

변풍량 공조방식의 문제점을 개선한 설계 사례 - 시나가와 미츠비시 빌딩의 공기조화 설비 - (The Air Conditioning System of the Shinagawa Mitsubishi Building)

공조기를 외기공조기 기능과 순환공조기 기능으로 분리하여, 기존 변풍량 공조방식의 온습도 제어성 및 공기질의 향상, 공조기 송풍동력의 절감을 실현한 일본의 사례를 소개하고자 한다.

엄 태 윤

(주)한일엠이씨 (taeyun.aum@himec.co.kr)

이 수 연 / 총무이사

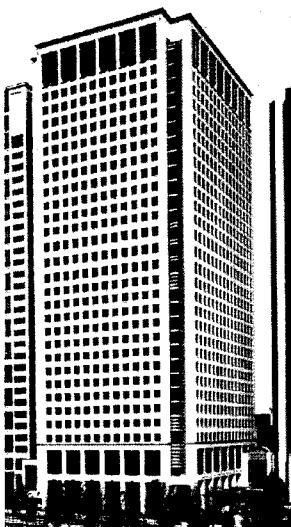
(주)한일엠이씨 (sylee@himec.co.kr)

출처 : Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers, Vol. 80, No. 10
(2006년 10월호)

저자 : Noriaki Sato (Mitsubishi Jisho Sekkei Inc.) etc.

미츠비시 상사와 미츠비시 자동차의 본사가 있는 시나가와 미츠비시 빌딩의 공기조화 설비계획은 VAV시스템의 온습도 제어성 및 공기질의 향상, 공조기 송풍동력의 절감을 실현한 사례이다.

이 내용은 일본 공기조화 위생공학회의 “제44회 공기조화·위생공학회상 기술상” 수상 기념 기사를 번역한 것이다. 시설 개요는 그림 1과 표 1에 나타내는 바와 같다.



[그림 1] 시나가와 미츠비시 빌딩 외관

<표 1> 시나가와 미츠비시 빌딩 개요

항목	내용
면적	연면적: 158,242.28 m ² 기준층 오피스 바닥면적: 2,600 m ²
주요용도	고층부: 본사 사무실 저층부: 상가, 홀(500석), 쇼룸, 갤러리
층수	지하 3층, 지상 32층, 옥탑 1층
높이	최고 높이: 148.1 m, 기준층 층고: 4.15 m
구조형식	지상: 철골조 지하: 철골 철근 콘크리트, 제진장치 설치
열원설비	지역 냉난방, 비상용 공냉식 냉동기
코제네레이션설비	3,000 kVA × 2 대
사무실 공조설비	존 외기풍량 보장형 단일덕트 변풍량 공조방식
제연설비	가압 제연 시스템, 저층부 일반 제연
자동제어설비	전자식 DDC, 성능확인 보조 시스템
기타	PAL치 190.7 MJ/(m ² ·년)

변풍량 공조방식의 문제점과 실태 파악

외기풍량 조절의 문제

기존 VAV시스템은 각 존의 풍량이 현열냉방부하에 의해 결정되므로, 재실자 수에 관계없이 저부하 존은 풍량이 적어지고, 고부하 존은 풍량이 많아지게 된다. 즉, 냉방부하가 작으면 재실자 수가 많아도 외기풍량은 적기 때문에 공기환경이 악화되고, 반대로, 기기부하가 크면, 재실자 수가 적어도 필요 이상의 외기풍량이 유입된다.

온도 제어 한계의 문제

VAV유닛은 외기풍량 유지를 위해 최저 풍량이 설정되고, 냉방부하가 그 이하로 되면, 급기온도를 올리는 급기온도 재설정(load reset) 제어를 통해, 외기풍량을 확보한다. 이 경우, 다음 2가지 문제점이 발

생하게 된다.

