

일본의 하이브리드 환기 사례

- 후지타 기술센터 -

成田樹昭 (주) 후지타 건설본부

細井昭憲 (주) 후지타 기술센터

(空氣調和・衛生工學, Vol.76, No.7, 2002)

번역 : 최 선 호, 이 수 연 / 정회원 (한일엠이씨)

키워드: 공조계획(Air Conditioning System Planning), 에너지 절약(Energy Conservation), 실내환경(Indoor Environment), 하이브리드 환기(Hybrid Ventilation), 사무소(Offices)

후지타 기술센터에는 자연통풍과 기계공조를 전환해서 운전하는 하이브리드 환기시스템을 채용하고 있다. 운영을 시작한 첫 해에는 자연환기 운전모드의 연간 시간비율을 대폭 줄였으나 운영결과와 실측·실험의 성과를 토대로 제어법을 개선한 결과, 다음해부터는 자연통풍 운전시간 비율을 증가시켜 대폭적인 에너지 절감을 달성하였다. 또한 거주자를 직접 공조운전제어에 관여시키려는 노력을 행하고 있다. 하이브리드 환기는 제어방법에 있어서 많은 연구가 필요하지만 앞으로 매우 유력한 에너지 절약 기법의 하나로 고려되고 있다.

서론

후지타 기술센터의 대지는 나지막한 산의 서측 경사면에 위치하여 풍부한 수목이 보이는 환경을 가지고 있다. 계획에 있어서는 지속 가능한 개념(sustainable concept)을 도입하여 환경부하의 저감과 쾌적한 거주환경의 두 가지 목적을 이루고자 아래와 같은 기법을 적극적으로 적용하였다.

- 자연에너지의 이용 · 에너지 절약 기술
하이브리드 환기시스템, 태양광발전, 주광 및 인체 감지 센서를 부착한 조명 시스템 등
- 시설의 효율적 운영, 유지 및 성능검증 지원기술

빌딩관리 시스템을 이루고 있는 BA-LAN과 거주자의 OA 단말기와 결합된 OA-LAN의 양자에 걸친 BEMS 구축

- 주변환경과의 조화, 생태계 보전기술
biotop, 우수이용 시스템(저장조 1,000m³) 등

건물의 부지 전면에는 사무실로 계획된 연구동과 실험동이 배치되어있고, 각 동은 높이 약 20m의 아트리움에 인접하여 배치되어있다. 아트리움은 연구원들의 휴식공간 뿐만 아니라, 전시, 집회 등의 다양한 형태로 이용이 가능하도록 계획되었다.

1. 시설개요

1.1 건축개요

건물명칭	후지타 기술센터
설계	(주)후지타 설계센터
시공	(주)후지타
소재지	神奈川県厚木市小野 2025-1
용도	연구시설
구조	철골조(일부 철근 콘크리트조), 免震구조
준공	1999년 4월
부지면적	28,500m ²
건축면적	10,922m ²
연면적	24,148m ²

구성 연구동 : 6,747m², 지상 3층
 실험동 : 16,288m², 지상 3층, 지하 1층
 아트리움동 : 1,173m²

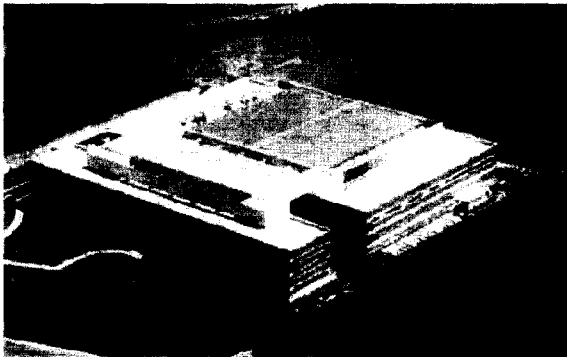
1.2 공조설비개요

열원설비 개요

- 가스 직화식 냉온수기 : 703.3kW, 2대
- 공냉식 브라인 냉동기 : 92.5kW, 1대
- 잠열 축열조 : 2.5GJ, 1대
- 관류형 보일러 : 전열면적 9.6m², 1대

