

# 건물에너지 모니터링 및 분석에 관한 연구

박 윤 철\*

## A Study on the Building Energy Monitoring and Analysis

Youn-Cheol Park\*

### ABSTRACT

In this study, building energy conservation opportunities were proposed in order to minimize the energy consumption and to cut off the operation cost through the optimum selection and application of building equipment. Most of energy consumption in the commercial building comes from delivery equipment of heat transfer fluid such as fans and pumps. It is recommended by this study that the delivery equipment should be changed from constant volume system to variable volume system.

**Key Words** : Building Energy, Energy Monitoring, Energy Saving, AHU, FCU

### 1. 서 론

실내의 열환경에 대한 인식이 높아가면서 실내 열환경을 측정할 필요성이 증대하고 있다. 많은 모니터링 프로그램들이 에너지를 사용한 진후에 에너지를 측정하도록 되어 있다. 반면에 에너지 사용으로 인하여 실내환경이 직접적으로 변하기 때문에 실내환경 조건의 진후 상태를 측정하는 것도 에너지의 사용량을 측정하는 대신에 사용할 수 있는 방법 중의 하나이며, 이러한 방법이 거주환경과 에너지절약과의 연관성을 파악하는데 중요한 인자중의 하나이다.

건물에너지 모니터링은 건물의 에너지를 소비하는 모든 기기에 대하여 실시하여야 하므로 방대한 양의

자료를 측정하여야 한다. 그러나 모든 측정항목에 대하여 각 유닛마다 측정기기를 설치하는 경우 이에 소요되는 비용이 너무 과다하므로 건물에너지 해석을 위하여 필요한 측정항목의 범위를 좁히고 이에 따른 측정기기를 선정하고 측정기술을 습득하여야 한다.

건물의 에너지 모니터링에 있어서 대부분의 기존연구에서 간과해온 것은 건축주에게 모니터링 시 선택할 공조설비를 건축주가 이해할 수 있도록 자료의 제공이다. Komor 등[1]의 연구에 따르면 수요자, 계약자 심지어는 엔지니어조차도 새로운 설비시스템을 적용하는 경우에 새로운 설비가 예상한 만큼 작동할 것인가의 여부를 판단하기 위한 충분한 자료를 갖고 있지 못하다고 하였다.

비효율적인 공조시스템은 에너지를 낭비하게 되고 그 관리자는 이를 효율적으로 관리하기가 어렵게 된다[2]. 또한 관리자들은 공조시스템의 운전패턴과 에너지절약의 연관성을 거의 모르고 있으며, 설령 알고 있다 하더라도 쉽게 정리된 자료를 제공해 주지 않는

\* 제주대학교 기계에너지생산공학부

Faculty of Mechanical Energy & Production Eng., Cheju Nat'l Univ.

