

프로그램제어방식을 이용한 건물 전력수요 관리기법

°최도혁* 김세동* 류승기* 송연빈**
* 한국건설기술연구원 ** 대림공업전문대학

A Study on the Power Demand using Program Control Method in Office Building

°CHOI, Do-Hyuk* KIM, Se-Dong* RYU, Seung-ki* SONG, Eon-Bin**
*Korea Institute of Construction Technology ** DAERIM Junior College

ABSTRACT

The object of this study is to propose the simplified power demand control system which is applicable to existing buildings or new buildings. Through the technical survey and power demand analysis in office buildings, the electric facilities which can be controlled are selected.

Power demand control program can be controlled the electric facilities in order, and displayed the facility operation state. The proposed power demand control system is cost-effective and flexibly adoptable in system upgrade or retrofit.

1. 서 론

우리나라는 경제사회의 발전에 따라 에너지 다소비형의 사회로 변모해 가고 있고, 사무소 건물에 있어서도 대형화, 인텔리전트화됨에 따라 전력 사용량이 매년 크게 증가하고 있다. 기존 건물에 있어서도 전력사용량이 증가함에 따라 전기설비의 증설 및 개수의 필요성이 높아지고 있다.

사무소 건물에 있어서 전력 사용 형태를 분석해 보면 계절별로 크게 변동하며, 특히 여름철 냉방기간 중에 최대 전력수요가 발생하고 있다. 이 기간 중 일일 전력수요의 변화는 시간대별로 다르게 나타나고 있으며, 이 시간대에 전력수요 변화량을 분석하여, 우선 순위에 따라 설비들을 운전하게 되면 쾌적한 건물 환경을 유지하면서 전기에너지를 대폭 절감할 수 있다.

본 연구에서는 기존건물 및 신축건물에 적용할 수 있는 전력수요 제어 시스템을 제시하였다. 여름철 최대 전력수요 발생 기간에 동력부하용 전동기들을 효과적으로 제어하면 최대 전력수요를 억제할 수 있다. 본 시스템은 건물 용도에 따른 시스템의 확장이 가능하며, 건물 자동화 시스템과 연결하여 통합 관리할 수 있다. 또한 건물 내의 각종 설비에서 소요되는 전력수요를 관리하면서 필요한 설비들을 제어할 수 있는 기능을 갖추고 있다.

2. 전력수요 제어 기법

시간에 따라 변화하는 전기의 사용형태를 나타내는 것으로 부하율이 있으며, 부하율은 최대 부하에 대한 평균부하의 비이며 부하율이 높다는 것은 설비를 효율적으로 이용하는 것을 의미한다. 그림 1은 전기설비용량 2,500[kW]인 수용가의 여름철 일부하곡선으로서 이 수용가의 부하상태는 다음과 같다.

- 사용전력량 : 24,000 [kWh]
- 평균전력 : $\frac{24,000 \text{ [kWh]}}{24 \text{ [h]}} = 1,000 \text{ [kW]}$
- 최대전력 : 2,500 [kW]
- 일부하율 : $\frac{1,000 \text{ [kW]}}{2,500 \text{ [kW]}} \times 100 = 40 \text{ [%]}$

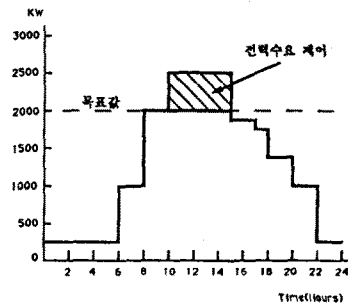


그림 1. 부하곡선

전력수요 제어를 위하여 그림 1의 빗금친 부분을 관리하여 최대 수요전력을 500 [kW] 낮추게 되면, 부하율은 다음과 같이 된다.

$$\frac{1,000 \text{ [kW]}}{2,000 \text{ [kW]}} \times 100 = 50 \text{ [%]}$$

따라서, 부하율은 40[%]에서 50[%]로 개선할 수 있게 된다. 개선전의 수전설비의 용량은 최대 수요전력 2,500 [kW]의 부하에 대응할 수 있는 용량이었으나, 최대 수요전력을 2,000 [kW]로 저하함에 따라 수전설비의 용량은 약 20 [%] 저하하게 되어

설비투자비를 낮출 수 있게 된다.

변압기 손실은 부하에 일정한 철손과 부하의 제곱에 비례하여 증가하는 동손이 있다. 변압기의 효율은 부하에 따라 변화하는데 일반적으로 정격용량의 80 [%] 부근의 부하에서 최고효율을 발휘하도록 제작되고 있다. 따라서 부하를 평준화하게 되면 부하전체의 변압기 용량에 대해서 전일효율이 향상되어 손실 전력량이 저하하므로 에너지 절감효과가 기대된다.

