

# 시설관리동향-커미셔닝에서 설비개보수까지

## (5)시설관리의 현황과 장래(2편)

### 계속적인 실측데이터에 의한 시설관리 (성능관리, 에너지관리)

야마다 히로시 도요열공업(주) 도쿄본점설계부  
(空氣調和·衛生工學, Vol.76, No.4, 2002)

번역 : 이 상 렬 / 정회원 (주)리우스(srleecla@chol.com)

키워드: 유지관리(Maintenance), 성능평가(Performance Evaluation), 에너지절약(Energy Conservation), 커미셔닝(Commissioning), 群관리(Remote Control)

#### 머리말

계속적인 실측데이터에 의한 건물 시설관리의 실패로서 도요열공업 신카와빌딩(이하, 신카와빌딩)과 도쿄전력 히가시무라야마 종합사옥(이하, 히가시무라야마 종합사옥)을 중심으로 설명한다. 전자는 주로 8시간 운전계통의 빙축열 시스템을, 후자는 24시간 운전계통을 가진 수축열 시스템을 채용한 건물이다.

두 건물의 계획·설계·시공 당시(1986~1988년)에는 성능검증 도구로서의 시뮬레이션 기술이 아직 미숙한 시대였지만, 시범적으로 HASP에 의한 설계 성능 검증을 실시하였다. 그 후에 실측을 하여 실제와는 큰 차이가 있는 것을 확인하였다. 이는 입력조건을 포함한 시뮬레이션의 정확도에 기인한다고 생각할 수 있는데, 어디까지나 검증단계의 참고사항으로 생각하였다. 실제로 수행하는 검증은, 준공시에 최적으로 판단하고 조정된 상태가 현실적으로 어느 정도 최적인가를 비교하면서 공조운전의 현재상황을 인식해 가는 방법으로 실시하였다. 그 후는 장기간의 데이터를 기초로 더욱 정확하게 조정해가면서 준공 후 1년간의 최적조정의 결과를 초기 성능으로서 파악해 두는 것이 장래에 가장 유익할 것이라고 직감할 수 있었다. 나아가서는, 초기의 검증결과를 기초로 계측데이터를 계속적으로 분석하여 성능유지와 운전의 최적화를 도모하였다. 또, 건물의 수명주기 내에 일어날 수 있는 여러 가지 사정에 의한 변화(입주자의 입퇴거에 의한 변화, 입주율의 변화 등)에도 대응하여 최적 운전에 노력함과 동시에, 두 건물 모두에

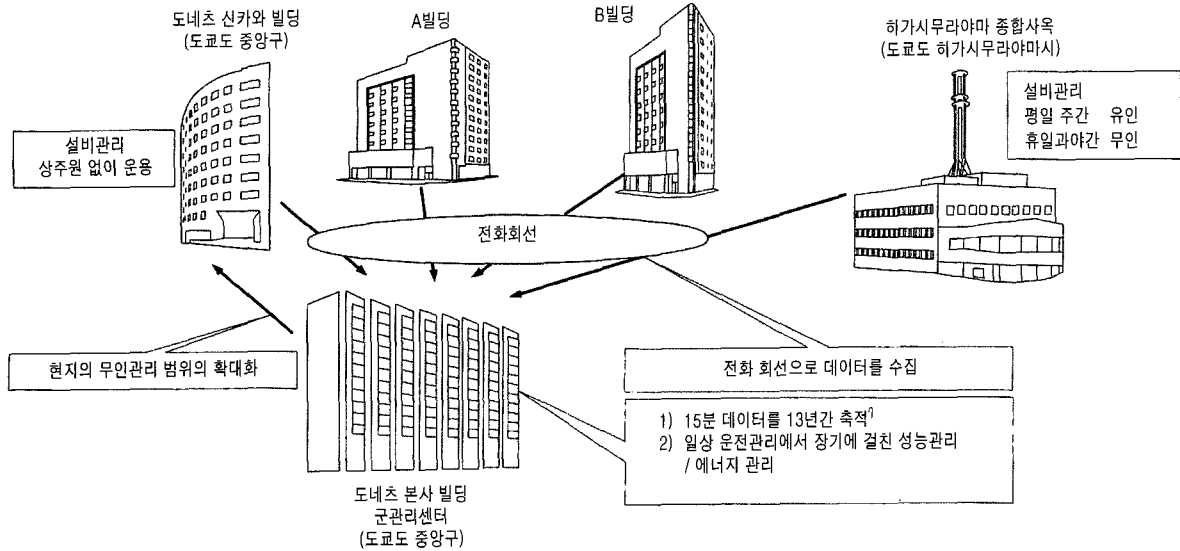
성능관리·에너지관리에 중점을 둔 계측과 데이터분석에 의거한 피드백을 활용하여 지속적인 운전관리를 실시하였다.

본보는, 준공 직후의 최초 커미셔닝에서 시작하여 지속적인 성능검증(Continuous Commissioning)을 선구적으로 실천해 온 실패를 소개한다.

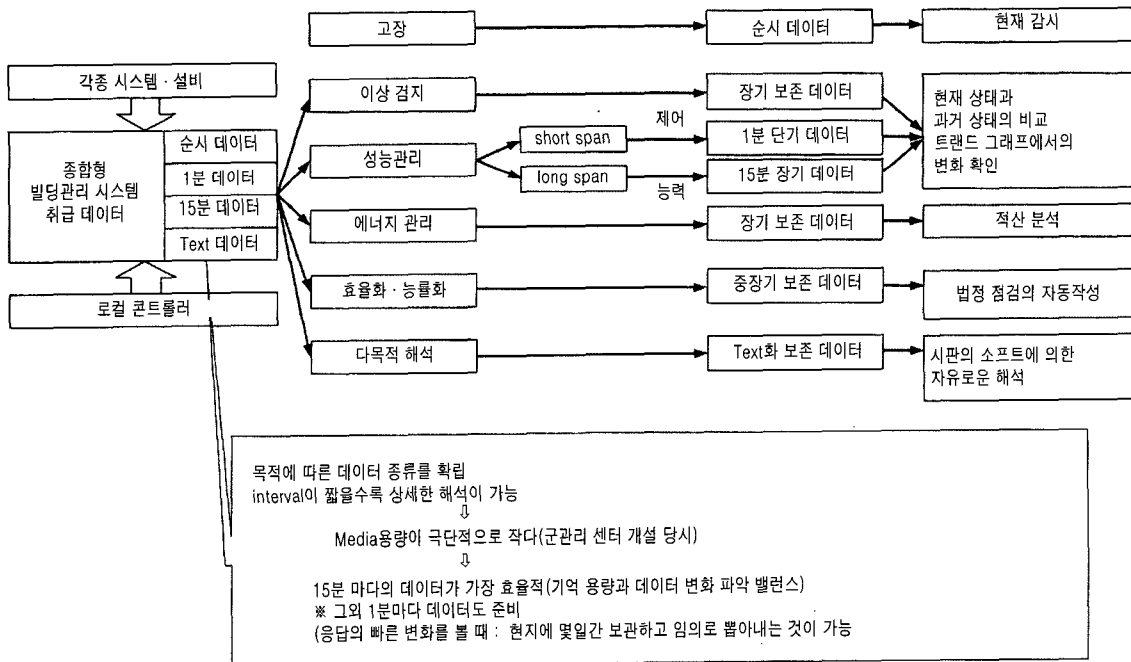
#### 1. 군관리 시스템의 확립과 원용에 의한 장기계측 데이터의 축적과 관리의 효율화

##### 1.1 중앙감시 시스템과 군관리 시스템

“실효성 있는 에너지절약을 위해서는 계측평가에 의한 운전관리가 불가결”하다는 관점에서, 필요 또한 충분한 계측 포인트의 확보와 수집방법을 계획하여 군관리 시스템을 구축하였다(그림 1). 데이터가 없으면 아무것도 할 수 없는 시대에 돌입하여 1점의 데이터가 부족하게 되는 것보다는, 장래에 대한 투자의 차원에서 수집 데이터의 수를 늘려서 신카와빌딩에서는 638점, 히가시무라야마 종합사옥에서는 1,313점의 데이터 수집하였다. 따라서, 군관리 시스템은 단지 경보를 위한 데이터 수집뿐만 아니라 대량의 계측·계량용의 아날로그 데이터를 효율적으로 수집할 수 있는 시스템으로서, 필요에 따라서 해석용 어플리케이션을 수시 개발·추가하여 기능을 확충해 왔다. 지속적인 데이터의 정기적인 해석은 성능 파악과 에너지절약에 유효하며, 이것들의 기능은 누구든지 언제라도 평가할 수 있도록 처음부터 표준화를 시도하고 시대적인 요구도 받아들이면서 소프트웨어의



[그림 1]



[그림 2] 데이터의 종류와 이용방법

침착을 지속하였다.