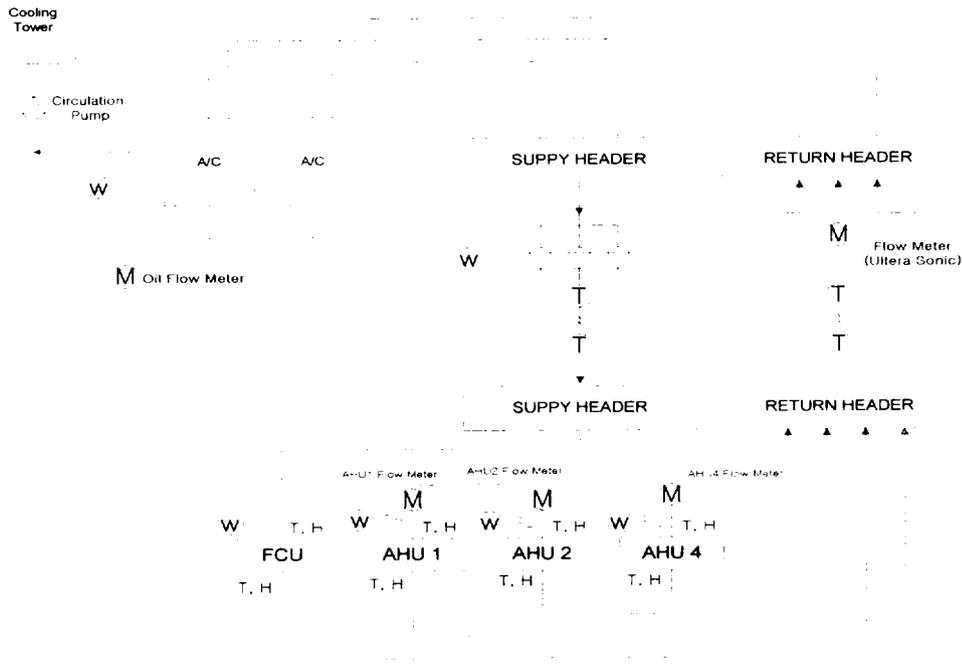


Fig. 1 Measuring location of the monitoring building

다. 만약에 건물의 에너지소비량에 대한 측정자료를 보기 쉽게 나타내고 공개할 경우에 건물의 운영자가 설비를 에너지 절약적으로 운전하는데 큰 도움이 될 것이다. 현재의 에너지소비에 대한 자료는 대부분 전기요금 자료, 에너지사용 추정치, 또는 시뮬레이션에 의존하고 있는 실정이다.

건물의 에너지시스템이나 요소기기를 실제 상황에서 평가하는 것은 공조시스템 제조회사, 건축계약자, 설비엔지니어, 전원설비공급자 및 최종 건물사용자에게 여러 가지 이유에서 중요하다.

따라서 본 연구에서는 측정항목을 냉동공조시스템, 열원설비 및 기타 설비의 에너지소비량 산정과 팬, 펌프 및 기타 에너지 수송동력의 산정에 있어서 필요한 부분에 한해서 측정하였다.

본 연구는 이러한 에너지소비량 측정대상건물의 에너지 소비량에 대한 모니터링을 통하여 에너지절약기법 적용을 위한 건물에너지 측정기술을 터득하고 에너지 소요량 모니터링 및 분석방법을 확립하기 위하여 수행되었다.

## II. 건물에너지의 모니터링방법

### 2.1. 모니터링 대상건물

HVAC설비의 에너지효율을 측정하거나 한 건물의 에너지사용량을 다른 건물과 비교하기 위한 측정기기 및 그 측정방법은 이미 많은 연구 및 보고서를 통하여 발표되었다[3-8]. 본 연구에서 선택한 건물에너지 모니터링을 위한 대상건물의 열원설비 및 냉동공조기기의 개략도는 Fig. 1과 같으며, 제원은 Table 1에 나타낸 바와 같다.

모니터링을 위한 대상건물은 지상 6층 및 지하 1층의 업무용 건물을 선정하였으며, 대상 건물의 구조는 지하 1층에는 공조실, 통제실, 식당 및 주방 등이 있으며 지상 1층부터 5층까지는 사무실이 배치되어 있다. 옥상인 6층은 제2공조기가 설치되어있는 공조실이 있다. 대상건물에서 남서쪽 방향으로 100여미터 떨어져있는 지하기계실에는 흡수식 냉온수기가 설치되어 대상건물에 공급되는 냉온수는 지하배관을 통해

Table 1 Specification of air handling units

Items	Supply air m <sup>3</sup> /min	Return air m <sup>3</sup> /min	Cooling coil temperature (°Cdb/ °Cwb)		Heating coil temperature (°Cdb/ °Cwb)		Volume flow rate (LPM)
			Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
AHU1	510	340	27/22	16/15	11	31	750
AHU2	543	430	26/21	17/16	14	28	585
AHU4	160		29/22	16/14	8	32	285

서 대상건물의 지하에 있는 공조실의 공급헤더에서 제1공조기, 제2공조기, 제3공조기, 제4공조기, 제5공조기 및 팬코일 유니트로 다시 나뉘어 진다.

