

# 건물자동화시스템에서 냉난방설비의 최적제어기술

## Optimization Control Technology of HVAC on Building Automation System

조 성 환  
S. H. Cho  
한국에너지기술연구소



- 1958년생
- 건물의 에너지절약과 관련 건축설비 및 에너지해석기술에 관심을 가지고 있다.

신 기 식  
K. S. Shin  
한국에너지기술연구소



- 1952년생
- 건물의 에너지절약과 관련 자동제어 및 건축설비시스템에 관심을 가지고 있다.

### 1. 서 론

도시의 빌딩들이 고층화, 대형화, 다기능화됨은 물론 현대 건축물의 다양화와 복잡화 및 거주자의 생활수준 향상으로 인하여 쾌적한 환경의 요구와 안정성 및 사무자동화(OA)를 포함한 편리성의 향상에 대한 요구는 더욱 높아지고 있다.

이에 대응하여 80년대에 들어서부터 대형 건물에는 컴퓨터를 중추로 한 건물자동시스템(Building Automation System : BAS)을 도입하고 있는데 이 시스템을 건물관리시스템(Building Management System) 또는 건물에너지 관리시스템(Energy Management System in Building : EMS)이라고도 말하고 있다.

건물자동화 시스템은 건물에서 근무하는

사람이 쾌적한 환경에서 보다 효율적으로 안심하고 근무할 수 있도록 빌딩에 설치되는 공조위생설비, 전력조명설비, 방범 및 방재설비, 반송설비, 주차관제시스템 등 빌딩의 운영에 필요한 각종설비를 집중 관리하며, 또한 자동적으로 제어함으로써 건물의 운용효율과 관리방법을 향상시키는 시스템이다.

일반적으로 건물자동화시스템을 도입함으로써 얻을 수 있는 효과는 초기의 단순한 중앙감시효과에서 현재 빌딩의 운용 관리상의 두뇌 또는 신경계시스템으로 자리잡음으로써 에너지절약, 환경유지를 위한 최적화, 방재등의 다양한 효과를 기대할 수 있게 된다.

건물자동화시스템의 궁극적인 목적은 건물내에서 보다 쾌적하게, 보다 효율적으로, 보다 안전하게 사람들이 업무를 수행하고,

거주할 수 있는 환경을 제공하는데 있다. 이 목적에 따라 건물자동화시스템의 기능은 일반적으로 건물관리 시스템, 시큐리티 시스템 및 에너지절약 시스템으로 구분할 수 있다.

이들 세가지 시스템은 각각의 기능들이 특성에 따라서 분류될 수 있지만 이들도 종합적인 시스템으로서 하드웨어를 공유하기도 하고 서로가 밀접한 관계를 가질 수도 있다.

최근 미국을 비롯한 선진국에서는 건물의 에너지절약과 실내의 환경개선에 건물자동화 시스템을 적극적으로 활용코자, 건물자동화시스템의 운용을 위하여 측정된 데이터를 이용하여 에너지 절약시스템의 여러 분야 즉, 예냉열 운전제어, 외기취입제어, 펌프 대수제어, 외기예측제어 등을 하나로 통합한 후 24시간 전에 미리 예측된 외기온과 건물의 부하를 고려하여 냉난방설비 전체에 대한 최적제어 방법을 시도하고 있다.

따라서 본 고에서는 국내의 건물 자동화 시스템의 현황을 살펴보고 현재 선진국에서 수행하고 있는 최적제어방법의 이론적배경과 이러한 제어방법의 실제 운용시 에너지 절감효과를 검토하여 보기로 한다.

## 2. 건물자동화 시스템 현황

1983년 미국에서 인텔리전트 빌딩(IB : Intelligent Building)이 출현된 후 미국, 일본, 유럽 등에서 새로운 성장산업으로 부상하고 있는 건물자동화시스템의 도입이 급속하게 신장되고 있어서 새로운 독립된 산업으로 발전될 가능성이 큰 것으로 전망되고 있다. 최근 에너지 사용합리화와 대체에너지 사용이 활발해짐에 따라 종전의 전기, 기계적 에너지 관리시스템이 컴퓨터 소프트웨어, 통신망을 이용하는 새로운 시스템으로 발전되는 추세이고, 그 시장규모도 크게 늘어나고 있다. 건물자동화시스템의 세계 시장규모는 지난 5년간 유럽시장을 중심으로

배로 성장하였다.