### 1.2 데이터의 종류와 활용방법

그림 2에 수집 데이터의 종류와 이용방법을 보여준

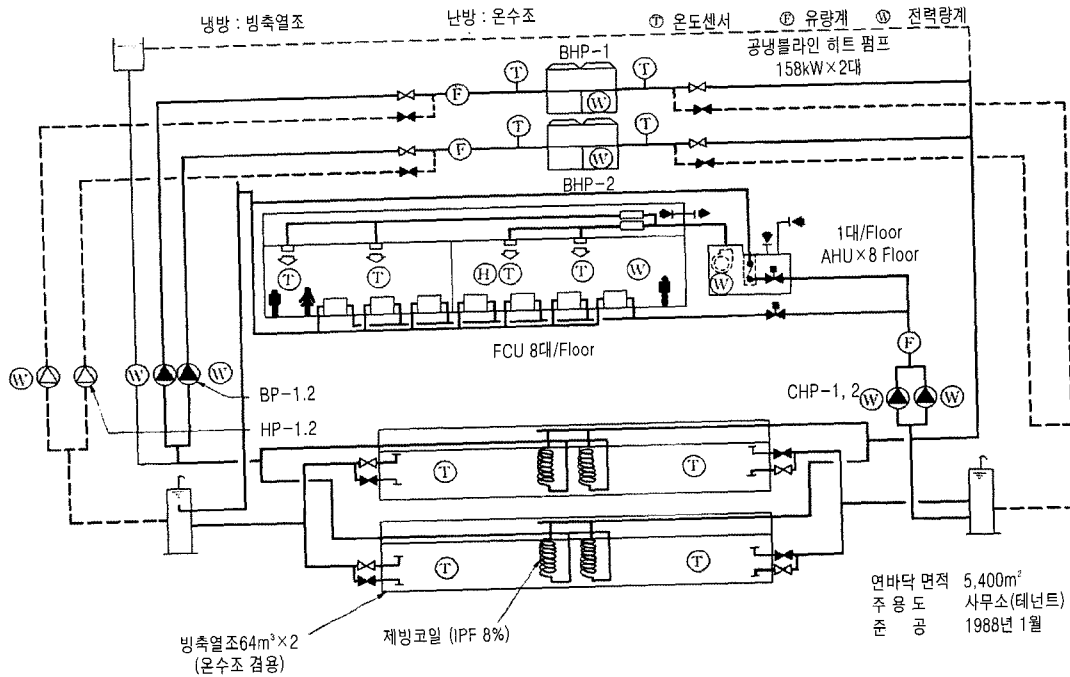
다. 이것은 데이터의 목적에 따른 종류를 정리한 것이며, 이 생각은 13년 이상 경과한 오늘에 있어서도 기준이 되고 있다. 근년에는 저장 미디어와 통신기술의 비약적인 발전에 따라 더욱 간격이 짧은 데이터를

효율적으로 수집할 수 있게 되었다.

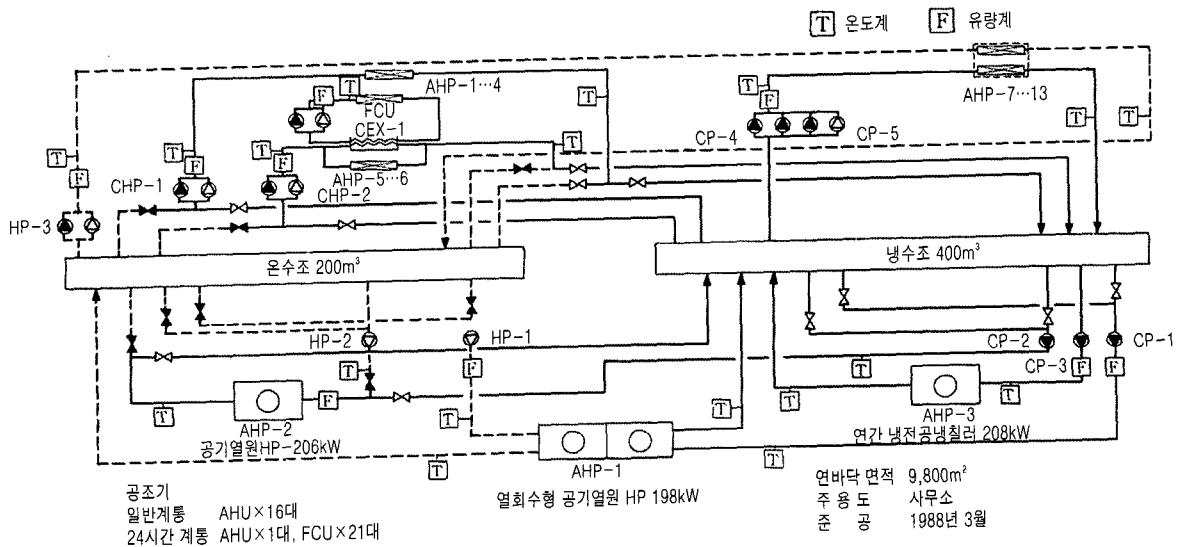
## 2. 지속적인 성능검증을 실현하는 장기계측 데이터의 분석

### 2.1 대상건물의 시스템 개요

신카와빌딩과 히가시무라야마 종합사옥의 시스템 개요를 그림 3, 4에 보여준다.



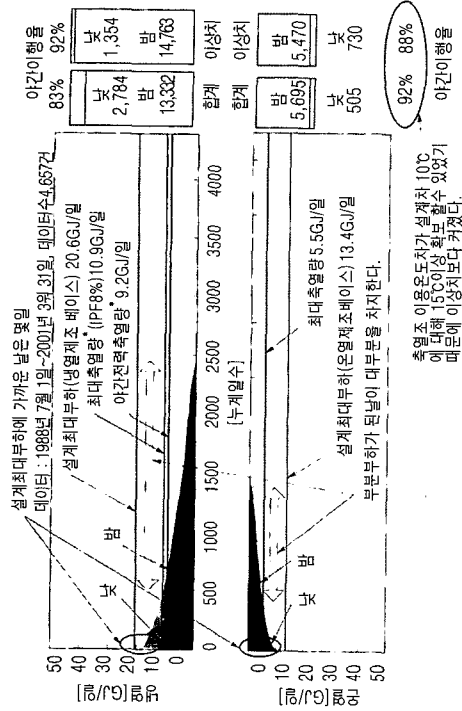
[그림 3] 신카와 빌딩의 시스템 개요도



[그림 4] 히가시무라야마 종합 사옥의 시스템 개요도

## 2.2 장기계측 분석에 의해 명확해 진 건물부하 실태

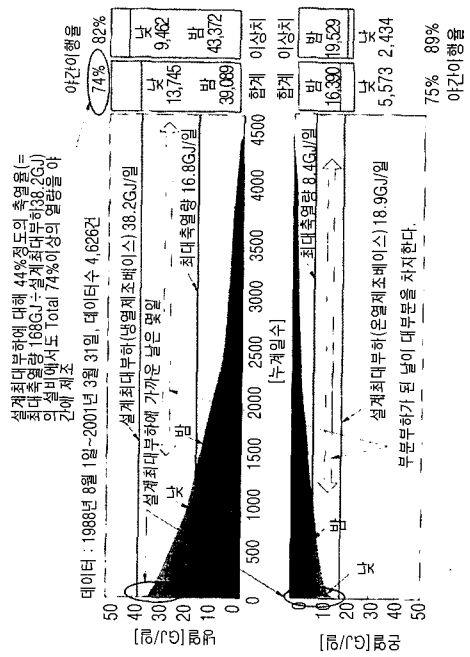
신카와빌딩과 히가시무라야마 종합사육에서의 생



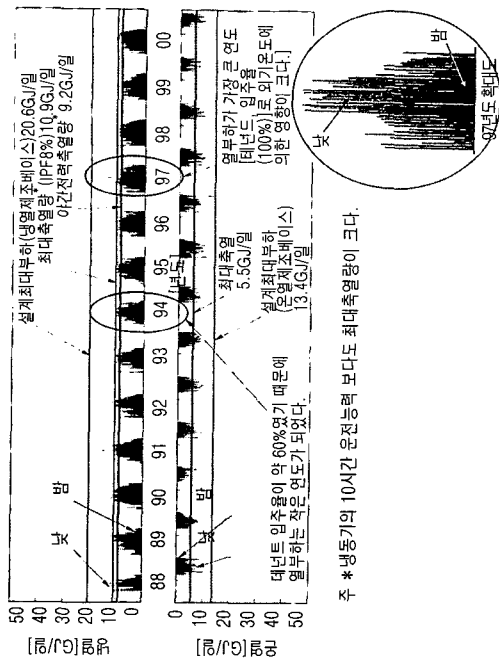
주 \* 냉동기의 10시간 운전능력 보다는 최대축열량이 크다.