각 공조기를 통과한 냉온수는 환수헤더를 거쳐 흡수식냉온수기로 돌아온다. 5대의 공조기중에서 제3공조기는 강당용이며, 제5공조기는 세미나실용이기 때문에 평소에는 가동을 하지 않는다. 이들 공조기의 가동시간은 전체 공조기의 가동시간에 비하여 매우 적고 에너지소비량도 많지 않아서 전체 모니터링 결과에 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 분석되어 본 연구에서는 제3공조기와 제5공조기는 측정대상에서 제외하였다.

## 2.2. 측정기기의 설치방법 및 측정방법

건물의 특성과 측정항목을 고려하여 측정기기의 설치위치를 결정하였으며, 대상건물의 측정위치를 크게 두 곳으로 나누었다. 즉, 에너지를 소비하는 냉방공조 부하공간인 연구동과 이를 위하여 냉온수를 공급하는 흡수식 냉온수기와 반송시스템이 있는 곳에 측정기기를 설치하였다.

측정기기는 공조기 4대, 공급 및 환수헤더(지하 공조실), 기준층 및 실외온도(연구동 주변)를 측정하였으며, 흡수식 냉온수기 2대, 순환수 펌프 그룹, 냉온수 공급 및 환수헤더이다.

각각의 공조기와 팬코일의 소비전력을 개별적으로 측정하며, 데이터로거는 지하실에 설치하여 PT와 CT에 의하여 소비전력을 측정하였다. 옥상에 있는 제2공조기는 별도의 데이터로거를 옥상에 설치하여 소비전력을 측정하였다. 입출구의 냉온수의 온도는 지하기계실의 냉온수 공급헤더에서 입구온도를, 환수

헤더에서 출구온도를 RTD 측정하였다.

냉각수유량은 공조기 3대에 흐르는 유량을 초음파 유량계를 설치하여 측정하여 측정하였고 팬코일유닛은 유량은 측정하지 않고 유량평형식을 사용하여 계산하였다. 초음파유량계로 유량을 측정할 때 펌프의 진동이나 엘보우 등에 의한 급격한 유량방향의 변화 등에 의하여 발생하는 외란의 영향을 최대한 피할 수 있는 위치에 설치하였다. 이외에 펌프, 냉온수기, 공급 및 환수헤더 등의 온도 및 유량도 같은 방법으로 측정하며, 기준층에 대한 자료는 벽면에서 1m이상 떨어진 위치에서 습도계와 열전대를 사용하여 실내온도와 습도를 측정하였다.

측정기기들로부터 측정된 데이터들은 데이터로거나 데이터스캔에 의해 수집되어 5분 간격으로 컴퓨터에 저장하였다. 데이터스캔은 연구동 지하기계실에 1대, 2층 사무실(온도, 습도측정시 기준층)에 1대 총 2대를 설치하였다. 데이터로거는 연구동지하실에 1대, 연구동 옥상에 1대, 구조동지하실에 1대 총 3대가 설치되었다.

## III. 실험결과 및 고찰

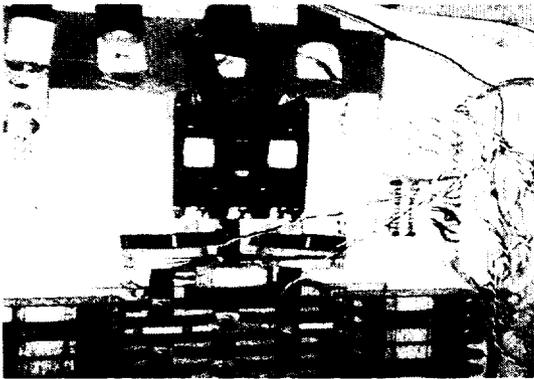
### 3.1. 주간 에너지 소비패턴 분석

수집된 데이터는 자료처리프로그램과 그래픽 프로그래프를 사용하여 일정기간 동안 사용한 건물에너지 소비량을 계산하였다. 본 연구에서 에너지 소비량을 측정된 건물은 주로 오전 9시에서 오후 5시까지의 업무시간동안 재실자들이 거주한다.

