

# 실외 급배기구 크기와 이격거리에 따른 교차오염 특성연구

문 용 준, 노 광 철, 오 명 도<sup>†</sup>

서울시립대학교 대학원 기계정보공학과, 서울시립대학교 기계정보공학과\*

## A Study on the Characteristics of Cross-contamination according to the Size and Separation distance of Exterior Air-vents

Yong-Jun Moon, Kwang-Chul Noh and Myung-Do Oh<sup>†</sup>

Graduate school of Mechanical and Information Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

\*Department of Mechanical and Information Engineering, University of Seoul, Seoul, 130-743, Korea

**ABSTRACT:** This study is undertaken to evaluate the characteristics of cross contamination around exterior air-vents. A CFD analysis has been performed to calculate the cross contamination index for five exterior air-vents sizes according to the outdoor air velocity and separation distance of it. From the result of the numerical method, As the outdoor air velocity is increased, the cross contamination index is increased. on the contrary, as the separation distance of exterior air-vents is increased, the cross contamination index is decreased. additionally the cross contamination is affected by the aspect ratio of the size of exterior Air-vents

**Key words:** Cross contamination(교차오염), Cross contamination index(교차오염지표), Separation distance(이격거리), Aspect ratio(중횡비)

### 기 호 설 명

- C : 이산화탄소 농도 [ppm]
- CCI : 교차오염지표
- SD : 이격거리 [m]
- OA : 외기풍속 [m/s]

생활 수준의 향상과 실내에서의 활동시간의 증가에 따라 주거 공간 및 사무공간에서의 보다 안전하고 쾌적한 공기질이 요구되고 있으며, “다중이용시설등의실내공기질관리법”<sup>(1)</sup>이 시행됨에 따라 적절한 실내공기질을 유지하기 위해서 환기기준에 대한 제도적 기준도 마련이 되었다. 이로 인하여 실내에서 발생하는 각종 오염물질을 제거하고, 신선외기를 공급하여 희석시키기 위해 외기를 도입하는 환기시스템이 이용되고 있다.

### 1. 서 론

하지만 외기를 도입하여 환기를 하는 경우 환기시스템의 배기구에서 실외로 토출된 오염된 공기의 재유입여부가 고려되지 않아 실내에서 발생하는 오염물질을 효과적으로 배출하지 못하고 실내로 재유입되는 문제점이 발생하여 환기시스템의 성능 및 실내 환기효율에 영향을 미치게 된

<sup>†</sup>Corresponding author

Tel.: +82-2-2210-2756; fax: +82-2-2210-5110

E-mail address: mdoh@uos.ac.kr

다. 현재 설치되는 천장 덕트형 환기시스템은 덕트 설치공간의 부족과 건물의 형상에 따른 실외 급·배기구의 유연하지 못한 위치선정으로 인하여 급·배기구의 크기, 형상, 이격거리(Separation distance) 등이 제한되며, 실외 급·배기구 주위의 외부기류는 높이에 따른 풍속의 변화와 유동장애로 인한 복잡한 유동형태로 보인다. 따라서 급·배기구 주위에서의 교차오염(Cross contamination)특성을 평가하는데 어려움이 발생한다.

Park<sup>(2)</sup>과 Lee<sup>(3)</sup>는 공동주택과 기존 공동주택에서의 환기시스템을 대상으로 실외 급·배기구 형상에 따른 환기효율을 비교·분석하고, 적정 실외 급·배기구 위치를 제안하였다. No<sup>(4)</sup>는 고층 건물의 중앙부에 위치한 실에 대해 외부기류를 고려하여 개구부의 형태와 위치에 따른 자연환기 특성에 대해 연구하였다.

본 연구에서는 환기시스템의 실외 급·배기구 주위에서의 교차오염특성을 연구하기 위해 CFD를 이용하여 외부기류를 고려한 실외 급·배기구 주위의 유동장을 해석하고, 실외 급·배기구 크기와 이격거리에 따른 환기시스템의 교차오염특성을 비교, 분석하였다.

## 2. 교차오염

교차오염이란 배기구를 통하여 실내에서 배출된 오염된 공기가 외기 도입구를 통해 실내로 유입되는 신선공기로 혼합되어, 실내로 급기되는 공기가 오염되는 것을 말한다.