[그림 6] 누계일수에 의한 신카와 빌딩의 열제조열량의 추이

산 열량의 추이를 그림 5~8에 나타내었다. 신카와빌딩에서 이차추 부하의 발생빈도 분포를 표 1에 나타내었다. 이로부터 장기간에 걸친 건물의 부하형태

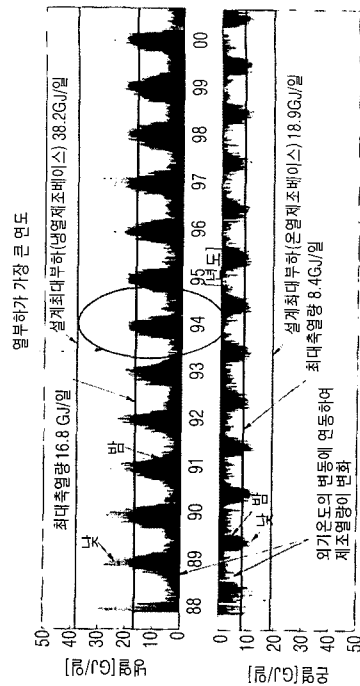


[그림 7] 연도별에 의한 히가시무라야마 종합사육의 열제조열량의 추이



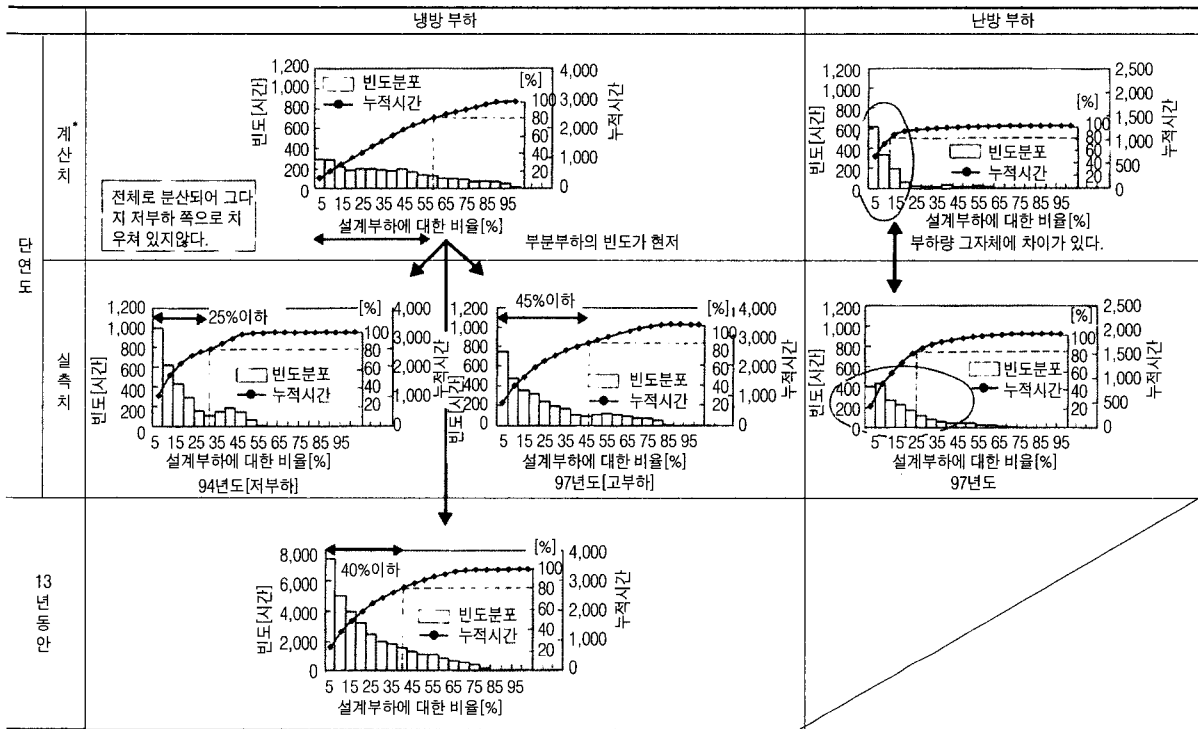
주 \* 냉동기의 10시간 운전능력 보다는 최대축열량이 크다.

[그림 5] 연도별에 의한 신카와 빌딩의 열제조 열량의 추이

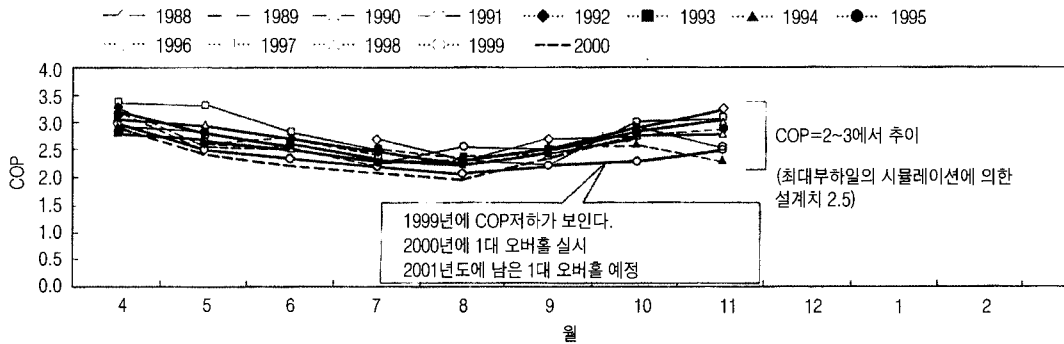


[그림 8] 연도별에 의한 히가시무라야마 종합사육의 열제조열량의 추이

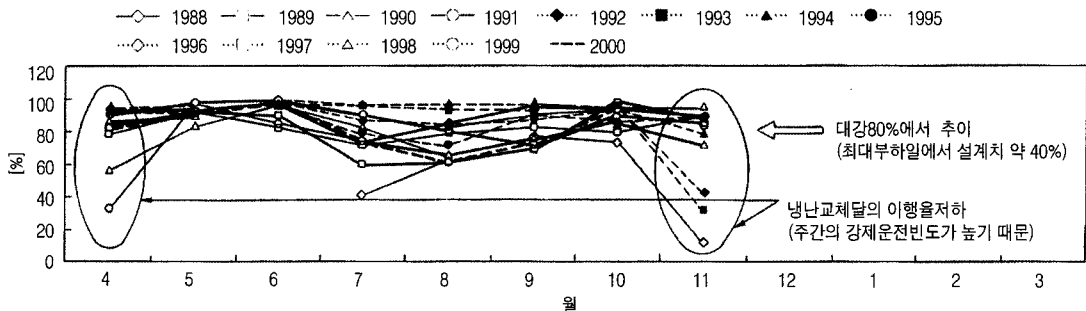
< 표 1 > 신카와 빌딩에 있어서의 이차측 부하의 발생 빈도분포



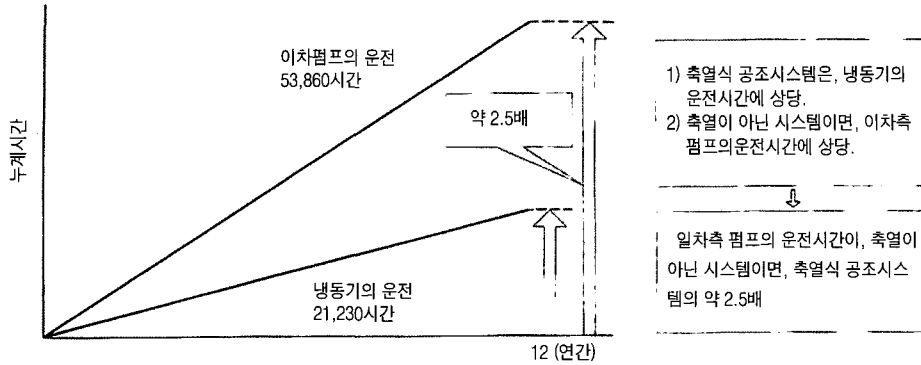
주) \*계산치는 Micro-HASP / ACLD / 8001에 의한.



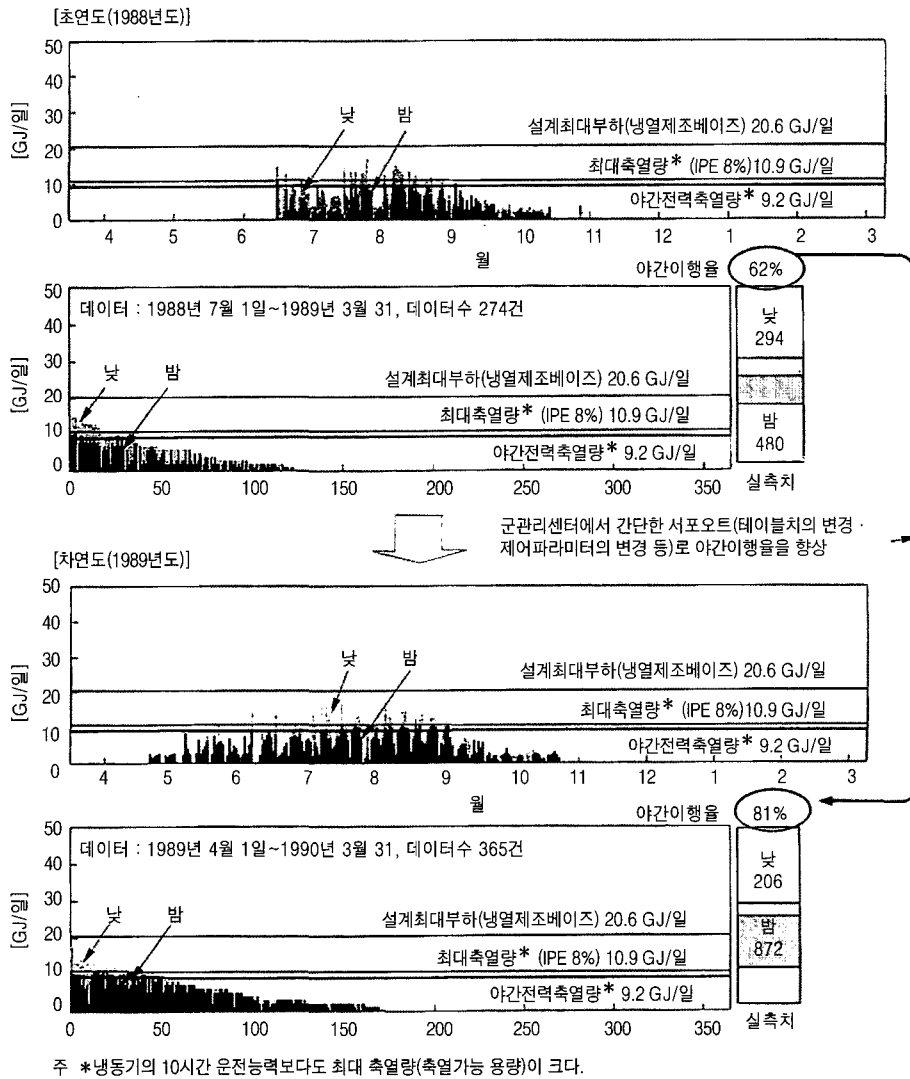
[그림 9] 신카와 빌딩에 있어서의 열원기(COP)