건물자동화시스템을 주로 주도하고 있는 미국, 일본과 우리나라의 현황을 살펴보면 아래와 같다.(미국, 일본의 현황은 TC, OA를 포함한 IB에 대한 데이터임)

### 2.1 미국의 현황

미국에서는 빌딩 건설붐과 입주자 확보경쟁의 강화, 기술정보, 노동임금의 상승, 1976년부터 통신회선의 재판매제도의 확립에 따른 통신의 자유화가 인텔리전트 빌딩을 출현하게 한 사회적 배경이 있다. 미국에서는 Shared tenant service(STS)라고 하는 전화교환을 제공하는 임대빌딩을 인텔리전트 빌딩 또는 스마트 빌딩이라고 부르며 현재 약 150~200 동이 존재하는 것으로 알려지고 있다.

미국에서는 인텔리전트 빌딩 관련 시장규모는 표 1과 같다.

표 1 미국의 건물자동화시스템 시장현황

단위 : billion dollars(U.S)

	1985	1990	1995	비 고
Products & Services	5.18	13.51	45.96	1994년 15,000동
Building Automation System	1.8	5.1	12.7	1987년 2.5
Tenant Service Equipment	1.15	1.48	1.76	PBXS포함 OA장비 제외
Shard Tenant Service	1.58	5.18	26.7	1986 가입율 18%

### 2.2 일본의 현황

일본의 인텔리전트 빌딩은 빌딩자동화(BA)와 사무자동화(OA) 및 전기통신(TC) 기능의 세가지를 통합하여 관리 운용하는 개념이므로 미국의 STS와 차이가 있다.

1984년부터 통신이용의 자유화가 이루어져 제1종 전기통신 사업자로부터 회선을 빌려 부가가치가 추가된 VAN(Value Added Network) 사업이나 회선의 재판매를 하는

제2종 전기통신 사업자의 수가 급격히 늘어나고 있다. 인텔리전트 빌딩 건설과 관련된 사업의 시장규모는 연간 3조엔 정도로 추정되고 있다.

현재 71개동의 인텔리전트 빌딩이 건축되었고, 1천개 이상의 빌딩을 신축중인 것으로 알려져 있다. 일본 건설성에서는 표 2와 같이 1986년부터 1995년까지 10년간 인텔리전트 빌딩 건설규모는 64조원~70조원이고,

표 2 일본의 건물자동화시스템 현황

구 분	시장규모(조원)	비 고
건 설 비	64~70	1986년부터
시스템장비	5~10	1995년까지
STS(통신)	75~85	10년간
합 계	144~164	

관련한 시스템 기기 및 STS를 합하여 145~165조원으로 추정하고 있다.

2.3 국내 건물자동화 시스템의 현황

우리나라는 1980년대에 들어와 고층 대형 건물 건설붐이 일기 시작하면서 본격적으로 건물자동화시스템의 보급이 이루어졌는데, 국내 건물자동화시스템의 현황을 살펴보면 아래와 같다.

먼저 국내 주요 건물자동화시스템 공급업체들의 역사, 종업원수, 매출액 등과 외국 기술제휴사와 설비공급 능력에 대해 간략하게 나타내면 표 3과 같다.

이때 국내 건물자동화 시스템 공급사들의 제품중 입출력점의 크기별로 500점 미만을 소형, 501~9,999점 사이를 중형, 10,000점 이상을 대형으로 나누었다. 이들에 대한 보

표 3 국내 건물자동화시스템 공급업체 현황

업 체				외국기술제휴	설비공급능력	소프트웨어 비 고	비 고
	역사	종업원수	매출액				
금성 하니셀	10년	700명	400	미국 HONEYWELL 일본 YAMATAKE	자체생산 (95% 국산화)	자체개발	BAS 분야에 한함
삼성 데이터 시스템	약8년	3500	250	미국 JHONSON CONTROL	자체시스템 및 S/W, H/W, 국산화, 자체 DDC 개발, METASY 시스템은 수입	자체개발 및 수입 품, 자체개발 (SMACS)	MS WINDOW, EXCEL LAN 통신
동양화학	약7년	114	150	미국 METRA 독일 SIEMENS 미국 BRISTOL BABCOCK	자체생산 및 수입 /수출	PLC S/W개발 그래픽 S/W수출, SOURCE P/G개발, DDC용 PLC개발/ 생산/수출	
토탈오트 메이선	14년	83	77	스위스 SAIA	자체개발	수입 및 자체개발	
나라계전	약9년	170	250	스위스 SAUTER	수입(스위스 SAUTER), 자체생산	자체개발	IB SYSTEM 100% 지원
정한상사	약9년	22	20	일본 TOSHIBA	수입 및 자체개발	수입 및 자체개발	조명제어 시스템

