

실내 공기질 평가를 위한 2구획 모델의 개발

조 식 호·양 성 환*·이 봉 현**·정 성 옥***·이 병 호***
지산대학 산업위생과·마산대학 자동차과·부산대학교 화학과·인제대학교 환경학과
(1998년 10월 22일 접수)

Development of the Two-Zone Model to Estimate the Air Quality in Indoor Environments

Seok-Ho Cho, Sung-Hwan Yang*, Bong-Hun Lee**, Seong-Ug Jeong***, and Byung-Ho Lee***

Dept. of Industrial Hygiene, Jisan College, Pusan 609-757

*Dept. of Automotive Engineering, Masan College, Masan 630-729

**Dept. of Chemistry, Pusan Nat'l Univ., Pusan 609-735

***Dept. of Environmental Science, Inje Univ., Kimhae 621-759

(Manuscript received 22 October 1998)

The well-mixed room model has been traditionally used to predict the concentrations of contaminants in indoor environments. However, this is inappropriate because the flow fields in many indoor environments distribute contaminants non-uniformly, due to imperfect air mixing. Thus, some means used to describe an imperfectly mixed room are needed. The simplest model that accounts for imperfect air mixing is a two-zone model. Therefore, this study on development of computer program for the two-zone model is carried out to propose techniques of estimating the concentration of contaminants in the room. To do this, an important consideration is to divide a room into two-zone, i.e. the lower and upper zone assuming that the air and contaminants are well mixed within each zone. And between the zones the air recirculation is characterized through the air exchange parameter. By this basic assumption, the equations for the conservation of mass are derived for each zone. These equations are solved by using the computational technique. The language used to develop the program is a VISUAL BASIC.

The value of air exchange coefficient(f_{12}) is the most difficult to forecast when the concentrations of contaminants in an imperfectly mixed room are estimated by the two-zone model. But, as the value of f_{12} increases, the air exchange between each zone increases. When the value of f_{12} is approximately 15, the concentrations in both zone approach each other, and the entire room may be approximately treated as a single well-mixed room. Therefore, this study is available for designing of the ventilation to improve the air quality of indoor environments. Also, the two-zone model produces the theoretical base which may be extended to the theory for the multi-zone model, that will be contributed to estimate the air pollution in large enclosures, such as shopping malls, atria buildings, airport terminals, and covered sports stadia.

Key words : two-zone model, imperfectly mixed room, air exchange coefficient

1. 서 론

많은 사람들은 하루 중 대부분의 시간(약 80% 이상)을 가정, 일반 사무실, 실내 작업장, 공공건물, 지하시설물, 상가, 음식점, 자동차, 지하철 등의 실내환경 내에서 보내고 있다. 이러한 실내공간은 에너지 절감률을 높이기 위해 점차 밀폐화 되고 있으며, 환기를 위한 보충용 공기를 공급하는 수단으로 재순환 공기의 사용이 증가되고 있다. 따라서, 실내환경은 그 오염이 가속화되어 실내 거주자의 건강에 각종 위해 요인으로 작용하고 있다. 이러

한 관점에서 실내환경 내의 공기질에 대한 중요성은 실외대기보다 오히려 크다고 할 수 있을 것이다. 그럼에도 불구하고, 대기오염에 대한 사회적 인식에 비해 실내환경오염에 대한 인식은 매우 부족한 실정이었다.

하지만, 전반적인 생활수준이 향상되면서 쾌적한 실내환경에 대한 요구가 점점 높아지고, 1970년대에 들어서면서 구미 각국에서는 건강문제와 관련하여 실내 공기질의 중요성이 새롭게 인식되기 시작하였다(Wadden 등, 1983). 특히 Shair 등(1974)이 실내농도를 실외농도와

관련시킨 이론적 모델에 관한 연구결과를 발표한 후, 실내 공기질 모델(IAQM)이 많은 연구자들의 관심의 대상이 되어 왔다(Sparks, 1988 ; Tichenor 등, 1990 ; Hayes, 1991 ; Jayjock 등, 1995). 그러나, 이들 연구의 대부분은 실내 오염농도가 균일한 분포형상을 나타낸다는 가정하에 만들어진 완전 혼합실 모델(well-mixed room model 또는 perfectly mixed room model)에 기초하고 있으며, 불완전 혼합의 경우에도 혼합계수(mixing factor)의 개념을 완전 혼합실 모델에 도입하여 해석하고 있으므로, 그 연구 결과들은 부적절한 편이 많았다. 따라서, 혼합계수의 도입 없이 불완전 혼합실을 해석하기 위한 모델이 관심의 대상이 되었다. 이에 관한 연구로는 Skaret(1986), Heinsohn(1991), Nicas(1996) 등의 연구 결과가 있다. 그러나, 국내에서는 정장표 등(1994)의 실내 공기질 모델의 민감도를 분석한 연구 등이 있을 뿐, 전반적으로 IAQM에 관한 인식이 부족하며, 더구나 불완전 혼합실에 대한 2구획 모델에 관한 연구는 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 불완전 혼합실에서의 실내 공기질 평가를 위한 이론적 예측기법의 필요성에 따라 가장 간단한 모델인 2구획 모델(two-zone model)에 관한 컴퓨터 프로그램을 개발하고, 이 모델에 의해 오염농도를 예측하고 평가하는 방법을 제시하고자 한다. 이를 위해, 1개의 불완전 혼합실을 공기와 오염물질이 비교적 잘 혼합되어 있다고 생각되는 2개의 구획으로 나누고, 구획 사이에서의 공기의 재순환을 설명하는 수단으로 공기 교환계수(air exchange coefficient)의 개념을 도입한다. 이러한 기본적인 가정에 의해 각 구획에 대한 질량평형 방정식을 유도해 내며, 이들 방정식의 해를 수치적으로 구하는 기법을 사용하고자 한다. 이 때, WINDOWS 환경에서 사용 가능한 VISUAL BASIC 언어가 컴퓨터 프로그램의 개발에 사용된다.