실외 급·배기구 주위에서의 교차오염은 실내에서 배출된 공기가 실외공간으로 확산되어 외부기류와의 상호영향에 의해 발생된다. 따라서 실외 급·배기구로 공급되는 공기의 교차오염을 줄이기 위해서는 외기풍속 및 급·배기구간의 이격거리와 크기 또는 형상에 따른 교차오염정도의 변화를 분석할 필요가 있다.

본 연구에서는 식 (1)과 같이 열교환기의 유용도(effectiveness)와 유사하게 교차오염정도를 나타내기 위한 지표로 교차오염지표(Cross contamination Index, 이하 CCI라고 함)를 정의하여 교차오염 특성을 분석하였다.

$$CCI = \frac{C_{\text{supply duct, indoor}} (= C_{\text{outdoor}} + x) - C_{\text{outdoor}}}{C_{\text{exhaust duct, indoor}} - C_{\text{outdoor}}} \quad (1)$$

여기서,  $x$ 는 교차오염의 효과로 실내로 유입된 공기의 농도를 나타낸다. 따라서  $x$ 에 따라 교차오염정도의 차이를 보이며, 교차오염지표는  $0 \leq CCI < 1$ 의 범위를 나타낸다.

## 3. 수치해석

### 3.1 수치해석조건

실외 급·배기구 주위에서의 교차오염특성을 연구하기 위해서는 대상공간의 선정이 중요하다. 이는 교차오염이 일어나는 실외 공간에서의 기후 조건, 기류패턴과 실외 급·배기구의 위치, 형상, 크기 등 여러 가지 조건을 고려해야하기 때문이다. 하지만 환기시스템이 설치된 실내와 교차오염이 발생하는 실외를 포함하여 해석영역으로 고려하는 경우 많은 격자와 계산시간이 요구된다.

본 연구에서는 실내공간을 계산영역에서 제외하고 외부기류를 고려한 실외공간을 해석영역으로 설정하고, 실외 급·배기구가 위치한 건물 외부를 실외공간의 한 면으로 포함하였다. 그리고 해석영역인 실외공간은 배기되는 공기의 전면성이 확보되는 장방형의 형태인 16mx10mx16m의 크기로 설정하였다.

오염된 공기가 배출되고 외기가 도입되는 실외 급·배기구는 2차원 장방형의 형태로 해석하였으며, 크기에 따른 교차오염특성을 살펴보기 위해 Table 1과 같이 설정하였다. 실내 급·배기구는 대상공간의 한 면에 정중앙에 위치하고, 좌측면

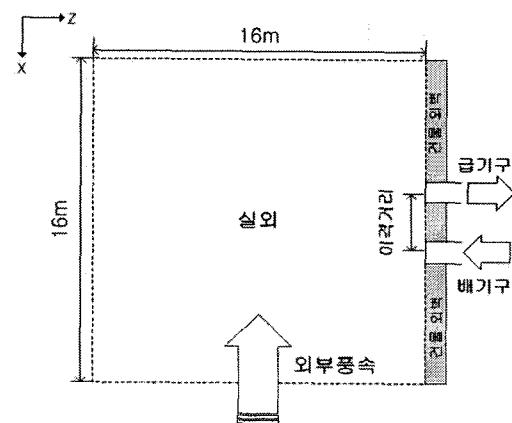


Fig. 1 Schematic diagram for analysis at Y=5m

에 급기구와 우측면에 배기구를 높이방향으로 동일하게 위치하도록 하였다. Fig. 1은 실외 급배기구가 위치한 대상공간의 평면도를 나타낸 것이다. 실외 급·배기구간의 이격거리는 각 급기구와 배기구의 중심에서의 수평거리로 정하였고, 배기구에서의 토출되는 공기는 균일한 속도로 건물외부에서 수직하게 배출된다고 가정하였다. 토출풍속은 체적유량식 (2)로부터 계산된 4m/s를 동일하게 적용하였다.

$$Q = \int_A V \cdot dA \quad (2)$$

여기서  $V$ 는 기류속도,  $A$ 는 단면적이다.