표 4 규모별 년도별 보급대수

( ) 내는 점유율

구분 / 년도	'89년 이전	'90년	'91년	'92년	'93년	비 고
소 형	274 (46)	349 (42)	541 (48)	601 (41)	713 (35)	
중 형	157 (27)	206 (25)	251 (23)	324 (22)	441 (22)	
대 형	159 (27)	281 (34)	325 (29)	552 (37)	861 (43)	
합 계	590(100)	836(100)	1117(100)	1477(100)	2015(100)	

급현황에 대해서는 표 4로 표시하였다.

이와같이 소형 기종은 89년 이전까지는 전체의 46%를 차지했었다. 그후에도 꾸준히 증가하고 있으나 '92년 이후부터 증가율은 점차 둔화되고 있음을 볼 수 있다. 중형의 경우는 89년 이전까지는 27%였고 지속적으로 보급이 유지되고 있다. 대형의 경우는 89년 이전까지는 27%였으나 92년 이후 상당히 증가하여 93년 말에는 43%를 차지하고 있다.

앞에서와 같이 건물자동화시스템의 보급은 근래에 매년 약 20% 정도씩의 급진적인 증가세를 나타내 보이고 있으나 국내 기술 기반이 상당히 취약하여 대부분의 기술을 기술도입이나 수입에 의존하고 있다.

이에 따라 단위기간의 부품 및 운전방법 등에서 호환성 확보가 어려우며 공급자와 수요자가 모두 과도한 부담을 안고 있다. 따라서 본격적인 건설시장의 개방을 앞두고 있는 현시점에서 볼때 국내 독자적인 건물자동화 시스템의 기술개발은 현상태에서 긴요하다 하겠다.

### 3. 최적제어(Optimization Control)기술

냉난방설비의 최적제어기술은 기존의 건물자동화 시스템에서 측정된 데이터를 냉난방설비의 제어에 이용하는 것이다. 본 기술은 미국의 Braun, Cumali 등이 실제건물의 공조시스템에 최적제어(Optimization Control)방법을 적용함으로써 실용화되기 시작

했는데 미국에서도 Dallas /Font worth 공항, San Francisco /retail complex 등 몇군데의 건물에서 실증실험을 실시한 정도이다. 이 방법은 24시간 후의 외기를 미리 예측한 후 건물에 소요되는 부하를 예측한다. 그리고 이에 대하여 건물에 소요되는 모든 요소를 냉동기, 펌프, 보일러, 팬 등과 축열조의 용량등을 고려하여 24시간 동안에 건물에 소요되는 에너지가 가장 최소가 될 수 있도록 열원기기 및 부속기기의 운전 스케줄을 미리 만들어서 운전을 함으로써 건물에서 소요되는 에너지를 제어하게 된다.

이와 같은 방법에 의하면 외기조건, 건물의 형상 및 규모 등에 따라서 차이가 있을 수 있지만 20% 정도의 연간 에너지 절약이 가능하다는 것이 일반적인 결과이다. 따라서 본 고에서는 최근 시도되고 있는 건물자동화시스템에 연계된 최적제어방식(Optimization Control)에 대한 이론적인 접근방법을 서술하고 이에 대한 시뮬레이션 결과와 실제 적용사례를 소개코자 한다.

#### 3.1 최적제어(Optimization Control) 알고리즘

건물자동화시스템에서의 최적제어 알고리즘을 간략하게 나타내기 위하여 일반적인 건물에서 채택하고 있는 공조설비시스템을 한개의 존에 대하여 개략도로 나타내면 그림 1과 같다. 그림에서 보면 한개의 존과 냉동기, 냉각코일, 팬 등이 존재하게 된다.

위와 같은 공조시스템하에서 주어진 시간

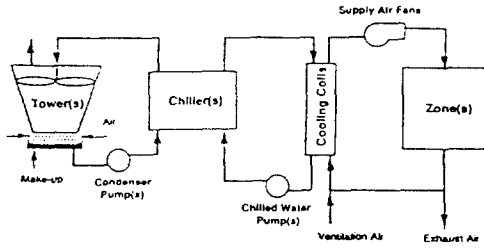


그림 1 이론해석을 위하여 단순화한 공조 시스템

대에 최적제어를 한다는 것은 외기의 기온, 건물의 축열용량 및 피크와 비피크에 대한 전력요급차를 최대한 이용할 수 있다는 것을 의미한다.