공조방식 개요

- 일반사무실 : 4관식 단일 덕트 VAV
- 회의실 · 개인실 : 외조기 + 팬코일 유닛

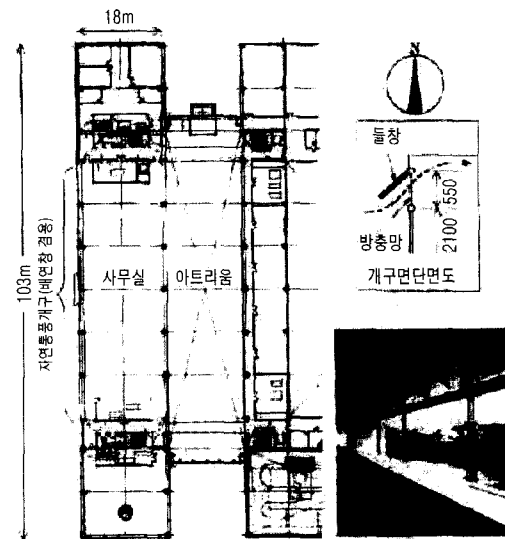


[그림 1] 후지타 기술센터 전경

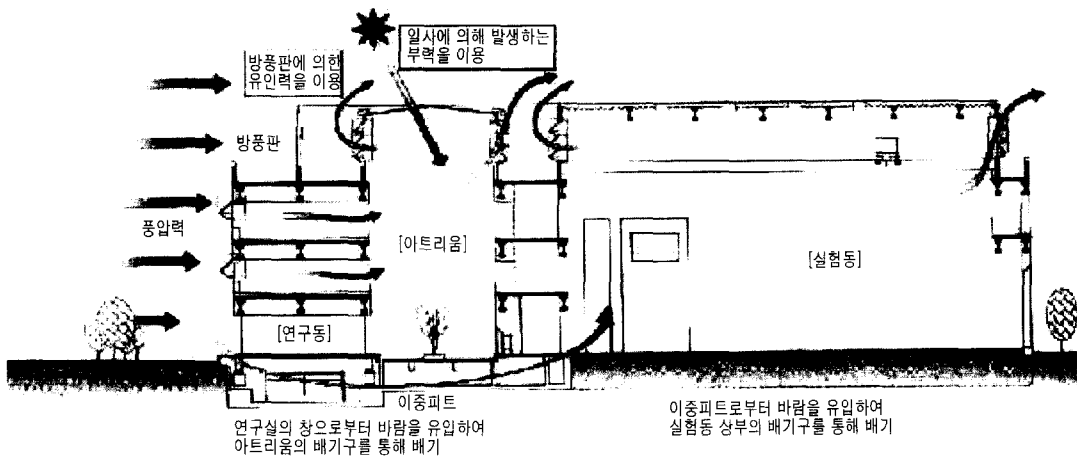
2. 하이브리드 환기 시스템의 개요

2.1 자연통풍계획

후지타 기술센터는 자연통풍을 적극적으로 활용하여 에너지 절약효과를 극대화하도록 계획되었다. 그림 2는 건물단면 및 자연통풍 루트의 개념을 나타내고 있고, 그림 3은 기준층 평면도를 보여주고 있다. 연구동의 2, 3층 사무실 부분에(합계 약 1,700m², 연구동 연면적의 약 20%) 하이브리드 환기를 적용



[그림 3] 평면도와 통풍 개구부



[그림 2] 자연통풍 계획의 개요

하였으며, 실내외의 조건이 양호할 경우에는 기계공조가 정지하고 자연통풍 모드로 전환된다.

사무실 서측의 환기용 개구부로 부터 유입된 외기는 연구동의 사무실을 통과해 인접된 오픈형 아트리움을 경유해서 배기된다(그림 4). 사무실은 아트리움에 직접 개방되어 있으며, 간막이는 설치되어 있지 않다¹⁾. 그림 2에 표시되어 있는 것과 같이 풍압력과 아트리움의 상하 온도차에 의해 발생하는 부력이 환기의 구동력으로 이용된다. 또한, 아트리움 상부 서측의 배기구에 대해서는 전면에 방풍판을 설치하여 여기서 발생하는 유인력을 이용하여 환기효과를 증가시켰다.

