

## 김 세 동 한국건설기술연구원 선임연구원

### 1. 머리말

전력사정이 비상사태이다. 지난 7월 13일에는 전력공급 예비율이 한 때 3%대로 떨어지면서 제한 송전위기로 몰렸다. 이와 같이 전력사용량이 급증하여 곳곳에서 변압기가 용량을 견디지 못해 터지는 사고도 잇따랐다. 최근 빌딩의 초대형화, 인텔리전트화 등으로 인하여 전력소비량이 막대해지고 있는 것도 원인으로 지적되고 있다.

우리나라는 경제사회의 발전에 따라 에너지 다 소비형의 사회로 변모해 가고 있고 업무용 건물에 있어서도 대형화, 인텔리전트화됨에 따라 전력사용량이 매년 크게 증가하고 있다. 기존건물에 있어서도 전력사용량이 증가함에 따라 전기설비의 증설 및 개수의 필요성이 높아지고 있다.

우리나라 총에너지 소비의 약 20~30%가 건물 부문에서 소비되는 것으로 분석되고 있다. 중앙냉난방을 실시하는 사무소건물의 에너지 소비비율은 냉난방 및 급탕 30%, 공기조화 및 반송 25%, 조명 25%, 기타 20%로 연간 에너지 소비 형태를 분석하면 전기에너지 형태로 약 70%가 소비되고 있다. 특히 여름철의 경우 냉방을 위한 전력은 오전 10~12시, 오후 2~5시경에 집중되

어 최대수요전력값이 크게 나타나기 때문에 이 시간대에 전력수요 변화량을 분석하여 우선 순위에 따라 효율적으로 부하기기를 운전하게 되면 쾌적한 건물환경을 유지하면서 전기에너지를 대폭 절감할 수 있다.

따라서 최대전력의 효율적인 전력관리가 요구되고 있으며 부하설비群으로부터 발생 가능한 최대수요전력을 예측해서 적절하게 제어할 경우 최대전력의 초과방지 및 전력설비의 유효이용, 전기요금 절감 등의 효과를 기대할 수 있다.

본고에서는 업무용건물을 중심으로 전력수요제어방식의 종류와 전력수요제어기법에 대해서 살펴보고, 전력수요 제어대상의 선정요건에 대하여 기술하고자 한다.

### 2. 전력수요제어의 필요성

참고로 표 1은 연도별 최대전력수요 및 전력공급 예비율 추이를 나타낸 것이다. 근래에 들어 전력소비의 급증으로 우리나라 電力豫備率이 5% 정도까지 떨어지는 등 전력예비율이 절대 부족해짐에 따라 한국전력공사에서는 “전기공급규정”을

〈표 1〉 연도별 최대전력수요 및 예비율 추이

발생연도	최대전력(천kW)	전력공급예비율(%)
89. 8.10	15,058	18.7
91. 8.20	19,124	5.4
92. 7.28	20,438	6.4
93.12.16	22,112	10.4
94. 7.13	26,205	3.5

개정(1991.6.1)하여 최대수요전력을 억제하고자 최대수요전력계(Demand Meter)를 설치한 수용가에 대해서는 검침 당월을 포함한 직전 12개월 중(최대수요전력계 설치기간이 12개월 미만인 경우에는 그 기간중)의 최대수요전력을 적용하여 전기요금에 반영하고 있으며, 12개월 연동제를 시행하고 있다.

이 제도의 시행에 따라 냉방부하의 비중이 큰 도심지의 업무용 빌딩에서는 전기요금의 기본요금에 대한 부담이 늘게 되었고, 수용가 각자의 최대수요전력 억제 노력이 요구될 뿐만 아니라 수용가의 부하관리 노력에 의한 최대수요전력 저감을 요금액으로 보상받을 수 있게 되었다.

빌딩의 쾌적 환경을 유지하면서 피크전력을 최대한 억제할 경우 전기에너지 절감을 극대화할 수 있을 뿐만 아니라 전기요금의 절감효과를 기대할 수 있다. 앞으로 정보화사회의 진전으로 사무용 건물에 있어서도 고급화, 대형화, 인텔리전트화됨에 따라 전력소비량이 급증하고 있기 때문에 건물의 전력수요제어의 필요성이 더욱 높아지고 있다.