2. 2구획 모델

2.1 모델 이론

실내 공기질을 평가하는 데는 오염농도를 직접 측정하여 평가하는 것이 가장 바람직하지만, 측정에는 많은 제약이 따르기 때문에, 실내 오염농도를 예측하기 위한 이론적 모델링 기법에 대한 관심이 높아지게 되었다. 실내 오염 분야에서 전통적으로 사용되어 온 IAQM은 완전 혼합실 모델이었다. 이 모델은 오염물질이 전 실내공간을 통해 빠르게 확산되어 회석공기와 잘 혼합됨으로써 실내의 모든 공간상의 위치에서 오염농도가 균일한 분포형상을 나타낸다는 가정으로부터 출발한다.

하지만, 혼합은 매우 복잡한 현상이기 때문에 완전혼합은 잘 설계된 특별한 경우를 제외하고는 아주 드물며, 대부분의 경우 실내환경은 공간상의 위치에 따라 변하는 비균일 오염농도분포를 나타내는 불완전 혼합실이며, 이러한 불완전 혼합실을 설명하기 위해 종종 혼합계수의 개념을 도입하고 있으나, 여전히 완전 혼합실 모델을 수정하여 사용하고 있다. 이러한 방법은 유효환기량의 평가에는 비교적 적절한 데이터를 제공하지만, 실내농도의 평가에는 부적절한 실정이다. 그러므로, 불완전 혼합실

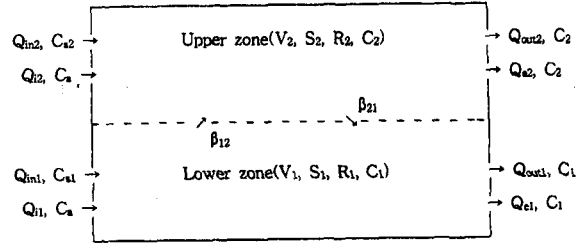


Fig. 1. The two-zone model.

을 혼합계수의 도입 없이 해석하기 위한 모델이 필요하며, 이에 대한 가장 간단한 모델은 2구획 모델이다. 이 모델의 이론적 검토를 위해 먼저 Fig. 1과 같이 1개의 불완전 혼합실을 공기와 오염물질이 비교적 잘 혼합되어 있다고 생각되는 2개의 구획, 즉 하부구획(구획1)과 상부구획(구획2)으로 나눈다. 이 때 하부구획은 거주자가 활동하는 영역에 되도록 한다.

실내의 전체 체적 V에 대한 구획1의 체적비율을 h라 하면, 각 구획의 체적 V1과 V2는 각각 다음과 같다.

$$V_1 = hV \tag{1}$$

$$V_2 = (1 - h)V \tag{2}$$

각 구획에 대해, 유입 및 유출 환기량과 누입 및 누출량을 설명하기 위한 수단으로써 실내 전체환기량 Q에 대한 환기비율을 나타내는 인자 x1, x2, y1, y2, i1, i2, e1, e2를 도입한다. 구획1과 구획2에서의 기계적인 유입 환기량 Qm1과 Qm2는 각각

$$Q_{m1} = x_1 Q \tag{3}$$

$$Q_{m2} = x_2 Q \tag{4}$$

이며, 누입량 Q11과 Q12는

$$Q_{11} = i_1 Q \tag{5}$$

$$Q_{12} = i_2 Q \tag{6}$$

이다. 이 때 실내 전체환기량 Q는

$$Q = Q_{m1} + Q_{m2} + Q_{11} + Q_{12} \tag{7}$$

으로 표시되므로 식(3)~(6)을 식(7)에 대입하여 정리하면, 다음 식이 된다.

$$x_1 + x_2 + i_1 + i_2 = 1 \tag{8}$$

같은 방법으로 구획1과 구획2에서의 기계적인 유출 환기량 Qout1과 Qout2 및 누출량 Qe1과 Qe2는 각각 다음과 같다.