[그림 10] 신카와 빌딩에 있어서의 야간이행율(전력베이스)



[그림 11] 신카와 빌딩에 있어서의 기기운전시간의 분석결과



[그림 12]

의 실태에 대해 파악할 수 있었다. 특히, 빈도분포에 대해서는, 설계시에 Micro-HASP/ACLD/8001에 의한 부하계산 결과와 비교하여 부분부하의 빈도가 높은 것이 확인하다.

### 2.3 장기계측 데이터에 근거한 지속적인 기본 성능 관리

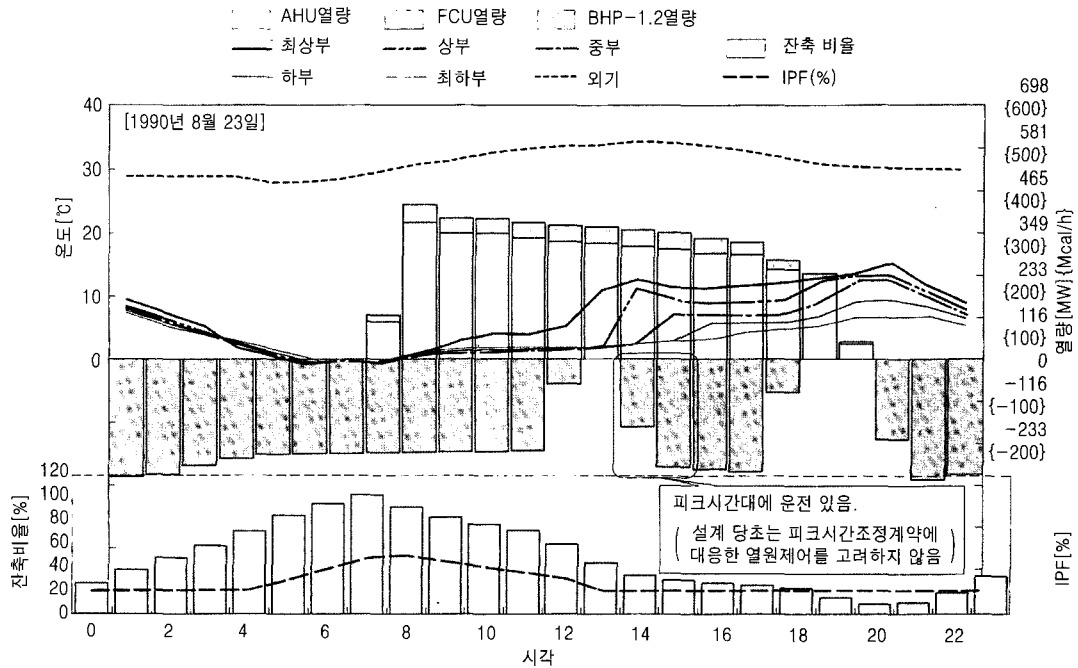
공조시스템의 운용개시 시점부터 오늘에 이르기까지의 각종 성능분석 결과에서, 신카와빌딩의 열원기기COP와 야간 이행률(전력기준)을 그림 9, 10에 보여준다. 그리고 그림 11의 기기운용 시간의 분석결과에서와 같이, 신카와빌딩은 축열식 공조시스템이기 때문에 축열식이 아닌 시스템에 비해 반 이하의 운전시간으로 오늘에까지 이르렀으며(축열식이 아닌 경우는 축열식의 약 2.5배), 아직도 냉동기의 대규모 수선을 필요로 하는 일은 없었다. 이로부터 유추할 수 있듯이, 운전시간의 차이가 하드웨어의 수명에 영향을 미치고 있다고 생각할 수 있다.

그 결과, 아직도 두드러지게 COP가 저하되지는 않았다. 운용 면에 있어서는, 연간 냉난방에 대응하기 위한 사관방식(四管方式), 해플 무렵의 난방운전, 주

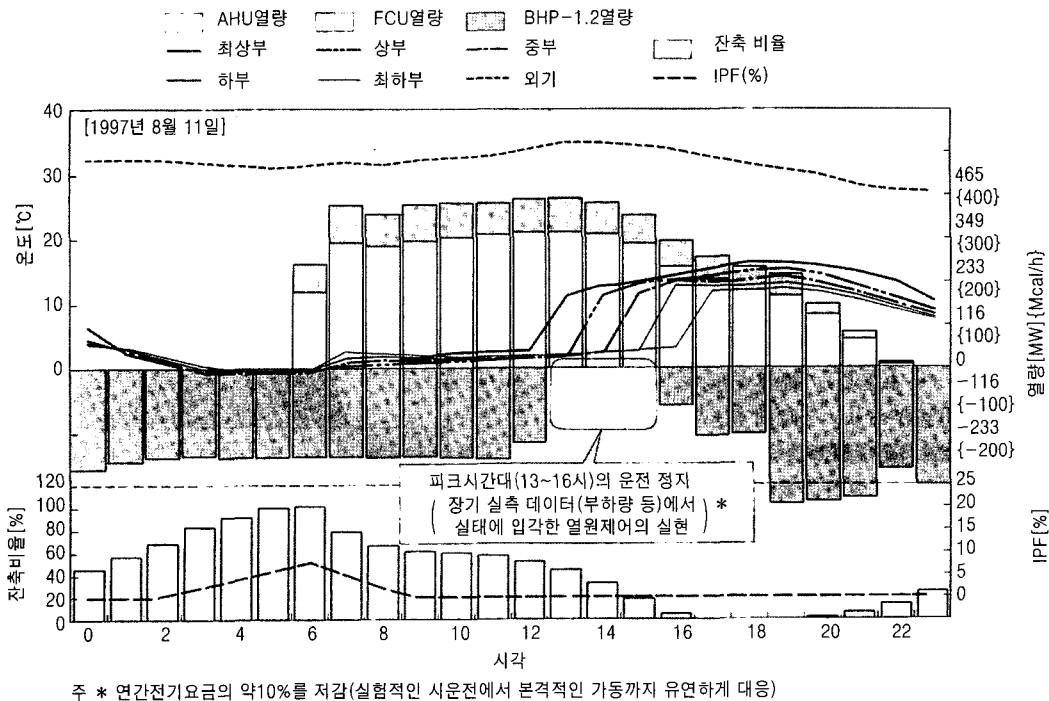
간의 냉방운전을 실현하는 사관방식 등의 필요성이 증가하고 있는 것을 인식하면서도, 하드웨어의 장수명화를 위하여 단념한 경위가 있다.

### 2.4 데이터에 의거한 성능검증을 기초로 한 축열 시스템의 운전 최적화(신카와빌딩)

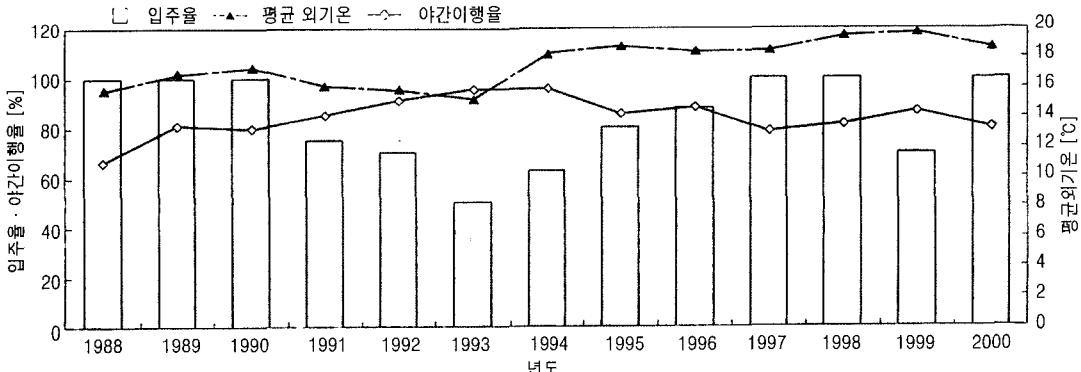
- 1) 최적화 운전제어에 의한 야간 이행률 유지  
준공 당초(1988년도)의 연간 야간 이행률은 62% 였지만, 군관리 센터에서 실측 데이터를 기초로 부하실적이나 축열조의 온도분포 등을 확인하면서 적절한 파라미터 설정을 하여, 2년째 이후는 80% 이상을 유지할 수 있게 되었다(그림 12).
- 2) 전기요금제도의 신 메뉴에의 신속한 대응  
전기요금 체계에서의 피크 시간 조정계약의 적용범위가 새로이 확대된 해(1992년)에 신카와빌딩에서는 신속한 신규계약이 가능하였다. 부하량 등의 장기간 데이터로부터 실측치를 이용한 시스템을 구축할 수 있었다. 이것은 건물을 둘러싼 환경의 변화에 유연하게 대응한 좋은 예이다. 그림 13, 14에 피크시간 조정의 대응 전



[그림 13] 신카와 빌딩의 피크 시간조정에서의 대응전의 축열트렌드 그래프



[그림 14] 신카와 빌딩의 피크 시간조정에의 대응후의 축열트랜드 그래프



[그림 15] 신카와 빌딩의 테넌트 입주율 · 야간 이행율의 추이

과 대응 후의 축열 경향 그래프를 나타내었다.