### 3. 전력수요제어방식과 전력관리방안

전력수요는 계절 또는 시간대에 따라 시시각각으로 변동하는 특성을 가지고 있으며 사무용 건물에 있어서는 일반적으로 여름철의 냉방부하

에 의한 최대 피크전력이 나타나는 것으로 지적되고 있다. 이와 같은 최대수요전력을 적절히 제어하기 위한 방식에는 ㉠ 부하의 피크컷(Peak Cut)제어, ㉡ 부하의 피크시프트(Peak Shift)제어, ㉢ 자가발전설비의 가동에 의한 피크제어, ㉣ 설비부하의 프로그램 제어방식으로 분류되고 있다.

#### (1) 부하의 피크컷 제어방식

어느 시간대에 집중하는 부하 가동을 다른 시간대로 옮기는 것이 공정상 곤란한 경우 목표전력을 초과하지 않도록, 일시적으로 차단할 수 있는 일부 부하를 강제 차단하는 방식이다. 이 방식은 시설투자 없이 현재의 설비구성 범위에서 최대수요전력을 억제할 수 있으나 최대전력을 줄일 수 있는 범위가 크지 않으며 피크전력을 구성하고 있는 부하중 부하기기를 일시적으로 차단가능한 부하를 면밀히 검토하여 피크컷방식을 채택하여야 한다.

피크컷 제어대상설비로는 냉동기의 대수제어방법, 공조설비기기의 대수제어방법 등을 들 수 있다. 실질적으로 사무소용 건물에 있어서는 실내의 쾌적환경을 저하시키지 않는 범위에서 냉방부하의 피크컷방식의 적용 검토가 이루어져야 하며 피크컷방식의 적용이 곤란한 경우에는 피크시프트방식과 자가발전기의 가동에 의한 피크제어방식 등을 검토할 수 있다.

#### (2) 부하의 피크시프트 제어방식

피크전력을 구성하고 있는 부하 중 피크시간대에서 다른 시간대로 운전을 옮길 수 있는 부하를 검토하여 피크부하를 다른 시간대로 移行시키는 방식이며 심야전력을 이용하는 빙축열 냉방 시스템이 적용되고 있다.

종래의 일반적인 냉방방식은 냉방이 필요한 시

간에 냉동기를 직접 가동하는 방식인데 비하여 빙축열 냉방 시스템은 심야전력을 이용하여 야간에 얼음 또는 냉수를 생산, 저장하였다가 낮시간대의 냉방에 이용하는 냉방방식으로 최근 재정지원 등 보급을 촉진하고 있다. 다시 말해서 심야전력을 이용함으로써 낮시간의 냉방에 사용할 전력의 일부를 심야시간대로 이전할 수 있는 방식이다.

최근 빙축열 냉방기기의 보급촉진을 위하여 시설투자비를 정부에서 재정지원하고 있고 적극적인 도입을 촉진하고 있으므로 빙축열 냉방시스템의 초기 시설투자비와 운전비 및 전기요금 절감액, 투자비 회수기간 등의 경제성을 검토한다.

빙축열 냉방시스템의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 전기요금을 대폭 절감할 수 있다는 점이다. 빙축열 냉방시스템은 심야전력을 공급받기 때문에 일반 전기냉방방식에 비하여 전기요금을 절반수준으로 줄일 수 있다.

둘째, 일반전기방식에 비하여 40~60% 정도로 냉동기의 용량을 줄일 수 있으므로 요금절감은 물론 수전설비의 용량을 작게 할 수 있어 수전설비의 설치비를 절감할 수 있다. 중·소형건물에서 냉방용 전력 때문에 수전설비를 갖추어야 하는 경우에도 빙축열 냉방설비를 채택함으로써 상시전력의 계약전력이 100kW 미만이 되는 경우에는 수전설비 없이도 냉방설비의 설치가 가능하다.

셋째, 냉동기를 고효율로 운전할 수 있으며 축열조가 설치되어 있기 때문에 냉동기가 고장난 경우에도 단시간은 축열조의 냉열로 냉방부하를 처리할 수 있어 축열조가 없는 경우보다 양호한 상태로 실내온도를 유지할 수 있게 된다. 그밖에도 부분부하에의 대응이나 건물의 증축 등으로 냉방부하가 증가되는 경우에도 대처가 용이한 점 등 여러 가지 장점을 갖고 있다.

### (3) 자가용발전설비의 가동에 의한 피크 제어 방식

수용가측에 자가용발전설비가 설치되어 있는 경우에는 수전전력이 부족한 경우나 위 (1), (2)항으로써 최대전력제어가 곤란한 경우에는 자가용발전설비의 전원 공급에 의해 목표전력을 초과하는 피크전력에 해당하는 부하를 분담하게 하는 방식이다.