$$Q_{out1} = y_1 Q \tag{9}$$

$$Q_{out2} = y_2 Q \tag{10}$$

$$Q_{e1} = e_1 Q \tag{11}$$

$$Q_{e2} = e_2 Q \tag{12}$$

이 때 실내 전체환기량 Q는

$$Q = Q_{out1} + Q_{out2} + Q_{e1} + Q_{e2} \tag{13}$$

으로도 표시되므로 식(9)~(12)를 식(13)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$y_1 + y_2 + e_1 + e_2 = 1 \tag{14}$$

또한, 실내의 전 오염물질 발생량 S에 대한 구획1에서의 발생비율을 g라 하면, 각 구획에서의 발생량 S1과 S2는 각각 다음과 같다.

$$S_1 = gS \tag{15}$$

$$S_2 = (1 - g)S \tag{16}$$

Table 1. Room ventilation and source data

Room volume(V)	250m ³
Ventilation rate(Q)	645m ³ /hr
Periods when RP is generated	9:00 a.m. - noon 2:00 - 4:00 p.m.
RP generating rate(S)	410mg/hr
Deposition rate(K)	0.05hr ⁻¹
Outdoor air concentration(C _a)	0.05mg/m ³

오염물질의 실내 소실량 R은 종종 미지수로서, 그 부분만큼 편 값을 순수한 발생량으로 취하는 경우도 많다. 그러나, 많은 오염물질들의 소실량은 보통 농도의 1차식으로 표시되는 경향을 가진다. 이런 경우에는 실내 소실량은 침착률 K와 실내체적 V 및 실내농도 C의 함수로 나타낼 수 있다. 즉,

$$R = KVC \quad (17)$$

이며, 각 구획내의 소실량 R₁과 R₂는 각각 다음과 같다.

$$R_1 = K V_1 C_1 \quad (18)$$

$$R_2 = K V_2 C_2 \quad (19)$$

여기서, C₁과 C₂는 각 구획의 실내농도이며, K는 폐포침착성 입자(RP)의 경우 0.05h⁻¹, NO₂의 경우 0.82h⁻¹, O₃의 경우 3.48h⁻¹이며, CO, CO₂, NO 등의 경우는 통상 0으로 잡는다(Wadden 등, 1983).

또한, 구획 사이에서 공기의 재순환을 설명하고 공기 유동량을 정량화하는 수단으로 공기 교환계수 f₁₂와 f₂₁을 도입함으로써 공기교환량 β₁₂와 β₂₁을 구할 수 있다.

$$\beta_{12} = f_{12}Q \quad (20)$$

$$\beta_{21} = f_{21}Q \quad (21)$$

한편, 각 구획에 대해, 공기에 대한 질량평형 방정식을 적용하면, 구획1에서는

$$Q_{m1} + Q_{i1} + \beta_{21} - Q_{out1} - Q_{e1} - \beta_{12} = 0$$

즉, 식(3), (5), (9), (11)과 식(20), (21)에 의해

$$x_1 + f_1 + f_2 - y_1 - e_1 - f_{12} = 0 \quad (22)$$

이고, 구획2에서는

$$Q_{m2} + Q_{i2} + \beta_{12} - Q_{out2} - Q_{e2} - \beta_{21} = 0$$

즉, 식(4), (6), (10), (12)와 식(20), (21)에 의해 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$x_2 + f_2 + f_1 - y_2 - e_2 - f_{21} = 0 \quad (23)$$

또한, 각 구획에서의 오염물질에 대한 질량평형 방정식은

$$V_1(dC_1/dt) = S_1 + Q_{m1}C_{a1} + Q_{i1}C_a + \beta_{21}C_2 - \beta_{12}C_1 - Q_{out1}C_1 - Q_{e1}C_1 - R_1 \quad (24)$$

$$V_2(dC_2/dt) = S_2 + Q_{m2}C_{a2} + Q_{i2}C_a + \beta_{12}C_1 - \beta_{21}C_2 - Q_{out2}C_2 - Q_{e2}C_2 - R_2 \quad (25)$$

이다. 여기서, C_{a1}, C_{a2}는 각 구획의 유입환기(공급공기)의 농도, C_a는 외기농도이며, t는 시간을 나타낸다. 식(24)와 (25)에 식(1), (2)와 식(3)~(6), 식(9)~(12), 식(15), (16), 식(18)~(21)을 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$hV(dC_1/dt) = gS + x_1QC_{a1} + f_1QC_a - \{(f_{12} + y_1 + e_1)Q + KhV\}C_1 + f_{21}QC_2 \quad (26)$$

$$(1-h)V(dC_2/dt) = (1-g)S + x_2QC_{a2} + f_2QC_a + f_{12}QC_1 - \{(f_{21} + y_2 + e_2)Q + K(1-h)V\}C_2 \quad (27)$$

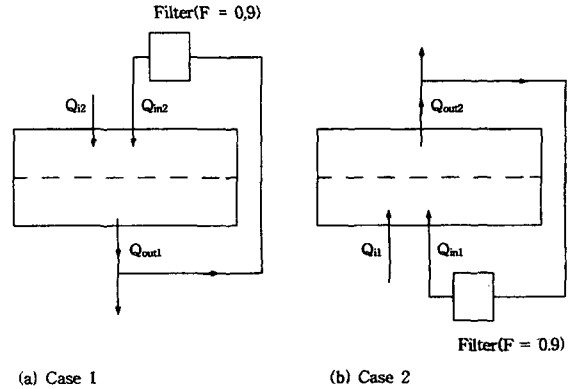


Fig. 2. Imperfectly mixed room.

