

실내 공기질 개선을 위한 환기기술에 관한 연구

장태현† · 조현욱*

(원고접수일 : 2005년 3월 18일, 심사완료일 : 2005년 5월 16일)

A Study on the ventilation Technology for Indoor Air Quality Improvement

Tae-Hyun Chang† · Hyun-Wook Cho*

Abstract : In this research, We'll focus on warm environment and ventilation characteristics when utilizing intake ports, exhaust port and 4-way cassettes for removing heat and polluted air. Four way cassettes have been typical air conditioning units for offices since the multi air-conditioner was introduced. The following installation cases will also be discussed: 1) 4-way cassette's operation without intake ports and exhaust port, 2) Effect of the position of intake port and exhaust ports, 3) cooling air flow, temperature, distribution and local supply index according to the air flow rate from 4-way cassettes.

Key words : Multi air conditioner(멀티 에어컨), Sulfur hexafluoride(SF₆ 가스), Air exchanger effectiveness(공기교환효율)

기호설명		C(0)	Initial concentration [ppm]
A	Area [m ²]	d	Diameter [m]
ACH	Air exchange rate per hour [h ⁻¹]	h	Enthalpy [kJ/kg]
a	Heat quantity per person [kJ/h]	L	Length [m]
C	Concentration [ppm]	m	Mass flow rate [kg/h]
C _e	Concentration of tracer gas at exhaust [ppm]	N	Number
CMH	Cubic meter per hour [m ³ /h]	P	Pressure [N/m ²]
C _P	Concentration of tracer gas at point P [ppm]	Q	Volumetric airflow rate [m ³ /h]
C _p (∞)	Concentration of tracer gas at normal state [ppm]	T	Temperature [°C]
		t	Thickness [m]
		u	Axial Velocity [m/s]
		V	Volume of room [m ³]
		v	Radial Velocity [m/s]
		x	Quality [%]

† 책임저자(경남대학교계자동화공학부), E-mail : changtae@kyungnam.ac.kr, Tel : 055)246-1279

** 경남대산업대학원

Greek Letters

α	Local supply index
ε	Ventilation effectiveness [%]
ε_p	Local mean age of air [%]
τ_n	Nominal ventilation time Constant [sec]
τ_p	Mean age of air [sec]
τ_p	Local mean age of air [sec]
$\psi(t)$	Age frequency distribution
$\Psi(t)$	Cumulative age distribution

Subscript

A	ASHRAE standard
a	Air
e	Exhaust
I	Infiltration
i	Indoor
n	Nominal
O	Outdoor
P	Person occupancy
p	Point
R	Indoor
SA	Supply air
s	Supply

1. 서 론

현대인은 생활의 대부분을 실내에서 보내고 있으므로 실내의 인공적인 환경에 지배받고 있다. 자기정화 기능이 없는 인공 환경 하에서는 에어컨 (air conditioner), 공기조화기 (air conditioning unit) 그리고 공기정화기 등에 의해서 쾌적한 환경이 조성된다. 여기서 쾌적한 환경의 조건으로는 주로 온도 및 습도에 관련한 열 환경, 유해가스 및 분진 등에 관련한 공기질 환경, 음 환경 및 광 환경 등이 있다.

건물의 에너지 소비를 줄이기 위해 고효율의 설

비를 갖추는 것은 물론이고 건물의 밀폐화로 효율적인 에너지 관리가 이루어지고 있다. 그러나 건물이 기밀한 구조가 됨에 따라 자연 환기량이 부족하여 실내공기 환경은 오히려 열악해졌다. 따라서 공조 설비는 공조된 신선공기를 실내에 적절히 공급하고 실내의 열원과 오염원에 의한 오염공기를 신속히 제거하기 위한 환경조절의 최종수단이라는 점에서 그 역할이 전보다 훨씬 중요해지고 있다⁽¹⁾⁻⁽³⁾.

최근에는 에어컨의 보급이 증가되면서 쾌적한 실내공간을 원하는 요구는 더욱 커지고 있으며, 사용자의 개성을 존중하는 생활문화로 변화하면서 빌딩 또는 사무실 전체를 하나의 공간으로 보고 개별공간의 특성을 무시하고 일반적인 공조를 하던 중앙공조방식의 시대에서 다수의 공간으로 나누어 각 공간의 특성에 맞는 공조를 하는 개별공조방식이 도입되고 있다. 대표되는 개별공조방식은 멀티에어컨 (multi air conditioner)이 있으며 멀티에어컨은 실외기 1대에 1대의 실내기가 연결되어 있는 일반적인 에어컨과는 달리 하나의 실외기에 다수의 분리된 실내기가 부착되어 각기 다른 공간에서 그 공간의 특성에 맞는 공조를 할 수 있게 한 공조장치이다. 멀티에어컨방식은 별도의 기계실 및 FCU와 AHU 없이도 실내기와 냉매배관만을 이용하여 각 실내공간을 공조하는 방식이다. 또한 여러 대의 에어컨을 설치하여야 하는 가정 및 사무실에서도 실외기는 1대만 설치하면 되므로 설치면적의 문제를 해결할 수 있는 방식이다⁽⁴⁾.

