

積極的인 建物 에너지 節約技法



宋彦彬

韓國建設技術研究院 前任研究員

1. 머리말

우리나라 총 에너지 소비의 약 20~30%가 건물부문에서 소비되고 있다. 중앙 냉난방을 실시하는 사무소 건물의 에너지 소비비율은 난방 및 급탕 30%, 공기조화 30%, 조명 20%, 동력 및 기타 20%로 연간 에너지 소비율을 분석하면 전기 에너지가 약 70%를 차지하고 있다.

건물의 에너지 절약을 위한 적극적인 방법 중의 하나는 기계설비나 전기설비를 자동관리할 수 있는 건물 자동화 시스템을 시설하는 것인데 이 시스템으로 기존 건물의 에너지 소비량을 약 30~50%까지 절약할 수 있다.

건물 자동화 시스템에서 에너지 절약을 위한 관리기법은 공조제어, 전력수요제어, 조명제어로 실현할 수 있다. 또 하나의 효과적인 에너지 절약 기술은 인버터를 이용하여 기존건물의 회전기계인 팬이나 펌프와 결합시켜 가변속 제어를 실시하는 것인데 건물의 공조환경 개선과 동시에 에너지 절약이 가능한 것으로 최근 관심이 높아지고 있다.

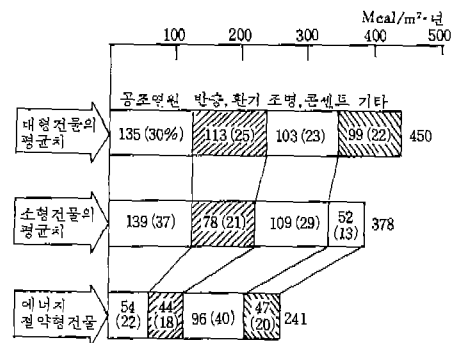
본고에서는 건물의 에너지 절약을 위한 건물 자동화 시스템의 에너지 관리기능인 공조제어, 전력수요제어, 조명제어 및 인버터를 이용한 공조용 팬의 가변속 제어 기능들을 검토하고 에

너지 절약효과에 대해서도 알아보려고 한다.

2. 건물 에너지 절약 기법

2.1 공조제어

건물의 냉난방 및 환기를 위한 설비들을 공조설비라 하며 이들을 적절히 자동제어하는 것을 공조제어라 한다. 사무소 건물의 공조설비의 에너지 소비량은 그림 1에서 보는 바와 같이 대략 50% 정도를 차지하게 된다. 이중 70%가 전기 에너지의 형태로 소비되게 된다.



〈그림 1〉 건물의 에너지 소비량 분포

건물 자동화 시스템에 의하여 공조제어를 실시할 경우 열원인 보일러나 냉동기는 운전상태 판리에 중점을 두며, 공조기들은 자동제어가 이루어지도록 구성되고 있다. 즉 실내의 공기환경 상태를 센서를 이용하여 자동적으로 체크하면서 각종 밸브나 댐퍼를 조절함으로써 쾌적한 건물 환경을 유지하면서 에너지 절약효과도 얻을 수 있도록 하고 있다.

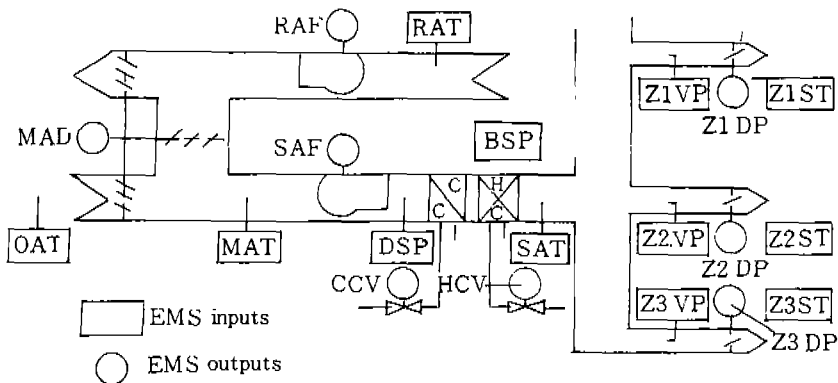
현대식 건물에서 환기와 냉난방은 기본적으로 중앙 공기 분배장치로부터 공급되고 각실의 온도는 각실에서 조절된다. 난방의 경우에는 외주부(Perimeter Zone)용 장치가 독립적으로 운영되기도 하고 중앙 공기 분배장치의 일부분으로서 연동되어 운영되기도 한다. 공조방식은 크게 정풍량방식과 변풍량방식이 있는데 변풍량방식은 공기 분배장치에서 풍량조절이 가능한 특징을 갖고 있어 특히 냉난방부하 변동이 심한 경우에 에너지 절약을 실현할 수 있는 시스템으로 평가되고 있다. 그림 2는 이 시스템의 공기 분배 계통도이다.