한편, 실내의 환기횟수 N은

$$N = Q/V \quad (28)$$

로 정의되며, 식(22)와 (23)으로부터 다음의 관계를 얻을 수 있다.

$$f_{21} = f_{12} + y_1 + e_1 - x_1 - f_1 = f_{12} + x_2 + f_2 - y_2 - e_2 \quad (29)$$

따라서, 식(26)과 식(27)에 식(28)과 식(29)를 대입하여 정리하면, 다음 식과 같은 1계 미분방정식으로 표시할 수 있다.

$$dC_1/dt = a_{10} + a_{11}C_1 + a_{12}C_2 \quad (30)$$

$$dC_2/dt = a_{20} + a_{21}C_1 + a_{22}C_2 \quad (31)$$

여기서, 각 상수인자들은 다음과 같다.

$$a_{10} = (N/h)(x_1C_{a1} + f_1C_a + gS/Q) \quad (32)$$

$$a_{11} = -(N/h)(f_{12} + y_1 + e_1) - K \quad (33)$$

$$a_{12} = (N/h)(f_{12} + x_2 + f_2 - y_2 - e_2) \quad (34)$$

$$a_{20} = \{N/(1-h)\}(x_2C_{a2} + f_2C_a + (1-g)S/Q) \quad (35)$$

$$a_{21} = (Nf_{12})/(1-h) \quad (36)$$

$$a_{22} = -\{N/(1-h)\}(f_{12} + x_2 + f_2) - K \quad (37)$$

식(30)과 (31)의 일반해는 다음과 같다.

$$C_1(t) = P_1 \exp(N\sigma_1 t) + P_2 \exp(N\sigma_2 t) + C_1(\infty) \quad (38)$$

$$C_2(t) = MP_1 \exp(N\sigma_1 t) + LP_2 \exp(N\sigma_2 t) + C_2(\infty) \quad (39)$$

이들 식에서 C₁(∞), C₂(∞)는 각 구획에서의 정상상태 농도로서

$$C_1(\infty) = (a_{10}a_{22} - a_{20}a_{12})/(a_{12}a_{21} - a_{11}a_{22}) \quad (40)$$

$$C_2(\infty) = (a_{20}a_{11} - a_{10}a_{21})/(a_{12}a_{21} - a_{11}a_{22}) \quad (41)$$

이다. σ₁과 σ₂는

$$\sigma_1 = \{(a_{11} + a_{22}) + \{(a_{11} - a_{22})^2 + 4a_{12}a_{21}\}^{1/2}\}/(2N) \quad (42)$$

$$\sigma_2 = \{(a_{11} + a_{22}) - \{(a_{11} - a_{22})^2 + 4a_{12}a_{21}\}^{1/2}\}/(2N) \quad (43)$$

이고, M과 L은 다음과 같다.

$$M = (N\sigma_1 - a_{11})/a_{12} \quad (44)$$

$$L = (N\sigma_2 - a_{11})/a_{12} \quad (45)$$

또한, 각 구획의 초기농도를 C₁(0), C₂(0)라 하고, I₁과 I₂를 초기농도와 정상상태 농도와의 차라고 하면,

$$I_1 = C_1(0) - C_1(\infty) \quad (46)$$

$$I_2 = C_2(0) - C_2(\infty) \quad (47)$$

이며, P₁과 P₂는 다음 식과 같다.

$$P_1 = \{L - (I_2/I_1)\} \{I_1/(L - M)\} \quad (48)$$

$$P_2 = \{(I_2/I_1) - M\} \{I_1/(L - M)\} \quad (49)$$

이상과 같이 각 구획에서의 오염농도가 구해지면, 전체

Table 2. Data of input parameters

Parameter	x_1	x_2	i_1	i_2	y_1	y_2	e_1	e_2	C_{s1}	C_{s2}	g	h	f_{12}	$C_1(0)$	$C_2(0)$
Data	Case 1	0	0.81	0	0.19	1	0	0	0	$0.1C_1$	1	0.1~0.9	0.5~20	C_a or $C_1(t_f)$	C_a or $C_2(t_f)$
	Case 2	0.81	0	0.19	0	0	1	0	$0.1C_2$	0					

* t_f : final time of previous period

실내에 대한 평균농도 $C_A(t)$ 는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$C_A(t) = hC_1(t) + (1 - h)C_2(t) \quad (50)$$

2.2 컴퓨터 프로그램의 작성

컴퓨터 프로그램의 작성에는 WINDOWS 환경에서 사용 가능한 VISUAL BASIC 언어를 사용하였으며, 대략적인 계산 프로그램 작성은 다음과 같다.