통풍 개구부는 사무실과 아트리움 모두 배연용으로 이용하는 것이 가능하고, 양쪽 개구부 모두 실내 측에 방충망이 설치되어 있으며 전동모터를 이용하여 작동된다.

또한, 실험동의 면진(免震)피트를 대형 실험실의 자연환기 통로로 사용하여 유입되는 외기의 passive cooling 효과를 도모하였다.

2.2 하이브리드 환기 시스템의 제어법

(1) BEMS에 의한 제어

하이브리드 환기의 운전모드(자연통풍, 나이트퍼



[그림 4] 오픈형 아트리움 전경

지(night purge), 외기냉방, 통상의 공조)는 운전관리자 등 특정한 개인의 판단이 아니라 BEMS에 의해 자동제어 된다. 외부 센서와 실내 센서로부터 수집된 데이터를 기초로 하여 규정된 제어주기마다 최적의 모드가 선택되어진다. 따라서, 하루 중 몇 번이라도 자연통풍과 기계공조가 서로 전환된다. 자연통풍 모드 시에는 해당 구역의 공조기 팬과 배기팬이 정지된다. 자연통풍 이용의 관점에서 보면 제어간격은 보다 짧은 시간이 요구되지만, 모드 변환 시 시간 타이밍을 고려하여 20분 간격으로 설정하였다.

또한, 잔업 및 휴일 출근 시 등 공조제어 시스템이 정지되어 있을 시간대에는 거주자의 수동 조작에 의해 적당한 자연통풍 모드로 전환이 가능하도록 계획되었다.

(2) 거주자의 참여

본 건물과 같은 개방형 사무공간에서는 다수의 거주자가 존재하며 착의량과 대사량이 다양하다. 또한 자연통풍과 같은 비정상 상태의 환경조건에서 개개인의 온냉감을 예측하는 것은 곤란하다. 따라서, 자연통풍이 적용 가능한 실내의 온열환경을 임의로 설정하는 것은 하이브리드 환기의 특징을 감소시켜 에너지 절약의 기회가 줄어들 우려가 있다.

그러므로, 자연통풍 모드의 시간대를 가능한 확대하여 에너지 절약 효과를 높이기 위해서는 거주자의 이해를 얻는 것이 매우 중요하다. 일반적인 제어가 아니고 거주자에게도 실내환경제어에 참여할 기회를 제공하고 거주자와 합의 하에 제어를 하는 것이 필요하다.

그러나, 이러한 합의는 개인실의 경우는 용이하지만 개방형 사무공간에서는 매우 곤란하며, 따라서 본 건물에서는 BEMS가 OA단말기에 연결되어 있는 것을 이용하여 거주자에게 다음과 같은 정보서비스를 제공하여 거주자가 공조 운전제어에 관여할 수 있도록 했다.

- 1) 양케이트 제어와 결과 표시 : 자연통풍의 기동, 정지나 현재의 온·습도에 대한 거주자의 요망 사항을 각자의 PC와 인트라넷을 통하여 신고함으로써 집계되며, 이 결과에 따라, 설정 온·습도가 변경된다(그림 5). 거주자의 판단을 돕기 위해, 블록별 양케이트 결과와 새로운 설정온도의 산출결과 및 불만족자율, 설정 온습도와 현재

실의 온습도에 대한 사항을 제공한다. 또한, 자연통풍의 기동과 정지의 요망 정도가 설정치의 비율을 초과하는 경우는 BEMS의 판단에 우선하도록 계획하였다.

- 2) 운전모드 표시 : 외기조건(온습도, 일사량, 엔탈피, 강우량, 풍향, 풍속), 실내환경, 현재의 하이브리드 환기의 운전모드, 시스템 내의 댐퍼나 인버터의 제어상태를 그래픽으로 표시한다.
- 3) 에너지 절약 효과의 표시 : 자연통풍을 이용한 에너지 절약효과와 적산 값 및 현재 값을 표시한다.