실내의 온열환경과 환기상태를 예측하기 위하여 실내기류에 관한 연구가 활발히 이루어져 왔다. Sandberg⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾는 공기의 연령과 잔류체류시간, 실내의 국소농도와 평균농도 등을 이용하여 환기 효율을 적용하였다. Offermann⁽⁸⁾은 공기교환효율을 측정할 수 있는 기본적인 방법으로서 SF₆ (sulfur hexafluoride) 가스를 이용한 추적가스 실험방법을 소개하였다. 조동우⁽²⁾는 공조시스템에 의해 실내로 공급된 공기가 효율적으로 실내 재실자에게 전달되는지를 살펴보기 위하여 천장공조 방식, 바닥공조방식 및 데스크탑 공조방식 등 세

가지 공조방식에 대하여 환기효율을 실험적으로 비교하였고, 한화택⁽³⁾은 급기효율과 배기효율의 개념을 제안하여 급기효율은 신선공기가 실내로 적절히 공급 또는 분배되는가를 나타내는 지표이며, 배기효율은 실내에서 발생한 오염물질이 효과적으로 제거되는가를 나타내는 지표라고 하였다.

본 연구에서는 멀티에어컨이 도입된 전형적인 사무실에서 천장형 에어컨과 환기를 목적으로 도입된 급기구 및 환기구를 이용하여 하계 냉방부와 오염공기를 제거시키는 경우에 대하여 온열환경과 환기특성 분석을 통하여 실내 공기질 개선에 기여하고자 한다. 아울러 천장형 에어컨이 운전하지 않는 경우, 급기구·환기구만 있는 경우와 급기구·환기구의 위치, 그리고 천장형 에어컨에서의 토출 풍량에 따른 냉방기류, 온도분포 및 국소 급기지수 등을 비교하여 최적의 환기 조건을 구하고자 한다.

2. 관련 이론

2.1 공기교환효율의 식

공간 내에서 환기성능, 즉 오염물제거와 신선공기의 공급성능에 대한 지표로서 공기교환효율(air exchange effectiveness) ε 이 널리 사용되어지고 있으며 관계식은 아래와 같다⁽¹⁾⁻⁽³⁾.

$$\varepsilon = \frac{\tau_n}{2\tau_p} \quad (1)$$

여기서 τ_n 은 명목 환기시간(nominal ventilation time)이며 τ_p 는 평균공기연령(mean age of air)으로서 그 정의는 각각 다음 식과 같다.

$$\tau_n = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

$$\tau_p = \frac{\int \tau_p dV}{V} \quad (3)$$

명목환기시간은 급기구에서의 외기유량 Q 가 실내공간을 채우는데 소요되는 시간으로서 환기회수의 역수이다. 식(2) 및 식(3)에서 V 는 실내공간의 체적이다. 식(3)에서 τ_p 는 국소공기연령(local mean age of air)이며 급기구를 통하여 유입된 공기가 여러 가지 경로를 통하여 실내의 점 P까지 도달하는 데 걸리는 시간의 기대값(expectation)이다. 국소공기연령을 이용하면 실내공간의 각 위치에서 아래와 같이 정의된 국소급기지수(local supply index) α 를 구할 수 있다.

$$\alpha = \frac{\tau_n}{2\tau_p} \quad (4)$$

어떤 위치에서 국소급기지수가 0.5보다 크다는 뜻은 급기구로 부터 외기가 설계자의 추천시간(명목환기시간)보다 빨리 도달되어 오염물의 배출이 촉진된다는 뜻이다. 반대로 0.5보다 작은 경우에는 오염물의 배출이 늦다는 뜻이다. 국소공기연령 τ_p 는 다음식과 같이 계산할 수 있다.

$$\tau_p = \int_0^{\infty} t\phi(t) dt = \int_0^{\infty} (1 - \Phi(t)) dt \quad (5)$$

여기서 $\phi(t)$ 및 $\Phi(t)$ 는 각각 연령빈도함수(age frequency distribution) 및 누적 연령 분포(cumulative age distribution)이다.

식(5)의 $[1 - \Phi(t)]$ 는 체승법에 의한 추적가스법에서의 농도비를 이용하면 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$1 - \Phi(t) = 1 - \frac{C_p(t)}{C_p(\infty)} \quad (6)$$

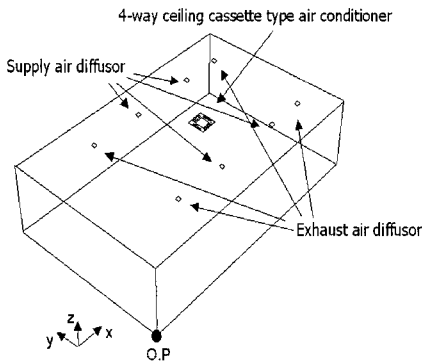
여기서 $C_p(t)$ 는 추적가스발생량이 유지되고 있는 경우, 시간 t일때 임의의 점 P에서 추적가스의 농도이다. 또한 $C_p(\infty)$ 는 정상상태에 도달할 때의 농도를 뜻한다. 러므로 식(5) 및 식(6)에 의해 국소 공기연령은 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_p = \int_0^{\infty} \left(1 - \frac{C_p(t)}{C_p(\infty)} \right) dt \quad (7)$$

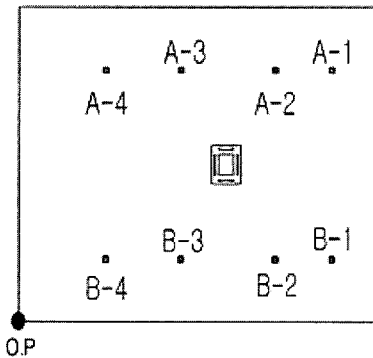
여기서 τ_p 는 국소공기연령, $C_p(t)$ 는 추적가스 발생량이 유지되고 있는 경우, 시간 t일때 임의의 점 P에서 추적가스의 농도이다. 또한 $C_p(\infty)$ 는 정상상태에 도달할 때의 농도를 뜻한다.

2.2 연구 모델

본 연구에서 연구대상인 모형 사무실의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.