여기서 제어조건은 건물내에서의 쾌적범위(온도, 습도 등)와 공조장비의 작동범위를 포함하게 된다. 이때 각각의 기기들에 대하여 소요되는 에너지 소요량을 식으로 나타낸 후 이들을 통합하면 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$J = \sum_{k=1}^K R(k), P^*(T_z(k), f(k)) \quad (1)$$

여기서  $T_z(k)$ 에 대한 구속조건은 아래와 같다.

$$T_{z, \min}(k) \leq T_z(k) \leq T_{z, \max}(k)$$

이때  $K$  : 시간 간격(1~24시간)

$R(k)$  : 시간  $K$ 에서의 전력요금

$T_z(k)$  : 시간  $K$ 에서의 존의 설정온도

$T_{z, \min}(k)$  : 존의 최소온도

$T_{z, \max}(k)$  : 존의 최대온도

$f(k)$  : 시간  $K$ 에서 설비기기의 소요동력에 영향을 미치는 비제어 인자

여기서 동력비  $p^*(k)$ 를 각각의 기기에 대하여 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$P^*(k) = P_{ch} + P_{pump} + P_{fan} + P_{tower} \quad (2)$$

여기서  $P_{ch}$  : 냉동기의 소요동력

$P_{pump}$  : 펌프의 소요동력

$P_{fan}$  : 팬의 소요동력

$P_{tower}$  : 냉각탑에서의 소요동력을 나타낸다.

이때 냉동기에서 소요되는 동력  $P_{ch}$ 는 J. E. Braun이 제시한 방법에 의하여 응축기의 환수온도( $T_{cwr}$ ), 증발기의 출구온도( $T_{chws}$ ) 및 냉동기의 소요부하( $Q_{ch}$ )와의 2차원 상관관계로 나타내면 아래와 같다.

$$P_{ch} = C_0 + C_1 Q_{ch} + C_2 Q_{ch}^2 + C_3 (T_{cwr} - T_{chws}) + C_4 (T_{cwr} - T_{chws})^2 + C_5 Q_{ch} (T_{cwr} - T_{chws}) \quad (3)$$

여기서  $Q_{ch}$ 는 냉동기의 냉동부하

$C_1 - C_5$ 는 실험상수

$T_{cwr}$ 는 응축기의 환수온도

$T_{chws}$ 는 증발기의 출구온도를 나타낸다.

냉각탑에서 냉각팬과 AHU에서의 송풍팬의 소요동력을 최대 팬속도,  $P_{speed}$ 와 상대적인 팬속도와와의 상관관계를 나타내면 아래와 같다.

$$P_{tower, fan} = P_{tower, max} \cdot \gamma_{tower}^3 \quad (4)$$

$$P_{ahu, fan} = P_{ahu, max} \cdot \gamma_{fan}^3 \quad (5)$$

여기서  $\gamma$ 은 냉각탑 및 ahu에서의 최대 팬속도에 대한 상대적인 팬속도를 나타낸다.

또한 응축기의 펌프에 대한 소요동력을 응축기 및 증발기에서의 유량과의 상관관계로 나타내면 아래와 같다.

$$P_{pump} = \frac{m_{cw} g H_s}{\eta_p} \quad (6)$$

$$H_s = a + b m_{cw}^2 \quad (7)$$

여기서  $a, b$ 는 상수를 나타내며  $m_{cw}$ 는 유량,  $\eta_p$ 는 펌프와 모터의 전체효율,  $g$ 는 중력가속도를 나타낸다.

#### 4. 최적화 계산

공조시스템의 최적제어문제는 제어될 존에서의 실내환경이 제약조건을 만족하면서 에너지절약이 될 수 있게 목적함수  $J$ (식 1)를 최소화 할 수 있는 운전조건을 시간별로 찾는 것이다.

일반적으로 공조시스템의 최적인전중에서 생각하여야 할 제한조건은 주어진 존의 실내온도 및 습도를 들 수 있다. 이와같은 조건하에서 예측된 실외 기상조건에 의하여 실내 요구부하를 시간별로 계산하여, 이를 기초로 시간대별 전력요금을 고려한 후, 최적의 냉동기에서 공급하여야 할 냉각수 온도, 팬 및 펌프의 회전속도 및 가동대수를 결정하게 되는 것이다.