공조제어에는 팬의 최적기동을 위한 스케줄 제어, 팬의 기동정지, 급기온도 설정치 계산, 외기 혼합 댐퍼 제어, 냉각 및 가열 코일 제어, 야간 운전 제어 기능들이 포함되고 있다. 팬은 기본적으로 재실시간 동안만 작동하며 그 외에는 필요한 최소의 환기량을 유지시키는 조건하에 급기온도 설정치를 계산한 후 항상 그 온도를

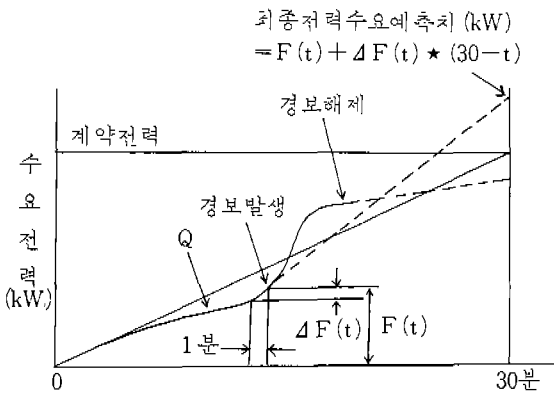
유지하도록 댐퍼를 제어하는 방식을 적용할 수 있다. 팬이 작동하지 않거나 겨울에 외기 혼합 공기의 온도가 너무 낮거나 또는 워밍업의 경우에는 댐퍼를 닫는다. 여름철에 외기온도가 배기 온도보다 높은 경우에는 댐퍼를 최소 외기 도입 위치로 조정하며 야간에 외기온도가 배기 온도보다 높은 경우에는 댐퍼를 최소 외기 도입 위치로 조정하며 야간에 외기온도가 실내온도보다 낮은 경우에는 댐퍼를 열어 외기냉방을 함으로써 다음날의 공조부하량을 경감시킬 수 있다.

냉각 코일은 팬이 정지해 있거나 난방운전 상태인 경우 또는 외기냉방을 하는 경우에는 작동이 중지되며 온도가 높은 실의 온도가 허용온도를 초과할 경우에 가동되도록 한다. 난방 코일은 팬이 정지시 작동 중지되며 각 실의 온도의 평균치와 최저온의 실온도가 허용치 이하로 내려갈 경우에 작동되도록 한다.

변풍량 공조방식에서 쾌적성 확보를 위하여 터미널 박스에 팬을 설치하여 높은 온도의 일정한 풍량을 공급할 수 있으나 이렇게 되면 냉방 시스템의 효율이 저하되는 문제점이 있다. 시스템 효율을 저하시키지 않고 쾌적성을 유지하기 위해서는 가능한 한 많은 풍량을 공급하여야 한다. 이러한 풍량확보를 위해서는 급기 팬은 터미널 박스에서 충분한 풍량이 확보될 수 있도록 운전되며 급기정압 센서에서는 상한선 판리용으로만 사용된다.