(3) 자연통풍 모드의 적용조건

표 1은 자연통풍 모드의 운전조건을 나타내고 있다. 2000년부터 하이브리드 환기의 본격적인 운전을 시작했으며, 처음에는 좌측에 표시된 설계 시의 설정조건으로 운전하였으나, 자연통풍이 되는 시간 수가 설계 시 조건보다 매우 적었기 때문에, 3항에서 기술하는 자연통풍 시의 실측조사 결과를 토대로 운전조건을 개선하였다.

즉, 외기온도의 범위가 23~28℃로 상향 조정되었으며, 엔탈피 제어를 폐지하였다. 그 이유는 하절기에는 기계공조모드로 주로 운전하며, 중간기의 경우 외기 엔탈피가 실내공기 엔탈피보다 낮은 경우가 드물어서 자연통풍모드로 재전환되는 경우가 거의 없었기 때문이다. 또한, 풍향에 따라 실내로 유입되는

통과 풍속이 다르기 때문에 평균풍속의 상한 값을 개구부에 대한 정면풍의 경우는 3 m/s, 측면 및 배면 풍속의 경우는 6 m/s로 방위별 가중치를 고려하여 적용하였다. 순간 풍속에 관한 조건은 시스템의 대응이 어려워 폐지하였다. 자연통풍운전을 실시한 5~10월에 있어서는 외부풍속은 큰 변화가 없기 때문에 이용하는데 큰 문제가 없었다. 또한, 현재 G.F.(돌풍율)에 의한 제어를 검토 중이며, 강우계의 감도가 다소 떨어지기 때문에 강우량에 의한 제어조건을 상대습도 조건으로 변경하였고, 개구부의 창은 치켜올리는 들창이기 때문에 비가 실내로 유입되지 않았다.

20분마다 이러한 조건이 측정되어 직전의 10분간 평균치가 조건과 전부 일치하면, 자연통풍 운전모드로 운전된다. 그러나 평균풍속이 상한 값을 초월한 경우에는 자연통풍은 정지된다. 또한, 본 건물의 경우 계절적으로 불안정한 돌풍이 자주 발생하기 때문에 통풍량의 제어 및 실온조절이 곤란하므로 난방기(11~4월)에 있어서는 자연통풍운전을 적용하지 않았다. 그와 같은 리스크에 대한 난방기에 있어서는 에너지절약효과는 상대적으로 작을 것으로 판단되었다.

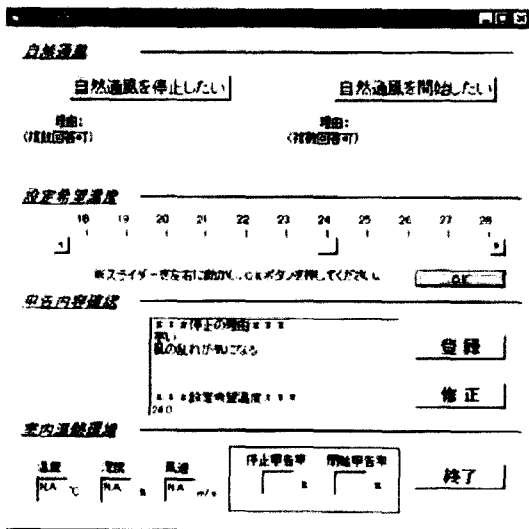
3. 자연통풍 시의 실내환경

3.1 자연통풍 시의 환기량

그림 6은 외부풍속(10분간 평균치, 이하 같음)과 유입개구부의 통과풍속에 의해 산출된 환기회수의 관계이다. 정면풍에서 외부 풍속이 약 6 m/s 이하인 경우에 서류가 날리지 않는 것으로 확인됐다. 따라서 외부 풍속이 6 m/s 이하인 경우를 자연통풍이 가능한 범위로 한다면 이때 환기회수는 20~60 회/h 정도로 분석되었다. 또한 동풍의 역풍에 대해서도 10 회/h 이상의 환기회수 확보가 가능한 것으로 분석되었는데, 그 이유는 부력환기와 조합된 효과로 추정된다.

