소형챔버법을 이용한 휘발성유기화합물(VOCs) 방출특성 및 예측에 관한 연구

A Study on the Emission Characteristics and Prediction of VOCs (Volatile Organic Compounds) using Small Chamber Method

방 승 기* 손 장 열** 이 광 호***
Pang, Seung-Ki Sohn, Jang-Yeul Lee, Kwang-Ho

Abstract

In this study, the measurement system was developed for the measurement of pollutants from building materials, and specimens were made with concrete, gypsum board, mortar and wall paper. Characteristics of VOCs and TVOC concentration and Emission Factor as a function of time were assessed, and the conclusion was drawn as follows. (1) From predicting TVOC concentration decrease of specimen 7 with the wall paper attached to the concrete, the graph may become linear by converting the value of y-axis into the log function, and the prediction equation can be expressed as $y=34906*e^{-0.0093*time}$. Moreover, chi-square value was 0.83 which is relatively high value, indicating that TVOC concentration can be properly predicted if the same materials are used indoors. (2) From predicting VOCs Emission Factor decrease of specimen 7, the prediction equation can be expressed as $EF=15111*e^{-0.0093*time}$, and chi-square value was 0.83. (3) From predicting TVOC concentration decrease of specimen 7, prediction equation can be considered to be $y=254323*(1-e^{-0.1046*time})$, and chi-square was 0.994 which is significantly high value, indicating that indoor TVOC concentration can be properly predicted if the same materials are used indoors. Furthermore, the prediction of concentration decrease using cumulative value of hourly measured concentration is considered to be more accurate than that using just hourly measured value directly. (4) From predicting Emission Factor decrease with cumulative hourly data of Emission Factor, chi-square appeared to be higher than that by just using hourly data of Emission Factor directly. Therefore, the prediction of Emission Factor with cumulative hourly data can provide more reliable prediction equation than the case by using just hourly concentration directly.

Keywords : VOCs, 환기, TVOC, Emission Factor, Small chamber

1. 서 론

사람은 하루 중 80% 이상을 실내에서 생활하고 있다. 이에 따라, 실내공기질의 악화는 재실자들에게 자극과 불쾌감을 유발할 뿐만 아니라, 실내 공기를 오염시키는 물질중에는 발암성 물질도 포함하고 있는 것으로 알려져 있어 그 심각성이 매우 큰 실정이다.

일반적으로 건축물에 사용되는 건축재료는 매우 많은 종류가 있으며, 실내에 설치되는 내장재에도 여러 가지 재료로 구성된 복합재료가 사용되고 있다. 이중 많은 자재들이 석유화학계 제품을 사용하고 있어 실내에서 휘발성 유기화합물(VOCs) 발생의 주된 원인이 되고 있다. 이러한 VOCs는 건축재료로부터 오랜 시간 동안에 서서히 실내공기로 방출되는 특징을 가지고 있다.

지금까지의 실내공기질 (Indoor Air Quality, IAQ)에 대한 연구는 대부분이 환기, 분진, CO 및 CO_2 등에 관한 연구가 대부분 이었으나, 최근 문제가 되고 있는 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)에 관한 연구는 활발히 진행되고 있지 않다. 특히 휘발성 유기화합물의 실내농도 및 발생량 평가에 관한 연구는 최근 들어 연구가 이루어지고 있으나, 시간경과에 따른 실내의 농도감소 및 발생강도의 시간에 따른 예측 및 평가는 부족한 실정에 있다.

따라서, 본 논문에서는 소형챔버법을 이용하여 실내에

* 정회원, 경민대학 실용건축과, 부교수
** 정회원, 한양대학교 건축대학, 교수, 공학박사
*** 정회원, 한양대학교 대학원

서 VOCs의 주된 발생원인 각종 건축내장재를 대상으로 VOCs 방출특성을 파악하고, VOCs중 BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, m,p,o-Xylene)와 TVOC를 중심으로 발생 농도 및 발생강도 감소를 평가한 후 이를 이용하여 시간에 따른 농도감소 및 발생강도 감소 예측을 중심으로 연구를 진행하였다. 본 연구의 흐름은 그림 1과 같다.

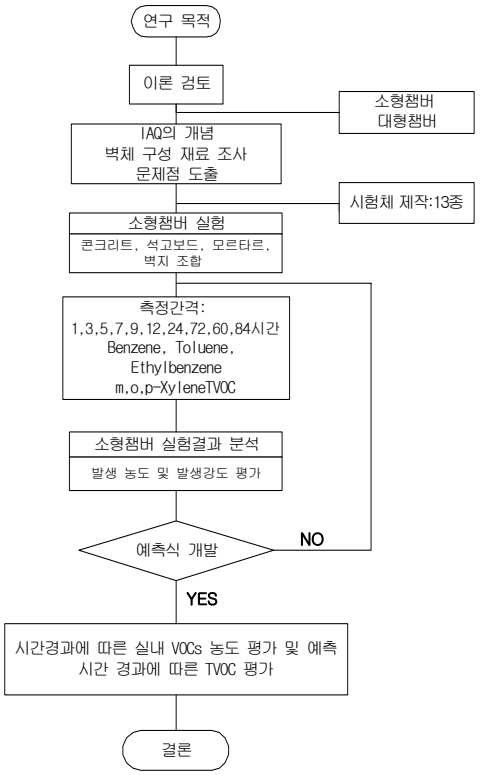

그림 1. 연구의 흐름

2. 이론검토

2.1 환기이론

단실에서 오염물질이 일정비율(M[mg/h])로 발생하고, 그림 2와 같이 일정량의 환기(Q[㎥/h])를 실시하는 경우, 평균농도를 일양 확산으로 가정하면 (식 1)이 구해진다.