(그림 2) 공조 시스템의 공기분배계통



〈그림 3〉 전력수요제어 개념

2.2 전력수요 제어

전력수요 제어는 일정한 전력관리 한계선을 미리 설정하고 전력사용 상황을 연속적으로 모니터링하면서 현재의 전력수요가 관리한계선을 초과하면 즉각 부하의 조정, 경보신호 등을 발하여 전력수요를 관리하고 제어하는 것이다. 이때 제어할 대상 설비들을 중요도에 따라 구분하고 중요도가 낮은 순으로 제어하여 설정된 관리 범위에서 제어하도록 하는 것이다. 전력수요 제어를 위한 관리주기는 15분, 30분, 60분 등 3종류가 있는데 최근에는 30분으로 설정된 주기마다 전력사용량을 계측하고 이때의 전력수요를 예측 분석하여 전력수요가 목표치를 초과하지 않도록 하고 있다. 그림3은 전력 사용량에 따라 상한 및 하한 전력량 변화에 따른 최대 전력 수요 제어개념을 나타낸 것이다.

회로의 전력을 계기용 변압기나 변류기를 거쳐 검출하고 이 전력량에 대응하는 펄스를 발신시켜서 30분마다 세트하는 카운터와 1분마다 리세트하는 카운터로 계수한다. 30분마다 계수하는 값이 현재 전력량이 된다. 1분 카운터의 리세트 직전의 값 $\Delta F(t)$ 와 남은 시간 $30-t$ 를 곱하고 이 값에 30분 카운터의 계수치를 더하여 전력수요 시한 종료시에 최종 전력수요 예측치가 표시된다. 다시 이 예측치와 미리 설정한 관리값과 비교하여 예측전력이 허용값을 초과하거

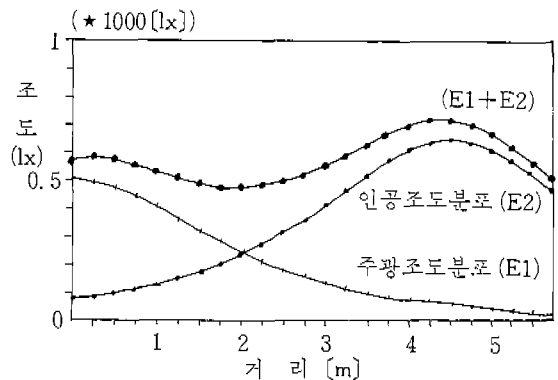
나 경보영역에 있을 경우에는 우선순위가 낮은 부하부터 차단되도록 하여 전력수요 관리기능이 이루어지게 된다.

2.3 조명제어

균일하고 안정한 빛환경을 제공하면서 에너지 절약이 가능한 조명제어의 필요성이 높아지고 있다. 사무소 건물은 주로 주간에 사용되므로 자연광을 효과적으로 이용하기 위한 방법이 바람직한 것으로 여겨진다. 자연광을 효과적인 조명으로 활용하기 위해서는 창으로부터 채광만으로 조명하는 방식과 보조적인 인공조명에 의하여 주광을 보완하는 방법이 이용된다. 낮동안 실내는 자연광의 입사로 조도가 실내 안쪽 부분에 비해 높기 때문에 쾌적한 조명환경을 만들기 위하여 창가의 인공조명을 줄이고 실내조도 분포를 균등하게 할 수 있다. 그림4는 사무소 건물의 창측에서 주광조도 분포와 제어한 인공조도 분포상태를 나타낸 것이다.

실내에 입사하는 자연광의 조도는 창으로부터 멀어질수록 주광조도가 완만하게 저하한다. 사무실의 최저 조도기준값인 300lx를 만족하는 범위는 기후, 건물의 방위, 시간대에 따라 다르지만 인공조명을 설계조도의 1/2 범위까지 소등하여도 필요한 조도를 확보할 수 있을 것으로 평가되고 있다.

시간적인 스케줄에 따라 사전 프로그램된 제



〈그림 4〉 창측 조명제어 개념

어형태로 자동적으로 조명기구를 제어하는 방식이 있다. 이 경우 사무실의 사용상태에 따라 전체 점등, 전체 소등, 부분 점등, 감광 등으로 구분하여 제어하게 되는데 하루나 주간별로 시간대를 설정하여 제어하게 되면 불필요한 조명에 에너지를 절약할 수 있다. 가령 하루 중에도 근무시간 전후, 중식시간, 근무시간 등에 따라 제어하고 주간에도 평일이나 주말의 근무조건에 따라 각기 다른 제어 프로그램으로 조명제어를 실시한다.