- ① 계산에 필요한 입력 변수인자에 데이터 값을 설정한다. [$V, Q, S, K, x_1, x_2, i_1, i_2, y_1, y_2, e_1, e_2, g, h, f_{12}, C_a, C_{s1}, C_{s2}, C_1(0), C_2(0)$ 등]
- ② 환기횟수를 계산한다. [식(28)]
- ③ 미분방정식의 상수를 계산한다. [식(32)~(37)]
- ④ 정상상태 농도를 계산한다. [식(40), (41)]
- ⑤ $\sigma_1, \sigma_2, M, L, I_1, I_2, P_1, P_2$ 등을 계산한다. [식(42)~(49)]
- ⑥ 각 구획에서의 시간에 따른 실내농도를 계산한다. [식(38), (39)]
- ⑦ 전체 실내공간에 대한 평균농도를 계산한다. [식(50)]

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 개발된 2구획 모델의 검증을 위해, 크기가 0.5~5 μ m 정도인 폐포침착성 입자(respirable particles, RP)가 발생하는 임의의 실내공간(Fig. 2)에 적용하였다. 이 실내공간의 환기 및 발생원 데이터는 Table 1과 Table 2에 나타내었다. Table 1의 데이터는 Wadden 등(1983)이 혼합계수의 도입에 의한 단일 1구획 모델의 평가에 이용했던 자료이다. 실내농도 계산시, 정오까지의 농도 계산에는 초기농도를 오전 9시의 농도, 즉 외기농도(C_o)와 같은 것으로 하였고, 정오의 농도를 오후 2시까지의 농도를 계산하는 초기농도로 하였으며, 그 이후 오후 4시까지의 농도계산에는 오후 2시의 농도를 초기농도로 취하였다. 그리고 오후 4시의 농도를 다음날 오전 8시까지의 농도계산에 초기농도로 사용하였다. 그리고 재순환 공기의 필터효율을 $F = 0.9$ 로 할 때 각 구획의 유입 환기농도 C_{s1} 과 C_{s2} 는 각각 Table 2의 경우와 같다. 또한, 체적비율 h 와 공기 교환계수 f_{12} 의 값은 각각 표에 주어진 범위 내에서 여러 값들을 사용하였으며, 그 이외의 입력 변수는 변하지 않는 것으로 하였다.

Fig. 3(a), (b)는 Case 1에 대해, 전체 실내공간에 대한 구획1의 체적비율(h)이 0.5일 때, 구획1에서 구획2로의 공기 교환계수(f_{12})가 1과 15인 경우의 시간경과에 따른 실내 RP농도를 나타낸 것이다. 오전 9시에서 정오까지 농도가 증가하다가 오후 2시까지 다소 감소하며, 다시

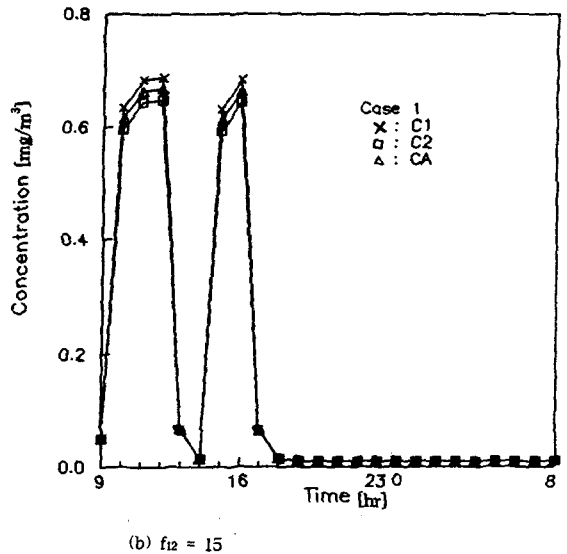
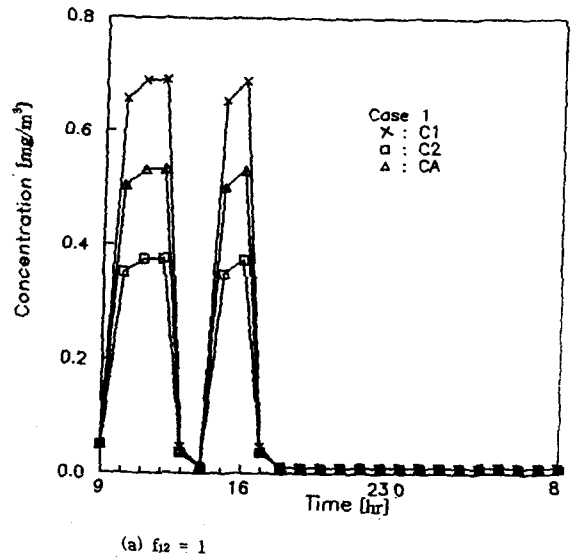
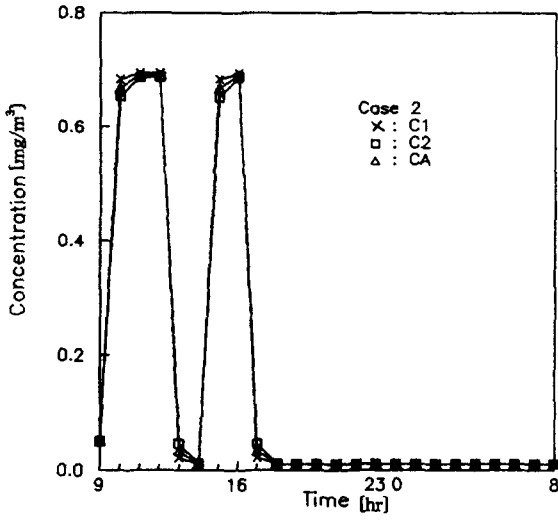