일반적으로 일정 규모 이상의 건물에 있어서는 자가용발전설비의 설치가 의무화되고 있으므로 부하특성을 면밀히 검토하여 자가용발전설비의 전원공급에 의한 피크전력을 분담하는 것도 바람직하다.

○신축건물에 있어서는 설계 당시부터 목표전력 이상의 피크전력을 구성하는 부하설비를 별도의 배크로 구성하여 하절기 상용시에 자가용발전설비를 가동하는 방식의 검토가 요구된다. 이 경우에는 모선을 분리 조작하여야 하고 특히 비상시에는 비상용 부하설비로 전원을 공급할 수 있어야 한다.

○기존건물에 있어서는 자가용발전기로 비상용 전원설비에만 전원공급하도록 되어 있는데 하절기에는 피크부하설비에 공급할 수 있는 방안을 검토한다. 이 경우에도 모선을 분리, 조작하여야 하고 특히 비상시에는 비상용 부하에 공급할 수 있도록 해야 한다.

이 방식은 자가용발전설비의 운전코스트, 유지보수비가 수전코스트에 비하여 어느 정도의 비율 인가를 비교하는 경제성 검토가 요구된다.

### (4) 설비부하의 프로그램제어 방식

어느 특정 시간대의 피크발생점에서 (1), (2)항에 의한 제어를 하지 않고 부하수가 많이 있는 동일기기(예를 들어, 공조기기) 등을 그 기기의 제품성능, 빌딩의 쾌적 환경유지에 영향을 주지

않는 범위내에서 단기간 정지, 기동운전을 시켜 피크시간대에서의 사용전력량을 감소시키며 최대전력을 제어하는 방법을 프로그램 제어라 한다. 이 경우 수동으로 제어하기는 어려우며 디맨드 컨트롤러(Demand Controller)가 필요하다.

디맨드 컨트롤러는 전력 수요의 증가경향을 감시하고 디맨드치를 예측하며, 예측치가 목표전력을 넘지 않도록 피크전력을 감시제어하는 방식이다. 이 방식도 디맨드 컨트롤러의 시설투자비와 전기요금 절감액을 분석하여 경제성을 검토한다.

#### (5) 피크전력을 구성하고 있는 부하설비의 시설개체 방안

종래의 일반적인 냉방방식은 냉방이 필요한 시간에 냉동기를 직접 가동하는 방식이 채택되고 있는데, 사용되고 있는 냉동기의 종류에는 터보식냉동기, 흡수식냉동기, 왕복동식냉동기 등이 적용되고 있다.

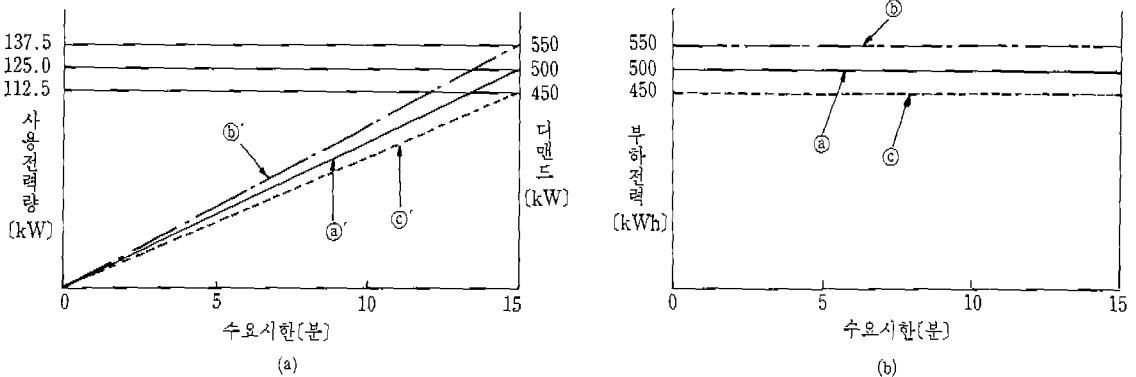
이 중에서 사무소건물에서는 터보식냉동기가 가장 많이 적용되고 있는데 터보식냉동기는 냉매가스를 전기모터로 회전 압축후 증발시 냉방을 이용하는 방식으로 1냉동톤당 약 1kW 정도의

부하용량과 부속동력용 부하용량을 산정하여 용량을 정하고 있다. 따라서 터보식냉동기 부하로 인하여 여름철의 최대수요전력이 크게 나타나고 있다.