그림 2는 제어 과정을 나타낸 것이다. 어떤 실의 현열 냉방부하가 계속 줄어들어 최저 풍량 개도치에 이르고, 더욱 부하가 줄어들면 과냉방이 된다. 이를 막기 위해 급기온도가 재설정 되면, 현열 부하가 최대(100%)이었던 다른 실은 더 이상 급기풍량을 높이지 못하므로 냉방 부족 상태가 된다. 즉, VAV시스템은 최대-최저풍량의 폭 내에서만 제어할 수 밖에 없다.

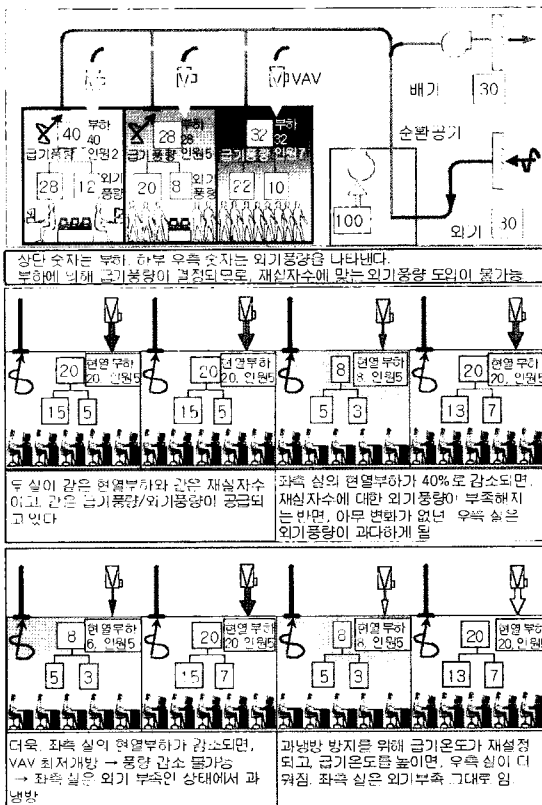
급기온도 재설정에 의한 송풍동력의 증대

급기온도 재설정은, 접속되는 VAV유닛 중 하나라도 최저 풍량 이하의 부하가 되면, 공조기 전체의 급기온도를 올리는 제어이다. 이 때문에, 부하가 작은 존을 1개소라도 포함하면, 수시로 급기온도 재설정이 실행되어, 급기풍량이 증가되기 쉽다.

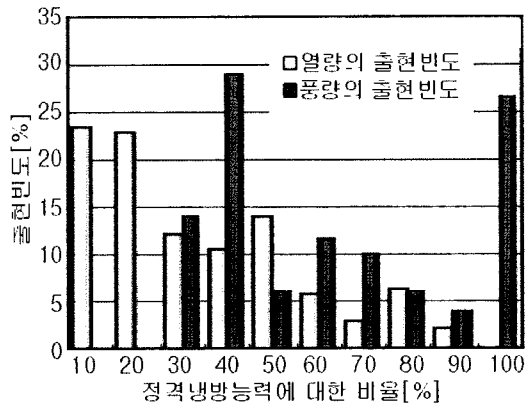
그림 3은 도쿄 S빌딩의 VAV공조방식을 조사한 결과로, 냉방에 필요한 열량의 출현빈도와 풍량의 출현빈도를 나타낸다. 정격 냉방능력에 대한 열량비 40% 이하가 출현빈도 69%를 차지하는 반면, 정격 냉방능력에 대한 급기풍량비 40% 이상이 출현빈도 78%를 차지하고 있다. 즉, 급기온도 재설정에 의해, 높은 온도의 대풍량으로 냉방하고 있는 상황이 확인되었다.

OA기기의 전력소비 실태

시나자와 미츠비시 빌딩의 사무실내 전력 조사를 실시하여, 시각별 OA기기의 전력소비가 평균 10



[그림 2] 기존 VAV시스템의 외기풍량 제어의 한계



[그림 3] 풍량과 처리열량의 빈도

W/m² 이하 이고, 총 기기전력은 설계 내부발열 85 W/m²의 30 ~ 40%에 지나지 않는 것을 확인하였다(그림 4).