공조설비에 한달동안의 각 공조기, 냉온수기 및 순환펌프에서 소비된 전력량들을 합한 전체 설비시스템의 일별 전력소비량을 측정하였다.



(a) PT



(b) CT

Photo. 1 Photo of power measuring devices.

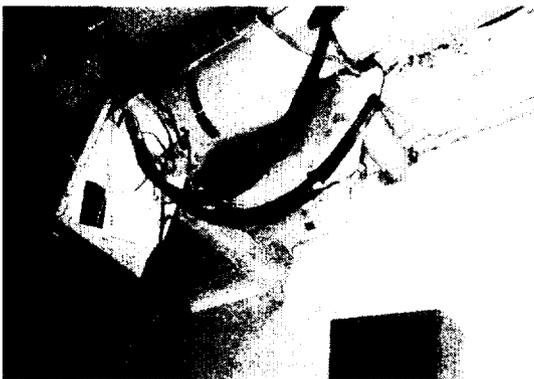


Photo. 2 Photo of ultrasonic flow meter.



Photo. 3 Photo of data acquisition system.

Fig. 2는 2주간 측정된 설비시스템이 일별 총전력 소비량을 나타내고 있다. 측정결과 주중의 경향을 살펴보면 다소 차이가 있으나 월요일과 화요일의 전력 소비량이 다른 요일에 비하여 많은데, 이는 대상건물이 사무용 건물인 관계로 주말에는 설비시스템을 가동시키지 않아서 추가로 발생한 냉방부하가 한 주의 시작일인 월요일과 화요일에 가증되기 때문인 것으로 판단된다. 주말인 토요일에는 오전에만 설비시스템을 가동하므로 주중 전력소비량과는 큰 차이를 보이고 있으며, 일요일에는 전력을 거의 소비하지 않았다.

Fig. 3은 같은 기간 중 각 공조기와 환코일유닛에서 소비한 전력량을 비교한 것이다. 공조기 중에서는 제 1공조기가 가장 많은 전력을 소비하는 반면에 제 4공조기가 가장 적은 전력을 소비하고 있다. 이는 건물에서 발생하는 냉방부하 중 제 1공조기가 대상건물의 1-3층의 부하를, 제 2공조기는 4-5층의 부하를, 제 4공조기는 식당 및 주방에서 발생하는 부하를 감당하기 때문이다. 특히, 제 4공조기의 전력소비는 11-1시경에 집중되었는데 이는 점심시간을 전후로 식당 및 주방에서 발생하는 냉방부하량과 관련이 있음을 알 수 있다. 공조기 전체에서 소비하는 전력량의 합과 환코일유닛에서 소비한 전력량은 비슷한 수치를 보이고 있다.

Fig. 4는 공조시스템, 열원시스템 및 반송시스템의 전력소비량을 비교한 것이다. 반송시스템에서 소비한 전기소비량이 가장 크고 열원시스템에서 가장 작은 경향을 나타내고 있다.

이 기간동안 각 설비시스템이 사용한 전력소비량을 백분율로 구분하면 펌프에서 소비되는 에너지가 45%,

AHU와 FCU에서 소비되는 에너지가 47%이며 나머지 8%가 플랜트의 운전에 소비되고 있다.

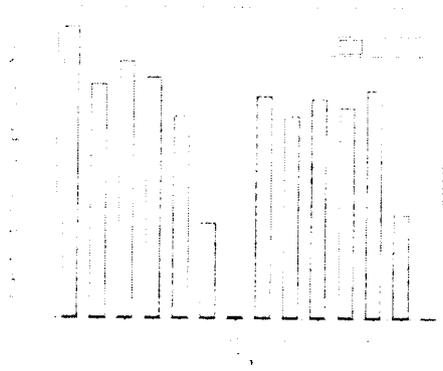


Fig. 2. Total power consumption of facility.