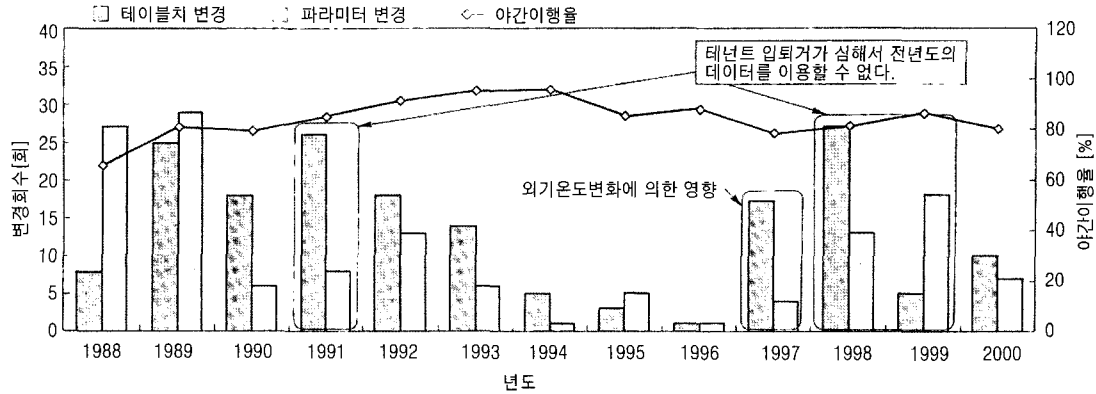
3) 입주율 변화에 대한 열원 시스템의 유연한 대응

그림 15, 16에, 신카와 빌딩의 입주율과 설정치 변경의 추이를 나타낸다. 13년 동안 입퇴거가 있었고, 일시적으로 방이 비어 있을 때도 많았다. 그런 외증의 공조부하는 당연히 감소하고, 임대 빌딩 특유의 부하변동 요인을 가지고 있

다. 이러한 영향을 고려하면서 전기요금제도의 신 메뉴에도 대응하여, 빙축열 시스템의 장점을 최대한 활용한 운전의 최적화를 도모하였다.

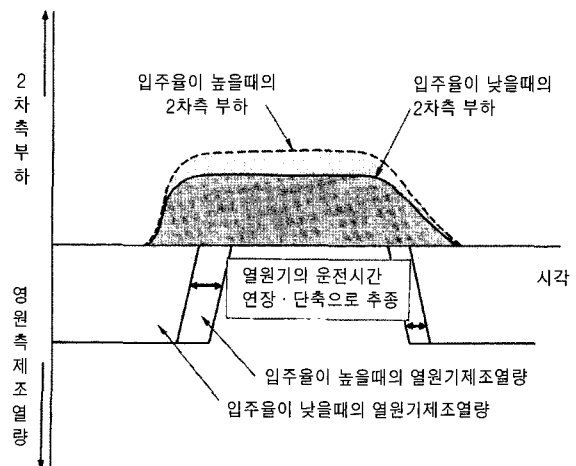
일반적으로, 열원시스템은 설계 최대 열부하로 선정하지만, 실제로는 연간에 걸쳐서 부분부하로 운전한 날이 거의 대부분인데, 냉동기의 부분부하 운전시의 낮은 효율이 문제가 된다. 즉, 축열이 아닌 시스템에





[그림 16] 신카와 빌딩의 설치치 변경 회수의 추이

서는 부분부하 운전의 비율이 증가하고, 특히 기간이 긴 경우에는 운전효율 저하가 문제시 된다. 축열시스템에서는 운전시간의 증감으로 필요량만큼의 축열이 가능하고, 입주자가 감소하여도 효율의 저하는 보이지 않는다. 더구나 사용한 양에 따른 요금 청구(청구서 자동작성 시스템에 의한)하고 있기 때문에 빌딩 소유주나 입주자 측에 아무런 문제가 없다. 단지 기상조건뿐만 아니라 입퇴거 상황에 의한 부하에 크게 영향을 받은 경우에도 열원기기 운전시간의 조정으로 부하추종이 용이하기 때문에 축열식 공조 시스템의 유효성이 실제의 데이터에서도 확인되었다. 그림 17에 그 개념도를 보여준다.



[그림 17] 축열식 공조 시스템의 유효성 개념도

2.5 데이터에 의한 신속한 고장 감지와 개선

13년 이상에 걸친 축열식 공조 시스템의 데이터 해석을 근거로 운전의 최적화를 지향해왔다. 냉방·난방운전의 데이터로 기본성능을 파악하면서 시운전 조정(커미셔닝)과 계속적인 리커미셔닝을 실시해왔다. 그 과정에서 일상운전에서는 알지 못하지만 실측 데이터의 분석에 의해 비로소 밝혀진 불량 상태를 개선한 예를 소개한다.

1) 열원기기 능력부족의 발견과 개선

열원기기의 장기간에 걸친 능력 및 성적계수의 경향을 확인하기 위하여 그래프 상에 데이터를 표시하였다. 여기서, 열원기기 능력이 제조사의 사양에 비해 15% 낮은 것을 발견하고 기기내의 부품 선정 미스를 해소한 결과 능력 저하를 개선할 수 있었다<sup>2)</sup>.

- 2) 2차 펌프 대수제어의 부적절함의 발견과 개선  
2차 펌프(2대의 대수제어와 인버터에 의한 변유량 제어)의 반송유량과 소비동력을 그래프로 표현하여 1대로 가능한 유량범위에서 2대로 운전하고 있는 것을 발견하였다. 대수제어의 제어변수를 조정하여 적절한 대수제어가 가능하였다. 이것은, 전항의 열원기기 능력부족의 문제에서와 동일하게, 일시적인 시운전에 있어서는 별 지장이 없어 알지 못했던 좋지 않은 상태를 데이터 해석으로 개선한 예이다<sup>2)</sup>.
- 3) 2차측의 이용 온도차 저하의 발견과 개선  
히가시무라야마 종합사옥에서의 데이터의 이상 변화로부터 좋지 않은 상태를 발견하여 적절한

조치를 취한 예를 표 2에 보여준다.