(a) Schematic diagram of the model chamber



(b) Locations of supply air diffuser and exhaust air diffuser.

Fig. 1 Outline of the test office room

사무실의 바닥면적 및 층고는 각각 88.1 m² 및 2.7 m이며 그림에 나타난 바와 같이 천장에는 천

장형 에어컨 1대와 각각 4개의 급기구와 환기구가 있다. 천장형 에어컨은 실외를 통해 유입된 열량을 제거하여 쾌적한 온열환경으로 제어하며, 급기구와 환기구는 신선공기의 공급과 오염공기를 배기시키는 역할을 한다. 이후 설명의 편의를 위해 원점(O.P.)을 그림의 왼쪽아래 지점에 정하고, 원점을 기준으로 장축 방향을 x축, 단축 방향을 y축, 그리고 높이 방향을 z축으로 정하였다. 이 사무실의 급배기 환기량은 700 m³/h로서 환기회수는 3.16 회/h 이다.

한편 천장형 에어컨은 작동하지 않고 급기구·환기구만 가동하는 경우와 천장형 에어컨은 작동하고 급기구·환기구의 위치가 변화하는 경우에 따른 실내의 온열환경과 환기특성을 살펴보기 위하여 Table 1에 각각에 대한 조건을 표시하였다.

Table 1 Case of the test condition

Case	4way cassette		diffuser airflow volume	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2	B-3	B-4
	MD	DW									
Case 1	ON	40	700 m ³ /h	EA	SA	SA	EA	EA	SA	SA	EA
Case 2	OFF	-	700 m ³ /h	EA	SA	SA	EA	EA	SA	SA	EA
Case 3	ON	40	700 m ³ /h	SA	EA	EA	SA	SA	EA	EA	SA
Case 4	ON	40	700 m ³ /h	EA	SA	EA	SA	EA	SA	EA	SA
Case 5	ON	30	700 m ³ /h	EA	SA	SA	EA	EA	SA	SA	EA
Case 6	ON	20	700 m ³ /h	EA	SA	SA	EA	EA	SA	SA	EA

* MD : Mode, DW: the Direction of the wind

* EA : Exhaust air, SA: Supply air

Table 1에 나타난 A-1~A-4 및 B-1~B-4은 Fig. 1의 (b)에 나타난 급기구·환기구의 위치를 뜻한다. 본 연구에서는 천장형 에어컨이 작동하고 천장형 에어컨의 주위에 4개의 급기구(A-2, A-3, B-2 및 B-3)가 배치되며 급기구를 통한 환기풍량이 700 m³/h인 조건1을 기준모델로 정하였다. 조건1을 기준모델로 하여 천장형 에어컨이 작동하지 않는 경우를 조건2로, 급기구·환기구의 위치가 다른 경우를 조건3과 조건4로, 마지막으로 천장형 에어컨의 풍향이 바뀌는 경우를 조건5와 조건6으로 정하였다. 여기서 풍향은 천장으로로부터 하향각도를 의미한다.

2.3 국소공기연령 계산

체승법(step-up method)의 경우 사무실 공간에서의 위치와 시간에 따른 추적가스의 농도를 구하기 위한 비정상상태의 농도방정식, 초기조건, 최종조건 및 경계조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho C) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i C) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(-\frac{\mu}{\sigma_i} + \frac{\mu_i}{\sigma_i} \right) \frac{\partial C}{\partial x_i} \right\} \quad (8)$$

$$C = 0; \text{ in all space, at } t = 0 \quad (9)$$

$$C = C_\infty; \text{ in all space, at } t = \infty \quad (10)$$

$$C = C_\infty; \text{ in inlet, at } t > 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial C}{\partial x_i} = 0; \text{ in outlet, at } t > 0 \quad (12)$$

식(8)의 농도방정식에서 C 를 $C_\infty - C$ 로 치환하고, 시간에 대해 0에서 무한대까지 적분한 뒤 초기 및 최종조건을 이용하여 정리하면 다음과 같이 체승법에서의 공기연령을 산정하는 방정식이 유도된다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[u_i \int_0^\infty \left(1 - \frac{C}{C_\infty} \right) dt \right] - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\mu}{\sigma_i} + \frac{\mu_i}{\sigma_i} \right) \frac{\partial}{\partial x_i} \int_0^\infty \left(1 - \frac{C}{C_\infty} \right) dt = 1 \quad (13)$$

이때 식(13)의 경계조건은 다음과 같다.

$$C_\infty - C = 0; \text{ in inlet} \quad (14)$$

$$\frac{\partial(C_\infty - C)}{\partial x_i} = 0; \text{ in outlet} \quad (15)$$

한편, 동일한 모형사무공간에 급기구에서 외기가 유입되면서, 단위체적당 S_c 의 추적가스가 일정하게 발생되어 혼합된 기체가 배기구로 유출되고 있는 정상상태를 고려하자. 이때 모형사무공간내의 추적가스 농도분포를 구하기 위한 정상상태의 농도방정식과 경계조건은 아래 식과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i C) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(-\frac{\mu}{\sigma_i} + \frac{\mu_i}{\sigma_i} \right) \frac{\partial C}{\partial x_i} \right\} + S_c \quad (16)$$

$$C = 0; \text{ in inlet} \quad (17)$$

$$\frac{\partial C}{\partial x_i} = 0; \text{ in outlet} \quad (18)$$

$$S_c = \text{constant}; \text{ in all space} \quad (19)$$

S_c 가 일정하므로 식(16)를 정리하면 아래와 같이 S_c 는 변형될 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[u_i \frac{\rho C}{S_c} - \frac{1}{\rho} \left(-\frac{\mu}{\sigma_i} + \frac{\mu_i}{\sigma_i} \right) \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\rho C}{S_c} \right] = 1 \quad (20)$$

여기서 보면 농도방정식 식(13)과 식(20)는 동일한 형태이다. 또한 경계조건 식(11) 및 식(12)는 식(17) 및 식(18)과 동일하다. 따라서 정상상태 농도방정식인 식(20)에서 $(\rho C/S_c)$ 의 분포를 구하는 것은 정상상태농도 방정식인 식(13)에서 $\int_0^\infty \left(1 - \frac{C}{C_\infty} \right) dt$ 의 공간분포를 구하는 것과 동일하게 되어 결과적으로 식(7)에 의하여 체승법에 의한 국소공기연령의 공간분포가 결정될 수 있다.