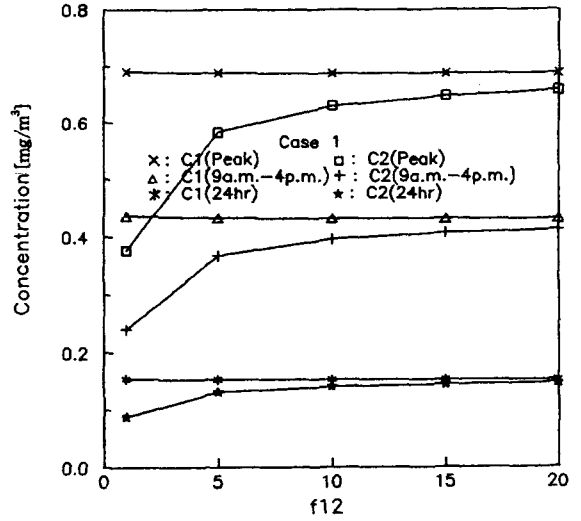
Fig. 3. Predicted RP concentrations of each zone for the Case 1. (C1; concentration of zone 1, C2; concentration of Zone 2, CA; average concentration of a room)

오후 4시까지 증가하고, 그 이후에는 다시 감소하여 외기농도보다 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이것은

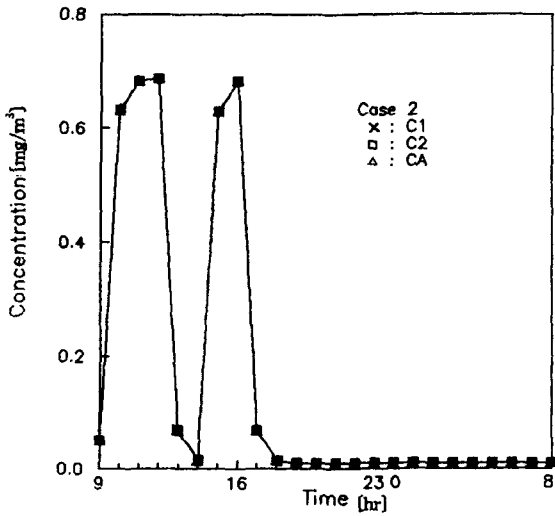
실내 공기질 평가를 위한 2구획 모델의 개발



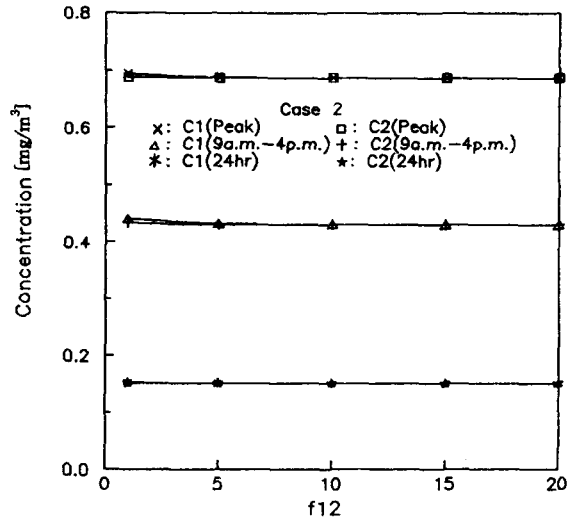
(a) $f_{12} = 1$



(a) Case 1



(b) $f_{12} = 15$



(b) Case 2

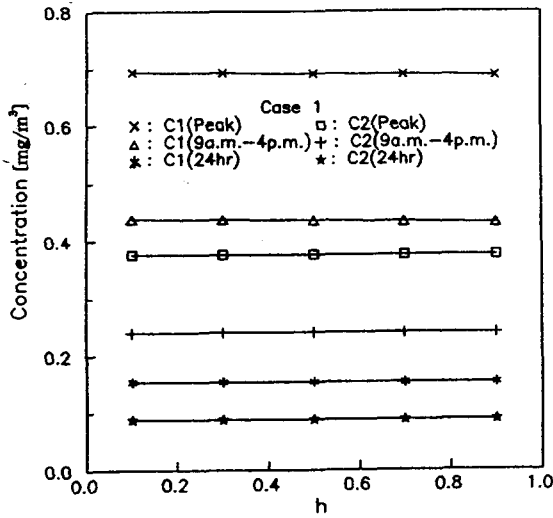
Fig. 4. Predicted RP concentrations of each zone for the Case 2. (C1; concentration of zone 1, C2; concentration of Zone 2, CA; average concentration of a room)

Fig. 5. Various concentrations for each zone as exchange coefficients in the case of $h=0.5$.