공조시스템의 최적화계산을 수행하는 방법에는 정상상태 직접법, 정상상태 간접법, 동적모델에 의한 세가지 방법이 있는데 이들중 정상상태 간접법 및 동적모델 방법은 최적화 변수가 적은 경우에 적합하다. 따라서 공조시스템에서의 최적제어와 같이 제어 변수가 많은 경우에는 정상상태 간접법을 주로 사용하는데, 최근에 공조시스템의 최적제어기술을 위하여 많이 사용하고 있는 최적화 방법은 Gradient Method, Direct Search Method, Reduced Gradient Method 등이 있다.

### 5. 최적제어의 결과

Braun 등은 그림 1과 같은 단순화된 공조 시스템하에서, 높이가 각각 3.3m이고 크기가 90×45m이며 창문의 면적이 남향면, 북향면 면적의 반을 차지하는 건물인 경우에 경량벽 구조 및 중량벽 구조를 가지는 두가지 건물에 관하여 최적화 이론에 의한 에너지 절약성을 미국의 Madison주의 기상조건에 대하여 시뮬레이션을 통하여 검토하였다.

그림 2는 외기의 평균기온이 65°F인 경우에 대하여 외기온의 변화와 재래적인 Night setback control과 최적제어를 한 경우에 대한 실내온도 변화를 나타낸다.

즉 그림에서 보면 최적제어를 할 경우에는 재래적인 제어방법을 채택할 때와는 다르게 건물내에 재실자가 없는 야간의 경우에도 Free cooling에 의하여 실내온도를 70

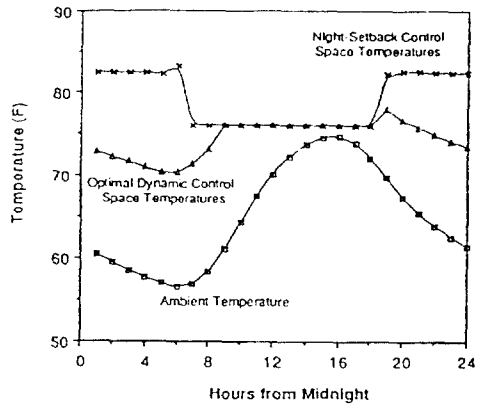


그림 2 최적제어와 Night Setback 제어에 의한 실내온도 변화

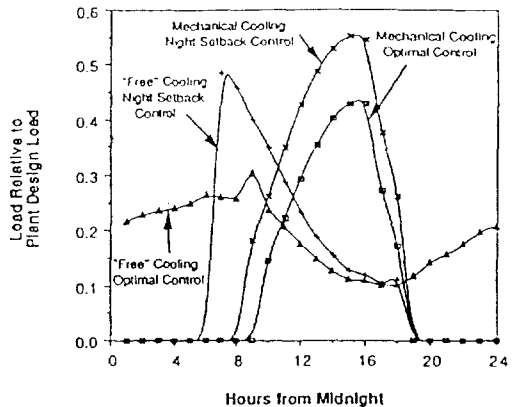


그림 3 최적제어와 Night Setback 제어에 의하여 소요된 냉방에너지

°F 정도로 낮게 유지되게 한다. 그리고 재실자가 있어서 실내부하가 존재하게 되면 실내온도를 76°F로 상승시키고 있다. 그러나 재래적인 제어방법에서는 재실자가 존재하지 않는 야간에는 냉방을 하지않고 재실자가 존재하는 주간에만 실내의 온도를 76°F로 유지하게 된다.

그림 3은 그림 2에서와 같은 최적제어 및 기존의 재래적인 제어방법에 의하여 자연냉방을 한 경우와 강제냉방을 한 경우에 대한 냉방에너지를 나타낸 것이다.

그림에서 보면 최적제어를 한 경우는 재실자가 있든 없든 24시간 계속 실내공간에 대하여 자연 및 강제냉방을 하게 되지만, 반대로 재래적인 Night setback 운전에서는 실내 재실자들이 들어오기 한시간 전부터 냉방을 시작하게 된다.

이렇게 함으로 해서 최적제어방법에 의한 공조방식을 채택할 경우 재래적인 방법에서 보다 Peak 부하 뿐아니라 강제냉방과 자연냉방에 의한 에너지 소모량을 합한 전체적인 냉방에너지는 감소되는 것을 알 수 있다.

