

# 창호형 환기장치에 의한 아파트의 환기성능에 대한 연구

장 현 재<sup>†</sup>, 김 형 진<sup>\*</sup>

홍익대학교 건축공학부, \*홍익대학교 대학원

## A Study on Ventilation Characteristics Made by Thin Line Type Ventilator in an Apartment House

Hyun-Jae Chang<sup>†</sup>, Hyung-Jin Kim<sup>\*</sup>

School of Architectural Engineering, Hongik University, Chungnam 339-701, Korea

<sup>\*</sup>Graduate School, Hongik University, Chungnam 339-701, Korea

(Received November 30, 2010; revision received January 19, 2011)

**ABSTRACT:** Total heat recovery type ventilators that are connected to each room with ducts are mainly installed in Korea, but they raise concern over duct pollution. In this study, indoor environments made by thin line type ventilators installed in dwelling units of apartment houses are investigated by CFD. Results show the case that thin line type ventilators installed in each room—including kitchens—make the best indoor environment that maintains air velocity at under 0.25m/s, and evenly distributes the age of air in all areas.

**Key words:** Ventilator(환기장치), CFD(수치해석), Draught(드래프트), Age of air(공기령)

### 1. 서 론

새집증후군이 사회적인 이슈화가 되고 실내공기질에 대한 국민적 관심이 고조된 상황에서 국토해양부에서는 2006년 2월 13일에 ‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙’을 개정·공포하여 24시간 지속적인 환기가 가능한 자연환기설비 또는 기계환기설비를 설치하는 것을 의무화하고, 환기횟수는 0.7회/h 이상 확보하도록 규정하고 있다. 이에 국내의 아파트 현장에서는 에너지 절약 등을 고려하여 전열교환형 기계환기설비를 중심으로 환기설비가 설치되고 있다. 이들 전열교환형 환기설비는 환기장치와 환기 대상실을 덕트로 연결하여 급·배기하는 형식으로 설치된다. 공동주택에 설치되는 환기장치에

대한 기존의 연구로서, 성기철 등<sup>(1)</sup>은 공동주택용 환기장치의 실내공기질 개선효과에 대한 현장실험 연구에서 환기장치의 풍량과 덕트 연결방식에 따른 실내공기질 개선 효과에 대해 현장 실측을 통해 검토하였다. 신현준<sup>(2)</sup>은 실별 환기 운전이 가능한 사용자 지향형의 구조로 개선함으로써 에너지절약을 통한 운전비의 절감, 공간 선택 운전을 통한 환기 효율의 향상 등 환기설비의 유효성을 높일 필요가 있다고 하였으며, 김석근 등<sup>(3)</sup>은 침실과 거실만 환기시스템을 설치하는 경우, 신선공기가 세대 전체로 도달하지 못하여 실의 오염농도가 높게 나타나며, 실별로 환기 시스템을 설치하는 것이 바람직하다고 제안하였다. 홍진관<sup>(4)</sup>은 환기설비에서의 미생물 오염문제에 대한 조사에서 환기설비의 덕트 내에 쌓인 먼지가 실내로 유입되고 재실공간의 미생물 오염에 대한 발생원이 될 수 있음을 지적하였다.

최근 국내 L사에서는 창문에 설치하는 창호형 환기장치(Fig. 1 참조)를 개발하였다. 창호형 환기장

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-41-860-2614; fax: +82-41-865-2796

E-mail address: changhj@hongik.ac.kr

치는 외기에 면한 각 실 창호의 창틀에 설치되어 덕트연결이 불필요하므로 덕트오염(Fig. 2 참조)의 우려가 없으며, 각 실에서의 개실제어가 가능하다. 또한 전열교환코어를 내장하고 있어 에너지 절약 측면에서도 유리한 특징을 가지고 있다. 그러나 설치 위치에서 수평방향으로 기류가 취출되므로 드래프트(draught)의 발생우려가 있다. 본 연구에서는 L사에서 개발한 환기장치를 대상으로 실내 기류분포, 온도분포, 환기효율에 대해 CFD 시뮬레이션을 실시하여 그 성능을 검토하였다.