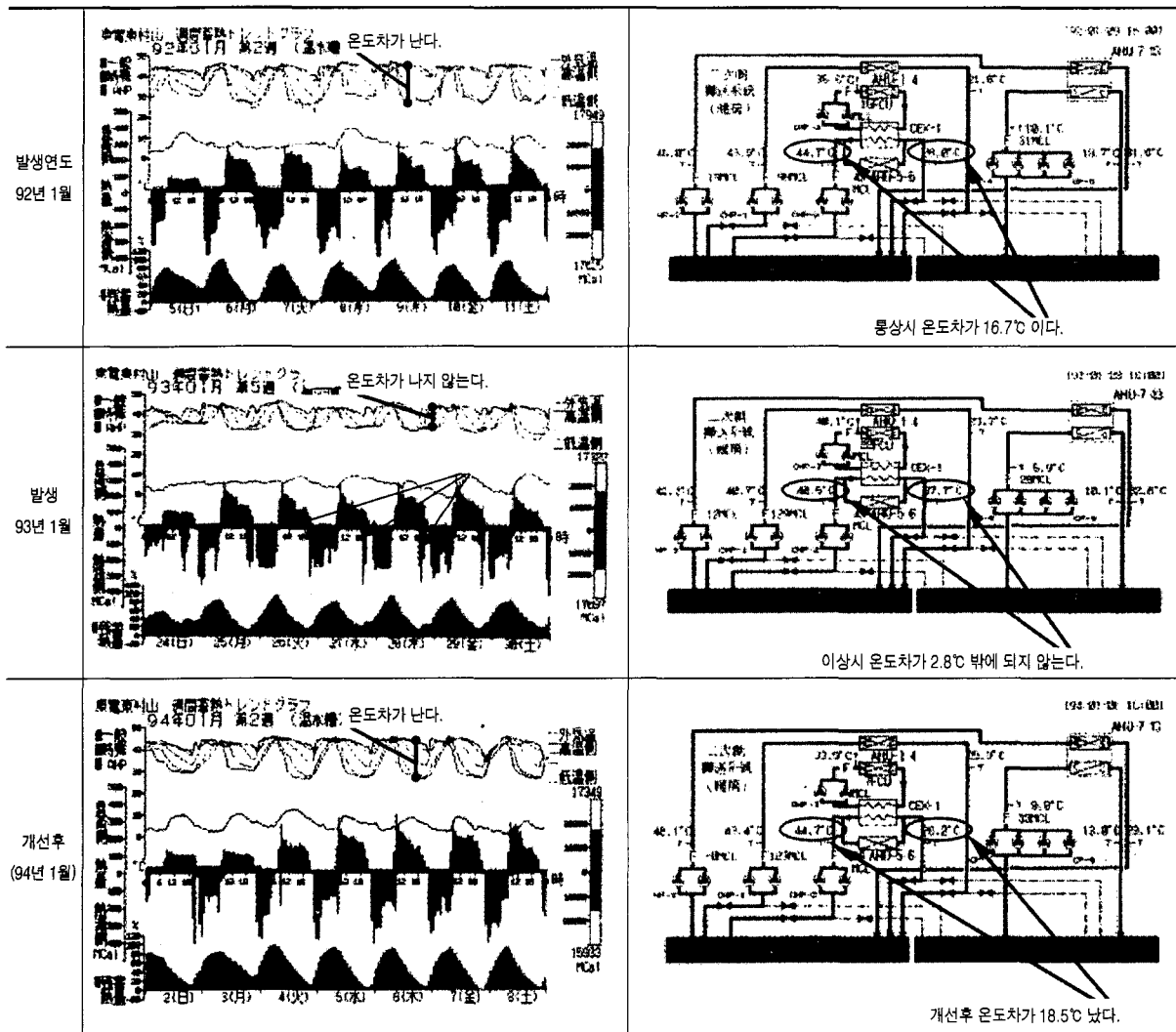
열원기기의 주간의 추종 운전시간이 1년 전의 같은 시기에 비해 증가하였다. 원인을 조사해본 결과, 1년 전에는 2차측의 이용 온도차가 확보되어 있었는데 비해서 일부 계통에서의 온도차가 작아진 결과로 축열량이 저하되어있는 것이 데이터분석에서 판명되었다. 이는 자동제어의 메인テナンス 후에 최대유량 조정과 바이패스 밸브를 잠그지 않은 것이 원인임을 알고 신속하게 개선할 수 있었다.

### 3. 에너지 합리화 이용의 실천에 의한 지구 환경부하 경감과 데이터에 의거한 검증

#### 3.1 CO<sub>2</sub>배출량에 의한 지구환경 평가

실측한 부하분석을 근거로, 동경전력의 발전 원단위를 기준으로 CO<sub>2</sub>배출량을 시산하고, 축열식 공조시스템과 비축열식 공조시스템의 비교로 환경평가를 실시하였다. 평가항목은 CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>를 대상으로 하였다. 실측 데이터를 근거로 한 간단한 시뮬레이션 과정을 그림 18에, 상정 시스템의 개요를 그림

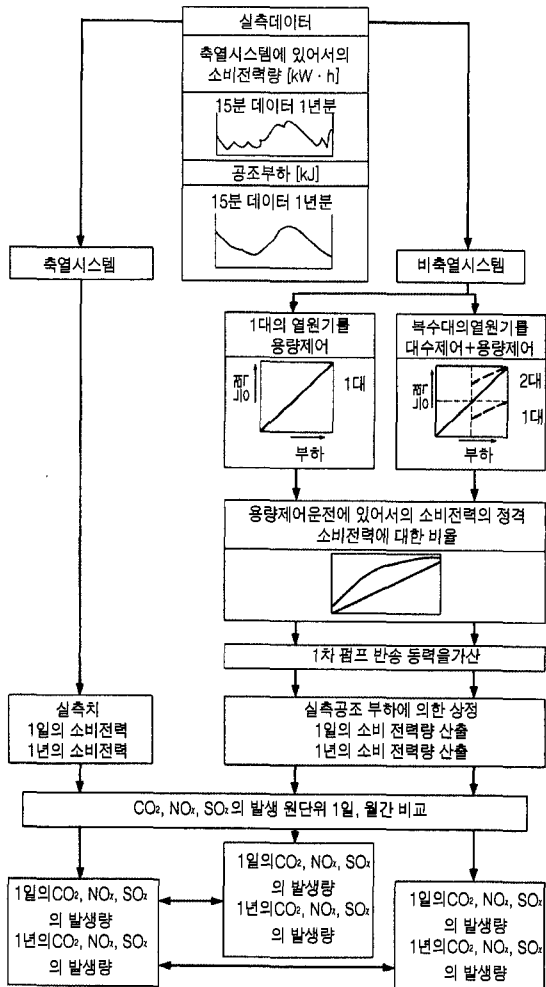
〈표 2〉 히가시무라야마 종합사옥의 데이터 이상변화로 부터 적정조치를 할수 있었던 예



19, 20에, 평가 결과를 그림 21, 22에 보여준다. 열원은 비교 시스템을 포함해서 전(全)전기방식을 상정하였다.

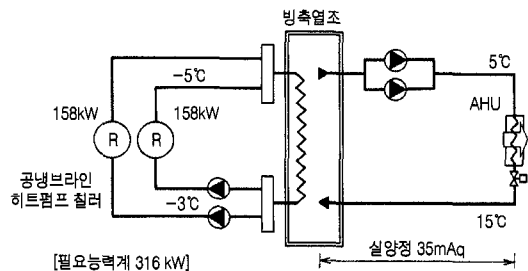
두 건물 모두 축열시스템의 CO<sub>2</sub>배출량이 적다는 결과를 얻었다. 용량제어를 하지 않고 고효율의 전부하운전을 하고 있기 때문에 에너지소비량이 낮고 CO<sub>2</sub>배출량 원단위가 작은 야간운전의 비율이 높다는 것이 원인으로 생각된다.

#### 4. 계측 데이터에 근거한 장기적인 1차 에너지 소비량의 실태파악

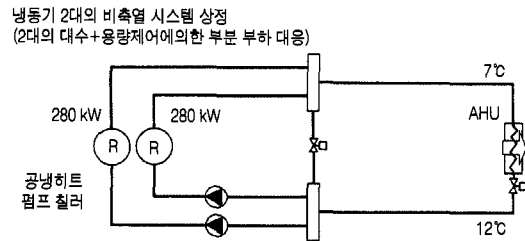


[그림 18] 실측데이터를 근거로한 쉬운 시뮬레이션플로

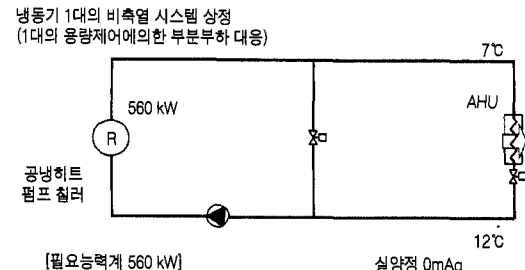
신카와빌딩과 히가시무라야마 종합사옥은 전전화 빌딩이며, 전력 소비량의 환산기준으로 1kW=10,250kJ(주간8~22시)/9,600kJ(야간22~8시)을 이용하여 에너지소비를 분석하여 실건물의 추이를 확인할 수 있었다. 문헌(4)의 데이터와 실측에 의한 두 건물의 연간 평균치의 1차 에너지 소비량 비교를 그림 23에 나타낸다. 문헌에서는 1차 에너지 환산기준을 1kW=2,250kcal(=9,450kJ)로 하고 있기 때문에, 1kW=2,450kcal(10,250kJ)로 환산하여 비교하였다. 그림 24, 25에 신카와빌딩과 히가시무라야마 종합사옥의 연도별 하절기 평균 외기온도(7~9월 평균)와 1차 에너지 소비량을 나타낸다. 신카와빌딩에서는 입주율(연간 평균)의 추이도 표시하였다.



(a) 빙축열 시스템(신카와 빌딩)