2.4 경계조건

본 연구에서는 3차원 사무실모델에서 환기효율을 구하기 위하여 식(20)로 표현되는 정상상태 농도방정식을 풀이하였다. 농도방정식에는 사무실내부의 국소공기속도가 표현되므로 지배방정식과 함께 정의되는 경계조건은 에어컨, 급기구와 배기구 등에서 정의될 수 있으며 경계조건은 Table 2에 제시 하였다.

Table 2 Boundary condition of modeling

mode	out door [°C]	indoor [°C]	air conditioner			ventilation			wall's condition [W/m ²]
			airflow volume [CMM]	airflow angle [°]	dis-charge [°C]	airflow volume [CMM]	airflow angle [°]	dis-charge [°C]	
cooling	33.0	26	29	down 40	12	11.67	down 50	31.8	25.57

본 연구에서는 사무실 공간의 공기유동, 온도분포 및 환기특성을 예측하기 위하여 상용 열유체유동 해석 프로그램인 FLUENT 6.0을 사용하였다.

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

수치해석의 타당성 검증을 위하여 Fig. 2의 환경 시험실에서 실험을 수행하였다. 환경 시험실은 온도, 습도를 조절하여 여름환경과 겨울환경을 구현할 수 있다. 환경시험실내에는 모델주택(사무실 모사공간)이 존재하고 이 모델주택의 개략도 및 에어컨설치위치, 급기구와 환기구의 위치는 Fig.1(a)와 동일하다.

천장에 설치되어 있는 천장형 에어컨 모델은 Fig.3과 같은 인버터 타입의 모델로서 실내온도와 희망온도의 차이가 크면 고주파수로 운전을 하고 실내온도와 희망온도의 차이가 같거나 거의 없으면 그때의 냉방부하에 맞는 주파수로 운전을 수행한다.

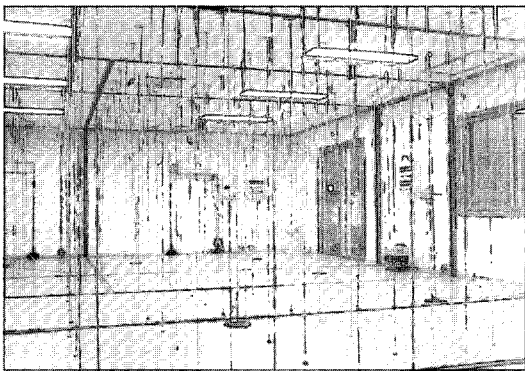


Fig. 2 Photograph of an environmental chamber. (H&C System, 10℃~45℃, 0%~90%RH)

환기량 실험을 수행하기 위해 자체 제작한 전열교환 방식의 환기시스템을 모델주택의 천장에 설치하였고 이것과 실내 천장의 급기구와 환기구는 덕트로 연결하였다. 환기시스템의 급배기 풍량은 700 m³/h로 설계하였으며 4개의 급기구를 통해 균등하

게 실내에 토출 되도록 시스템을 설계 하였다.

온도측정은 공간에 균등하게 설치된 990개의 온도센서를 통해 측정하였으며 기류는 실내 4개소에 기류센서를 설치하여 측정하였다. 환기특성을 살펴보기 위하여 공간의 두 지점에서 국소급기지수를, 배기구가 합체되는 위치에서 공기교환효율을 측정하였으며, 측정 장비로는 INOVA사의 Multi-gas Monitor(Type 1302)를, 측정가스로는 SF6을 사용하였다.

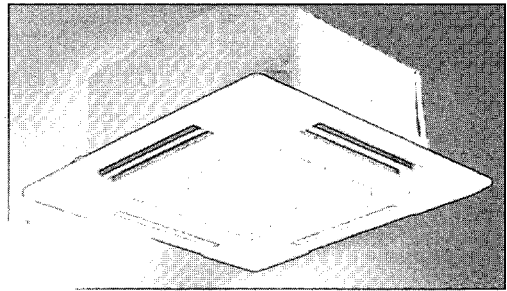
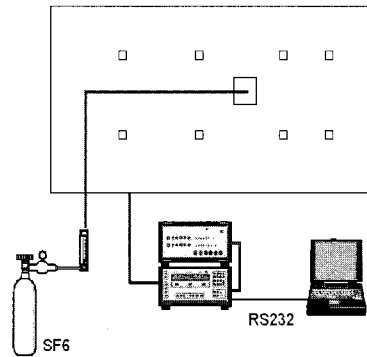


Fig. 3 Photograph of 4-Way ceiling cassette type air conditioner.(LT-400N, 380V, 60Hz)

3.2 실험방법



Tracer gas : SF6
 Method : Step-down method
 Injection Volume : 20 liter
 Measurement Intervals : 3 min
 Total measurement time : 4 hour

Fig. 4 Schematic diagram of the experimental apparatus for measurement using tracer gas.