2. 분석방법

2.1 대상공간

CFD 시뮬레이션을 위한 대상 공간을 Fig. 3에 나타낸다. 대상공간은 85 m<sup>2</sup>형의 국민주택 규모 아파트로서, 최근의 발코니 확장 추세를 반영하여 발코니 확장형으로 하였다. 대상 아파트는 거실(LR),



Fig. 1 Thin line type ventilator installed on a window frame.



Fig. 2 Pollution in ducts.



Fig. 3 Floor plan of apartment house.

부엌(K), 안방(MR), 방1(R1), 방2(R2)로 구성되어 있다.

2.2 시뮬레이션 조건

해석 대상 아파트를 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 메쉬 분할하였다. 메쉬는 육면체 메쉬로서 메쉬 수는 약 60만 개이다. 해석 프로그램은 FLUENT를 사용하였으며, 난류모델은 표준  $\kappa-\epsilon$  model을 사용하였다. 표준  $\kappa-\epsilon$  model의 지배방정식을 Table 1에 나타낸다. 수렴조건으로서는 residual 값이  $10^{-3}$ 이하(단, 에너지방정식은  $10^{-6}$  이하)인 경우로 하였다.

계절적 해석 조건은 환기장치의 사용빈도가 가장 높을 것으로 예상되는 겨울철을 대상으로 하여 난방에 의해 실내를 20℃로 난방하는 것으로 하였다. CFD 시뮬레이션의 Case와 조건을 Table 2에 나타낸다. 환기량은 환기회수 0.7회/h를 기준으로 하여 150 CMH로 하였으며, 창호형 환기장치는 거실에

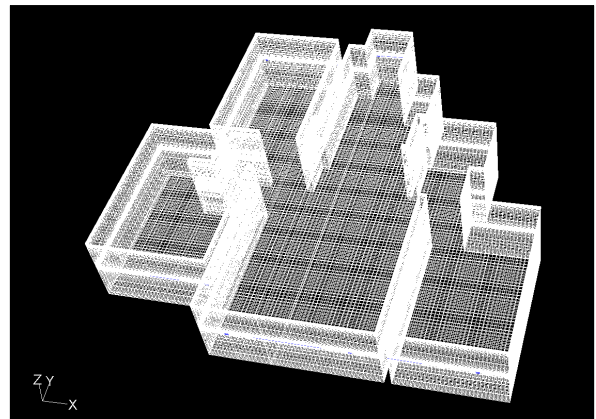


Fig. 4 Meshes for CFD simulation.

Table. 1 Standard  $\kappa - \epsilon$  model

$\partial \overline{U}_i / \partial t + \overline{U}_j \cdot \partial \overline{U}_i / \partial x_j = -1/\rho \cdot \partial \overline{P} / \partial x_i + \nu \partial^2 / \partial x_j^2$	(1)
$-\overline{u'_i u'_j} = \nu_t (\partial \overline{U}_i / \partial x_j + \partial \overline{U}_j / \partial x_i) - 2/3 \kappa \delta_{ij}$	(2)
$\nu_t = C_u K^2 / \epsilon$	(3)
$\partial k / \partial t + \overline{U}_j \partial k / \partial x_j = D_k + P_k - \epsilon$	(4)
$\partial \epsilon / \partial t + \overline{U}_j \partial \epsilon / \partial x_j = D_\epsilon + \epsilon / k \cdot (C_{\epsilon 1} \cdot P_k - C_{\epsilon 2} \cdot \epsilon)$	(5)
$P_k = -\overline{u'_i u'_j} \cdot \partial \overline{U}_i / \partial x_j$	(6)
$D_k = \partial / \partial x_j \cdot ((\nu + \nu_t / \sigma_k) \partial k / \partial x_j)$	(7)
$D_\epsilon = \partial / \partial x_j \cdot ((\nu + \nu_t / \sigma_\epsilon) \partial \epsilon / \partial x_j)$	(8)
* 각 정수는 $C_u = 0.09, \sigma_k = 1.0, C_{\epsilon 1} = 1.44,$ $C_{\epsilon 2} = 1.92, \sigma_\epsilon = 1.3$	