<표 1> 자연통풍모드 운전조건 (수치는 가변)

구분	2000년 (설계시 조건)	2001년 (변경 후)
외기온도	17~26℃	23℃~28℃
엔탈피	실내>외기	폐지
평균외기풍속	5 m/s 이하	풍향별 고려
순간외기풍속	10 m/s 이하	폐지
강우량	1 mm/h 이하	80%(RH) 이하
실내온도	30℃ 이하	30℃ 이하

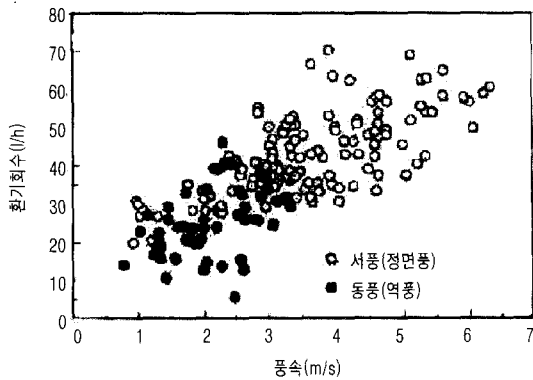


[그림 5] 인트라넷을 이용한 자연통풍 제어

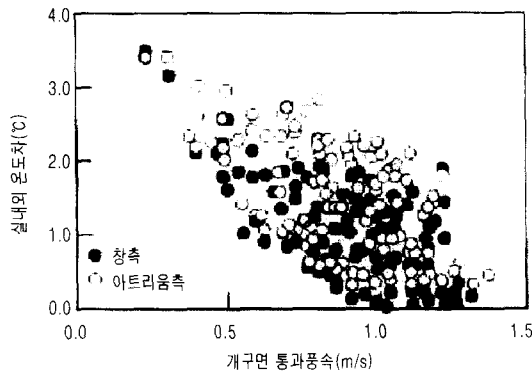
3.2 자연통풍 시의 실온

일반적으로 실온과 외기온도와의 온도차는 외기풍속에 반비례하는 것으로 생각되지만, 그림 7의 실측 결과에서와 같이 유입개구부의 통풍풍속과 실내외 온도차와는 밀접한 상관관계를 보이지 않았다. 이와 같은 결과는 실내발열량과 외부침입열이 균등하지 하지 않기 때문인 것으로 추정되지만, 실내 평균온도는 대체로 외기온도보다 약 3℃ 이하로 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다.

한편, 자연통풍의 쾌적성에 관한 인터넷을 이용한 앙케이드 조사를 실시한 결과, 실내온도가 23~28℃인 경우, 자연통풍운전이 가능하다는 결과를 얻었으며²⁾, de Dear 등의 연구결과와 크게 다르지 않은 것으로 분석되었다³⁾. 그림 7에서 알 수 있는 바와 같이, 실온이 상승되면 외기온도와 거의 같아지는 경우도 있으며, 표 1에 표시한 것과 같이 자연통풍 적용조건



[그림 6] 외부풍속과 환기회수의 상관관계



[그림 7] 개구부 통과풍속과 실내외 온도차의 상관관계

의 변경 시 외기온도 조건의 상한 값을 앙케이드 결과의 실내 허용온도인 28℃로 적용했다.

3.3 기타

후지타 기술센터는 교외에 위치하고 있기 때문에, 자연통풍 시 실내외 외부 소음이 전달되는 것은 크게 우려되지 않았고, 충분한 신선외기를 확보하여 CO₂ 농도 등 실내 공기질에 있어서도 전혀 문제가 되지 않았다.