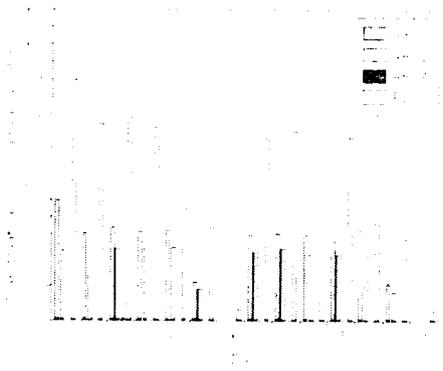


Fig. 3. Daily power consumption of air conditioner.

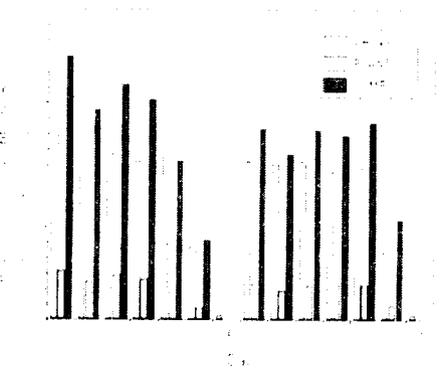


Fig. 4. Daily power consumption of facility.

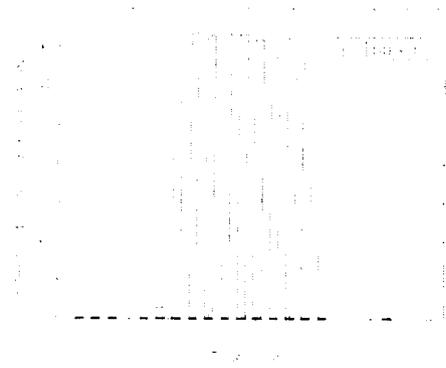


Fig. 5. Total power consumption of facility.

### 3.2. 일간 에너지 소비패턴 분석

Fig. 5는 평일의 하루 중 설비시스템의 전력소비량을 나타내고 있다. 오전 7시경부터 오후 5시경까지 약 10시간동안 하루 전력소비량의 대부분을 차지한다. 이는 대상건물이 사무용 건물로서 설비시스템의 운전시간이 재실자의 재실시간과 일치하며 운전스케줄이 주로 업무시간에 맞춰지고 있음을 알 수 있다. 설비시스템이 가동되고 있는 동안에 소비되는 전력량이 거의 일정한데 이는 대상건물의 설비시스템이 정풍량, 정유량방식을 채택하고 있기 때문에 하루 중 시간별 외기온도변화에 따른 냉방부하량이 변동함에도 불구하고 일정한 운전스케줄에 의해서 가동되고 있다.

Fig. 6은 평일의 하루 중 각 공조기의 시간별 전력소비량을 나타내고 있다. 제1공조기가 가장 많은 전력을 소비하고 그 다음이 제2공조기이며 제4공조기는 다른 두 대의 공조기에 비해서 상대적으로 적은 전력을 소비하고 있음을 알 수 있다. 제4공조기는 식당 및 주방의 냉방부하를 담당하므로 점심시간 전후인 11시경부터 1시경까지 약 2시간동안 집중적으로 가동되고 있다. 환코일유닛에서 소비하는 전기량이 가장 많이 나타나고 있는데 이는 각층의 환코일유닛의 전력소비량을 합산 수치이기 때문이며 각 공조기의 전력소비량을 합과 비교하면 공조기와 환코일유닛에서 소비하는 전력량은 비슷한 것을 알 수 있다. 대상건물의 운전방식이 정풍량, 정유량방식이기 때문에 각 공조기의 운전시간동안 전력소비량이 거의 비

슷한 경향을 보이고 있다.