30 CMH×2대, 각 실에 30 CMH×1대 설치하는 것을 기준 조건 Case B로 하였다. Case C는 Case B와 같은 조건에서 취출구의 방향을 상향 30° 취출하였으며, Case D는 부엌에도 30 CMH의 창호형 환기장치 1대를 설치하는 조건으로 환기회수는 0.87회/h이다.

### 3. CFD 해석 결과

#### 3.1 기존환기장치(Case A, Pan type diffuser)

기존 환기장치는 덕트에 의해 연결된 전열교환형 환기장치이다. 디퓨저의 배치는 각 방에 1개씩 창문 근처에 설치하고 거실에는 2개를 창문 근처에 설치하였으며, 부엌의 2개소에서 배기하는 일반적인 형태로 구성하였다. 각 Case별 해석 결과를 Table 3과 Table 4에 나타낸다.

바닥면+1.2 m 높이에서의 수평단면 기류속도 분포는 수평단면에서는 전역에 걸쳐 미국 ASHRAE<sup>(5)</sup>에서 정한 정온 속도기준인 0.25 m/s 이하의 기류속도 분포를 보여 기류로 인한 드래프트는 느끼지 않는 것으로 판단된다. 취출구를 포함한 수직단면에서의 기류속도 분포와 이를 확대한 기류분포는 취출구를 제외하고 전역에 걸쳐 ASHRAE 기준인 0.25 m/s 이하의 기류속도 분포를 나타낸다. 기존의 환기장치에서는 취출구 근처를 제외한 대상 단면의 모든 영역에서 0.25 m/s 이하의 기류속도 분포를 나타내어 드래프트 발생의 우려는 없다.

바닥면+1.2 m 높이에서의 수평단면 온도분포는 실내 평균온도 20°C로 유지되고 있으나, Room 1과 Room 2에서는 18°C 전후의 약간 낮은 온도 분포를

Table 2 Simulation cases and boundary conditions

Cases	Features	Supply/exhaust Air volume [CMH]	Air change rate [h <sup>-1</sup> ]	Supply air velocity [m/s]	Return air velocity [m/s]	Supply air temperature [°C]
Case A	Duct type with pan diffuser	150	0.72	1.45	2.36	12.175
Case B	Thin line type, except kitchen, horizontal supply (30 CMH×5 EA)	150	0.72	2.0	1.19	12.175
Case C	Thin line type, except kitchen 30° upward supply (30 CMH×5 EA)	150	0.72	2.0	1.19	12.175
Case D	Thin line type, kitchen included, 30° upward supply (30 CMH×6 EA)	180	0.87	2.0	1.19	12.175

주) 취출온도는 전열교환형 환기장치의 현열 교환효율 75%를 적용하여 산정.

나타낸다. 이는 Room 1과 Room 2의 창문 면적의 방의 크기에 비해 상대적으로 크기 때문에 발생하는 현상이다.

바닥면+1.2 m 높이에서의 수평단면 공기령 분포는 비교적 고른 공기령 분포를 나타내며 급기구가 설치된 창문근처에 70분 이하 실 안쪽에서는 80분 이하의 공기령을 나타낸다. 배기구만 설치된 부엌은 100분 내외의 공기령을 나타낸다.

