

# 초고층 공동주택 외기전담 시스템 기반 중앙 공급식 환기시스템의 적정 급기조건 설정

김민휘\*, 김진호\*\*, 권오현\*\*\*, 정재원\*\*\*\*

\*세종대 건축공학과(icanflyhigh@naver.com), \*\*세종대 건축공학과(jino009@naver.com),  
\*\*\*세종대 건축공학과(ohhyn@naver.com), \*\*\*\*세종대 건축공학과(jjwarc@sejong.ac.kr)

## Acceptable Supply Air Conditions of Dedicated Outdoor Air System for a High-rise Apartment Building

Kim, Min-Hwi\*, Kim, Jin-Hyo\*\*, Kwon, Oh-Hyun\*\*\*, Jeong, Jae-Weon\*\*\*\*

\*Dept. of Architectural Engineering, Sejong University(icanflyhigh@naver.com),  
\*\*Dept. of Architectural Engineering, Sejong University(jino009@naver.com),  
\*\*\*Dept. of Architectural Engineering, Sejong University(ohhyn@naver.com),  
\*\*\*\*Dept. of Architectural Engineering, Sejong University(jjwarc@sejong.ac.kr)

### Abstract

The main thrust of this paper is to investigate acceptable supply air conditions of a dedicated outdoor air system (DOAS) for highrise apartment buildings. As for a typical 132-m<sup>2</sup> apartment unit, it was assumed that centralized DOAS-Ceiling Radiant Cooling Panel was installed. Transient behavior and control characteristics of each system were modeled numerically using a commercial equation solver program. The optimized dew point temperature of the DOAS was discussed on the basis of the ASHRAE standard 62.1-2007 and the current Korean ventilation standard for apartments. It was found that the optimized dew point temperature of the DOAS supply air accommodating total latent load of a space is 11-12°C and the appropriate supply air temperature of the DOAS is 11-12°C in cooling period and neutral temperature of 18-20°C in intermediate period.

Keywords : 외기전담시스템(DOAS), 초고층 공동주택(High-rise apartment house), 개별환기(Decentralized ventilation), 중앙환기(Centralized ventilation)

### 1. 서 론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

지난 10여 년간 우리나라는 도시 주거환경

재정비를 위한 효과적인 대안으로 초고층  
공동주택의 계획 및 건설이 매우 활발히 이  
루어졌다. 그 결과 30층 이상의 탑상형 초고  
층 공동주택 또는 주상복합건물은 현재 우리의

접수일자 : 2009년 11월 3일, 심사완료일자:2009년 11월 10일  
교신저자 : 정재원(jjwarc@sejong.ac.kr)

도시 주거문화를 대표하는 하나의 트렌드가 되었으며, 향상된 기밀성 및 단열성을 가진 외피, 고효율 냉난방 시스템 적용 등 어느 때 보다 친환경성과 에너지 성능이 우수한 공동주택들이 들어서고 있다. 특히, 건강한 실내 공기 환경에 대한 관심이 높아지면서 세대마다 필요환기량 확보를 위한 전열교환형 기계식 개별환기장치 설치도 일반화되고 있다.

그러나, 현재의 개별환기장치는 거주자의 주관적 판단에 따라 그 운전여부가 결정되고, 전기요금 증가에 대한 우려 및 사용자의 환기장치 운전에 대한 지식부족 등으로 인해 효과적으로 활용되고 있지 못하는 실정이다.<sup>1,2)</sup>

중앙공급식 환기시스템의 경우 세대마다 충분한 필요환기량의 실질적 확보 및 경제적이고 체계적인 유지관리가 가능한 장점이 있다. 또한, 중앙집중식 냉방도 함께 적용할 경우 각 세대 내에 존재하는 실외기실은 더 이상 필요 없게 되어 세대별 가용면적이 증가된다.

이에 본 연구에서는 현재 북미 및 유럽에서 고효율 중앙공급식 환기시스템으로써 그 적용이 확대되고 있는 외기전담시스템<sup>3)</sup> (Dedicated Outdoor Air System, DOAS)을 국내 초고층 공동주택에 적용할 경우에 필요한 적정 급기조건을 도출하였다. 이를 통해 추후 에너지 시뮬레이션을 통한 연간 냉난방 에너지소비량을 예측하고, 기존 시스템과 상호 비교하는 데 유용한 자료가 될 것으로 예상된다.