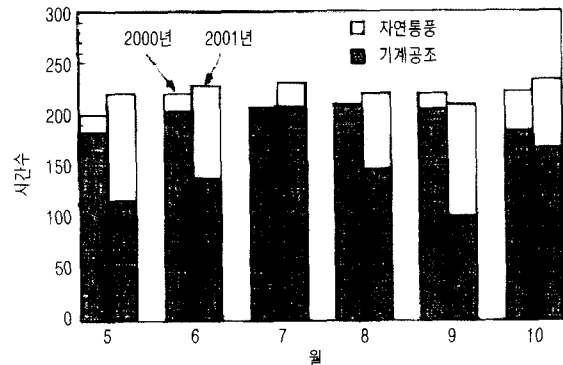
4. 하이브리드 환기에 의한 에너지절약 효과

4.1 자연통풍 운전 시간

그림 8에 2000년과 2001년 5~10월의 공조시간대(평일 08~19시)에 자연통풍 및 기계공조의 운전시간을 비교한 결과를 나타내고 있다. 2000년의 경우 자연통풍의 운전시간은 전체 89시간으로 전체 공조시간의 약 7%에 지나지 않았다. 그러나, 표 1에 있는 운전조건으로 변경한 이후, 2001년에는 자연통풍 운전시간이 약 456시간으로 전체 공조시간의 약 35%로 증가했으며, 특히 7, 8월에 있어서도 자연통풍모드로 전환하여 운전한 것을 알 수 있다.

4.2 에너지절약 효과

그림 9는 2000년과 2001년도의 연구동의 월별 냉방 제거열량과 월 평균기온을 나타내고 있다. 5~10월의 평균기온은 2000년에 22.7℃, 2001년은 22.5℃였다. 2001년 7월은 매우 무더웠기 때문에, 전년보다 냉방부하는 큰 폭으로 증가했다. 그러나, 연간 냉방제거열량에 있어서는 두 해가 평균기온이 거의 비슷했음에도 불구하고, 2001년은 전년에 비해 약



[그림 8] 월별 자연통풍과 기계공조의 운전시간

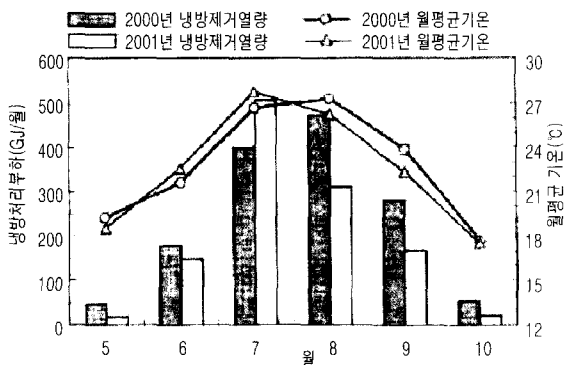
20% 감소했다. 4.1에 나타난 바와 같이 2000년은 자연통풍 운전시간이 적었기 때문에, 두 해의 차는 본 건물에 있어서 하이브리드 환기에 의한 에너지절약 효과라 생각할 수 있다. 하이브리드 환기를 적용한 면적이 건물 전체의 약 20%인 것을 고려하면 매우 큰 값이다.

한편, 자연통풍 운전 중, 해당 존의 공조기팬과 배기팬은 거의 정지하였고, 정격출력을 근거로 2001년의 반송용 에너지 절감량은 약 18MWh로 분석되었다. 두 해 모두 평일 19시 이후와 휴일은 거의 자연통풍을 적용하였다. 따라서, 잔업 시간대에 발생하는 공조용 에너지 사용량도 고려하면, 실제의 에너지절약 효과는 대단히 클 것으로 추정된다.

5. 하이브리드 환기시스템의 운전상황

그림 10은 기계공조운전이 중일 행하여진 2000년 7월 27일(목), 그림 11은 자연통풍과 기계공조운전이 반복된 2001년 8월 9일(목)의 매 시간별의 외기 조건, 실내평균온도 및 냉방제거열량을 나타내고 있다. 8월 9일은 4~7시(night purge), 8~13시 및 17시 30분~22시에 자연통풍모드로 운전되고 있다. 양일의 공조시간대의 평균기온은 각각 27.5°C, 27.4°C이며, 일 최고기온은 29.8°C, 28.9°C로 거의 같지만, 8월 9일의 제거열량은 7월 27일의 약 2/3이다.