### 3.2 창호형 환기장치(Case B, 기준 조건)

창호형 환기장치는 L사에서 개발한 환기장치이다. Case B(기준 조건)는 창호형 환기장치를 거실에 30 CMH×2대, 각 실에 30 CMH×1대 설치되어 수평방향으로 2 m/s의 속도로 취출한 경우이다. 부엌에는 창호형 환기장치가 설치되어 있지 않다. 바닥면+1.2 m 높이(창호형 환기장치의 개구부 높이)에서

Table 3 Results of CFD analysis in Case A and Case B

Cases	Case A	Case B
Air velocity field at a horizontal section		
Air velocity field at a vertical section		
Air velocity field magnified at a vertical section		
Temp. field at a horizontal section		
Age of air distribution at a horizontal section		

의 수평단면 기류속도 분포는 취출구가 수평방향으로 길기 때문에 취출구 근처에 기류속도가 빠른 영역이 다소 넓게 존재한다. 취출구를 포함한 수직단면에서의 기류속도 분포와 이를 확대한 기류분포는 취출공기는 취출구를 떠나 수평방향으로 직진하며 주위의 공기를 유인하여 취출기류의 상하방향에 와류가 형성된다. 취출구 근처에서는 꽤 빠른 풍속분포를 나타내어 드래프트를 일으킬 가능성이 높아 보인다. 창문 안쪽 1.2 m 지점에서 ASHRAE 기준인

0.25 m/s를 상회하는 영역이 취출구의 형태를 따라 수평방향으로 형성되고 있어 드래프트의 발생 가능성이 높은 것으로 판단된다.

바닥면+1.2 m 높이에서의 수평단면 온도분포는 실내 평균온도는 20°C로 유지되고 있으나, 취출기류의 방향을 따라 16°C 전후의 온도 영역이 가늘고 길게 존재한다. 특히 Room 1과 Room 2에서는 거실과 안방에 비해 16°C 전후의 온도 영역이 보다 길게 나타나는데, 이는 취출구가 벽면 근처에 설치되어

Table 4 Results of CFD analysis in Case C and Case D

Cases	Case C	Case D
Air velocity field at a horizontal section		
Air velocity field at a vertical section		
Air velocity field magnified at a vertical section		
Temp. field at a horizontal section		
Age of air distribution at a horizontal section		

코안다 효과가 발생한 때문으로 사료된다. 이는 실내 기류속도 분포와 온도분포 및 공기령 분포를 고려할 때 위치에 따른 편차를 크게 만드는 원인이 될 수 있으므로 바람직한 설치방법은 아니라고 사료된다. 따라서 취출구는 가능한 벽면으로부터 거리가 먼 쪽에 위치하도록 하는 것이 유리할 것으로 사료된다. 수직단면에서의 온도분포는 취출기류의 운동에너지가 수평방향으로 실내 깊숙한 곳까지 살아있기 때문에 16°C 전후의 온도 영역이 가늘고 길게 존재하며 취출기류를 중심으로 상하의 온도성층이 갈리는 분포를 나타낸다. 이는 매우 불안정한 온도분포로서 아파트와 같이 천정고가 낮은 공간에서는 바람직한 온도분포가 아니라고 사료된다.

바닥면+1.2 m 높이에서의 수평단면 공기령 분포는 전체적으로 매우 고른 공기령 분포를 나타낸다. 이는 기존의 환기장치에 비해 취출기류가 수평방향으로 실내 깊숙이 진입하며 주변공기와 잘 섞이기 때문으로 사료된다. Room 1과 Room 2에서는 취출구에 가까운 벽면을 따라 상대적으로 공기령이 낮은 영역이 길게 존재하며, 이는 앞서 설명한 코안다 효과에 기인하는 것으로 판단된다.