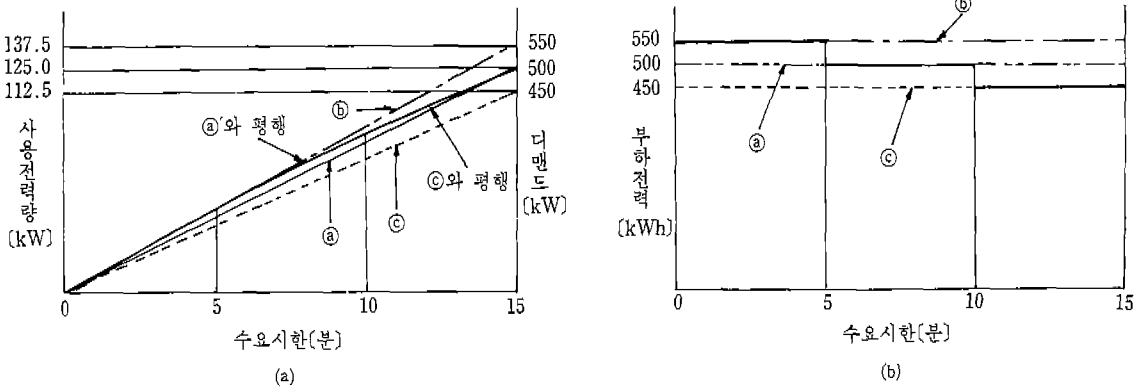
반면에 흡수식냉동기는 배열, 증기를 이용한 흡수식 냉방방식으로 가스를 연료로 사용하기 때문에 부속동력용 부하용량만을 산정하면 되므로 냉방부하로 인한 용량을 크게 줄일 수 있다. 이와 같이 냉동기의 방식 선정에 따라서 여름철의 냉방부하에 크게 영향을 미치므로 종래의 터보식냉동기 대신에 흡수식냉동기로 교체할 경우 최대수요전력을 크게 줄일 수 있다.

### 4. 전력수요제어기법

전력수요제어(Peak Demand Control)의 목적은 최대수요전력의 증가를 방지하기 위한 것이며, 건물의 쾌적환경을 유지하는 범위에서 일시적으로 차단할 수 있는 부하를 제어함으로써 피크전력을 억제하는 것이 주목적이다. 여기서 디맨드란 「需要時限中에 있어서 전력의 평균치」를 의미하며 다음의 식과 같이 나타낸다.



<그림 1> 디맨드와 사용전력량 및 부하전력의 관계 (1)



〈그림 2〉 디맨드와 사용전력량 및 부하전력의 관계 (2)

$$\text{디맨드 (kW)} = \frac{\text{수요시한중의 사용전력량 (kWh)}}{\text{수요시한 (h)}}$$

우리나라에서의 수요시한은 15분(1/4h)을 기준으로 하고 있으며 디맨드[kW]는 사용전력량[kWh]의 4배가 된다. 그림 1은 디맨드와 사용전력량 및 부하전력(순시전력)의 관계를 나타낸 것이며 일정한 부하전력으로 사용하는 경우 그래프에서 디맨드가 부하전력과 일치함을 나타내고 있다.

우선 그림 1(b)에서 ①과 같이 500kW의 부하전력을 需要時限중에 일정하게 사용하면 그 需要時限중의 사용전력량은 (a)그래프에서 ②와 같이 증가하고 시한종료시(15분 경과시)에는 125kWh가 된다. 그리고 이와 같은 경우 디맨드는 125kWh/0.25h=500kW로 되어 부하전력과 일치한다.

같은 방법으로 부하전력 550kW일 때는 그림 (a)의 ③직선, 450kW일 때는 ④의 직선과 같으며 (b)그래프에서 표시한 부하전력의 크기는 (a)그래프의 직선의 기울기와 같음을 알 수 있다. 이와 같이 일정 부하전력의 경우는 '디맨드=부하전력'의 관계가 있으며 실제로는 부하전력이 변동

하기 때문에 그 변동분의 피크치를 제어함으로써 디맨드를 규정치 이내로 유지할 수 있다.

그림 2는 피크전력을 규정치 이하로 제어할 수 있는 한 예를 나타낸 것으로 需要時限 개시 5분간은 550kW의 부하전력으로 사용하고 그후 부하를 제어하여 5분까지는 500kW 그리고 나머지 5분간은 450kW로 하면 디맨드는 500kW로 되는 것을 알 수 있다. 이와 같이 일시적으로 최대전력을 550kW의 부하전력을 사용한 경우에도 需要時限중에 부하전력을 제어함으로써 피크전력을 규정치 이내에서 유지할 수 있다.

## 5. 전력수요 제어대상의 선정과 운용

### (1) 조정부하의 선정

부하차단에 의하여 피크전력을 조정하는 경우에는 긴급차단 가능한 조정부하를 미리 선정하여야 한다. 조정부하는 5~10분 정도로 필요한 시점에 즉시 차단할 수 있어야 하고 단시간 정지시켜도 설비운영에 영향이 적은 것을 선정하는 것이 바람직하다.

일정한 수요전력을 제어하기 위해 필요한 조정

부하의 크기는 조정부하의 정지시간에서 다음과 같이 표시된다.

$$\text{조정부하용량} = \frac{\text{수요시간(분)}}{\text{정지시간(분)}} \times \text{수요전력제어량}$$

예를 들면 5분간 정지시킬 수 있는 조정부하로 100kW의 수요전력을 줄이기 위해서는 3배인 300kW의 용량을 선정할 필요가 있고 정지가 가능한 시간이 7분 30초까지 허용되면 2배인 200kW의 용량을 선정해야 한다. 실제로는 조정부하 그 자체도 변동되고 있어 조정이 필요하게 되었을 때 용량이 100%가 되지 않는 일도 있을 수 있으므로 20~30% 이상의 여유를 두어야 한다.

단시간 정지하여도 그 기능이 손상되지 않은 부하로서는 전술한 바와 같이 축적능력을 가진 것을 생각할 수 있다. 부하의 이행을 검토하였을 때와는 달리 5~10분 단시간 전원공급을 끊어도 기능이 유지되는 것이면 충분히 이용 가능하고 피크 시간대 직전에 축적 운전시켜 두면 축적능력을 충분히 이용할 수가 있다.

공조설비의 경우 단시간의 정지이면 축적능력을 가지고 있어 조정부하로서 이용할 수 있으나 다소간의 서비스 저하, 즉 실온 상승을 허용하면 정지시간을 연장할 수 있게 되어 보다 큰 조정능력을 발휘할 수가 있다. 특히 하절기의 공조기기는 피크 발생의 요인이기도 하기 때문에 조정부하로서 이용되는 경우가 많이 있으며, 실제 허용되는 정지시간을 실온 상승 정도를 실측하여 한번 확인하여 두는 것이 바람직하다. 또 서비스 저하를 수반하기 때문에 각 공조설비의 정지시간이 균등해지도록 하는 등의 배려도 필요하다.

조명설비는 공조설비와 달리 정지시키면 즉시 서비스가 저하되고, 또 서비스 저하가 허용되는 경우가 매우 적기 때문에 조정부하로서 사용할 때는 보안, 안전면 등 그 영향도를 충분히 확인해야 한다.

## (2) 제어대상 선정조건

부하를 선정하는데 있어 현재의 가동상태가 계약전력을 초과하는 최악의 상태이고 반드시 부하제어를 실시하지 않으면 안될 입장에서는 다음과 같은 설비기기 특성 전반에 대해서 검토할 필요가 있다.

- a. 제어가능한 부하기기의 선정
  - 냉방기기 가동시간 조정
  - 냉동기의 대수제어 검토 등
- b. 부하제어에 의한 서비스 저하, 실온 상승 상황의 실측
- c. 전력관리를 하기 위해 부하기기와 의 관계로 어느 정도의 제어 정밀도가 필요한가?
- d. 부하기기의 가동, 동작특성 및 부하 변동의 대소
- e. 계절에 따른 부하변동의 변화(운전, 휴가)
- f. 부하제어 방법을 수동차단할 것인가, 자동 차단할 것인가?
- g. 부하기기의 차단순서를 어떻게 정할 것인가?
- h. 감시체제의 확립
- i. 부하기기의 정지시간 여유도

따라서 건물의 각 부하기기의 특성, 감시체제, 설치의 적용조건 및 전력관리 방법과의 관련 등을 면밀히 검토하여 종합적인 판단 아래 적절한 제어대상을 선정해야 한다.