외부기류<sup>(4)</sup>는 대상공간에 대해 횡방향으로 부는 측면풍만을 고려하였고, 외부기류와 실외 배기구에서 토출되는 공기의 유동방향은 Fig. 1과 같다. 기상청자료를 통해 지난 1971년부터 2000년까지의 서울지역의 월평균풍속이 2.4m/s인 것으로 나타났다. 하지만 높이에 따른 풍속의 증가를 고려하여 0~10m/s의 범위로 계산하였다. 오염원은 인체의 호흡으로 인해 발생하는 CO<sub>2</sub>를 대상으로 하였고, 대기의 온도는 266K, 실내에서 토출되는 공기의 온도는 294K로 설정하였다. Table. 1은 본 연구에서 수치해석을 위한 경계조건으로 사용된 제어변수들을 나타낸 것이다.

Table 1 Control variables

Category	Indoor condition	Outdoor condition
Air temperature [K]	294	267
Discharge airflow [CMH]	1000	-
Air velocity [m/s]	4	0, 2, 4, 6, 8, 10
CO <sub>2</sub> concentration [ppm]	1000	400
Separation distance [m]	0.6, 0.8, 1.0, 1.3, 1.6	
Exterior air-vents size [cmxcm]	Type A : 46x15 Type B : 38x18 Type C : 32x20 Type D : 20x32 Type E : 15x46	

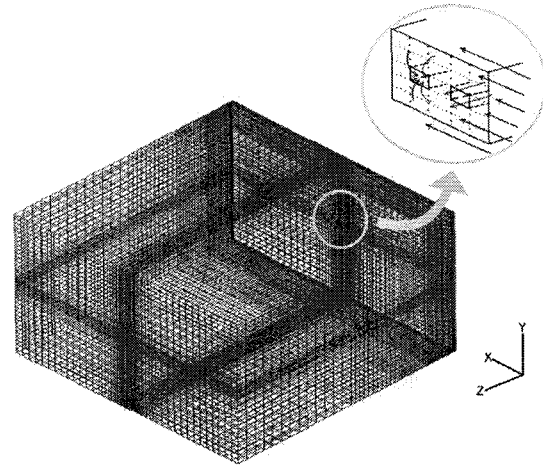


Fig. 2 3-D mesh structure for the numerical calculation

### 3.2 수치해석방법

실외 급·배기구주위에서의 교차오염정도를 분석하기 위해서 상용 CFD코드인 STAR-CD를 사용하였고 SIMPLE 알고리즘을 사용하여 정상상태의 농도장, 속도장을 해석하였다.

본 연구의 해석대상인 실외공간은 실외 급·배기구의 크기와 이격거리에 따라 150,000 ~ 350,000개의 비균일 격자를 사용하였고, 전체적인 해석모델은 Fig. 2와 같다.

실제 자연현상에서의 공기유동이 대부분 난류의 형태를 보이므로 유동해석에서 많이 사용되는 표준  $k-\epsilon$  난류모델을 사용하여 난류계산을 하였고, 수렴판정조건은 각 셀(cell)에서의 지배방정식들의 유수(Residual)의 합이 모두  $10^{-3}$ 이하일 때로 정하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 외기풍속과 이격거리에 따른 교차오염정도의 변화

Table. 2는 수치해석결과로 외기풍속 및 실외 급·배기구의 크기와 이격거리에 따른 교차오염정도를 나타낸 것이다. 값들을 비교해보면 CCI값이 외기풍속이 없는 조건에서의 값 0에서부터 최대 0.56까지의 범위를 나타내었다.

Table 2 Cross contamination index with different outdoor air velocity and separation distance