## 2. DOAS를 이용한 중앙환기 시스템

### 2.1 외기전담시스템 (DOAS) 개요

DOAS는 Decoupled System의 개념으로 기존에 하나의 공조기가 담당하던 환기기능과 실내온열환경 조절기능을 서로 분리시키는 개념으로써 1990년대 이후 미국과 유럽에서 활발한 연구가 이루어졌다. 즉, 적정 환기

량 공급 및 실내 습도조절 기능은 DOAS가 담당하고 실내 온도조절은 별도의 병렬시스템 (Parallel System)이 담당하는 것이다 (그림 1).

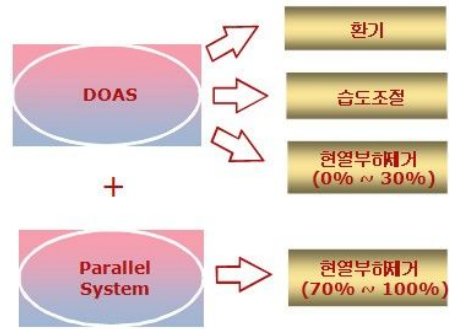


그림 1. DOAS - Parallel System 개념

### 2.2 DOAS의 구성요소

DOAS는 현행 환기량기준에 따른 외기를 도입한 후 실내의 잠열 및 일부 현열부하를 담당 할 수 있도록 도입외기의 온습도를 조절하여 공급하는 환기장치이다. DOAS의 구성은 회전형 전열교환기(Enthalpy Wheel), 냉각코일 (Cooling Coil), 회전형 현열교환기 (Sensible Wheel) 및 급/배기팬으로 되어 있으며 각 구성요소의 주요 역할은 다음과 같다 (그림 2).

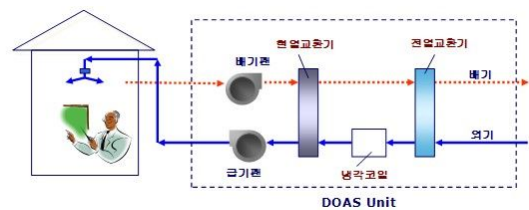


그림 2. DOAS의 구성

회전형 전열교환기는 DOAS 유닛의 외기측과 배기측 사이에 설치되어 여름철 고온다습한 외기에 포함된 열과 습기를 상대적으로 저온건조한 배기측으로 전달하여 냉각코일이 감당해야 할 냉각/제습부하를 줄이고, 겨

울철에는 배기측에 포함된 열 및 습기를 회수하여 차고 건조한 외기측에 전달함으로써 난방 및 가습에 들어가는 에너지를 절약하는 역할을 한다. 열전도율이 높은 알루미늄 박판을 이용하여 벌집처럼 구멍이 많이 나있는 로터를 만들고 표면에 Silica gel 또는 Molecular Sieves와 같은 제습재로 코팅하여 고온다습한 공기측과 상대적으로 저온건조한 공기측 사이를 회전하면서 열 및 습기를 전달한다(그림 3).

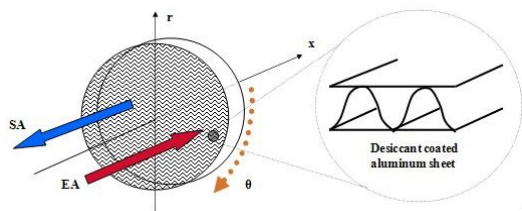


그림 3. Rotary 타입 전열교환기

회전식 현열교환기는 습기전달 없이 열교환만 일어나는 장치로써 전열교환기와는 달리 잠열회수를 위한 제습재가 로터표면에 코팅되어 있지 않다. 냉각코일은 냉수코일이나 직팽식코일 등이 주로 사용된다.

### 2.3 병렬(Parallel) 시스템

DOAS는 필요환기량 만큼 적정 온습도로 처리하여 공급하므로 실내에 현열부하가 높을 경우 부족한 현열냉방 또는 난방능력을 보충하기 위해 DOAS와 병행하여 운전하는 시스템이 필요하다. 우리나라의 주거용 건물에서 겨울철 병렬난방(Parallel Heating) 시스템으로는 기존의 온돌을 그대로 사용할 수 있다. 여름철 병렬냉방(Parallel Cooling) 시스템으로는 기존의 패키지형 에어컨, 팬코일 유닛 등 현열냉방이 가능한 어떤 시스템도 가능하나, 본 연구에서는 DOAS와 함께 사용할 경우 높은 냉방 에너지 절감효과와 향상된 실내 공기질을 얻을 수 있어 북미나 유럽에서 현재 많은 주목을 받고 있는 천장복

사냉방패널을 사용한다고 가정하였다<sup>8,9)</sup>.