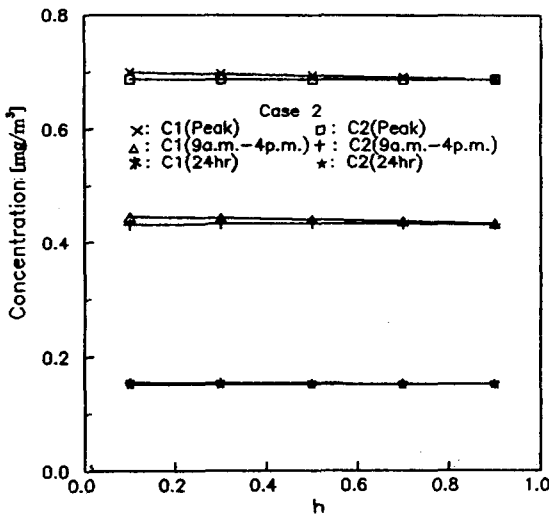
Table 1의 RP 발생주기로부터 알 수 있는 바와 같이, RP의 발생기간에는 농도가 증가하고 RP의 발생 중지기간(정오~오후 2시, 오후 4시 이후)에는 급격하게 농도가 감소하기 때문이다. 또한 공기 교환계수가 15인 경우는 공기 교환계수가 1인 경우에 비해, 오염물질 발생기간에는 구획1의 농도는 근소하게 낮아지고 구획2의 농도는 두드러지게 증가하여 구획1과 구획2의 농도가 서

로 접근하고 있으며, 전 실내공간의 평균농도도 증가하고 있다. 이것은 공기 교환계수의 값이 커질수록 구획1에서 구획2로의 공기교환이 활발해지고 그로 인해 혼합도 증가되는 것에 기인한 것이라 생각된다. 이러한 사실은 Fig. 5(a)에서도 확인할 수 있다.

Fig. 4(a), (b)는 Case 2에 대해, 체적비율이 0.5일 때 공기 교환계수가 1과 15인 경우의 시간경과에 따른 실내 RP농도를 나타낸 것이다. 시간에 따른 농도변화는



(a) Case 1



(b) Case 2

Fig. 6. Various concentrations for each zone as fractions of the room volume in the case of $f_{12}=1$.

Case 1과 유사한 경향을 보이지만, 공기 교환계수에 따른 영향이 적음을 알 수 있다. 이러한 사실은 또한 Fig. 5(b)에서도 확인할 수 있다. 또한, $f_{12} = 15$ 인 경우는 구획 사이의 농도가 거의 일치하여 완전혼합의 형태를 보이고 있으며, $f_{12} = 1$ 인 경우에도 구획 사이의 농도차가 그다지 크지 않음을 나타내고 있다. 이것은 Case 1의 경우에 비해 Case 2의 경우가 수직 상승하는 균일한 단일 방향 유동이 형성되어 치환환기(displacement ven-

tilation)가 원활히 이루어짐으로써 혼합이 더욱 활발히 일어난 결과에 기인한 것이라 생각된다. 이처럼 2구획 모델은 완전 혼합실 모델과는 달리, 급배기구 위치 등에 따른 실내기류의 차이에 의한 혼합의 영향이 반영됨을 알 수 있다.

Fig. 5(a), (b)는 체적비율이 0.5일 때, 공기 교환계수의 변화에 따른 각 구획에서의 피크농도와 오전 9시에서 오후 4시까지의 시간 평균농도 및 24시간 평균농도를 나타낸 것이다. Case 1의 경우, 공기 교환계수의 값이 증가함에 따라 구획1의 피크농도와 각 시간 평균농도들은 근소하게 감소하며, 구획2의 피크 및 각 시간 평균농도들은 급격하게 증가하는 경향을 보이고 있다. 그래서 공기 교환계수가 15이상이면 구획 사이의 농도차는 매우 작아져 완전 혼합실에 거의 근접하게 됨을 알 수 있다. Case 2의 경우에는 공기 교환계수에 따른 농도변화가 매우 적음을 알 수 있다.

Fig. 6(a), (b)는 공기 교환계수가 1일 때, 체적비율의 변화에 따른 각 구획에서의 피크농도와 각 시간평균농도들을 요약한 것이다. Case 1의 경우, 구획1의 체적비율이 증가함에 따라 구획1의 농도는 감소하고 구획2의 농도는 대체로 증가하는 경향을 보이나, 그 값의 변화는 그다지 크지 않다. Case 2의 경우도 체적비율이 변화해도 구획1과 구획2의 농도차가 거의 없음을 알 수 있다.