이와 같이 최대수요전력을 적절히 제어하여 부하율을 항상 시키기 위한 방식에는 그림 2의 (a)부하의 피크컷트(peak cut)제어 (b)부하의 피크쉬프트(peak shift)제어 (c)자가용 발전설비의 가동에 의한 피크제어 (d) 프로그램 제어방식이 있다.

부하의 피크컷트 제어방식은 그림 2의 (a)와 같이 어느 시간대에 집중하는 부하가동을 다른 시간대로 옮기는 것이 공정상 곤란한 경우 목표전력을 초과하지 않도록 일시적으로 차단할 수 있는 일부 부하를 강제 차단하는 방식이다.

부하의 피크쉬프트 제어방식은 그림 2의 (b)와 같이 피크전력을 구성하고 있는 부하중 피크시간대에서 다른 시간대로 운전을 옮길 수 있는 부하를 검토하여 피크부하를 다른 시간대로 이행시키는 방식이며, 실야전력을 이용하는 병축열 냉방시스템이 적용되고 있다.

자가용 발전설비의 가동에 의한 피크제어방식은 일정 규모 이상의 건물에 설치된 자가용 발전설비를 이용하여 수전전력이 부족한 경우나 위의 방식으로 최대전력제어가 곤란한 경우에 목표전력을 초과하는 피크전력을 그림 2의 (c)와 같이 분담하는 방식이다.

프로그램제어방식은 디맨드 컨트롤러(demand controller)를 사용하여 그림 2의 (d)와 같이 어느 특정시간대의 피크발생점에서 빌딩의 쾌적환경을 유지하면서 단기간 동안 부하를 정지, 기동시켜 최대전력을 제어하는 방법이다.

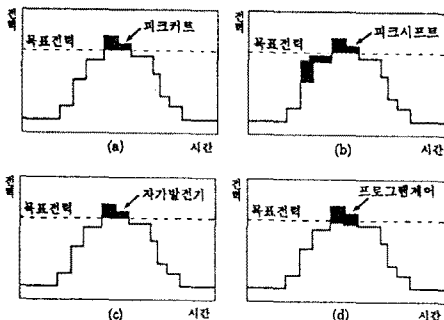


그림 2. 전력수요 제어방식

전력수요는 일정 수요시간내의 평균전력으로 정하고 있으며, 일정 수요시간내의 사용전력량을 P_r [kWh]라 하면 수요전력 P [kW]는 다음과 같이 표현된다.

$$P = \frac{P_r \text{ [kWh]}}{H \text{ [hour]}} = \frac{P_r}{H} \text{ [kW]} \quad (1)$$

우리나라에서는 수요시한을 15분으로 정하고 있으므로 식 (1)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P = \frac{P_r \text{ [kWh]}}{15/60 \text{ [hour]}} = 4 \cdot P_r \text{ [kW]} \quad (2)$$

따라서, 현재 전력을 P 라 하고 관리하여야 할 목표전력을 P_0 라 하면 예측전력 P_r 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_r = P + \frac{\Delta p}{\Delta t} \cdot (15 - t) \quad (3)$$

식 (3)에서 Δt 는 1분, 2분, 3분 등으로 임의로 선택할 수 있는데 본 연구에서는 1분을 기준으로 하여 예측전력을 정할 수 있도록 하였다. 그림 3은 예측전력값의 산정과 제어 개념을 나타내는 그래프이다.

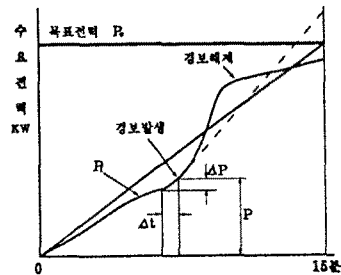


그림 3. 예측 전력값의 산정

따라서, 전력수요 제어 시스템에서는 현재 전력 P 는 식(2) 및 전력사용량 값을 이용하여 다음 식으로 구할 수 있다.

$$P = 4 \cdot \frac{1}{\text{계기정수}} \times \text{펄스누적수} \quad (4)$$

펄스의 누적수는 수요시한 시작부터 현재 전력을 파악하기 위한 시간까지 산출한 값으로 정하고 있다. 전력수요 시간내에 제어기능을 수행하는 시간 동안에 수요전력을 목표전력으로 조정할 수 있는 조정전력 P_v 는 다음 식으로 산출한다.

$$P_v = (P_r - P_0) \cdot \frac{15}{15 - t} \quad (5)$$

일반적으로 그림 3에서 t 가 6분이 되는 시한까지 누적펄스값에 의하여 현재 사용전력을 산출하고 이 값으로 예측전력을 구한 다음 이를 목표값과 비교하여 목표값 초과가 예상되는 경우 경보를 내어 부하제어를 실시하게 된다.