## 3. DOAS의 적정 급기조건 산정

DOAS를 공동주택 중앙집중식 환기시스템으로 적용할 경우 얻을 수 있는 가장 큰 장점은 DOAS로부터 각 세대에 현행 환기량 기준이 규정하고 있는 필요환기량을 지속적으로 공급함으로써 건강한 실내 공기질을 유지함과 동시에 세대 내에서 발생하는 모든 잠열을 효과적으로 제거하여 항상 쾌적한 실내 습도를 유지할 수 있다는 것이다. 이를 위해서는 DOAS에서 도입 실내의 노점온도를 실내의 모든 잠열을 제거할 수 있는 적정 수준으로 조절한 후 각 세대로 공급해 주어야 한다.

### 3.1 공동주택 세대면적 별 DOAS 급기량 산정

현행 우리나라 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제11조에 의하면 100세대 이상의 신축 또는 리모델링하는 공동주택 및 주상복합 건물의 경우 시간당 0.7회 이상의 환기횟수를 만족하도록 규정하고 있다<sup>4)</sup>. 따라서 DOAS가 세대별로 공급하는 급기량은 현행 환기량 기준에 따라(표 1)과 같이 산정된다. 한편, 미국 냉동공조공학회(ASHRAE)의 필요환기량 기준인 Standard 62.1-2007에 최근 추가된 3층 이상의 공동주택에 대한 환기량 기준을 적용한 세대면적별 DOAS 급기량도(표 1)에 함께 나타내었다. 이 기준은 3층 이상의 공동주택의 경우 재실자 1인당 9 CMH, 단위바닥면적당 1.1 CMH의 환기를 공급하도록 규정하고 있다<sup>5)</sup>. 세대별 재실자수는 ASHRAE Fundamentals<sup>7)</sup>의 주거용 건물에 대한 부하산정 지침에 따라 침실 1개당 한 명의 거주자가 존재하는 것으로 가정하여 산정하였다. (그림 4)에서 보듯이 주택의 규모가 증가할수록 국내 기준에 의한 환기량과 ASHRAE 기준에 의한 환기량의 차이가 커

지는 양상을 나타내었다.

표 1. 공동주택 세대면적별 필요환기량

바닥 면적, m <sup>2</sup>	평형	실체 적, m <sup>3</sup>	재실 자수, 명	필요환기량, CMH	
				우리나라 기준	ASHRAE Std. 62.1-2007
66	20	158	3	111	100
99	30	238	3	166	136
132	40	317	4	222	181
165	50	396	4	277	218
198	60	475	5	333	263
231	70	554	5	388	299
264	80	634	6	444	344
297	90	713	7	499	390
330	100	792	8	554	435

\* 천장고: 2.4m로 가정

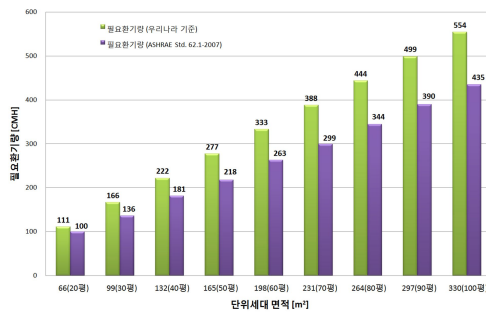


그림 4. 공동주택 세대면적별 필요환기량 비교

3.2 DOAS 공급환기의 냉방기 적정 노점온도 냉방기간 중 DOAS는 각 세대에 필요 환기량만을 공급하여 실내에서 발생하는 모든 잠열부하를 제거하게 되는데 이때 공급환기의 노점온도를 적절하게 조절해 주어야 한다. 우선 공급환기의 절대습도( $W_a$ )를 설계시 고려한 실내의 잠열부하( $Q_L$ )와 필요 환기량( $\dot{V}$ ), 그리고 실내 절대습도( $W_r$ )를 바탕으로 하여 결정한다 (식 1). 공급환기의 절대습도가 결정되면 습공기선도 등을 이용하여 DOAS가 공급하는 환기의 적정 노점온도를 얻을 수 있다.

$$Q_L = 3.0 \times \dot{V} \times (W_r - W_a) \quad (1)$$

여기서,

$Q_L$  = 실내 잠열부하 (W)

$\dot{V}$  = 공급 환기량 (l/s)

$W_r$  = 실내 공기의 절대습도 (g/kg)

$W_a$  = 공급 환기의 절대습도 (g/kg)

일반적으로 주거 내 잠열부하는 재실자, 침기, 그리고 주방 및 욕실 사용 등에 의해 발생된다고 볼 수 있는데, 다양한 일상생활로부터 발생하는 잠열부하는 각 세대마다 다른 생활양식을 가지고 있어 하나의 정형화된 형태로 예측하기는 쉽지 않다.