## (3) 조정부하의 운용

조정부하가 선정되면 다음에 운용방법도 결정하여야 한다. 조정부하는 일괄하여 동시에 차단하는 것이 아니고 여러 그룹으로 나누어 부하상태에 따라 규정전력을 초과하지 않도록 최저로 필요한 양만큼 차단되도록 하고, 또 부하가 가벼워져 여유가 생겼을 때는 차단한 부하를 재투입하도록 하여 될 수 있는 한 차단하는 부하가 적

어지도록 운용한다.

수요전력이 초과하였을 때 조작자의 판단으로 수동으로 조작하는 방법도 있으나 자동제어 기능을 갖는 전력수요 제어장치를 이용하면 조작자의 부담을 줄일 수 있고 또 확실한 제어가 기대된다.

자동제어의 경우 조정부하의 각 그룹은 미리 정하여진 우선순위에 따라 차단, 투입, 조작하게 되는데 우선순위의 결정방법에는 고정우선방식과 순환우선방식이 있다. 조정부하의 각 그룹은 각기 중요도가 낮은 부하부터 차단하고, 투입할 때는 중요도가 높은 부하부터 투입하도록 우선도를 고정하는 방식이 일반적으로 적합하다.

조정부하가 공조 설비로 구성되어 있을 때는 각 그룹간에 중요도의 차가 적고 정지하는 기회가 될 수 있는 한 균등해지는 것이 바람직하기 때문에 우선순위를 돌려 항상 전회에 조작한 그룹의 다음 것이 조작되도록 하는 순환방식이 적합하다. 어느 경우나 조정부하의 각 그룹은 거의 같은 용량이 되도록 그룹을 나누는 것이 바람직하다.

피크전력이 異常적으로 커서 조정부하를 모두 차단하는 경우에도 규정전력을 초과할 우려가 있을 수 있으므로 긴급 차단하는 부하설비를 결정하여 둘 필요가 있다. 이때는 수동차단이 되지만 수동의 경우는 연락방법, 조작 담당자 등을 명확하게 해두어야 한다.

또 일반적으로 조정 부하는 각 장소에 분산되어 있을 때가 많기 때문에 원방제어를 할 필요가 있다. 원방제어를 위해 제어회로를 직접 연장하는 것은 케이블 크기, 거리 등의 제약이 많기 때문에 중계용 릴레이를 사용하고 통신용 케이블로 연장하는 것이 회로적으로도 편리하게 된다. 조정부하의 차단은 자동으로 할 필요가 있는 것은 재투입 허가의 연락방식도 확립해 두어야 한다.

## 6. 맺음말

사무소용 건물의 대형화, 인텔리전트화됨에 따라 전기소비량이 급속히 증가하고 있으며 최대수요전력도 매년 증가추세를 보이고 있다. 건물에서 전력수요는 일별, 월별, 계절별로 달라지게 되는데 될 수 있는 한 일정한 전력수요가 가장 바람직하다. 그러나 사무소용 건물에서는 여름철 냉방시기에 전력수요가 가장 높게 나타나고 있으며 하투에도 오전 10~12시, 오후 2~4시 사이에 가장 큰 값이 나타나고 있다.

따라서 사무소용 건물의 규모와 설비 특성에 따라 전력수요제어를 위한 설비기기의 제어형태와 제어모형을 분석하여 쾌적한 건물환경을 저하시키지 않고 최대전력을 효율적으로 관리할 수 있는 방안을 검토해야 한다.

건물의 전력수요제어를 위해서는 건축설비들의 구성과 기기특성, 운전형태, 제어방법 등을 면밀히 분석하여 계절별, 시간대별 설비기기들의 운전현황을 연속적으로 감시하면서 부하설비群으로부터 발생가능한 최대수요전력을 예측해서 적절하게 제어하는 전력수요 제어시스템을 적용하여야 한다. 따라서 우리나라 전력다소비건물의 운전특성에 알맞는 전력수요 제어시스템의 도입이 요구되며 보다 효과적으로 적용하기 위한 각종 설비기기들의 운전형태를 분석하여 적절한 제어방안을 도입, 쾌적한 건물환경 유지와 막대한 건물전력 수요의 절감효과를 동시에 기대할 수 있다.

또한 여름철의 냉방전력수요를 억제하기 위한 대책방안으로 건물의 공조방식과 냉동기의 형식 등 설비특성을 검토하여 흡수식 냉동기 및 빙축열시스템을 적극적으로 채용되어야 할 것이며 여러 가지 전력수요제어방식 중 각 건물의 특성에 적합한 최대전력 관리방안을 도출하여야 보다 효율적인 설비관리가 이루어질 것이다.