3. 사무소 건물의 전력수요 분석

연면적 약 15,000~30,000² 규모인 중규모 건물에 대한 전력수요 형태를 분석하였다. 전력수요 형태를 살펴보면 일년중에는 여름철에 최대 전력수요가 발생함을 알 수 있었다. 이러한 전력수요 형태의 변화를 하루중 시간대별로 살펴보면 일반적으로 여름철 냉방기간중인 오전 10시에서부터 오후 4시 사이에 최대 전력수요가 발생하게 된다. 그림 4(a)는 연간 최대전력수요의 변화이고, 그림 4(b)는 여름철 하루 중의 전력수요 변화 형태를

관찰한 것이다.

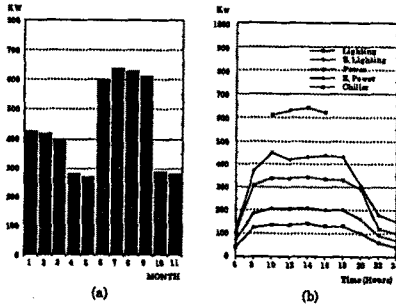


그림 4. 전력수요의 변화

전력수요를 효율적으로 관리하기 위해서는 일 부하폭선을 사전에 검토하고, 냉방 시간대에 각 부하의 중요도에 따른 부하별 우선 순위 제어를 실시하여 최대 전력수요를 억제해야 한다. 최대 전력수요 발생시 제어가능한 부하는 다음과 같다.

- 공조기용 급기 및 배기 FAN용 전동기
- 순환 PUMP용 전동기
- FAN 코일 유니트 및 동력설비용 소형 전동기
- 조명 부하

4. 제어 시스템 구성

제어시스템은 현재의 전력값과 건물의 실내환경을 파악하기 위한 필스용 전력량계 및 센서와 가변속 운전을 위한 인버터 그리고 소형전동기와 조명부하를 개폐하기 위한 전자 개폐기로 구성된다. 제어대상 설비로는 조명, 공조기용 동력, 주차장 환기용 동력 등이 있으며, 본 연구에서는 공조기용 대형전동기는 인버터를 이용하여 실내환경에 영향이 없도록 하면서 가변속 제어를 하도록 구성하였고, FAN 코일 유니트에 사용되는 소형전동기와 조명부하는 전자개폐기로 ON/OFF하는 방식을 채택하였다. 그림 5는 전력수요 제어 시스템의 구성도를 나타낸 것이다.

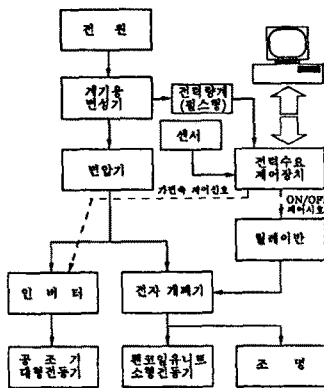


그림 5. 전력수요 제어 시스템 구성도

전력수요 제어 장치는 종합적으로 전기설비를 관리할 수 있도록 전기실에 시설하는 것이 바람직하다. 기존의 건물에서는 전력감시반 근처에 시설하여 전기설비 감시 시스템과 함께 관리하는 것이 유지관리 측면에서 효과적이다.

5. 실증 실험 및 경제성 검토

샘플 건물은 연면적 약 30,000㎡, 지상 9층, 지하 3층 규모인 사무소 건물을 선택하였다. 전력수요 제어 장치를 시설하고 여름철 최대 전력수요 발생시간대를 중점 관리대상 시간으로 하였으며, 공기조화 상태 및 설비 이용율에 나쁜 영향을 주지 않는 조건을 우선 고려하여, 제어순위를 결정하였다.

이 조건을 만족하면서 전력수요 제어기능을 수행하려면, 공조기를 완전히 정지시키는 운전방식은 바람직하지 못하다. 따라서 FAN 코일 유니트의 운전을 직접 제어할 수 있도록 하고, 공조기에는 인버터를 설치하여 제어할 수 있도록 하였다. 공조기는 인버터를 이용하여 전동기의 최대 회전수의 60~80 [%]가 되도록 고려하였다. 그림 6은 전력수요 제어장치를 이용하여 공조기 및 FAN 코일 유니트를 제어할 경우의 전력수요의 변화상태를 측정 한 것이다.

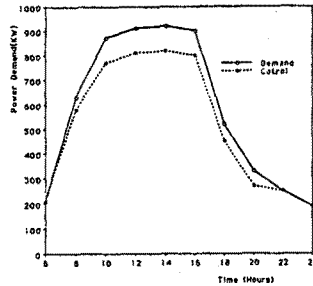


그림 6. 현장 실측 결과

그림 6의 측정결과를 분석하면 약 100 [kW] 만큼의 최대 전력수요가 낮아지고 있다. 일반적으로 전기요금 체계는 기본요금 + 전력량요금으로 구성되어 있다. 전력수요 제어 장치를 시설하고 전기요금에 의한 연간 절감금액을 산출하면 다음과 같다.