### 3.3 창호형 환기장치(Case C, 상향 30°취출)

상향 30° 취출조건 Case C는 기준 조건 Case B와 동일한 조건에서 취출기류의 방향을 위쪽으로 30°만큼 올려서 취출한 경우이다. 바닥면+1.2 m 높이(창호형 환기장치의 개구부 높이)에서의 수평단면 기류속도 분포는 취출기류가 위쪽으로 30°만큼 경사져서 취출되기 때문에 취출구 직후의 영역에서부터 해당 단면의 전 영역에 걸쳐 0.25 m/s 이하의 기류속도 분포를 나타낸다. 취출구를 포함한 수직단면에서의 기류속도 분포와 이를 확대한 기류분포는 기류의 유인효과에 의해 취출기류의 아래쪽에서 유인되는 공기의 영향으로 30°보다 큰 각도로 상향 취출되며, 시계방향의 회전류를 형성하여 취출기류가 천장근처로 취출되어 실 안쪽 및 아래쪽으로 이동한다. 기류속도는 취출구 직후 방을 제외하면 실내 전 영역에 걸쳐 0.25 m/s 이하의 분포를 나타내어 드래프트의 우려는 전혀 없다.

바닥면+1.2 m 높이에서의 수평단면 온도분포는 다른 경우에 비해 비교적 고른 분포를 나타내며, 특히 Room 1과 Room 2에서의 온도분포도 다른 실들에 비해 그리 낮지 않다. 이는 창호형 환기장치로부

터 상향으로 취출된 차가운 공기(12.175°C)가 천장 근처로 취출되어 천장 근처의 공기와 잘 섞여서 실 안쪽으로 흘러가기 때문으로 사료된다. 이는 수평단면 온도분포에서 나타난 바와 같이 실의 상하에 불안정한 온도성층(아래쪽의 온도가 높고 위로 갈수록 온도가 낮아지는 온도성층)을 형성하게 된다. 이는 두한족온(頭寒足溫)의 인체 쾌적조건과 부합되는 현상으로서 온열환경의 관점에서도 매우 바람직한 결과이다. 바닥면+1.2 m 높이에서의 수평단면 공기령 분포는 전체적으로 매우 고른 공기령 분포를 나타낸다. 이는 취출기류가 천장면쪽으로 취출되어 실내 공기와 잘 혼합되면서 실 안쪽으로 이동하는 기류 패턴에 의한 것으로 사료된다. 다만 부엌 쪽에는 환기장치가 설치되어 있지 않기 때문에 공기령 값이 120분 내외로 조금 커진다.

### 3.4 창호형 환기장치(Case D, 부엌에도 설치)

창호형 환기장치를 부엌에도 설치한 조건 Case D는 상향 30° 취출조건 Case C와 동일한 조건에서 부엌의 창문에도 30 CMH 용량의 창호형 환기장치를 1대 설치한 경우이다. 바닥면+1.2 m 높이(창호형 환기장치의 개구부 높이)에서의 수평단면 기류속도 분포는 상향 30° 취출조건 Case C와 마찬가지로 위쪽으로 30° 만큼 경사져서 취출되기 때문에 취출구 직후의 영역에서부터 해당 단면의 전 영역에 걸쳐 0.25 m/s 이하의 기류속도 분포를 나타낸다. 취출구를 포함한 수직단면에서의 기류속도 분포와 이를 확대한 기류분포 및 수직단면에서의 scalar 기류속도 분포는 취출기류의 경향은 상향 30° 취출조건 Case C와 마찬가지로 시계방향의 회전류가 발생한다.

바닥면+1.2 m 높이에서의 수평단면 온도분포 형태는 상향 30° 취출조건인 Case C의 경우와 유사하나 각 방에서의 온도는 약간 높아졌다. 이는 부엌 쪽에 설치된 창호형 환기장치를 통해 취출되는 공기로 인해 난방부하가 약간 커져 온도에 의한 난방열량이 증가한 때문으로 사료된다. 이러한 특성은 바닥면 근처의 온도가 상향 30° 취출조건 Case C에 비해 약간 더 높은 것을 통해 확인할 수 있다. 그러나 상향 30° 취출조건에서 보였던 부엌의 온도구배는 더 완화되었다. 실의 상하에 형성된 불안정한 온도성층(아래쪽의 온도가 높고 위로 갈수록 온도가 낮아지는 온도성층)은 부엌 쪽에서도 잘 형성되어

이상적인 두한족온의 쾌적조건에 매우 잘 부합되는 결과를 나타낸다.