온도환경은 여름환경을 모사하는 환경으로 수행하였다. 즉, 모델주택의 실외조건에 해당하는 환경

시험실의 온도, 습도조건을 33℃, 50%로 설정하였고, 모델주택내의 에어컨 설정온도는 26℃로 설정하였다. 실험은 약 4시간정도 수행되었으며 후반1시간은 시간에 따라 거의 변화가 없는 정상상태에 가까운 특성을 나타낸다.

공기환경실험은 계강법(step-down method)을 사용하여 수행하였으며 실험방법은 실험 시작전(에어컨과 환기시스템을 가동하기전)에 모형 사무 공간 내에 SF6 가스를 주입한 후 모형 사무 공간 내의 각 구석에 설치된 4대의 선풍기를 가동하여 SF6 가스가 실내에 충분히 고르게 분포한 것을 확인한 후 실험을 시작(에어컨과 환기시스템 가동시작)하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 타당성 검증

수치해석의 타당성 검증을 위하여 기준모델로 선정한 Table 1의 조건1에 대하여 실험을 수행하고 그 결과를 수치해석결과와 비교하였다. Fig. 5에는 타당성 검증을 위하여 실험에서 측정된 4개의 기류 및 9개의 온도 측정위치를 나타내었으며 각각의 측정위치는 높이 1.1 m 지점이다.

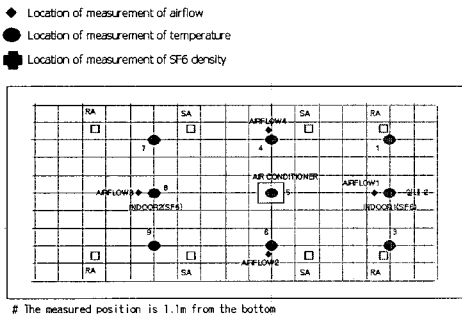


Fig. 5 Schematic diagram for comparative position of locality data.

실험결과와 수치해석결과에 대한 기류 및 온도 비교결과를 Fig 6에 나타내었다. 바닥으로부터 1.1m높이에서 측정된 기류에 대한 비교결과를 살펴보면, 실험 및 수치해석 결과에서 0.2 m/s 이하의 속도를 나타낸다. 실험을 기준으로 한 오차

범위는 ±6.5%이다. 한편, 온도에 대한 비교결과를 살펴보면, 약 25℃ 근처의 온도를 나타내며 실험을 기준으로 한 오차범위는 ±4.6%이다.

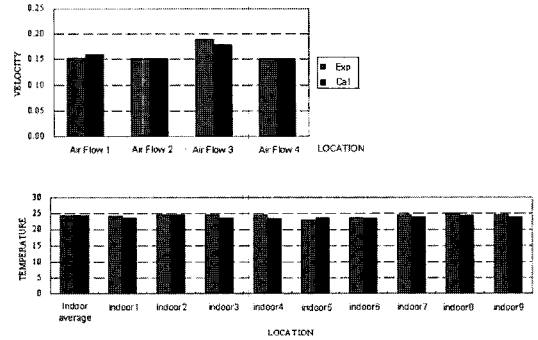


Fig. 6 Comparison of the test result and experimented predicted a between numerical analysis.

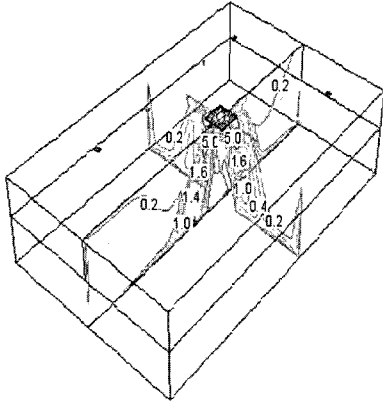
실험과 수치해석의 공기교환효율은 각각 0.431 및 0.432로서 매우 잘 일치한다. 즉 실험의 측정 오차와 수치해석의 절단오차 등을 고려할 때 본 연구의 수치 해석적 방법은 공학적인 응용측면에서 타당하다고 생각된다.

4.2 기준모델에 대한 온열환경 및 환기특성

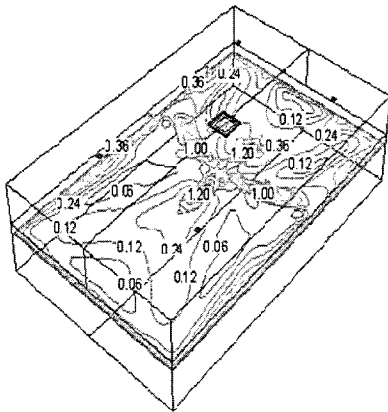
Table 1에서 연구모델의 조건1의 경우, 천장형 에어컨의 중앙단면과 호흡선 높이(바닥으로부터 1.2m)에서의 기류분포를 Fig. 7(a) 및 Fig. 7(b)에 나타내었다. Fig. 7(a)의 기류분포에서 보면, 천장형 에어컨에서 토출된 냉방공기가 하향으로 빠르게 분사됨을 알 수 있다. 토출된 공기는 바닥과 충돌한 후 바닥면과 측벽을 따라 확산된다. 즉 냉방기류의 토출방향과 중력의 방향이 일치함에 따라 토출된 기류는 빠르게 진행된다.

한편 흡입부에서도 비교적 빠른 기류의 흐름을 보이며 토출구의 일부기류가 흡입구로 흡입되는 단락(shot-cut)현상이 발생함을 알 수 있다. 이는 천장형 에어컨의 특성상 토출구와 흡입구가 근접되어 있어서 흡입구 근처에서 발생한 부압으로 인하여 기류의 유인효과를 나타내기 때문이다. 호흡선 높이에서의 기류분포를 Fig. 7(b)에서 살펴

보면, 천장형 에어컨을 중심으로 일부영역에서만 약 1.2m/s의 기류가 형성되며 그 외의 영역에서는 0.25m/s 이하의 기류가 나타남을 알 수 있다.



(a) The air flow distribution at a center.

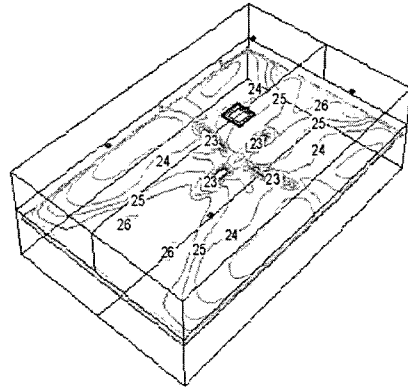


(b) The air flow distribution at a breathing position elevation.

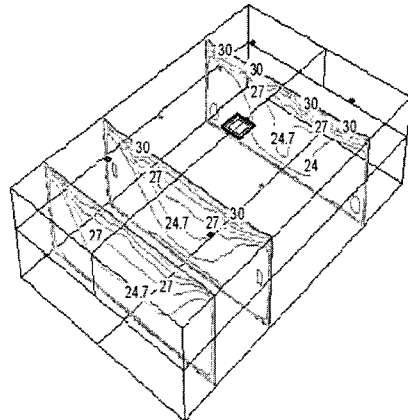
Fig. 7 The result of air flow distribution at a center of 4way cassette section and breathing position elevation for case 1.

즉 천장형 에어컨에서 토출된 기류는 실내 전체를 순환하므로 재실자는 시원한 냉방기류에 접할 수 있을 것이다. 한편 그림에 나타난 바와 같이 천장형 에어컨과 떨어진 일부영역에서 기류의 정체현상이 나타나지만 전체적으로 균일한 기류 분포를 보인다. 마찬가지로 조건1에 대하여 호흡선 높이(바닥으로부터 1.2m) 및 y-z 수직단면에

서의 온도분포를 Fig. 8(a) 및 Fig. 8(b)에 나타내었다.



(a) The temperature distribution at breathing position elevation.

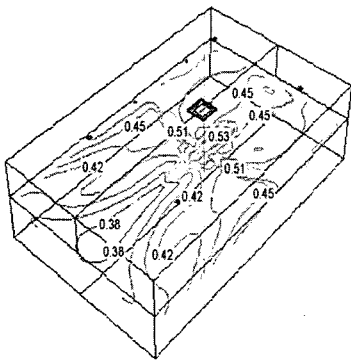


(b) The temperature distribution at X-Y vertical section.

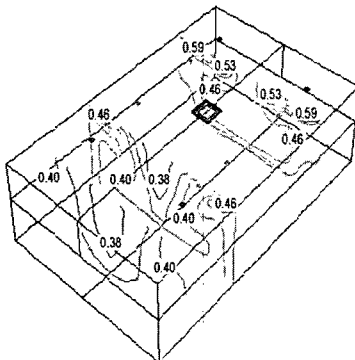
Fig. 8 The result of temperature distribution at a X-Y vertical section and breathing position elevation for case 1.

Fig. 8(a)의 호흡선 높이에서의 온도분포를 살펴보면, 전반적으로 23℃-27℃의 온도분포를 나타낸다. Fig. 8에 나타난 바와 같이 기류가 크게 나타났던 영역에서 23℃를 나타내며 그 외의 영역에서는 약 25℃ 정도로서 설정온도와 유사하게 나타났다. 즉 토출된 냉방기류가 바닥면과 외벽을 따라 확산됨에 따라 비교적 균일한 온도분포를 나

타내며 천장형 에어컨으로 인한 원활한 기류형성으로 인하여 재실자는 쾌적한 온도조건에서 활동할 수 있을 것이다. 한편 바닥과 천장사이의 상하 온도차를 Fig. 8에 살펴보면, 천장의 일부영역에서 30℃의 고온영역이 나타남을 알 수 있다. 이는 급기구에 유입된 신선공기의 온도가 실내의 평균 온도보다 높음에 따라 부력에 의한 열성층화 때문으로 사료된다. 이러한 현상으로 인하여 급기구를 통해 공급된 신선공기가 실내의 기류와 섞이면서 혼합되지 못하며 천장근처를 맴돌다가 배기구로 배출될 것으로 예측된다. 한편 재실자 영역의 온도분포는 26℃ 이하로 유지되며, 외벽과 인접한 근처에서는 공간의 중앙보다 약간 높게 나타나는데 이는 벽면을 통한 벽체부하 때문이다.



(a) The local intake air index distribution at a breathing position elevation



(b) The local intake air index distribution at a X-Z vertical section

Fig. 9 The result of local intake air index distribution at a Y-Z vertical section and breathing position elevation for case 1.

환기특성을 살펴보기 위하여 호흡선 높이와 y-z 수직단면에서의 국소급기지수분포를 Fig. 9(a) 및 Fig. 9(b)에 나타내었다.