Category		CCI				
		Type A	Type B	Type C	Type D	Type E
Outdoor air velocity [m/s]	0	0	0	0	0	0
	2	0.01 ~ 0.05	0.03 ~ 0.09	0.02 ~ 0.12	0.04 ~ 0.2	0.06 ~ 0.22
	4	0.16 ~ 0.38	0.21 ~ 0.39	0.21 ~ 0.39	0.2 ~ 0.41	0.21 ~ 0.39
	6	0.29 ~ 0.51	0.31 ~ 0.51	0.3 ~ 0.5	0.28 ~ 0.47	0.28 ~ 0.44
	8	0.34 ~ 0.54	0.34 ~ 0.54	0.32 ~ 0.52	0.29 ~ 0.47	0.28 ~ 0.45
	10	0.35 ~ 0.56	0.33 ~ 0.56	0.32 ~ 0.52	0.28 ~ 0.46	0.27 ~ 0.44
Separation Distance [m]	0.6	0 ~ 0.56	0.01 ~ 0.56	0 ~ 0.52	0 ~ 0.47	0 ~ 0.45
	0.8	0 ~ 0.49	0 ~ 0.50	0 ~ 0.47	0 ~ 0.42	0 ~ 0.37
	1.0	0 ~ 0.44	0 ~ 0.45	0 ~ 0.43	0 ~ 0.37	0 ~ 0.35
	1.3	0 ~ 0.39	0 ~ 0.37	0 ~ 0.36	0 ~ 0.32	0 ~ 0.32
	1.6	0 ~ 0.35	0 ~ 0.33	0 ~ 0.32	0 ~ 0.29	0 ~ 0.28

외기풍속에 따른 교차오염지표의 변화를 살펴 보면 외부기류가 정지하고 있는 경우 CCI값이 0에 가깝게 나타났다. 하지만 외기풍속이 존재하는 경우 실외 급·배기구의 크기와 이격거리에 상관없이 외기풍속이 증가함에 따라 CCI값이 커지는 것으로 나타났다. 이는 배기구에서 토출되는 공기가 외기풍속이 증가함에 따라 외부기류의 진행방향으로 밀려 다시 급기구로 재유입되는 정도가 커지기 때문으로 판단된다. 외기풍속이 2m/s에서 4m/s로 증가하는 경우 대부분 CCI값의 변화가 크게 나타났지만, 6m/s이상에서는 CCI값의 증가폭이 크지 않은 것으로 나타나 외기풍속이 증가함에 따라 교차오염에 미치는 영향이 일정해질 것으로 판단된다.

이격거리에 따른 교차오염지표의 변화를 살펴 보면 외기풍속과 실외 급·배기구의 크기에 상관없이 이격거리가 증가함에 따라 CCI값이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 이격거리가 증가함에 따라 급기구가 배기구로부터 멀어지게 되므로 외부기류의 진행방향을 따라 급기구로 유입되는 오염된 공기의 유입정도가 적어지기 때문으로 판단된다.

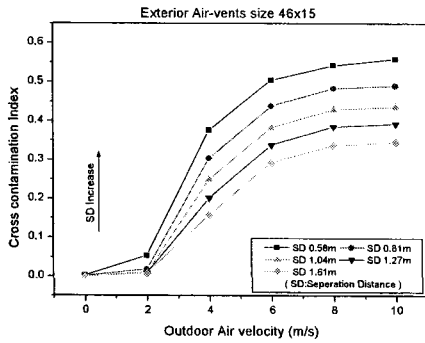
#### 4.2 실외 급·배기구의 크기에 따른 교차오염 정도의 변화

Fig. 3은 실외 급·배기구의 크기가 Type A와 Type E인 경우의 외기풍속에 따른 CCI값의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 Type A와 Type E

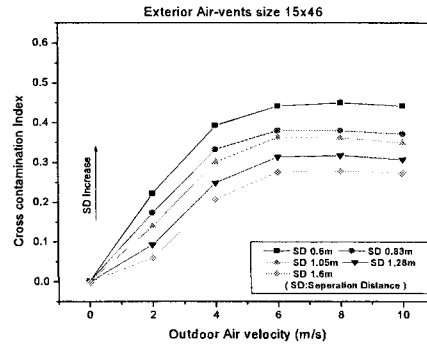
는 외기풍속 및 이격거리에 따른 CCI의 최대값이 각각 최대와 최소일 때의 실외 급·배기구 크기를 나타낸다.

외기풍속이 4m/s이하인 경우 Fig. 3(b)의 CCI값이 Fig. 3(a)보다 크게 나타났고, 외기풍속이 6m/s이상인 경우 Fig. 3(a)의 CCI값이 더 크게 나타났다. 이는 실외 급·배기구가 동일한 단면적을 가졌지만, 종횡비(Asspect ratio)가 달라 횡방향으로 부는 외부기류가 미치는 영향이 다르기 때문이다. Fig. 3(a)는 종횡비가 1:3.07로 Fig. 3(b)의 종횡비 1:0.33에 비해 횡방향의 크기가 더 크다. 따라서 외부풍속이 6m/s이상인 경우 외부기류의 진행방향으로 배기구에서 토출되는 오염된 공기가 밀려 급기구로 유입되는 양이 횡방향으로 크기가 더 큰 Type A에서 많아지기 때문으로 판단된다. 반대로 외기풍속이 4m/s이하인 경우에는 Fig. 3(b)와 같이 종방향의 크기가 큰 실외 급·배기구에서 외부기류에 의한 교차오염정도가 커지는 것으로 나타났다. 이는 이격거리에 따른 교차오염정도를 나타낸 Fig. 4의 경우를 살펴보면 더욱 뚜렷하게 나타난다. 외기풍속이 2m/s인 조건에서 Type A의 경우 Type B에 비해 이격거리에 따른 교차오염지표의 변화가 크게 줄어드는 것으로 나타났다.

Fig. 5와 6는 실외 급·배기구 크기가 Type A인 경우 이격거리가 1m인 조건에서의 외기풍속에 따른 속도장과 농도장이다. Fig. 5(a)와 6(a)를 보면 외기풍속이 2m/s인 조건에서 그림의 좌측에 있는 배기구에서 토출되는 공기가 외부기류를

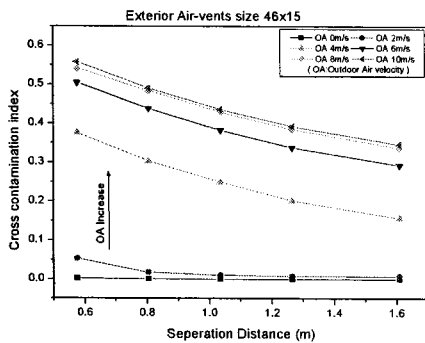


(a) Type A : 46x15

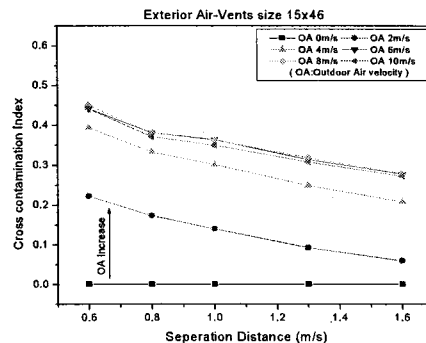


(b) Type E :15x46

Fig. 3 Cross contamination index changes with the different outdoor air velocity



(a) Type A : 46x15



(b) Type B : 15x46

Fig. 4 Cross contamination index changes with the different Separation distance

떨어내고 전방으로 진행하는 것을 볼 수 있다. 이에 따라 토출된 오염된 공기가 주위로 널리 퍼지면서 급기구로 오염된 공기가 유인되는 현상이 일어나지 않아 교차오염이 일어나지 않는 것을 볼 수 있다. 하지만 Fig. 5(b)와 6(b)를 보면 외기 풍속이 4m/s인 조건에서 토출된 공기가 외부기류의 진행방향으로 밀려 오염된 공기가 급기구로 유인되는 현상이 발생하게 된다.