바닥면+1.2 m 높이에서의 수평단면 공기령 분포는 상향 30° 취출조건 Case C에 비해 부역을 포함한 실 전체에서 보다 개선된 결과를 나타내며 70분 전후의 값을 나타낸다.

#### 4. 결 론

1) 기존의 덕트로 연결되는 환기장치는 실내 대부분의 영역에서 정온한 기류속도 기준인 0.25 m/s 이하를 만족하여 기류로 인한 드래프트의 발생 우려는 없으며, 창문 근처는 온도가 낮고 실 안쪽으로 들어갈수록 온도가 높아지는 분포를 나타내었다. 공기령 분포는 비교적 고른 분포를 나타내나, 배기구만 설치된 부역은 100분 내외로 상대적으로 높은 공기령 값을 나타내었다.

2) 창호형 환기장치에서 취출기류가 수평으로 취출되는 기준조건에서는 취출구로부터 1.2 m 지점에서 0.25 m/s를 상회하는 영역이 형성되고 있어 드래프트의 발생 가능성이 높을 것으로 판단되며, 온도분포도 고른 편이 아니었다. 취출구는 가능한 벽면으로부터 거리가 먼 쪽에 위치하도록 하여 실내공기와 잘 혼합되도록 유도할 필요가 있다. 공기령 분포는 전체적으로 매우 고른 분포를 나타내었다.

3) 창호형 환기장치의 상향 30° 취출조건에서는 실내 대부분의 영역에서 0.25 m/s 이하의 정온한 기류속도 분포를 나타내었으며, 상대적으로 낮은 온도(12.2°C)의 취출공기가 실내공기와 잘 혼합되어 실내온도도 고르게 분포되었다. 특히, 수직단면의 온도분포에서는 불안정한 온도성층(아래쪽의 온도가 높고 위로 갈수록 온도가 낮아지는 온도성층)이 형성되어 두한족온의 인체 쾌적조건과 부합되는 결과를 나타내었다. 공기령 분포도 취출공기와 실내공기의 이상적인 혼합에 의해 매우 고른 분포를 나타

내었다. 부역 쪽에서는 환기장치가 설치되어 있지 않기 때문에 공기령 값이 120분 내외로 조금 커졌다.

4) 창호형 환기장치를 부역에도 설치한 조건은 실내 대부분의 영역에서 0.25 m/s 이하의 정온한 기류속도 분포를 나타내었으며, 고른 온도분포와 실의 상하방향으로 불안정한 온도성층(아래쪽의 온도가 높고 위로 갈수록 온도가 낮아지는 온도성층)을 형성하여 이상적인 두한족온의 쾌적조건에 가까운 결과를 나타내었다. 공기령도 70분 전후의 값을 나타내어 상향 30° 취출조건보다 개선된 결과를 나타내었다.

#### 참고문헌

1. Sung, K. C. and Chang, H. J., 2007, Field studies on the improvement of indoor air quality by ventilator in apartment houses, Korea Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 19, No. 2, pp. 202-211.
2. Shin, H. J., 2009, Improvement plan for an effectiveness elevation of apartment house ventilation equipment, Korea Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 38, No. 6, pp. 60-67.
3. Kim, S. K. and Yee, J. J., 2007, The effects to indoor air quality as ventilation system operation in apartment house using CFD simulation, Korea Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 19, No. 2, pp. 142-148.
4. Hong, J. K., 2006, The Contamination problem of microorganism in ventilation systems, lectures on the ventilation part, pp. 13-33.
5. ASHRAE FUNDAMENTAL HANDBOOK. 2005, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA.