부하종류별 특성과 건물의 용도 등을 충분히 검토하여 적절한 변압기의 용량을 산정하여야 한다.

3) 직강압방식의 변압기 채택

수전되는 특고압을 고압으로 다시 고압을 저압으로 강압하는 다단방식은 변압기 무부하 손실을 초래하게 되므로 특고압을 바로 사용할 수 있는 전압으로 직접 강압(22,900V/380-220V)하는 방식을 채택함으로써 변압기의 손실을 감소시킬 수 있다.

4) 변압기의 합리적뱅크 구성 및 대수 제어

일반적으로 변압기의 뱅크 구성은 부하종류별, 심

야전력 이용부하, 계절부하, 전기방식(사용전압 구분) 등에 따라서 변압기의 뱅크수를 정하고 있으나, 건축물 및 산업시설의 부하 사용특성과 전기방식 등을 고려한 종합적인 검토를 통하여 합리적인 뱅크의 구성이 요구된다.

5) 최대수요전력의 제어

최대전력 수요제어(demand control)의 목적은 최대수요전력의 증가를 방지하기 위한 것이며, 수용가의 시설에 악영향을 주지 않는 범위에서 일시적으로 차단할 수 있는 부하를 제어함으로써 최대전력을 억제하는 것이다. 즉, 전력 사용 경향에 의한 최대수요 전력값을 예측하여 그 예측된 최대수요전력값을 초과할 때 설정된 단계별로 업무에 지장이 적은 부하부터 순차 차단함으로써 하절기 최대수요전력 상승을 효과적으로 관리하여 전력요금의 경감과 전기사업자의 예비전력 확보에 기여한다.

최대수요전력을 적절히 제어하기 위한 방식에는 ① 부하의 피크컷(Peak Cut)제어, ② 부하의 피크시프트(Peak Shift) 제어, ③ 디맨드제어장치의 이용 ④ 자가용발전설비의 가동에 의한 피크제어방식, ⑤ 분산형 전원에 의한 제어방식 등이 있다.

6) 변압기별 적산전력계의 채용

변압기별로 전력사용량의 계량이 가능하도록 변압기 2차측에 적산전력계를 설치하여 최대전력 수요량을 예측 가능하도록 한다. 가능할 경우 최대수요전력계(DMD)를 설치하여 뱅크별 합리적 전력관리가 이루어지도록 한다.

7) 역률개선용 콘덴서의 설치

전력부하는 일반적으로 유도성 부하로 인하여 낮은 역률의 무효전력이 발생하게 되며, 전기설비중 비교적 역률이 나쁜 부하는 동력부하로서 전체 전력부하의 약 2/3 정도에 해당한다. 따라서, 무효전력 발생분을 줄이기 위하여 진상용 콘덴서를 설치, 역률을 개선하여야 한다.

8) 수변전설비의 중앙감시제어 채택

수변전설비에서 발생하는 이상사고, 단락 및 지락

사고, 과부하 및 전력 공급상태를 감시제어할 수 있는 시스템으로서 중앙감시제어 또는 빌딩자동화시스템(BAS)을 채택하면 변전설비의 무인화가 가능하여 인건비 절감 및 불필요한 전력차단으로 에너지절약이 가능하다.

4.2 동력설비

1) 고효율 유도전동기의 채택

고효율 유도전동기는 일반 전동기 보다 손실을 20 ~ 30% 정도 감소시켜 효율이 4 ~ 10% 정도 향상된 전동기를 말하며, 한국산업규격에서 규정된 250마력 이하의 일반용 저압 3상 유도전동기이다.

2) 전동기의 적합한 기동방식의 채택

전동기의 기동시에는 정격전류의 5 ~ 7배 정도가 되는 큰 기동전류가 흐르고 또한 권선을 소손시킬 위험도 있다. 따라서 용량이 큰 전동기의 경우에는 기동장치를 사용하여 기동전류를 제한할 필요가 있으며, 그 용량에 따라 적합한 기동방식을 채택하여 운영하여야 에너지절약을 도모할 수 있다.

3) 인버터(VVVF) 제어의 채택

인버터의 가장 대표적인 적용 예로서, 동력의 70% 이상을 담당하는 펌프 및 팬, 블로어 등의 송풍기 그리고 컴프레서를 통칭하는 저감토크부하의 회전속도 제어를 중심으로 적용되며, 인버터에 의한 각종 기계의 에너지절약을 목적으로 한 가변속 제어가 폭넓은 분야에서 적용되고 있다.

4) 전동기 절전기(VVCF)

VVCF는 경부하시 전압을 감소시켜 철손을 줄이고, 동손을 일치시킴으로써 효율을 극대화시키고 전압을 낮춤으로써 입력전력도 감소하는 효과를 가지게 된다. 따라서, 평균 운전부하율이 50% 이하인 전동기, 무부하상태 운전이 많은 부하 등에 적합하다.

5) 원심식 냉동기

한국산업규격 KS B 6270에서 규정하고 있는 1500RT 이하의 원심식 냉동기로서 RT당 냉매 순환 전력량을 제외한 총 전력사용량(오일 펌프 및 제어에

소요되는 전력 포함)인 냉동기 에너지효율이 0.68[kW]이하인 것을 채용한다.

6) 심야전력 이용설비의 채용

전기 사용이 적은 심야시간대(23시 ~ 07시)에 심야전력용 전기기기를 사용할 경우 사용 전력량에 대하여 일반 전기요금보다 훨씬 저렴한 요금을 적용해주는 제도이며, 최근 정책적으로 자금 지원 및 기술 지원을 통하여 보급을 촉진하고 있다. 심야전력 이용 기기로는 빙축열 냉방시스템, 전기온수기, 물끓이기 등이 있다.

7) FCU 제어회로 구성

팬코일유닛(fan coil unit)의 운전시스템을 부하에 따라 일부 또는 전부를 계획적으로 운전하도록 제어 회로를 구성하여 팬의 동력과 열원부하를 감소시킨다.

4.3 조명설비

1) 26[mm] 32[W] 형광램프 채용

형광램프의 지름을 슬림화함으로써 기존 32[mm] 40[W] 형광램프에 비해 램프의 소비전력을 20% 이상 절감시키면서 형광체 대신 3파장 형광체를 사용한 고효율 절전형 형광램프이다.

2) 26[mm] 32[W] 형광램프용 안정기의 채용

형광램프를 점등하고 유지하는 안정기의 발광 효율을 향상시켜 자체 발열을 줄이고 깜빡임으로 인한 전력손실이 없어 일반 안정기에 비하여 30%의 절전 효과가 있다.

3) 전구식 형광등기구

형광등이 가지는 고효율의 장점과 조명의 질이 우수한 백열 등의 장점을 결합한 램프로서 전자식 안정기와 일체화시킨 백열전구 소켓에 직접 사용할 수 있다. 형광램프이 일종으로 유리관의 환경이 적고 전자식 안정기를 내장하여 백열등과 대비하여 70%의 절전 효과가 있다.

4) 고효율 HID램프 사용

기존의 수은등의 대체용으로 고압 방전형태의

HID램프(고압나트륨램프, 메탈할라이드램프)를 사용하면 절전 효과가 크고, 연색성이 우수하며 이에 따른 작업환경을 개선할 수 있다.

5) 고조도 반사갓의 채택

조명이 요구되는 공간에 빛을 집중시키기 위하여 광반사율이 높은 반사갓으로 발광 효율을 높인 고조도 반사갓은 반사율이 90% 이상인 형광램프용 고조도 반사갓이며, 동일 조도 환경에서 조명의 수량을 줄일 수 있으므로 경제적이고 조도 향상 및 조명 전력 절약을 도모할 수 있다.

6) 공조형 조명기구의 채용

조명·공조결합방식에 사용되는 조명기구가 공조형 형광등기구이며, 실내의 천장에 설치된 조명기구로부터 발생하는 열을 될 수 있는 대로 천장안에서 제거하고, 실내로는 침입하지 않도록 하는 방식이다. 이와같이 조명시스템과 공조시스템을 결합시킴으로써 ① 형광램프의 효율 향상 및 수명 연장 ② 냉방·난방부하의 감소로 인한 전기에너지의 절감 등을 도모할 수 있다.

7) 자동 조명제어장치의 채택

타이머장치와 조광 레벨제어, 센서 제어 및 마이크로컴퓨터가 내장된 자동 조명제어장치는 사무실의 사용상태에 따라서 전점등, 전소등, 부분소등, 감광 50% 등으로 구분하여 적절한 시간스케줄과 조명 패턴을 바꾸어 조명기구를 점등, 소등이 가능하며, 또한 사무실의 용도에 적합한 조명패턴제어, 재실감지기를 이용한 조명제어, 전화기를 이용한 조명제어 등의 기능을 가짐으로써 조명전력의 이용을 극대화한다.

8) 창측조명의 별도 제어 및 일광제어

창측에는 주간에 주광조명을 할 수 있으므로 개별 스위치 또는 조도 센서 설치에 의한 점등 및 소등 조절로 조명에너지를 절약한다. 근래에 들어 주광조명제어장치의 개발 보급으로 업무용 건물에 적극 적용되고 있다.

9) 개별스위치 설치 슈음제어

전기수용설비의 권력원단위 향상을 위한 전력관리방안

건물 전체를 조명하는 조명시스템과 더불어 국부적으로 조명하는 시스템인 개별스위치를 채택하여 부분조명을 이용한 조명에너지의 극대화를 추구한다.