조광제어는 전자 점등방식이나 인버터를 부가시켜 전력위상제어를 실시하여 필요한 조도를 확보하면서 전기 에너지 절약도 가능하게 한다. 조작자에 의하여 수동으로 제어할 수 있는 것도 있고, 출입자의 유무를 감지하여 자동적으로 제어할 수 있는 것도 있다.

2·4 팬의 가변속 제어

팬 및 펌프가 설치된 회전기계에서는 댐퍼나 밸브에 의하여 공기량이나 유량 등을 제어한다. 이와 같은 계통에 인버터를 도입하면 팬이나 펌프의 회전수를 전자적인 방법으로 가변속 제어할 수 있다. 가변속 운전을 할 경우 소요 에너지인 동력량은 회전수의 3승에 비례하므로 회전수를 줄이는 것이 에너지를 줄이는데 직접 영향을 주게 된다. 이때 회전수를 변화시키면서도 회전력은 일정하게 유지하여야만 한다. 팬이나 펌프에 결합된 전동기의 극수를 P , 상수를 m , 전동기의 2차 리액턴스를 L_2 , 전원전압을 V , 전원주파수를 F 라 하면

$$\text{토크 } T = \frac{P \cdot m}{8 \times 9.8 \pi (2\pi L_2)^2} (V/F)^2$$

인 관계가 있으므로 V/F 를 일정하게 제어하여야 한다.

이러한 V/F 를 일정하게 제어하는 것은 인버터로 전원전압과 전원주파수를 일정하도록 전자적인 방법으로 제어할 수 있다. 따라서 인버터를 설치하게 되면 팬이나 펌프의 회전력에 영향을 주지 않으면서 소요 에너지인 전기 에너지를 절

약할 수 있다.

팬이나 펌프의 경우 풍량 또는 유량을 Q , 압력을 H , 회전수를 N , 축동력을 P 라 할 때 $Q \propto N$, $H \propto N^2$, $P \propto N^3$, $P \propto Q^3$ 의 관계에 있게 된다. 따라서 이 계통에 인버터를 채용하여 가변속 운전을 할 경우에 회전수가 1/2로 되었을 경우에 축동력은 $P = (1/2)^3 = 1/8$ 로 되므로 소요 에너지의 12.5%밖에 소요되지 않는다.

3. 에너지 절약효과 분석

3·1 건물 자동관리 기법에 의한 효과

건물 자동관리 기법을 도입하면 직접적으로 에너지 절약효과와 부수적인 인력절감 효과 및 간접적인 효과가 있다. 간접적인 효과는 건물의 쾌적화와 부수적인 사무능률 향상효과 등을 들 수 있다. 절약금액은 크게 관리인력 절감, 일반동력 절감, 냉방동력 절감, 조명 에너지 절감, 연료비 절감 등으로 생각할 수 있다. 절약금액을 산출하기 위하여 건물 단위 연면적 (m^2)당 전력 원단위 ($kWh/m^2 \cdot \text{년}$)는 사무소 건물의 실측값을 참고로 냉동기 10.84, 엘리베이터 8.77, 전산용 8.19, 일반동력 및 기타동력 32.44, 조명 27.8을 적용하면 건물 자동화 시스템 도입에 따른 절감효과는 다음과 같이 분석된다.