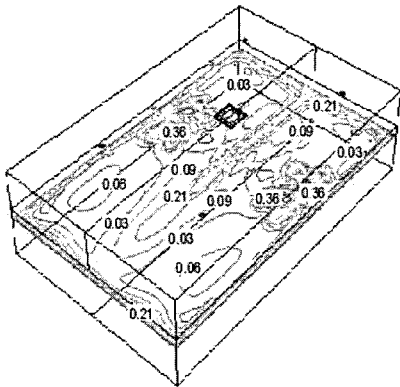
호흡선 높이에서의 국소급기지수분포를 살펴보면, 천장형 에어컨 주위의 국소급기지수는 0.5 이상으로서 신선공기가 원활히 공급됨을 알 수 있으며 외벽쪽으로 갈수록 점차 낮아진다. 특히 기류정체가 발생하는 영역과 x=0m인 외벽근처에서는 최저지수 0.381로서 낮게 나타난다. 즉 이 영역에서는 기류의 재순환 혹은 정체로 인하여 신선공기가 원활히 공급되지 않음을 의미한다.

y-z수직단면에서의 국소급기지수분포를 살펴보면, 천장근처에서의 국소급기지수가 0.59로서 매우 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 동일단면의 온도분포에서 설명한 바와 같이 급기된 신선공기가 실내보다 높은 온도로 인하여 실내공간에 원활히 공급되지 못하고 부력의 영향으로 천장을 따라 근접된 배기구로 이동하기 때문이다. 한편 공기교환효율은 0.432로서 천장의 신선공기를 실내의 기류와 혼합시킬 수 있다면 실내 환기 특성을 향상시킬 수 있을 것이다.

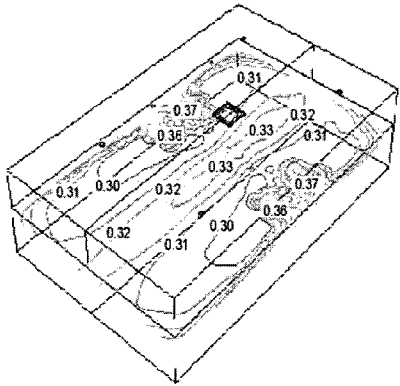
4.3 천장형 에어컨 미동작시 온열환경 및 환기특성

천장형 에어컨이 동작하지 않고 환기만 되는 조건2 경우에 대한 호흡선 높이에서의 기류분포와 국소급기지수분포를 각각 Fig.10(a)와 Fig. 10(b)에 나타내었다.

기류분포를 살펴보면 일부영역에서만 0.2 m/s의 기류를 나타낼 뿐 전체적으로 0.1 m/s 이하의 기류를 나타낸다. 또한 국소급기지수분포를 살펴보아도 최대 0.37을 나타낼 뿐 전체적으로 0.3 정도이며 공기교환효율은 0.322로서 천장형 에어컨이 동작할 때보다 0.11 정도 낮게 나타난다. 이는 급기구에서 유입된 환기풍량은 자체의 모멘텀만으로 유동하게 되므로 실내기류가 거의 정체되어 급기구에서 유입된 신선공기가 실내공간 전체에 적절히 공급되지 못하기 때문이다. 즉 천장형 에어컨은 냉방부하를 제거시키는 주역할 이외에도 급기구에서 유입된 신선공기를 실내공간 전체에 이송시키는 역할을 하는 것으로 사료된다.



(a) The air flow distribution



(b) The local supply index

Fig. 10 The result of air flow distribution and Local intake air index distribution and at a breathing position elevation for case 2.

4.4 급기구와 환기구 위치가 변할 때 온열환경 및 환기특성

기준모델과 비교하여 급기구와 배기구 위치에 따른 온열환경 및 환기특성을 살펴보기 위하여 Table 3에는 호흡선 높이 및 공간에 대한 온도, 국소급기지수 및 공기교환효율을 나타내었다.

Table 3 A characteristic of Intake port and exhaust port location

	height 1.2m average temperature[°C]	indoor average temperature[°C]	height 1.2m local supply index range	air ventilation effective
Case 1	24.43	24.83	0.381 - 0.533	0.432
Case 3	24.38	24.84	0.377 - 0.511	0.413
Case 4	24.29	24.74	0.371 - 0.498	0.398

표에 나타난 온도를 비교하면 급기구·환기구 위치에 따라 약간의 차이를 보인다. 이는 온도분포 특성에서 설명한 바와 같이 급기된 고온의 공기는 천장부근에 머물러 있고 에어컨에서 토출된 냉방공기는 바닥면을 따라 유동하기 때문이다. 한편 국소급기지수와 공기교환효율을 살펴보면, 조건1, 조건3 및 조건4의 공기교환효율은 각각 0.432, 0.413 및 0.398로서 급기구가 천장형 에어컨 근처에 배치된 조건1의 경우가 가장 우수하게 나타났다. 이러한 경향은 국소급기지수 범위를 살펴보면 유사하게 나타난다. 이는 천장형 에어컨의 토출기류가 근접된 급기구에서 공급된 신선외기를 실내공간에 이송시킴으로서 실내기류의 대류효과를 촉진시키는 역할을 하는 것으로 사료된다. 즉, 효과적인 온열환경과 환기특성을 위해서는 천장형 에어컨과 신선공기를 공급하는 급기구와 오염공기를 배출시키는 환기구의 배치가 중요한 역할을 하는 것으로 사료된다.

4.5 천장형 에어컨의 풍향 변화시 온열환경 및 환기 특성

기준모델과 비교하여 천장형 에어컨의 토출풍향의 변화에 따른 온열환경 및 환기특성을 살펴보기 위하여 Table 4에는 호흡선 높이 및 공간에 대한 온도, 국소급기지수 및 공기교환효율을 나타내었다.