Fig. 7은 같은 날 설비시스템의 전력소비량을 시간 대별로 나타낸 것이다. 역시 재실자의 재실시간동안 집중적으로 전기가 소비되고 있음을 알 수 있다. 각 시스템별 전력소비량을 살펴보면 반송시스템이 가장 많이 전력을 소비하고 있으며 열원시스템이 가장 적게 소비하고 있다. 이를 백분율로 분석하면 반송펌프가 32%, AHU 및 FCU가 39%이며, 플랜트에 소비되는 에너지가 9%이다. 이는 한 주간의 전력소비율과 거의 비슷한 수치이다.

Fig. 8은 주중 토요일의 하루 중 대상건물의 설비 시스템에서 사용된 총전력 사용량이다. 전력소비량이 오전에 집중되어 있는데 이는 주말이기 때문에 설비 시스템을 오전에만 가동하기 때문이다.

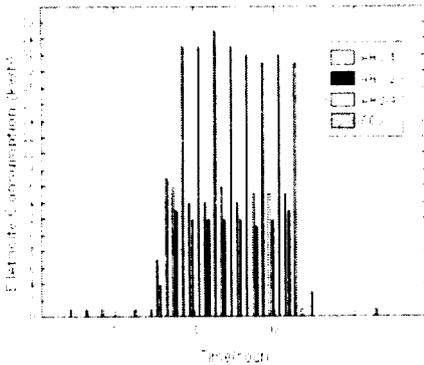


Fig. 6. Power consumption of air conditioner.

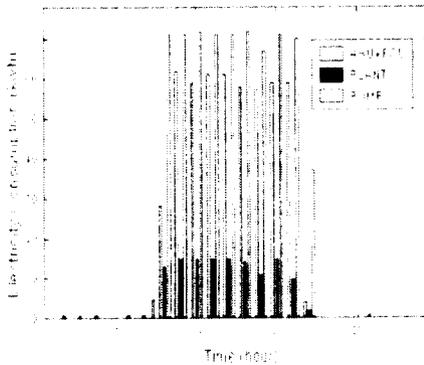


Fig. 7. Power consumption of facility.

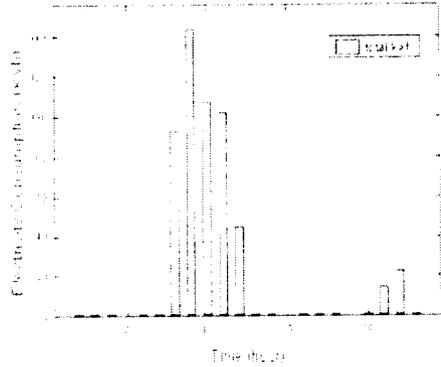


Fig. 8. Power consumption of facility(Sat.)

### 3.3. 열원설비의 연료소비량 및 냉방부하량

Fig. 9는 2주간 열원시스템의 일별 오일소비량을 나타낸 것이다. 전체적인 경향을 살펴보면 전력소비량과 유사함을 알 수 있다. 이는 열원시스템의 흡수식 냉온수기가 전체 오일의 대부분을 소비하는데, 냉방부하량에 따라 전력소비량과 오일소비량이 결정되기 때문이다.

Fig. 10은 각 공조기에서 발생하는 냉방부하의 총합을 일별로 나타낸 것이다. 전력소비량과 비슷한 경향을 나타내고 있는데, 이는 앞서 기술한 것처럼 냉방부하량에 따라서 모든 설비시스템의 가동시간과 용량이 결정되기 때문이다. 하지만 본 대상건물은 요구되는 냉방부하량에 맞춰서 최적의 운전조건으로 설비 시스템을 가동하는 것이 아니라 담당기사의 임의적인 판단에 따라서 가동되기 때문에 완전히 일치된 경향은 아니다.