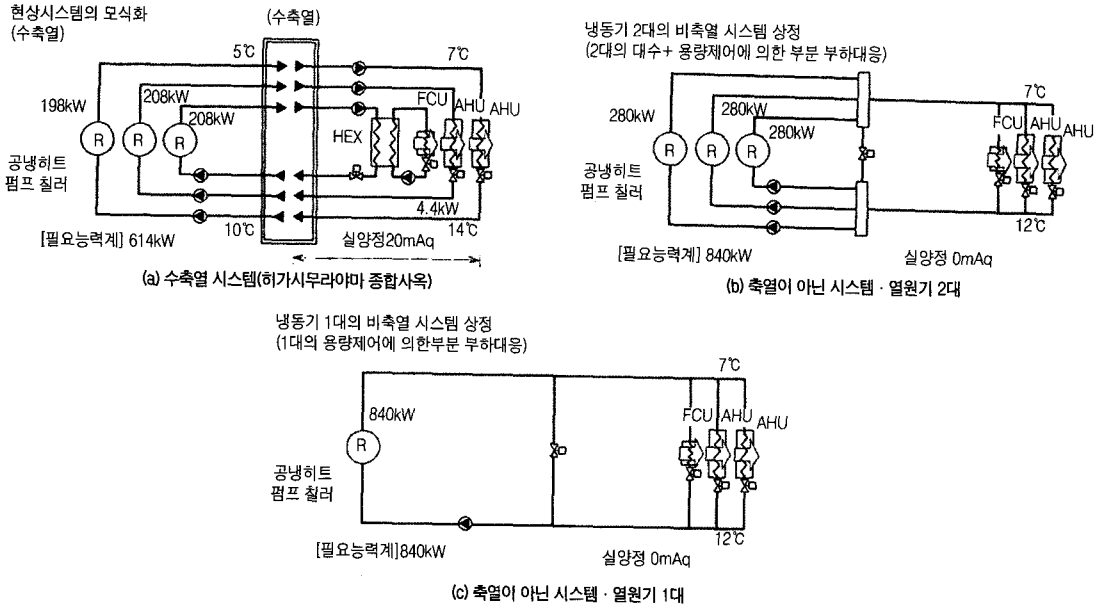


(b) 축열이 아닌 시스템 · 열원기 2대

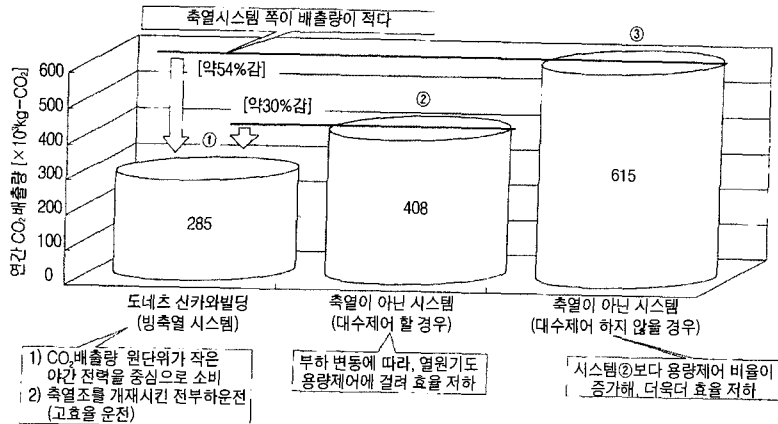


(c) 축열이 아닌 시스템 · 열원기 1대

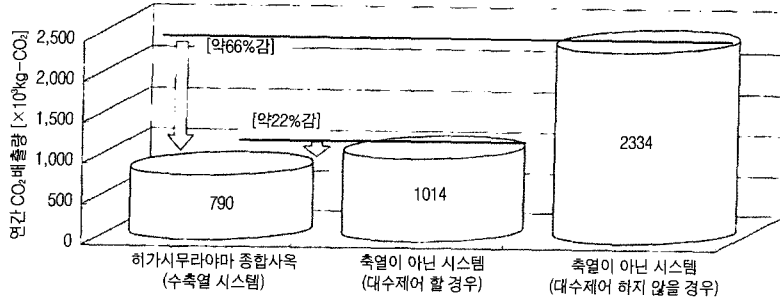
[그림 19] 상정시스템 개요도(1) (신카와 빌딩)



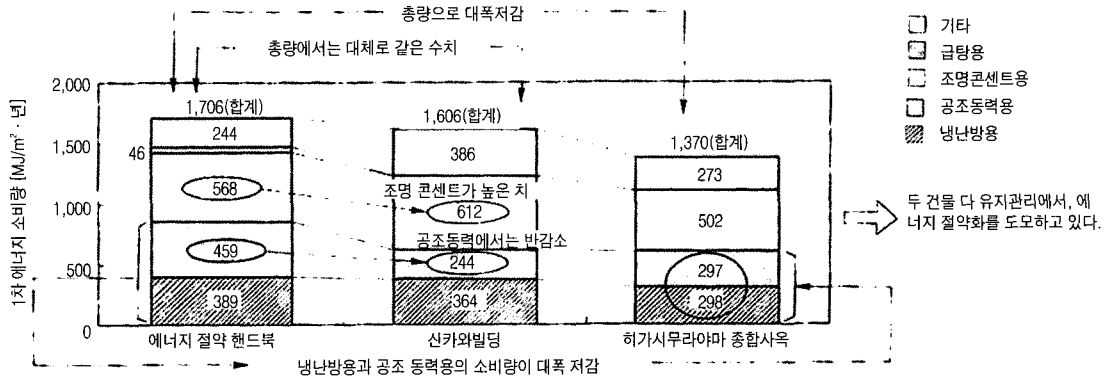
[그림 20] 상정 시스템 개요도(2)(히가시무라야마 종합사옥)



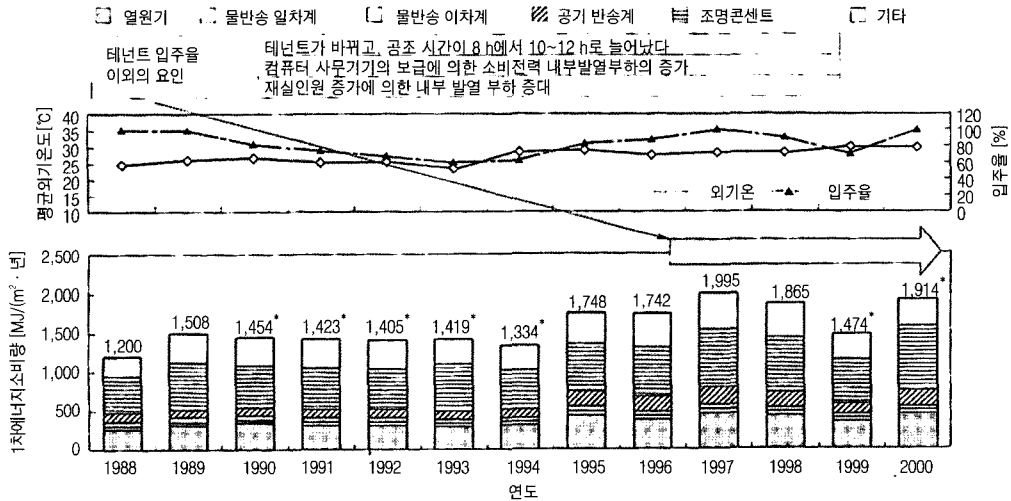
[그림 21] 평가 결과(1) (신카와 빌딩)



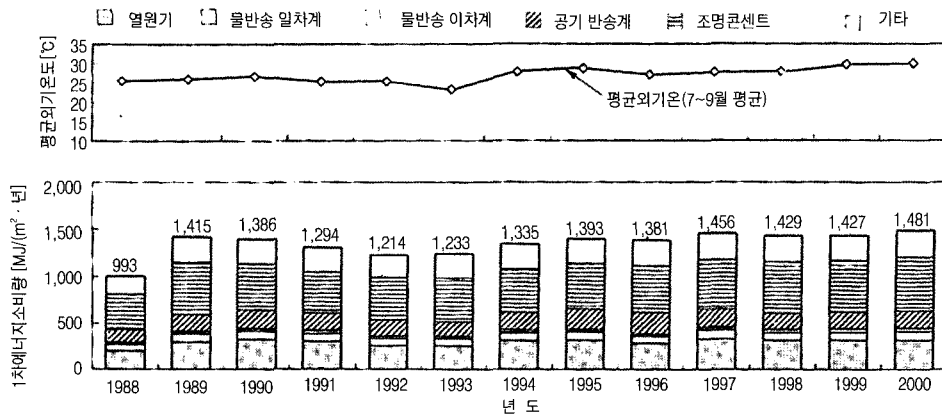
[그림 22] 평가 결과(2) (히가시무라야마 종합사옥)



[그림 23] 연간 평균치의 1차 에너지 소비량의 비율



[그림 24] 신카와 빌딩의 연도별 하기 평균 외기온(7~9월 평균)과 1차 에너지 소비량



[그림 25] 허가시무라야마 종합사옥의 연도별 하기 평균 외기온(7~9월 평균)과 1차 에너지 소비량

## 5. 계속적인 성능관리 · 에너지관리에 의한 경제성 평가

장기계측 데이터에 근거한 성능관리 · 에너지관리를 지속적으로 실천하여 몇몇의 불량 상태를 발견하고 개선하였다. 또한, 메인터넌스도 이들의 성능관리 · 에너지관리에 의거하여 최소의 비용으로 오늘에 이르고 있다.

### 5.1 운전 최적화에 의한 개선 효과

계속적인 데이터에 의한 관리 없이는 알 수 없었을 개선의 효과를 비용측면에서 생각하여, 운용개시부터 오늘날까지의 13년간의 경제성 효과에 대해서 13년간의 운전비용에 대한 비율로 평가한 것을 그림 27에 나타내었다. 축열시스템의 채용으로 약 28% 절감(야간 전력 할인요금 적용) 되었고, 운전의 최적화로 다음 4항목에서 약 22%의 운전비용의 절감 효과가 있었다.