표에 나타난 바와 같이 온열환경은 토출풍향에 따라 약간의 차이를 나타내며 토출풍향이 작을수록 즉 수평으로 향할수록 천장에서 나타났던 열성층화현상을 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 한편 환기특성을 살펴보면 토출풍향의 하향각도가 40°, 30° 및 20°로 감소함에 따라 공기교환 효율은 각각 0.432, 0.465 및 0.485로서 신선공기의 공급이 원활함을 알 수 있다. 이는 Fig. 8에 나타났던 바와 같이 열성층화로 인해 천장을 따라 배기되었던 신선공기가 천장형 에어컨의 토출풍향이 수평으로 향함에 따라 토출기류가 천장을 따라 이송되므로 기류의 혼합을 촉진시키는 것으로 사료된다. 특히 토출풍향의 하향각도가 20°인 조건6의 국소급기지수 범위는 0.462~0.520으로서 다른 두 경우와 비교하여 최대값과 최소값의 차이가 작음

로서 거의 완전혼합이 이루어 졌음을 알 수 있다. 즉 적절한 천장형 에어컨의 토출풍향은 공간전체에 신선공기의 원활한 공급을 유도할 수 있다.

Table 4 A Characteristic of discharge air direction

	height 1.2m average temperature[°C]	indoor average temperature[°C]	height 1.2m local supply index range	air ventilation effective
Case 1	24.43	24.83	0.381 - 0.533	0.432
Case 5	24.73	25.02	0.436 - 0.540	0.465
Case 6	24.43	24.83	0.462 - 0.520	0.485

5. 결 론

본 연구에서는 개별공조방식인 멀티에어컨이 설치된 모형 사무 공간에 대한 냉방시의 온열환경과 환기특성을 천장형 에어컨의 동작여부, 급기구·환기구의 위치 및 천장형 에어컨의 토출풍향 변화에 따라 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 천장형 에어컨이 미동작하는 경우와 천장형 에어컨이 동작하는 경우의 공기교환효율은 각각 0.322 및 0.432로서 천장형 에어컨은 냉방부하를 제거시키는 주역할 이외에도 급기구에서 유입된 신선공기를 실내 공간 전체에 분배함으로서 완전혼합을 촉진시키는 역할을 한다.
- 2) 급기구와 배기구의 배치위치를 효과적으로 설계하기 위해서는 급기구를 천장형 에어컨 근처에 배치시키는 것이 실내의 온열환경과 환기특성에 유리하다. 즉 천장형 에어컨에서 토출된 냉방기류는 근처에서 공급되는 신선공기와의 혼합을 증대시키며 천장부근에서의 열성층화 및 신선공기가 실내공간의 순환 없이 배기되는 것을 방지한다.
- 3) 천장형 에어컨의 토출풍향은 하향각도를 작게 할수록, 다시 말해 수평 쪽으로 향하게 설계하는 것이 실내의 온열환경과 환기특성에 유리하다. 즉 토출풍향이 수평 쪽으로 향할수록 천장에 부착하여 기류가 형성되고 이로 인하여 공간의 기류가 적절하게 순환하며 실내공기는 완전혼합 된다는 것을 확인했다.

후 기

본 연구는 경남대학교 2005학년도 학술논문 게재 연구비로 이루어졌습니다.

Reference

- [1] 강태욱, "A Study on Ventilation Performance and Cooling Load Evaluation of a Room Air Conditioner for Comfort Control", 부산대학교 박사학위 논문, 2002.
- [2] 조동우, "Comparison of age of air and air change effectiveness between supply diffuser types", 공기조화 냉동공학회 논문집, 제11권 제1호, pp. 117-124, 1999.
- [3] 한화택, 서서영, 김명호, 김영일, "Ventilation effectiveness measurements utilizing a tracer gas in an under floor air conditioning space", 공기조화 냉동공학회 논문집, 제10권 제5호, pp. 610-618, 1998.
- [4] 황일남, 장세동, 조관식, 멀티에어컨의 특징 및 선정방법, 한국설비기술협회, 제4호, 2001.
- [5] Sandberg, M., "What is ventilation efficiency?", Building and Environment, Vol. 6, No. 2, pp. 123-135, 1981.
- [6] Sandberg, M., "Ventilation efficiency as guide to design, ASHRAE Transactions Part 2B", American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Vol. 89, pp. 455-479, 1983.
- [7] Sandberg, M., "The use of moments for assessing air quality in ventilated rooms", Building and Environment, Vol. 18, No. 4, pp. 181-197, 1983.

- [8] Offermann, F. J., "ASHRAE Standard 129 Standard method of measuring air change effectiveness : Initial test result", 8th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Vol. 1, pp. 206-211, 1999.
- [9] Y. D. Choi, S. D. Park, J. S. Woo, and C. S. Tae, "A Study on the optimum design of axial rotary sensible heat exchanger for the heat recovery of exhaust gas", SAREX, Vol 3, No. 2, 1991.
- [10] M. C. Cho, J. H. Jung, J. H. Koo, T. W. Kang, Y. I. Seo, K. G. Lee and J. K. Lee, "A Study of Ventilation Effectiveness with Three Type Mechanical Ventilation Systems Using Tracer Gas", Proceeding of the SAREK '99 Winter Annual Conference (II), pp. 328-332, 1999.

저 자 소 개



장태현 (張泰鉉)

1942년 2월생. 1969년 동아대학교 기계공학과 졸업. 1971년 동대학대학원 기계과 졸업(공학석사). 1991년 12월 University of Wales(Swansea, U.K.) 대학원 기계공학과 졸업(Ph.D), 2001년 5월 제6차 ASV6(Asian Symposium on Visualization) 조직위원장 역임, 공조·냉동기계 기술사, 현재 경남대학교 기계자동화공학부 교수



조현욱 (趙顯旭)

1967년 8월생. 1992년 2월 부산대학교 기계설계공학과 졸업. 2005년 2월 경남대학교 산업대학원 기계공학과 졸업(공학석사), 1994년 5월~현재 LG전자 DAC연구소 재직