Fig. 11은 같은 기간중 일별 냉방부하량을 각 공조기별로 나타낸 것이다. 각 공조기에 해당하는 냉방부하량을 살펴보면 제 1공조기의 부하량이 가장 많고 제 4공조기의 부하량이 가장 작음을 알 수 있다. 이는 시간별 냉방부하량이 제 4공조기는 점심시간전후 약 2시간동안에 집중적으로 발생하기 때문이다. 이를 백분율로 분석하면 AHU-1이 59%로 대부분의 냉방 부하가 부가되며, AHU-2는 약 40%이고 AHU-4가 4%정도의 부하를 부담하고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 12 주중 하루의 각 공조기의 냉방부하량을 시간별로 나타낸 것이다. 전기소비량 그래프와 비슷한

경향을 보이고 있다. 즉, 대상건물의 재실자의 재실시간(근무시간)동안 집중적인 냉방부하가 발생하고 있음을 알 수 있다. 앞에서 기술한 것처럼 제 4공조기는 식당 및 주방에서 발생하는 부하를 감당하는데 점심시간 전후 약 2-3시간동안 하루 부하량의 대부분이 발생하고 있다.

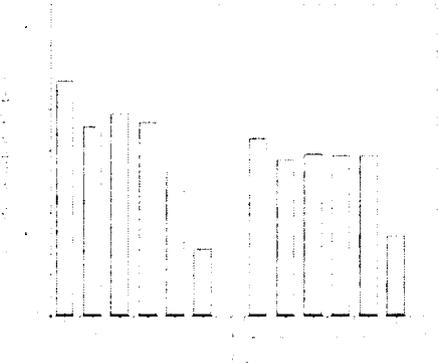


Fig. 9. Daily oil consumption.

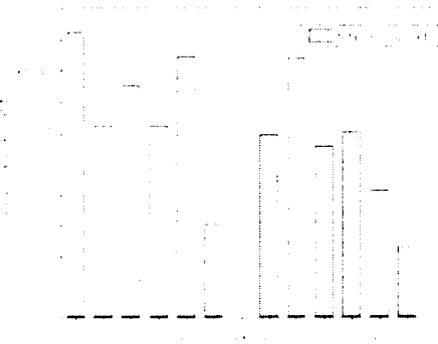


Fig. 10. Cooling load of facility.

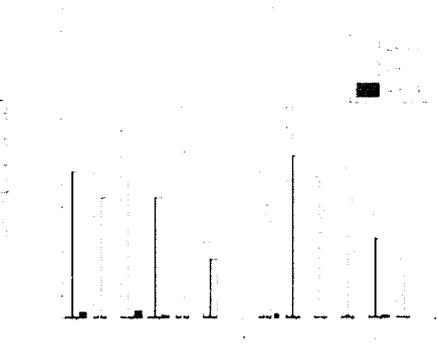


Fig. 11. Daily cooling load of air conditioner.

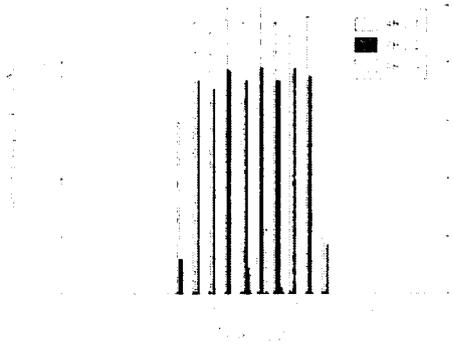


Fig. 12. Cooling load of air conditioner with time.