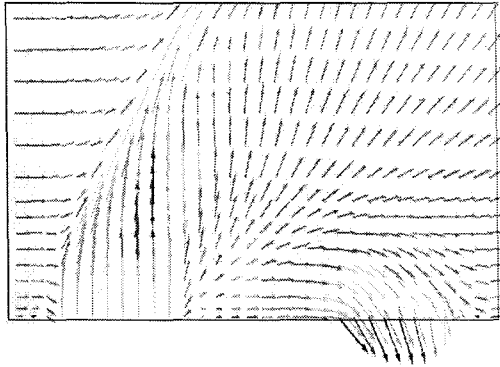
## 6. 결론

본 연구에서는 실외 급·배기구 주위에서의 교차오염특성을 연구하기 위하여 외부기류를 고려

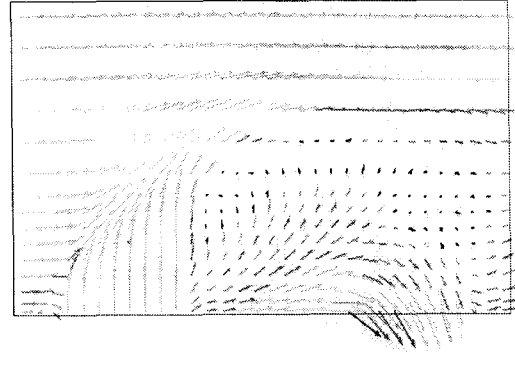
한 대상공간에서 실외 급·배기구의 크기와 이격 거리에 따른 교차오염정도의 변화를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 외기풍속이 증가함에 따라 실외 급·배기구의 크기와 이격 거리에 상관없이 교차오염정도가 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 외기풍속이 6m/s 이상인 경우에는 교차오염정도의 증가폭이 크지 않은 것으로 나타나 외기풍속이 증가함에 따라 교차오염에 미치는 영향이 일정해질 것으로 판단된다.

(2) 실외 급·배기구간의 이격거리가 증가함에 따라 외기풍속과 실외 급·배기구의 크기에 상관없이 교차오염정도가 감소하는 것으로 나타났다.

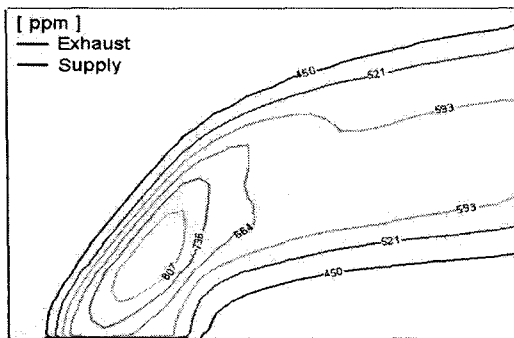


(a) Outdoor air velocity 2m/s

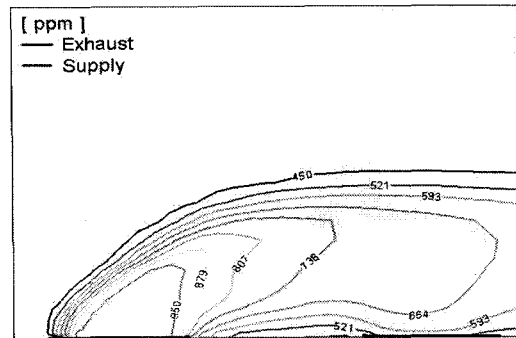


(b) Outdoor air velocity 4m/s

Fig. 5 Velocity distribution around exterior air-vents with the size 46x15 at x-z section



(a) Outdoor air velocity 2m/s



(b) Outdoor air velocity 4m/s

Fig. 6 CO<sub>2</sub> concentration distribution around exterior air-vents with the size 46x15 at x-z section

(3) 실외 급·배기구의 크기에 따라 외기풍속과 실외 급·배기구의 이격거리가 교차오염에 미치는 영향이 다르게 나타났다. 실외 급·배기구 크기의 종횡비에 따라 횡방향으로 부는 외기풍류가, 교차오염에 미치는 영향이 달라지기 때문에 판단된다.

(4) 실외 급·배기구의 크기에 따른 교차오염 정도를 분석한 결과 급·배기구의 횡방향 크기가 46cmx15cm로 가장 큰 Type A에서, 이격거리가 1m이상이고 외기풍속이 2m/s인 조건일 때 교차오염이 거의 없는 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

1. Minister of Environment of KOREA, 2003, The Act of Indoor Air Quality for Multiple-Use Facilities, Minister of Law of KOREA.
2. Park, J. C., Yu, H. K., Cha, J. Y., 2005, A Study on the Improvement of Ventilation Performance in Apartment House According to the Location of Exterior Air-Vents, Journal of the Korean Solar Energy Society, pp 71-79.
3. Lee, J. K., Park, J. C., Rhee, E. K., 2004, A Study on the Ventilation System for the Improvement of IAQ in Existing Apartment Houses, Journal of the Korean Solar Energy Society, pp 181-186
4. No, S. T., Kim, K. S., 2005, A study on the Characteristics of Natural Airflow Through Single-sided Openings with Variable Position and Geometry, Proceedings of the AIK, pp 227-234