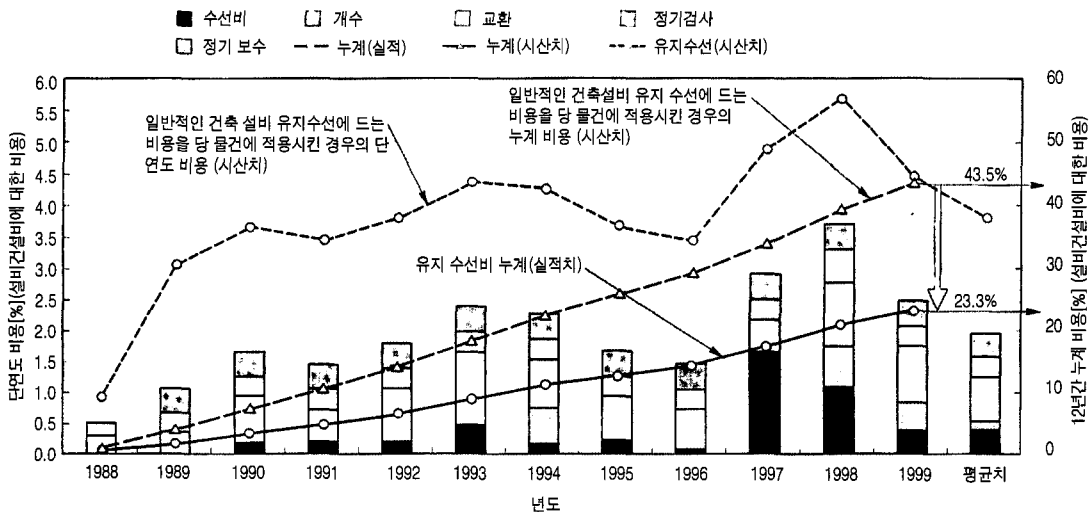
- 1) 야간 이행률의 개선[2.4(1) 참조]
- 2) 전기 요금제도 신 메뉴에의 대응[2.4(2) 참조]
- 3) 열원기기 능력특성의 개선[2.5(1) 참조]
- 4) 2차 펌프 대수제어 불량 상태의 개선[2.5(2) 참조]

### 5.2 적절한 시설 유지관리의 실시

신카와빌딩에서는 장기적으로 데이터에 의한 성능

관리 · 에너지관리를 유지해왔기 때문에 유지관리 작업을 비교적 필요 최소한으로 억제할 수 있었다. 고장이 발생한 경우에만 수선하고 있으므로, 그림 26에서와 같이, 연도에 따라 비용이 변하고 있다(공조 설비의 건축비에 대한 비율로 표시). 또한, 당 물건에서 일반적인 유지수선을 실시한 경우의 시산치와 비교하였다. 12년간 누계에서 보면, 일반적인 유지비의 시산치가 43.5%(연평균 3.6%)인 것에 비하여 실적치는 23.3%(연평균 1.9%)이며, 일반적인 유지수선을 한 경우에 비해서 약 절반의 비용으로 유지하고 있다. 여기서 말하는 일반적인 유지수선 비용은 실제로 사용한 수선, 개수, 부품교환, 법정검사, 정기보수 등의 비용에 균관리가 없다면 필요하게 되는 기계의 정기점검 비용 등을 가산하여 산출하였다. 실제로 억제할 수 있었던 항목은 다음과 같다.

- 1) 열원기기: 고압가스의 대상기이기 때문에 연 4회의 자주 점검을 실시하고, 순시점검 기록의 자동화나 데이터분석의 성능평가만으로 오늘날까지 문제없이 운용하여 왔으므로, 오버홀 등의 대규모 수선비용을 억제할 수 있었다.
- 2) 펌프류: 정기점검 없이 동력 · 압력 · 유량과 추가로 진동을 계측한 결과 데이터 상에서 이상징후가 보이지 않기 때문에, 현재까지 이상음으로 경미한 정비를 한 이외의 정기적인 보수는 하지 않고도 양호하게 유지하고 있다.



[그림 26]

- 3) 팬류: 정기점검은 실시하지 않고, 데이터에서의 허용 설정치에 달한 시점에서 현지 확인과 소모품(필터, 베어링)만 교환하였다.
- 4) 센서류: 지속적인 경향과 관련 데이터를 가끔 점검하여 이상한 징후가 나타났을 때에만 센서를 교환하고 있으며, 정기적인 센서의 점검은 하지 않고 있다.

공조설비의 유지관리 업무에서 군관리에 의한 효과를 그림 28에 보여준다.

보전업무(점검·정비·검사·수리)에 드는 비용은 그림 26의 유지수선비(연평균값)로 하고 운전관리비(운전·감시)의 인건비를 가산하였다. 비교대조의 인건비는 1.5인/일 정도(24시간 대응으로)를 시산치로 하고, 군관리에 있어서의 당 물건에 들어간 비용(설비비, 인건비, 광열비, 통신비, 유지수선비, 데이터해석 등)을 기술관리비로 하고 있다. 군관리를 채용함으로써 운전관리의 효율화를 도모할 수 있으므로 비용의 절감으로 이어진다. 또한 상세한 성능이나 에너지에 관한 분석과 평가가 가능하고 시설관리에 피드백을 실시하고 있다.

데이터에 나타나지 않는 몇몇 돌발 사항은 사후 보전으로 되기도 한다. 그러나 전체적으로 계측데이터에서 성능분석 평가를 끊임없이 실시하여, 정기적인 점검정비를 극력 생략하여 이상 징후가 나타났을 때에만 수선하는 체제로 유지관리비용을 절감하고 있다.

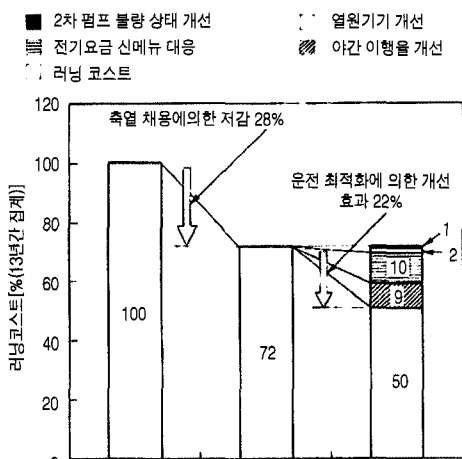
13년간의 경제적 효과의 실적을 정리해 보면, 다음에서와 같이, 약120,000천엔의 저감효과를 얻었다.

- 1) 운전비용 : 약17,000천엔
- 2) 유지수선비 : 약67,000천엔
- 3) 군관리의 효용 : 약36,000천엔

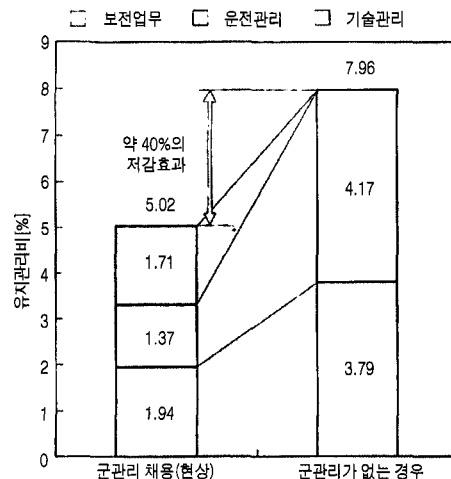
**맺음말**

사례에서 나타난 축열식 공조시스템을 채용한 두 건물은 1988년에 준공하여, 군관리 시스템을 확립하고 현실적인 접근으로 운용 적정화 기술의 향상을 모색하였다. 그리고, 에너지 절약성을 손상하는 일이 없이, 기상이나 운용형태의 변화에 따른 실내환경의 쾌적성을 지속적으로 확보해왔다. 이들의 지속적인 계측과 분석에 의한 피드백을 실시하여 반복 성능검증을 실시한 것이 양호한 유지관리로 이어졌으며, 군관리에 의한 시설관리는 메인テナンス 비용을 억제하는 효과가 있음을 확신하였다.

또한, 13년이 경과한 지금에 와서 준공후 1년째와 2년째에 실시한 성능검증과 운용의 최적화가 얼마나 중요한지를 재인식하게 되었다. 그러나 건물상황(공조시간이나 실내부하의 변화 등)이 변하면, 준공 후 1년째와 같이, 재차 부하의 실태 파악과 운전의 최적조정을 실시해야 한다. 두 건물 모두 유지관리에 필요한 데이터를 이해하기 쉬운 형식으로 가공하여



[그림 27] 운전·최적화에 의한 개선 효과



[그림 28] 군관리에 의한 효과

해석하는 수법을 도입함으로써, 최근의 BOFDD (Building Optimization Fault Detection and Diagnosis)의 성능검증 도구의 일부를 실천할 수 있었다고 생각한다. 이러한 장기 수집데이터로부터의 식견도 집적함으로써 BOFDD를 한층 확실한 수법으로 인도하리라 생각한다.

### 참고문헌

1. 柳原·高草·山田의: 축열식 공조시스템의 장기 (10년) 운전 실적 그1~6(1998~99년도), 공기조화·위생공학회 학술 강연회 강연 논문집
2. 山田: 운전적정화를 지향한 축열시스템의 사례 (實例) (2) 東熱 신카와 빌딩과 동경전력 히가시 무라야마 종합사옥의 예, 공기조화·위생공학, 73-9(1999)
3. 山田: 일본에 있어서의 오픈화 기술의 적응 예 (1) 15년 전의 오픈화에의 몰두와 금후의 리뉴얼 계획, 공기조화, 위생공학, 74-10(2000)
4. 에너지절약 핸드북, 98(1998), (사)주택·건축 에너지절약기구
5. 山田: 유지보전과 BEMS 커미셔닝에 대해서, BELCANEWS, 66호(2000)
6. 공기조화·위생공학 편람 제11판(1994) ㉔