10) 조도자동조절 조명기구의 채용

220[V], 1000[W]이하의 조명등을 인체 또는 주위 밝기를 감지하여 자동으로 점멸하거나 조도를 자동 조절 할 수 있는 센서장치 또는 그 센서를 부착한 등기구를 말하며, 사람의 왕래가 적고 채광을 이용하지 못하는 계단의 조명기구에 인체감지 및 조도센서를 부착하여 자동으로 조명등을 점멸하여 조명전력을 절약한다.

11) 옥외등 자동점멸장치

광센서에 의해 옥외등을 자동 점멸하거나 타이머를 설치하여 주변의 조도 상황에 따라 옥외등을 자동점멸하여 조명전력을 절약한다.

12) 태양광 가로등 설비

태양전지(solar-cell)에 의한 발전으로 가로등을 점등함으로써 전력의 직·간접적인 절약을 유도하고 또한 미래 태양에너지 시대에 대비한 유지관리 기술의 축적이 가능토록 한다.

13) 비상구 유도등 소등제어

대피용 유도등을 3선식 배선으로 하여 평상, 야간 및 휴무시 유도등을 소등 가능토록 함으로서 전력 에너지를 절약한다. 이때에도 축전지는 계속 충전된 상태이므로 비상사태 시에는 20분이상 자동으로 점등한다.

14) 모니터 절전기

모니터 작동중에 인체를 감지하여 사용하지 않을 경우 모니터 전원을 차단하는 장치로서 이것을 채택하면 전력 에너지를 절약한다. 모니터 절전기는 최대 출력 용량은 200[W] 이상 500[W] 이하이며, 자체 소비전력이 1.8[W] 이하이어야 한다.

5. 결론

1980년대 초중반 비교적 낮은 유지율을 유지하던

우리나라 최대전력 수요는 1986년 아시안게임과 1988년 올림픽을 치르면서 다시 매년 10% 이상의 고도성장을 지속하고 있으며 1994년부터는 냉방부하 급증 등으로 성장 추세가 더욱 가속되어 1994년 20%, 1995년 12%의 수요증가율을 기록하였다.

한편, 국내에는 건축물 및 산업시설의 용도, 규모, 생산량, 설비 구성 특성 등을 고려한 우리 실정에 적합한 전기 부하 계산 및 설비 운영특성 분석에 대한 기술자료가 전무한 실정이다. 특히 수용가의 전력관리 수준을 나타내는 전력단가 및 전력원단위에 관한 자료도 전무한 실정이다.

따라서 에너지절약을 위한 전기기기를 개발하는 것도 중요하지만, 전력관리를 합리적으로 관리하기 위한 제반 대책이 좀더 적극적으로 강구되어야 할 것이다. 전기설비에서의 에너지절약은 에너지절약 전기기기의 도입, 그리고 에너지절약적인 설비의 시스템 설계와 운영관리 등으로 이루어지나, 이들 중 소프트웨어 측면의 시스템 설계나 운영에서의 에너지절약이 Life Cycle 측면에서 매우 효과적이므로 대형 수용가의 경우에는 적극적인 전기수용설비의 효율적인 전력관리가 절실하게 요청된다.

참 고 문 헌

- [1] 김세동, 최도혁, 전력관리 효율화 운용방안, 한국건설기술연구원, 1997.

- [2] 김세동, 전기수용설비의 전력관리 효율화 운용기술, 전기학회지, 대한전기학회, Vol.47, No.7, 1998.
 [3] 장명철 외, 대형건물 정밀진단 및 절전잠재량 조사, 한국전력공사, 1997.
 [4] 옥용연 외, 전력수요관리 잠재량 조사를 위한 대형 산업체 진단, 한국전력공사, 1997.
 [5] 장명철 외, 전력다소비업종 부하 이동 방안 연구, 한국전력공사, 1996.
 [6] 이승연 외, 비주거용 건축물의 에너지절약을 위한 설계 기준에 관한 연구, 에너지기술연구소/한국건설기술연구원, 1999.
 [7] A. J. dell'Isola, S. H. Grylls, Life Cycle Costing for Design Professionals, McGraw-Hill, Inc., 1991.

◆ 著 者 紹 介 ◆



김 세 동(金世東)

1956년 3월 3일생. 1980년 한양대학교 전기공학과 졸. 1986년 동대학원 졸. 2000년 서울시립대 전기전자공학부 대학원 졸(박사). '80~'84년 한국전력공사, '84~'97년 한국건설기술연구원 수석연구원 역임. 현재 두원공과대학 전기과 교수. 한양대학교 강사. 기술사. 당학회 편수이사.