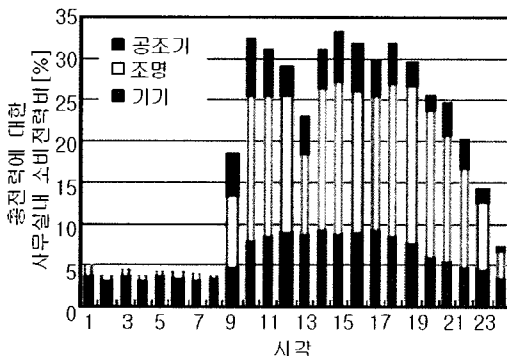
이 상황에서 기기발열이 불균형하게 분포 될 경우, 반드시 30% 이하의 발열이 존재하는 존이 발생하여 냉방부하가 작아지므로, 최저 풍량 이하가 될 확률은 상당히 높아진다. 이것은 OA기기의 에너지 절약과 낮은 실내 재실율에 의한 것으로, 이러한 부하 경향이 급기온도 재설정을 일으키는 주요원인이 된다.

멀티 존형 변풍량 변온도 단일 덕트 공조시스템

시스템의 개요

멀티 존형 변풍량 단일덕트 공조시스템(이하 SMARTVAV)은 공조기를 외기공조기(외기처리 담당) 기능과 순환공조기(냉방부하 담당) 기능으로 분리하여, 기본 냉방부하에 해당하는 정풍량 외기와 이를 초과하는 냉방부하인 순환공기를 존(zone)별로 혼합하여 직접 급기하는 방식이다(그림 5). 즉, 순환공조기측은 건물의 충분한 냉방능력을 확보하고, 외기공조기측은 저부하 부분의 외기풍량과 용이한 제어성을 확보하였다. 그 구체적 기능은 다음과 같다.

- 1) 외기 도입과 냉난방 기능을 분리하여, 존의 외기 풍량 확보에 의한 IAQ향상
- 2) 온습도 제어성의 향상
- 3) 풍량 절감 효과에 의한 에너지 절약



[그림 4] 도쿄 S빌딩 사무소의 소비전력

4) 중간기에는 순환공조기로 외기를 직접 도입하여 자연에너지 이용 효과를 도모

5) 올 인 패키지(all in package)에 의한 유지관리와 시공성의 향상

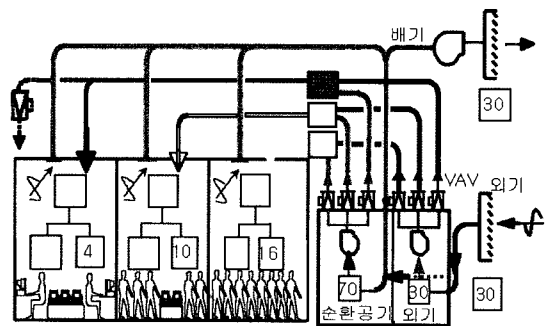
제어성의 향상

온도 제어

외기공조기는 16 ~ 29℃의 정풍량 변온도, 순환공조기는 14℃의 변풍량 정온도로 공급하여, 존별로 혼합시켜 변온도 변풍량 제어를 한다. 냉방부하가 줄어들 경우, 외기공조기의 급기온도를 높이지만, 외기공조기 냉방능력(13 W/m²)은 조명부하보다 작게 설정한다. 그리고, 난방부하가 있을 때는 외기공조기의 급기온도를 높이는 방식으로 제어한다.

외기공조기측에서 외기 도입량을 확보하고 있기 때문에, 순환공조기측의 VAV풍량은 0 ~ 100%로 제어할 수 있다(부분적인 난방 요구는 외기공조기 온도 상승과 순환공조기 외기냉방으로 대응). 그 결과, 기존 VAV시스템처럼 급기온도가 재설정되지 않아도 되기 때문에, 부하의 불균형과 존별 온도 설정치의 차이에 대해서도 VAV의 개도제어가 단순화 되어, 실내 온도 제어성이 향상된다.