따라서, 체적비율이 구획농도에 미치는 영향은 공기 교환계수에 비해 그다지 크지 않으므로, 2구획 모델을 이용한 실내 공기질의 정확한 예측은 급배기구의 위치가 정해질 때 공기 교환계수의 선택에 좌우됨을 알 수 있다. 그러나, Case 2의 경우와 같은 치환환기 시스템에서는 공기 교환계수의 선택이 그다지 중요한 문제가 아니지만, Case 1의 경우에는 설계자들이 실내공간 내의 유동장, 즉 구획사이에 상호 전달되는 공기량에 관한 정보를 미리 파악하고 있어야 하기 때문에, 공기 교환계수의 선택은 매우 어려운 과정이다. 그러므로, 설계자들은 상하 범위 내의 여러 공기 교환계수 값들에 대해 문제를 풀어 그에 따른 농도변화를 예측 평가하는 방법을 사용할 수밖에 없다. 실제적으로 공기 교환계수는 두 극단값을 가지는 데, 구획1에서 발생된 오염물질로부터 구획2가 고립되어 있음을 의미하는 경우에는 $f_{12} = 0$ 이고(식 (31)과 식(36) 참조), 전 실내공간을 완전 혼합실로 가정할 수 있는 경우에는 근사적으로 $f_{12} = 15$ 이다. 이처럼 2구획 모델의 사용은 공기 교환계수를 선택하는 어려움 때문에 여전히 불완전 혼합을 설명하는 데 불충분한 면이 있지만, 전 실내공간을 완전 혼합실이라 생각하여 농도 계산을 하는 것보다는 훨씬 낫다. 그리고, 이렇게 개발된 2구획 모델에 대한 이론적 바탕은 여러 개의 더 많은 구획으로 나눈 실내공간에 그 이론을 적용함으로써 다구획 모델로의 확장을 가능하게 할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서 개발된 2구획 모델을 적절히 활용함으로써 직접 측정하지 않고도 불완전하게 혼합되는 여러 실내환경의 오염농도를 예측하고 평가하는 데 도움을 줄 것이다. 이 때 가장 어려운 문제는 공기 교환계수의 선택

에 있다. 그러나 공기 교환계수가 0일 때는 구획1과 구획2가 서로 고립되어 있음을 의미하며, 값이 증가함에 따라 공기교환으로 인한 혼합이 활발해져 15이상이면 전 실내공간은 완전 혼합실에 접근함을 알 수 있다. 그러므로, 공기 교환계수는 0과 15사이의 여러 값들을 사용하여 그에 따른 농도를 평가하는 방법을 사용함으로써 실내환경 개선을 위한 설계 및 환기계획 등을 수립하는데 이용할 수 있을 것이다. 향후 공간내의 유동장과 공기 교환에 관한 상관관계에 대한 연구 자료가 많이 확보된다면 더 정확한 농도 예측이 가능할 것이다. 또한, 본 연구에 의한 2구획 모델에 관한 이론적인 바탕은 백화점, 아트리에 빌딩, 공항 터미널, 실내 경기장과 같은 대형 밀폐환경의 공기질을 예측하고 평가하기 위한 다구획 모델로의 확장을 가능하게 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 1997년도 마산대학 교내연구비에 의하여 연구된 것임.

참 고 문 헌

정장표, 김상헌, 이도형, 1994, IAQ 모형의 민감도 분석에 관한 연구, 경성대 생산기술연구, 1, 47~52.
 Hayes, S. R., 1991, Use of an indoor air quality model(IAQM) to estimate indoor ozone levels., J. Air Waste Manage. Assoc., 41, 161~170.

Heinsohn, R. J., 1991, Industrial ventilation : Engineering principles, John Wiley & Sons, Inc., 228-293.
 Jayjock, M. A. and N. C. Hawkins, 1995, Exposure database improvements for indoor air model validation., Appl. Occup. Environ. Hyg., 10(4), 379~382.
 Nicas, M., 1996, Estimating exposure intensity in an imperfectly mixed room., AIHA J., 57,542~550.
 Shair, F. H. and K. L. Heitner, 1974, Theoretical model for relating indoor pollutant concentrations to those outside., Environ. Sci. Tech., 8, 441~451.
 Skaret, E., 1986, Ventilation by displacement - characterization and design implications., Ventilation'85, 827~841.
 Sparks, L. E., 1988, Indoor air quality model version 1.0, EPA-600/8-88-097a, 1~97.
 Tichenor, B. A., L. A. Sparks, J. B. White and M. D. Jackson, 1990, Evaluating sources of indoor air pollution., J. Air Waste Manage. Assoc., 40, 487~492.
 Wadden, R. A. and P. A. Scheff, 1983, Indoor air pollution, John Wiley & Sons, Inc., 105~206.