물론, 기존 문헌들<sup>6)</sup>에서 제시한 사례를 많이 찾을 수 있다. 그러나, 기존연구들 대부분이 실측 기간이 매우 짧고 데이터를 얻은 실측 대상 또한 제한적이며, 무엇보다 비슷한 종류의 일상 활동에 대해 문헌마다 서로 다른 수분 발생량을 제시하는 등 일관성이 결여되어 있는 것도 주거 내에서 발생하는 잠열량을 예측하는데 어려움을 주는 요소라 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 ASHRAE Fundamentals<sup>7)</sup>에서 제시한 주거용 건물의 최대 잠열부하 예측식 (식 2)을 이용하여 공동주택 실내 잠열부하 발생량을 산정하고 이를 바탕으로 DOAS의 적정 노점온도를 산정하였다.

$$Q_L = 20 + 0.22 \cdot A_f + 12 \cdot N_{oc} \quad (2)$$

여기서,

$A_f$  = 실내 바닥면적 (m<sup>2</sup>)

$N_{oc}$  = 재실자 수 (명)

공급환기의 적정 노점온도 산정을 위한 여름철 실내 설정 온도와 상대습도는 각각 24°C, 50%로 가정하였다. 이 경우 실내의 절대습도( $W_r$ )는 9.275g/kg이 된다. 그런 다음 (식 2)를 이용하여 다양한 평형 별 최대 잠열 발생량을 산정하고, (식 1)로 DOAS를 통해 공급되는 환기의 적정 절대습도( $W_a$ ) 및 노

점온도를 구하면 (표 2)에 나타난 공급 환기의 적정 노점온도 값들이 얻어진다.

표 2. DOAS 공급환기의 냉방기 적정 노점온도

바닥 면적, [m <sup>2</sup> ]	잠열 발생량, [W]	필요환기량, [l/s]		공급 환기의 절대습도, [g/kg]		공급 환기의 적정 노점온도, [°C]	
		국내 기준	ASHRAE 기준	국내 기준	ASHRAE 기준	국내 기준	ASHRAE 기준
66	71	31	28	8.50	8.42	11.6	11.4
99	78	46	38	8.71	8.58	11.9	11.7
132	97	62	50	8.74	8.62	11.9	11.7
165	104	77	61	8.82	8.69	12.1	11.8
198	124	92	73	8.82	8.70	12.1	11.9
231	131	108	83	8.86	8.74	12.2	11.9
264	150	123	96	8.86	8.74	12.2	11.9
297	169	139	108	8.86	8.75	12.2	11.9
330	189	154	121	8.86	8.75	12.2	11.9

(표 2)에서 보듯이 국내 환기량 기준과 미국 ASHRAE Standard 62.1을 다양한 세대 면적을 가진 공동주택에 적용했을 때, 여름철 DOAS 공급환기의 적정 노점온도는 11.6-12.2°C 범위인 것을 알 수 있다. 이것은 공급환기의 노점온도를 11-12°C 정도가 되도록 DOAS에서 처리하여 각 세대로 공급하면 여름철에 필요 환기량만으로 실내의 잠열을 24시간 효과적으로 제어 할 수 있는 가능성을 보여준 것이라고 판단된다.

한편, 동절기나 중간기와 같이 외기가 비교적 건조한 계절에는 도입외기의 노점온도를 DOAS로 특별히 조절하지 않더라도 환기의 공급과 필요한 경우 추가적인 가습을 통해 실내 습도를 제어할 수 있으므로<sup>10)</sup> 본 연구에서는 냉방기 공급환기의 적정 노점온도만을 도출하였다.