한편, 실온에 있어서는 7월 27일의 경우 야간을 포함하여 작게는 1°C이내이지만, 8월 9일의 경우는 외기조건에 직접 영향을 받기 때문에, 24~27.5°C로 크게 변동하고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나, 운전에

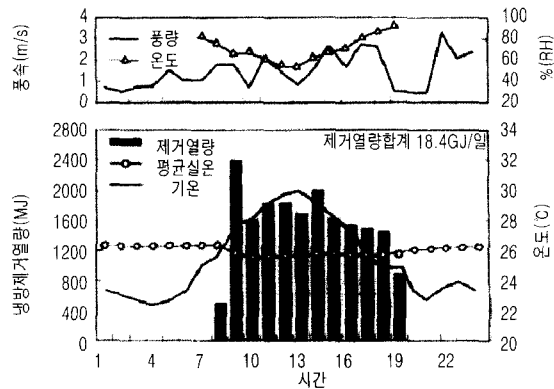


[그림 9] 월별 냉방 제거열량 분포

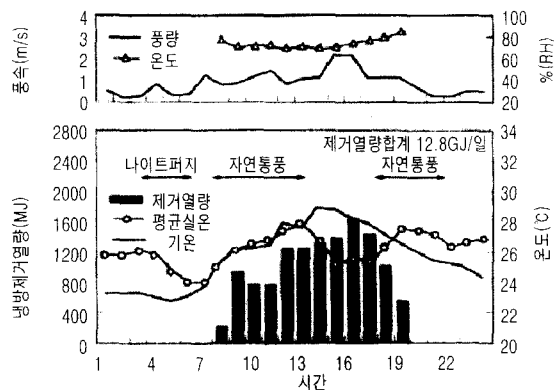
대해 거주자들은 특별한 불만은 없었으며, 이것이 하이브리드 환기시스템의 특징이라 생각할 수 있다.

6. 하이브리드 환기시스템의 유지관리

본 건물의 경우, 시스템이 간단하여 특별한 유지관리는 필요하지 않지만, 방충망의 청소와 개폐기구의 작동점검이 필요할 수 있다. 청소 빈도는 주변 환경에 크게 좌우되고, 일반적이지는 않지만, 본 건물의 경우에는 연간 1회 방충망의 청소를 하고 있다. 들창이므로 방충망의 탈착은 실내 측에서 용이하게 할 수 있으며, 시스템을 운전하여 3개월이 경과했지만 큰 문제는 발생하지 않았다. 자연통풍구는 통상의 배연창의 사양으로 설치되었고, 개폐 빈도에 대해서는 특별히 배려하지 않았기 때문에 개구부의 wire 및 guide pulley 등 개폐장치에 문제가 생겨 초기에는



[그림 10] 기계공조 시 운전현황 <2000년 7월27일(목)>



[그림 11] 하이브리드 운전 시 운전현황 <2001년 8월9일(목)>

여러 차례의 조정을 하였으나, 자연통풍을 효과적으로 적용하는데 있어서 개구부는 큰 부담이 되지 않았다. 자연 통풍구와 배연창의 겸용은 경제적이지만, 예를 들어 1대의 모터가 담당하는 창을 일반적인 배연설비의 경우에 비해서는 적게하는 등의 대책이 필요하다고 생각된다. 또한, 운전모드의 전환 시 헌팅(hunting)을 일으키지 않기 위한 제어에 대한 노력이 요구된다.

결론

후지타 기술센터의 하이브리드 환기시스템의 운영 및 실측 결과에 대하여 소개했다. 제어를 적절히 할 경우 자연통풍 운전시간이 대폭 증가하여 에너지 절약 효과도 높게 된다는 것을 알 수 있었으며, 일본 관동지방의 기상조건에 있어서도 하이브리드 환기가

충분한 효과가 있는 시스템이라는 것이 검증되었다. 후지타 기술센터에서도 본 시스템을 보다 세련된 시스템으로 개선하기 위해 이후로도 계속 연구를 지속할 계획이다.

참고문헌

- 1) 細井昭憲ほか : オープン型アトリウムを有する建物におけるシステムの字 果に関する研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集(2000)
- 2) 成田樹昭・細井昭憲 : 自然通風ハイブリッド空調システムに関する研究(その 1,2), 日本建築學會大會學術講演梗概集(2001)
- 3) Richard de Dear : Adaptive Thermal Comfort in Natural and Hybrid Ventilation, Energy and Building, 27-1(1998) ●