### 3.4. 에너지 절약방안

살펴본 바와 같이 대상건물의 에너지소비량 및 소비경향은 주로 재실자의 재실시간에 발생하는 부하량에 따라 결정됨을 알 수 있다. 하지만, 재실자의 수와 재실시간은 항상 일정하지 않으며 외기온도와 기타 주위여건에 의하여 요구되는 부하량은 크게 변할 수 있다. 따라서 이러한 부하변동에 따른 설비시스템의 운전조건을 변화시키는 것이 필요하다. 본 대상건물은 정풍량, 정유량방식의 설비시스템을 갖추고 있어서 이러한 부하변화에 민첩하게 적용하지 못할 뿐 아니라 설비시스템을 운전 및 관리하는 기사에 임의적인 판단에 따라서 설비시스템이 운전되고 있기 때문에 외기온도의 변화에 따른 부하량 변동에 설비시스템의 반응이 적절하지 못하다. 본 대상건물이 에너지를 효율적으로 사용하기 위해서는 가변풍량, 가변유량방식의 설비시스템의 도입이 필요할 것으로 고찰되었다. 특히, 외기온도 및 기타 주위여건의 변화에 따른 건물의 부하량변동에 대한 정밀한 측정 및 분석을 통하여 효과적인 운전스케줄을 작성하는 것이 중요하다.

대상건물의 각 공조기의 제원을 살펴보면 실제로 가동할 때의 용량과 큰 차이를 나타내고 있는데, 제 1공조기의 경우 최대유량이 750LPM인데 실제 가동시 유량은 약 200LPM정도이다. 최대냉방부하량이 발생할 때와 비교해도 지나치게 큰 용량의 공조기가 설치되어 있음을 알 수 있다. 공조기의 부분부하운전은 효율의 저하를 초래하여 에너지소비의 증가시키는 요

인이다. 따라서 장기적으로 볼 때 적절한 용량의 공조기로 교체하여 운전하는 것이 바람직하다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 일반사무용 건물의 에너지 소비형태에 대하여 에너지 소비량에 대한 측정 및 모니터링을 통하여 에너지 절약방안에 대한 연구를 수행하였다.

일반사무용 건물의 대부분의 에너지 소비는 냉방부하에 대응하기 위한 냉동기 장치의 소비전력보다 AHU 혹은 FCU 등의 열매체를 수송하기 위한 반송펌프의 소비전력이 막대함을 알 수 있으며, 공조장치의 성능향상 혹은 개·보수보다는 반송펌프의 에너지 효율을 강화시키는 것이 합리적임을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서 고찰한 건물의 경우에는 AHU의 송풍방식을 가변풍량방식으로 FCU의 반송펌프를 가변유량방식으로 교체하는 것이 건물의 에너지 소비를 절감할 수 있는 방안으로 제안되었다.

#### 참고문헌

- 1) Komor, P., Kempton, W., and Haberl, J., 1989, "Energy Use, Information, and Behavior in Small Commercial Buildings", Center for Energy and Environmental Analysis-Report No. 240, Princeton University.
- 2) Haberl, J., Norford, L., Spadaro, J., 1989, "Diagnosing Building Operational Problems: Intelligent Systems for Diagnosing Operational Problems in HVAC Systems", ASHRAE Journal, June.
- 3) Harrje, D.T., 1982, "Monitoring Energy Use-What is Needed?", Proceedings of the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, August.
- 4) Fracastoro, G.V., and Lyberg, M.D., 1983, Guiding Principles Concerning Design of Experiments, Instrumentation and Measuring Tech-

- niques, International Energy Agency and the Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden.
- 5) Lyberg, M.D. (ed.), 1987, Source Book For Energy Auditors, Volume 1 and 2, International Energy Agency and the Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden.
- 6) MacDonald, J.M., and Wasserman, D.M., 1989, "Investigation of Metered Data Analysis Methods for Commercial and Related Buildings", Oak Ridge National Laboratory Report No. ORNL/CON-279.
- 7) ASHRAE, 1990, Handbook: HVAC Applications, Chapter 37-Building Energy Monitoring, Atlanta, GA.
- 8) Jilar, T., 1990, Proceedings of the Field Monitoring for a Purpose Workshop, Gothenburg, Sweden, Sponsored by the Swedish Council for Building Research, Stockholm Sweden, and prepared by the Building Services Engineering Department, Chalmers University of Technology.