이러한 감소는 주로 야간시간 동안 Free cooling의 영향으로 일어나게 되는데, 전체적으로 최적제어를 할 경우 35% 정도의 냉방에너지를 감소할 수 있게 나타났다.

그림 4는 외기온 변화에 대한 재래적인 방법에 의한 에너지 소모량과 최적제어에 대한 에너지 소모량의 상대적인 비교를 한 것이고, 그림 5는 외기온의 평균기온이 70°F 인 경우에 청명도(Clearness)의 변화에 대한 사용에너지의 상대적인 변화를 나타낸 것이다.

그림에서 보면 전체 외기온에 대하여 최적제어를 할 경우에 에너지 사용소모량의 감소는 외기온도가 높으면 높을 수록 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

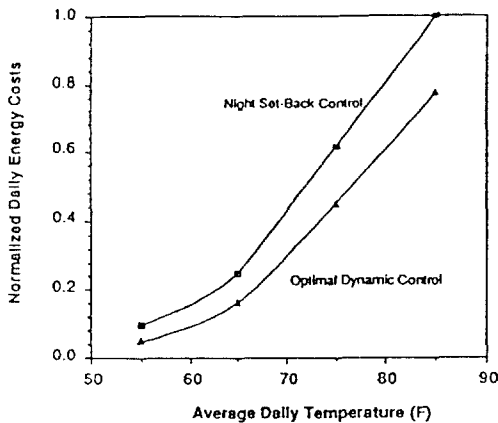


그림 4 외기온의 변화에 따른 에너지 사용량

또한 외기의 청명도(Clearness index)도 제어방법에 따라서 사용에너지의 30% 정도 까지 커다란 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

여기서 청명도(Clearness index)라는 것은 천공일사량에 대한 수평면 전체 일사량을 나타낸 것이다.

일반적으로 청명도는 외기온 및 습도율에 커다란 영향을 미치게 되는데 청명도가 0.5까지는 부하가 커지게 되지만 0.5보다 커지게 되면 부하가 작아지는 것을 볼 수 있는데, 이것은 외기온의 주야간 차가 커지게 되기 때문에 자연냉방에 많은 의지를 하기 때문이다.

그림 6은 외기온과 벽체재질에 따라서 변화되는 최적제어와 재래식 제어에 의한 상대적인 냉방에너지의 감소정도를 나타낸 것이다.

그림에서 보면 외기온이 낮을 수록 냉방에너지의 상대적인 감소는 크고, 벽체재질이 경구조에서보다 중구조에서 더 큰 감소를 나타내고 있다.

일반적으로 부하평준화의 일환으로서, 관련회사 및 기관은 최대전력수요가 나타나는 주간대와 야간대의 전력요금을 차등화시킴으로서 전력의 부하평준화를 시도하고 있다.

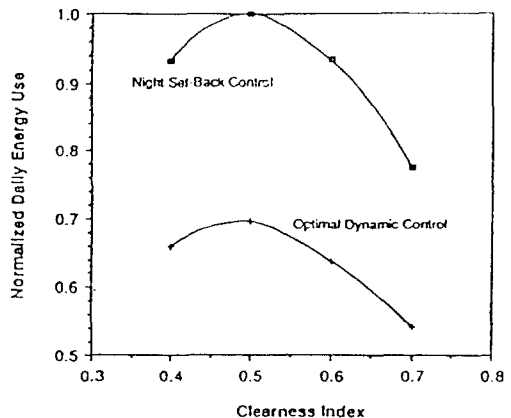


그림 5 청명도의 변화에 따른 에너지 사용량

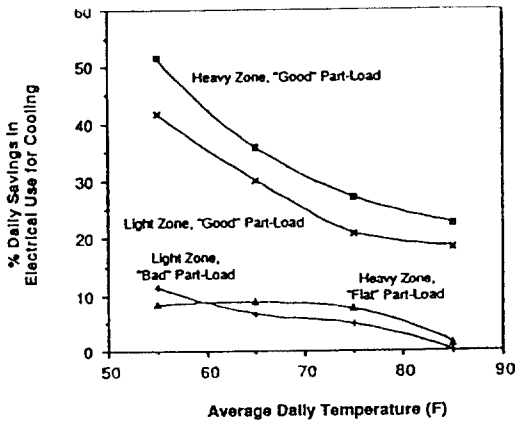


그림 6 벽체의 재질에 따른 에너지 사용량

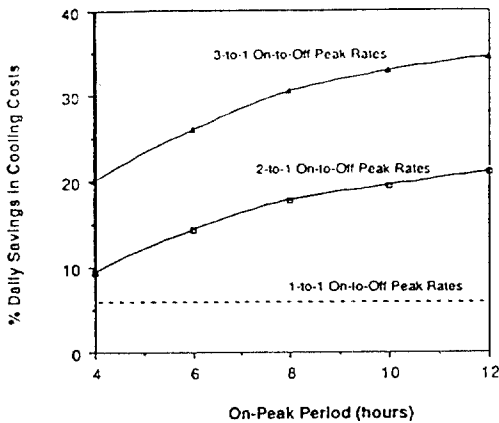


그림 7 전력요금차를 고려한 경우의 에너지 사용량

그림 7은 중구조벽체를 가지는 건물에 대하여 청명도가 0.6이고 평균외기온도가 80°F일 경우에 대하여 오전 8시부터 오후 8시 사이에 피크부하가 발생한다고 가정하였다. 따라서 오전 8시와 오후 8시 사이의 일정시간대에는 전력요금을 비싸게 하고 그외 시간에는 전력요금을 싸게 한 경우에 대하여, 최적제어기술을 적용한 경우와 재래적인 제어방법에 의한 경우에 대한 에너지소모량을 그림에서 보면 전력요금의 차이를 크게 함에 따라서 최적제어를 할 경우 에너지 절약량은 커지게 된다. 또한 피크부하가 발생하

는 시간이 길어지면 길어질 수록 에너지절약량은 커지게 되는데 이는 최적제어방법을 이용할 경우, 건물 벽체의 축열성을 최대한 이용할 수 있기 때문에 피크부하가 발생하는 시기의 부하를 비피크 부하시간대로 많이 이동시킬 수 있기 때문이다.

Mitchell 등은 앞에서와 같은 최적제어방법을 실제 건물에 적용후 에너지 절약성을 검토하고자, Dallas /Fort Wort 공항의 건물의 공조시스템에 위의 방법을 적용하였다.

이때 이 공항은 원래 정격으로 가동되는 3대의(8700tons 30.6MW) 원심 냉동기를 가지고 있었는데 냉동기의 모터를 변속방식으로 교체하고 냉동기의 냉동액도 R-22로부터 R-500으로 바꾸었으며 냉동기의 용량도 주 냉동기를 제외하고서 나머지 두대의 용량은 5500tons(19.3MW)로 가동되도록 함으로서 주냉동기를 주로 사용할 수 있게 하였으며 펌프 및 냉각탑의 팬도 정속방식에서 변속방식으로 교체하였다.

이와같이 교체된 공조시스템에서 앞에서 최적제어방법을 적용하여 냉동기를 제어하였다.

일반적으로 냉동기의 에너지 소요량은 냉각수온도 및 냉각탑의 공기유량 등에 의하여 크게 영향을 받는데, 이러한 온도나 유량을 필요이상으로 크게 하는 것은 냉동기, 팬 및 펌프에 소요되는 전력량을 크게하게 된다. 따라서 주어진 부하에서 냉동기 냉각수의 유량이나 온도의 최적점이 존재하게 된다. 그림 7은 전체 냉각부하는 같은 조건하에서 냉각탑의 팬들을 가동시키면서 소요되는 전력량을 검토한 것이다. 그림에서 보면 냉각탑의 성능은 공기의 유량에 의해서 주로 좌우되는데, 가능한 한 적은 유량으로 여러개의 팬을 가동하는 것이 전력소모량이 적은 결과를 나타내고 있다. 따라서 4개의 팬에서 최적의 공기유량을 선택하면 최대 40%까지 전력소모량이 적게 소모되는 것을 알 수 있다.