절감금액:

$$\begin{aligned} \text{기본요금} &= 100[\text{kW}] \times 4,370\text{원}(\text{kW당기본요금}) \times 12\text{월} \times 1.1(\text{부가세}) \\ &= 5,768,400 \text{ 원} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{전력량요금} &= 100[\text{kW}] \times 4(\text{시간}) \times 25(\text{일}) \times 3(\text{개월}) \times 76.8(\text{원}) \times 1.1 \\ &= 2,534,400 \text{ 원} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{합 계} &= \text{기본요금} + \text{전력량요금} \\ &= 8,302,800 \text{ 원} \end{aligned}$$

시설투자비는 전력수요 제어장치, 전력량계, 릴레이 박스, 전자 개폐기 시설에 필요한 자재 구입비와 시설공사가비가 소요되며 다음과 같이 산출된다.

- 전력수요 제어 장치외 자재구입비 : 약 5,000,000 원
- 공사비 : 약 5,000,000 원
- 시설투자비 : 자재구입비 + 공사비 = 10,000,000 원

경제성검토를 위하여 투자비 회수기간은 다음과 같이 산출된다.

$$\text{투자비회수기간(년)} = \frac{\text{시설투자비}}{\text{년간절감금액}} = \frac{10,000,000}{8,302,800} = 1.2\text{년}$$

투자비 회수기간은 1.2년 x 12 = 14개월이면 회수할 수 있는 것으로 분석되어 경제성이 매우 높은 것으로 평가되고 있다.

6. 결 론

사무소 건물의 경우 연간 전력사용 현황을 실측하여 본 결과, 여름철의 냉방기간인 6월부터 9월 사이에 최대 전력수요가 발생하고 있다. 최대 전력수요가 커지게 되면 이에 따라 전기설비의 시설용량을 증대시켜야 하기 때문에 국가적으로 발전시설의 건설비 증가는 물론, 수용가의 전기요금 부담이 증대된다. 따라서, 기존 건물이나 신축 건물에 적용할 수 있는 효율적인 전력수요 제어시스템이 필요하다.

냉방 운전기간 중에 공조기용 FAN이나 PUMP 등 동력부하의 전력수요는 시간대 별로 변화를 보이고 있다. 특히 공조기용 FAN 등 동력설비의 전력수요가 약 30~40[%]를 차지하고 있다.

최대 전력수요 발생 가능시간대에서는 우선 순위를 두어 중요 설비별로 운전 순서를 사전에 설정하여야 한다. 우리나라에서는 15분 주기로 전력수요를 계속하도록 장하고 있기 때문에 이 수요시간대에 부하제어가 이루어져야 한다. 본 연구에서 개발한 제어 프로그램에 의하면 전력수요 제어 장치내에서 수요전력을 계속하고 예측전력을 계산하기 위해서는 약 6분정도 할당하고 있기 때문에 9분 이내에 차단부하들을 설정한다. 제어 프로그램에 따라 이 시간을 변경 가능하도록 할 수 있다.

기존의 전력수요 제어시스템에서는 부하를 차단하거나 투입하는 ON/OFF제어를 하고 있는데, 고려한 시스템에서는 공기조화 상태를 쾌적하게 유지하면서 전력수요 제어가 가능하도록 공조기용 FAN의 전동기에는 인버터를 설치하는 방안을 제시하였다.

참 고 문 헌

- (1) 한국건설기술연구원, "분산형 건물자동화시스템 개발," 1991.
- (2) 성에너지, "전력관리와 디맨드 콘트롤장치," 1991.
- (3) 동경전기대학, "파워엘렉트로닉스와 전동력제어," 1982.
- (4) 전기서원, "전기설비 에너지절약 제어장치와 사용법," 1981.
- (5) 대한전기협회, "자가용 수전설비의 품질향상과 전기안전관리 제도에 관한 연구," 조사연구논문집, 제 13 집, pp.131~220, 1991.
- (6) 대한전기기사협회, "에너지절약을 위한 전기사용 합리화 진단가법," 1992.
- (7) 전기서원, "범용 인버터 활용 가이드북," 1985.
- (8) J. Spindler and G. T. Heydt, "Plant energy monitoring: new developments and advantages," EC&M, Vol. 92, No. 8, pp. 30~32, 1993.
- (9) M. D. Keefover, "Reducing electric utility costs," EC&M, Vol. 92, No. 8, pp. 53~60, 1993.