VAV 20대에 의한 실내온도는 하절기 설정치의 ±0.5℃ 이내로 제어되는 양호한 상황을 확인할 수 있었다. 동절기에는 난방예열에 약한 시간이 걸리기 때문에 하절기에 비하여 제어성이 약간 떨어졌지만, 98%가 설정치의 ±1.0℃ 이내로 제어되었다. 연간 제어율을 확인한 결과, 설정온도와 실내온도의 차이



[그림 5] 존별 외기풍량을 확보하는 변풍량 단일덕트 공조시스템

가 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 이내인 비율은 88%이었으며, $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 이내의 비율은 99%이었다(그림 6의 상단).

습도 제어

일반적인 외기공조기 시스템은 외기온도를 상승시키지 않으면 충분한 가습이 되지 않는다. 반면 SMARTVAV는 순환공조기에 가습기를 설치하였다. 이를 통하여, 외기 가습을 위해 냉방중에도 온수를 사용하는 문제를 개선하고, 높은 가습성능을 갖는 고품화효율 가습기를 다단으로 설치하여, 가습 효과를 향상시켰다.

적용된 가습기는 기화식이므로, 동절기에는 제어 폭이 약간 넓어지지만, 설정치 $\pm 10\%$ (RH) 이내로 제어된다. 즉, 25°C 의 실온에서도 습도 환경이 양호한 50% 전후의 습도 유지가 가능하다(그림 6의 하단).

급기온도 재설정 기능의 제거로 인한 급기풍량 절감

인버터제어 VAV시스템은 이론상 부하비의 3승으로 동력이 감소해야 하지만, 저부하 존이 1개소라도 포함되면, 수시로 급기온도 재설정이 걸려, 급기풍량/송풍동력이 증가한다. 이 문제를 해결하기 위해, 급기온도 재설정 기능을 제거하였다.

사후 성능평가를 위해, 운영 중에 있는 SMARTVAV 공조기의 전력 소비량을 사계절에 걸쳐 측정하였다. 그리고 송풍동력을 비교하기 위해, 급기온도 재설정 을 고려한 시뮬레이션(전체 시간)을 통하여 기존

VAV시스템의 급기풍량과 송풍동력을 산출하였다.

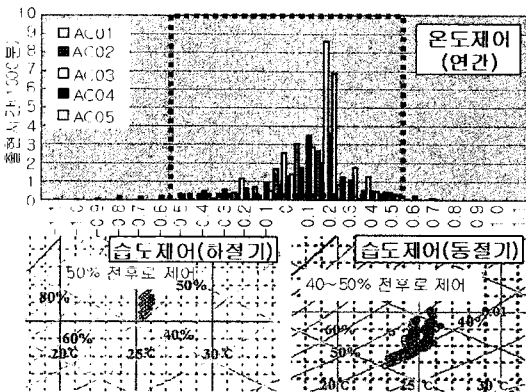
평균 급기풍량은 $10.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 35%가 절감되었다. 평균 전력소비량은 $5.32 \text{ W}/\text{m}^2$, 공조면적당 일차 에너지소비량은 $131 \text{ MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{년}$ 으로 기존 VAV시스템에 비하여 56%($168 \text{ MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{년}$) 절감된 수치이다(그림 7). 공조기 송풍동력은 코일측 냉각부하로 되기 때문에, 외기냉방 처리 가능분을 30%로 보고, 이것을 제외한 70%를 부하로 보면, $43 \text{ MJ}/\text{m}^2$ 의 냉열이 더욱 절감된 것으로 생각되어, 공조면적당 일차 에너지소비량은 $210 \text{ MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{년}$ 절감효과가 있었다고 생각된다.