○관리인력 절감 : 관리면적 (m^2) × 관리점수 / m^2 × 절감시간/점·일 × 관리일수/년 × 인건비 (원)/시간

○일반동력 절감 : 연면적 (m^2) × 일반동력원단위 ($kWh/m^2 \cdot \text{년}$) × 절감시간율 × 전력요금 (원/kWh)

○냉방동력 절감 : 연면적 (m^2) × 냉동기전력원단위 ($kWh/m^2 \cdot \text{년}$) × 절감시간율 × 전력요금 (원/kWh)

○조명 에너지 절감 : 연면적 (m^2) × 조명전력원단위 ($kWh/m^2 \cdot \text{년}$) × 절감시간율 × 전력요금 (원/kWh)

이와 같은 계산방식으로 연면적 17,272 m^2 , 72,727 m^2 , 97,145 m^2 의 사무소 건물에 자동관리

〈표 1〉 건물 자동관리기법에 의한 에너지 절약효과

건물규모 (m ²)	에너지절약항목	절약금액(천원/년)
17,272	관리인건비	3,454
	일반동력	11,671
	냉방동력	3,900
	조 명	10,030
	기 타	2,006
	계	31,061
72,727	관리인건비	14,545
	일반동력	49,142
	냉방동력	16,422
	조 명	42,233
	기 타	8,448
	계	130,790
97,145	관리인건비	19,429
	일반동력	65,641
	냉방동력	21,935
	조 명	56,412
	기 타	11,284
	계	174,701

기법을 적용하였을 경우의 에너지 절약효과 분석결과는 표 1 과 같다.

3.2 팬의 가변속 운전효과

연면적 약 100,000m²인 사무소 건물의 공기 조화용 팬 계통에 59대의 인버터를 설치한 경우 (총 시설용량 : 1,084kW) 소요 에너지 절약효과를 검토하여 본다. 인버터 신설에 따른 초기 투자비는 총 시설 투자비가 272,871,000원이었는데 인버터 설치 후 약 8개월 동안의 에너지 절약은 전력량으로 약 1,098,671kWh로 분석되었다.

펌프에 인버터를 설치한 경우 1대의 펌프가 소비하는 전력량은 전동기 정격출력 × 운전시간 × (유량제어율)³ ÷ 전동기 효율로 계산된다. 전동기 효율 0.86, 인버터 효율 0.95, 전동기 정격출력 15 (kW) 하루 20시간 운전으로 연간 75

% 유량으로 153일, 80% 유량으로 58일, 85% 유량으로 61일, 90% 유량으로 93일 운전되는 경우 펌프 한 대의 소비전력량은 15(kW) × 20 (H) × { 153(일) × (0.75)³ + 58(일) × (0.8)³ + 61(일) × 10.85³ + 93(일) × (0.9)³ } ÷ 0.86 ÷ 0.95 ≃ 73,256 (kWh)가 된다.

샘플빌딩에는 11대의 인버터가 시설되도록 하였는데 11개월동안 절약 전력량이 530,836 (kWh)로 분석되었다. 팬 및 펌프 계통의 에너지 절약효과를 분석한 결과 시설투자비는 2년 이내로 회수할 수 있는 것으로 분석되어 에너지 절약효과가 높은 것으로 평가되었다.

4. 맺음말

이제 건물부문에서도 적극적인 에너지 절약기법을 적용하여야 할 때가 되었다. 건물 자동 관리 시스템을 채용하여 공조제어, 전력수요 제어, 조명제어 등을 철저히 실시할 경우 기존건물의 에너지 소비량을 약 30~50%까지 절약할 수 있을 것으로 평가되고 있다. 또한 인버터를 건물의 회전기계에 적용할 경우 쾌적한 건물의 공기환경을 조성하면서 막대한 에너지 절약도 가능하게 된다.

최근 페르시아만 사태로 원유가격이 급등함에 따라 그동안 다소 방만하였던 에너지 절약 문제가 점차 모두의 관심사로 대두되고 있다. 우리나라는 에너지 원을 100% 해외에 의존하고 있음을 명심하고 항상 에너지 절약을 습관화하여야 한다.

이제 그동안 소홀하였던 에너지 절약 기술개발과 에너지 절약기법 적용을 더욱 더 활성화하고 나아가 생활화하여야 한다. 따라서 건물부문에서도 이제 좀 더 적극적인 에너지 절약기법을 적용할 시기가 되었다. 건물 자동관리 시스템과 인버터 시스템을 이용한 건물 에너지 관리기법을 기존건물에 확대 적용하게 되면 쾌적한 건물환경을 창출하면서 에너지 절약효과도 동시에 거둘 수 있는 큰 장점을 기대할 수 있다.