### 3.3 DOAS 공급환기의 적정 급기온도

DOAS 공급환기의 급기온도(건구온도)는 환기가 담당할 수 있는 실내 현열부하 제거량을 결정한다. 즉, 여름철에 실내온도보다 낮은 온도로 환기를 공급 할 경우 DOAS는 실내 환기뿐만 아니라 현열 냉방효과도 함께

제공하게 된다 (식 3).

$$Q_{S,vent} = 1.23 \times \dot{V} \times (T_r - T_a) \quad (3)$$

여기서,

$$Q_{S,vent} = \text{공급 환기의 현열냉방용량 (W)}$$

$$\dot{V} = \text{공급 환기량 (L/s)}$$

$$T_r = \text{실내 건구온도 (°C)}$$

$$T_a = \text{공급 환기의 건구온도 (°C)}$$

그러나, 냉방기간에는 실내에 존재하는 현열부하가 대체로 커서 DOAS가 공급하는 현열제거효과만으로는 실내 현열부하를 모두 감당할 수 없는 경우가 많다. 따라서 DOAS의 부족한 현열냉방기능을 보충하기 위해 병렬냉방시스템이 필요한데, 이때 DOAS에 의한 현열냉방용량이 클수록 병렬냉방시스템의 필요 냉방용량은 작아진다 (식 4).

$$Q_{S,\parallel} = Q_S - Q_{S,vent} \quad (4)$$

여기서,

$$Q_{S,\parallel} = \text{병렬냉방시스템의 필요 현열냉방용량 (W)}$$

$$Q_S = \text{실내 현열부하 (W)}$$

DOAS로부터 각 세대에 공급되는 환기의 급기온도는 냉각코일 통과 후의 온도 (11-12°C)에서부터 재실자의 온열감에 큰 영향을 미치지 않는 중립온도(Neutral Temperature)인 18-20°C 범위 안에서 필요에 따라 조절할 수 있다. 이때 전열교환기를 거친 외기가 냉각코일에서 적정 노점온도 11-12°C 까지 냉각된 후 별다른 재열(reheating)과정을 거치지 않고 바로 실내로 공급될 경우 공급 환기의 현열냉방효과는 최대가 되어 실내에 설치되는 병렬냉방시스템의 크기를 최소화 할 수 있다.

한편, 냉방부하가 크지 않은 중간기나 난방을 하는 동절기에는 재실자들의 온열감과 실

내 열부하 증감에 큰 영향을 주지 않는 중립 온도 18-20°C를 DOAS의 적정 급기온도로 선정하였다. 이때, 공급환기의 재열에 필요한 열은 DOAS에 설치된 회전식 전열교환기 및 현열교환기에 의해 배기측에서 회수하여 사용하므로 추가의 에너지 소비가 없이 재열을 할 수 있다.

## 6. 결 론

본 연구를 통해 얻어진 DOAS를 이용한 중앙공급식 환기 시스템의 적정 급기조건은 냉방시 DOAS를 통해 실내 잠열부하를 효과적으로 제어하기 위한 공급환기의 적정 노점 온도는 11-12°C로 나타났으며, 급기온도는 냉각코일 통과 직후의 온도에서부터 실온에 가까운 중립온도까지의 범위 내에서 되도록 낮게 유지하는 것이 병렬냉방시스템의 에너지절감에 효과적일 것으로 판단된다.

## 후 기

이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-331-D00657)

## 참 고 문 헌

1. 김형준, 김종현, 박준석, 공동 주택에서 환기설비 도입에 따른 에너지소비 변화에 관한 연구, 한국건축환경설비학회 춘계 학술 발표대회 논문집, 2009, p.170-173.
2. 김진호, 조현, 이종인, 김유신, 정재원, 초고층 공동주택 거주자들의 전열교환형 환기장치 운전방식 현황조사 및 문제점 분석, 대한건축학회논문집, 2009, 25(2), p.249-256.
3. Steven J. Emmerich, and Tim McDowell, Initial Evaluation of Displacement Ventilation and Dedicated outdoor Air Systems for U.S Commercial Buildings, 2005, NISTIR 7244.
4. 건설교통부, 새집증후군 저감을 위한 공동주택 및 다중이용시설의 환기설비 설치기준 해설서. 한국건설기술연구원, 2006.
5. ASHRAE, Standard 62.1-2007: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 2007.
6. 이승연, 건축물에서의 결로의 발생과 방지 대책, 한국건설기술연구원, 1998.
7. ASHRAE, ASHARE Handbook Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 2005.
8. TIAX.. Energy Consumption Characteristics of Commercial Building HVAC Systems, VolumeIII: Energy Savings Potential. TIAX LCC, 2002, Reference No.68370-00.
9. Jeong, J.W., S.A. Mumma, and W.P. Bahnfleth.. "Energy Conservation Benefits of a Dedicated Outdoor Air System with Parallel Sensible Cooling by Ceiling Radiant Panels". ASHRAE Transactions, 2003, 109(2), p.627-636.
10. Jeong, J.W., and S.A. Mumma. "Binary Enthalpy Wheel Humidification Control in Dedicated Outdoor Air Systems". ASHRAE Transactions, 2007, 113(2), p.220-226.