외기냉방 성능의 개선

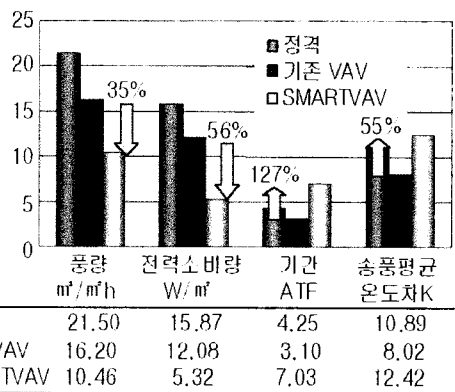
SMARTVAV의 외기냉방 성능

외기온도를 가열하고 가습하는 외기공조기 방식의 경우, 외기온도를 높이지 않고, 직접 실내로 공급해도 문제가 없을 때, 외기공조기에서의 온도상승은 외기냉방 효과의 저감과 순환공조기의 냉각손실이 발생하게 된다. 또한, 외기공조기가 없는 VAV 공조기 방식의 경우, 외기냉방 가능시에도, 난방이나 냉방이 불필요한 존이 발생하므로, 공조기 급기온도를 올릴 수밖에 없어, 외기냉방 효과가 작아진다.

반면 SMARTVAV시스템은 외기냉방시, 순환공조기를 외기냉방공조기로 사용함으로써, 각 존의 외기냉방이 가능하다. 급기온도를 높여야 할 경우, 전열교환기를 통하여 온도를 상승시키고, 난방열원의 사용을 가능한한 제한하였다. 순환공조기는 외기냉방



[그림 6] 제어성 향상 효과



[그림 7] 송풍동력의 절감효과

용으로 외기를 유입시킨 후, 고효율의 가슴기를 사용함으로써, 저온의 외기냉방도 가능하게 하고, 중간기에는 가슴설정을 올려 가슴냉각 효과도 갖게 하였다.

존에서 냉방 요구가 지속되면, 외기냉방용 순환공조기에 외기도입을 하고, 가슴냉각으로 냉방 급기온도(14℃)를 제어한다. 그래도 냉방이 부족하면, 냉수 밸브를 여는 제어를 한다. 냉방부하가 50% 이하일 때는, 외기 노점온도가 10℃ 이하이므로, 거의 외기냉방과 가슴냉각만으로 냉방이 가능하게 된다.

외기냉방과 가슴냉각 효과의 검증

1월~2월에는 90%, 11월 ~ 4월에는 67%, 연간으로는 평균30%의 열원 에너지를 절감할 수 있었다(그림 8). 15대의 공조기(공조 면적 7,548 m²)로 연간 539 GJ의 냉방에너지 절감효과를 확인할 수 있었고, 전 건물에서 3,000 GJ 이상의 냉방에너지 절감효과가 있었다.

포화 효율이 높은 가슴기와 전열교환기의 설치를 통해, 실제 운전에서도 외기온도가 2℃ 이하로 되지 않는 한 외기냉방을 실시하고 있다.

IAQ향상 효과

SMARTVAV 시스템의 순환공조기에 외기를 도입 후, 외기공조기를 정지시켜, 기존 VAV 공조기와 유사하게 만든 후, CO₂ 농도를 비교 측정하였다. 외기 CO₂ 농도가 400 ppm일 때, 실내 CO₂ 농도가 SMARTVAV에서는 700 ~ 900 ppm, 기존 VAV시스템에서는 900 ~ 1200 ppm이었다(그림 9). 즉,

SMARTVAV는 기존 VAV시스템에 비하여, 20% 이상의 CO₂농도 저감 효과가 있었다.

SMARTVAV는 풍량이 줄고 환기회수가 적어지는 경향이 있지만, 풍량이 적을 때에 집진효율이 향상되는 전기집진기의 성질에 의해 분진농도를 0.03 mg/m³ 이하로 저감시킬 수 있었다. 또한 바이러스 까지도 포착 가능하기 때문에, 분진농도 이상의 실내공간 청정효과가 있는 것으로 생각된다. 그리고 코일 부식의 원인이 되는 미세 금속가루를 제거시켜 코일의 내구성을 향상시켰다.