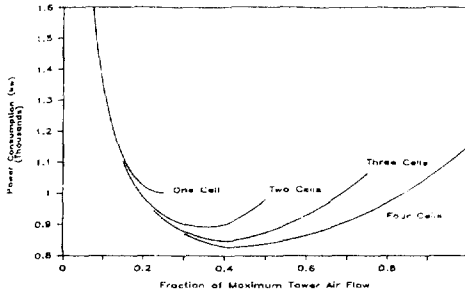


그림 8 냉각탑의 가동팬의 수에 따른 에너지 사용량

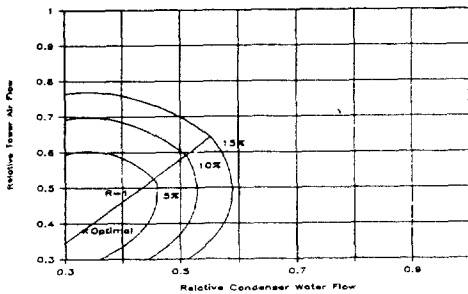


그림 9 부하가 작은 경우에 대한 에너지소요량

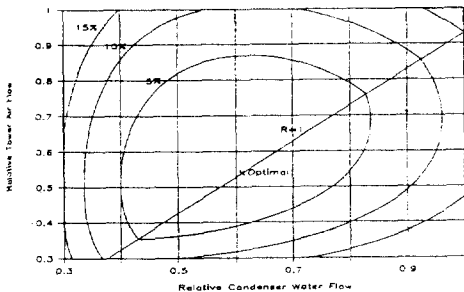


그림 10 부하가 중간인 경우에 대한 에너지소요량

그림 8~10은 냉동기에 요구되는 부하가 낮은 경우, 중간인 경우 및 높은 경우에 대하여 응축기의 전체용량에 대한 상대적인 냉각수량과 냉각탑에서의 상대적인 공기유량에 대하여 소모되는 에너지량을 나타낸 것이다.

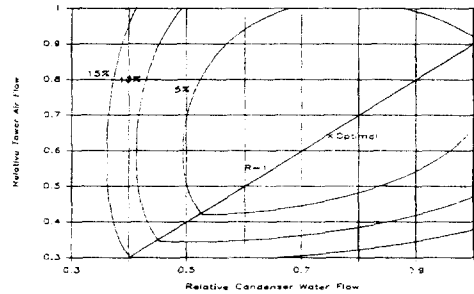


그림 11 부하가 큰 경우에 대한 에너지소요량

각각의 그림에서 보면 냉각수량과 공기유량의 최적점은 항상 존재하게 되는 것을 알 수 있다. 그리고 최소의 전력소모량으로부터 소요전력량이 5%, 10%, 15%로 증가됨에 따라서 냉각수 및 공기의 양이 상당히 증가함을 알 수 있다.

이때 표 7은 D/FW 공항에서 최적제어방법을 적용하여 공조시스템을 가동한 결과와 기존의 결과를 6월과 10월에 대하여 비교한 것이다. 표에서 보면 최적제어방법을 적용할 경우 각각 10% 및 5%씩의 에너지 절약 효과가 있음을 나타내고 있다.

표 7 에너지소요량의 비교

기간	기존의방법	최적제어
10월	132.2MWH	120.7MWH
6월	207.7MWH	198.8MWH

## 6. 결 론

국내의 건물자동화시스템의 보급은 고층 대형건물의 건설붐이 일면서 1980년대 이후 본격적으로 이루어져서, 1995년 이후에는 건설규모를 제외하더라도 1천억 이상의 규모로 확대될 전망이다.

국내에서도 최근 건물자동화시스템의 하드웨어 및 소프트웨어의 개발에 많은 노력을 기울이고 있으나 이들은 에너지절약 차

원보다는 통신자동화나 사무자동화 쪽에 주로 관심을 가지고 있는 실정이다.

최근 미국을 비롯한 선진국에서는 건물자동화시스템에서 에너지절약을 위한 최적제어방법에 많은 관심을 가지고 있는 바, 동 제어방법을 채택할 경우 에너지 절약이 상당하다는 결과를 나타내고 있다.

물론 기후, 건물의 조건 등 외적조건에 따라서 에너지절약성의 차이는 있을 수 있지만 국내에서도 위와같은 제어방법의 개발과 실증연구를 기대해본다.

### 참 고 문 헌

1. Building Technology Institute Co. "Planning and Design Guide Book for Intelligent Buildings", MTT, 1991.
2. 윤갑구 "인텔리전트 빌딩의 빌딩 오토메이션 현황", 1994.  
제9회 에너지절약워크샵 논문집, 1994.
3. J.W. Mitchell, J.E. Braun, S.A Klein, "Performance and Control Characteristics of a Large Cooling System", ASHRAE Transaction, Vol. 93.
4. J.E. Braun, S.A. Klein, "Methodologies for Optimal Control of Chilled Water System without Storage". ASHRAE Transaction, Vol. 95.
5. J.E. Braun "Reducing Energy Costs and Peak Electronic Demand through Optimal Control of Building Thermal Storage" ASHRAE Transaction, Vol. 96.