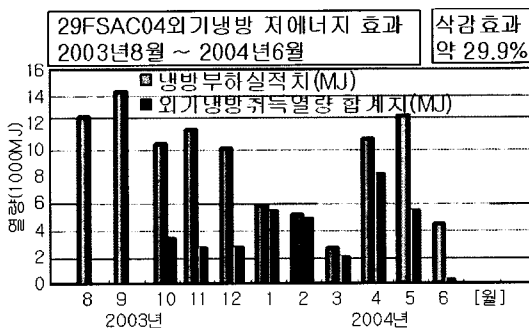
신뢰성의 향상

장비나 팬의 고장에 대비해, 순환공조기 고장시에는 외기공조기의 처리 능력을 상승시켜, 외기공조기에 의해 일정 환경이 지속되게 하였다. 외기공조기의 고장시에는 순환공조기의 외기도입 기능을 통해, 순환공조기가 단독 공조기로서 기능을 한다.

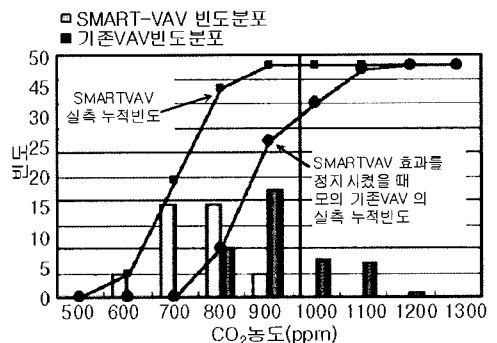
해외와의 업무가 많은 본사건물이므로, 정전시에 있어서도 지속적인 운전이 필요한 업무실이 많아, 향후 부서의 이동이나 변경 등에 대한 대책이 요구되었다. 즉, 건물전체를 비상전원으로 대응하는 것이 곤란한 점을 감안하여 소비 전력이 적은 외기공조기만을 보안 회로로 하고, 중앙 감시로 지정한 실의 공조운전이 지속되도록 하였다. 또한, 자동제어 설비는 UPS 대응을 하고, 정전시에도 공조부기가 조기에 가능한 사양을 적용하였다.

시공성·보수성의 향상

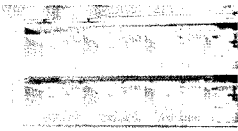
1) VAV, 자동제어반, 동력반, 온도계, 댐퍼, 배관,



[그림 8] 외기냉방 효과



[그림 9] IAQ향상 효과



제어밸브를 공장에서 일체화한 올 인 팩키지로 설치하여, 현장 공사일량을 줄이고 유지관리 포인트를 집약하였다.

- 2) VAV와 제어밸브, 자동제어반을 일체화 하고, 공장에서 배선과 조정을 실시하여, 현장에서의 계측장치 설치공정을 경감시켰다.
- 3) 부품의 일체화에 의해, 각개의 부품 포장재의 절감과 현장시공에 수반되는 자재 및 폐기물의 반출을 경감시켰다.
- 4) 일체화된 공조기를 철골의 크레인 양중시에 먼저 반입하여, 고층건물에서 집중되는 양중공정을 경감시켰다.

5) 공조실 문은 바닥에서 천정까지 전면 개방가능한 자재로 하여, 보수성, 시공성을 향상시켰다.

맺음말

중앙 공조방식의 표준적인 공조시스템인 VAV공조방식의 문제점을 검토하고, 온습도 제어성, 공기질 및 반송동력을 크게 절감하여, 중앙방식의 결점을 개선하였다고 생각된다. 앞으로도, 보다 적응성이 높은 시스템으로 만들기 위해 지속적인 검토 및 연구가 요구된다. 