따라서 발생된 오염물질의 농도는 오염물질의 발생원 면적과 환기량에 의해서 변하게 된다. 이것을 이용하면 단위면적과 단위시간에 대한 오염물질의 방출속도를 알 수 있게 되어 오염물질이 실내공간에 미치는 영향에 대해 파악 할 수 있다.

실내공간에서 미소시간 dt에 오염물질이 실내로 유출·입되는 밸런스를 고려하고 환기량, 발생원 및 공기청정기에 의한 제거량을 고려하면 다음과 같은 미분방정식이 얻어진다.

$$V\frac{dc}{dt} = -Q(c - c_s) + M - E \qquad \text{(식 1)}$$

환기량이 일정하고 오염물질 발생량이 일정하고 제거량이 없다고 가정하여, 발생원의 표면적을 고려하면 (식 2)가 된다.

$$V\frac{dc}{dt} = Q(c_i) + AM \qquad \text{(식 2)}$$

이것을 체적으로 나누어주면 다음과 같은 식이 된다.

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q}{V}c_i + \frac{A}{V}M \quad \left(\frac{Q}{V}\text{회}/h = \text{환기회수}\right) \text{(식 3)}$$

윗 식을 정리하면,

$$\frac{dc_i}{dt} = Nc_i + (L.F)M \quad \frac{A}{V} = LoadingFactor.L.F \qquad \text{(식 4)}$$

$$\frac{dc_i}{Nc_i + (L.F)M} = dt \qquad \text{(식 5)}$$

$$\frac{dc_i}{c_i + X} = Ndt \quad \left(X = \frac{(L.F)M}{N}\right) \qquad \text{(식 6)}$$

양변을 다시 적분하면,

$$C \fallingdotseq \frac{(L.F)}{N}M = \frac{\frac{A}{V}}{N}M = \frac{\frac{A}{V}}{\frac{Q}{V}}M = \frac{A}{Q}M \qquad \text{(식 7)}$$

따라서 실내 오염물질의 농도는 발생원의 면적과 환기량에 의해 변하게 된다.

$$C \fallingdotseq \frac{A}{Q}M \qquad \text{(식 8)}$$

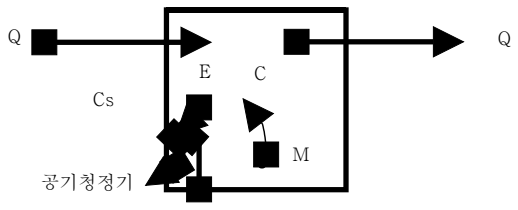

그림 2. 단실에서의 오염물질 발생원

여기서,

V = 실내체적(m^3)
C, C_s = 실내 오염물질농도 및 도입공기중의 농도(mg/m^3)
Q = 환기량(m^3/h)
M = 오염물질 발생량(mg/h)
E = 공기청정장치 등에 의한 오염물질 제거량(mg/h)

2.2 Emission Factor(방출강도)

또한 재료에서의 VOCs 방출강도는 단위시간당 단위면적에서 방출되는 오염물질의 양(㎍/㎡·h)을 나타내는 것으로 (식 9)와 같이 표현할 수 있다.

$$EF_a = \frac{(C_t - C_{b,t}) \times Q}{A} = \frac{(C_t - C_{b,t}) \times nV}{A} = (C_t - C_{b,t}) \times q = (C_t - C_{b,t}) \times \frac{n}{L} \quad \text{(식 9)}$$

EFa : 단위면적 당 VOCs 방출강도 (㎍/㎡·hr)
Ct : 시간 t에서 VOCs 농도(㎍/㎥)
Ctb : 시간 t에서 BLANK 농도(㎍/㎥)
A : 시료면적(㎡)
Q : 환기량(㎥/h)
V : 실용적(㎥)
n : 환기횟수(회/hr)
q : 단위면적당 환기량(㎥/㎡·hr)
L : 시료부하율(㎡/㎥)

emission factor(방출강도)와 emission rate(방출율)는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$ER = A(EF) \quad \text{(식 10)}$$

ER: emission rate(방출율), [mg/h]
A: 오염원의 면적 [㎡]
EF: emission factor(방출강도), [mg/㎡h]

챔버에서 각종 대상물질에 대한 농도에 대한 데이터를 얻었을 경우에는, emission factor는 네 가지 방법[1] 으로 계산할 수 있다. 첫 번째는 각각의 데이터로부터 직접 계산하는 방법이며, 두 번째는 시간과 농도에 대한 함수로부터 직접 계산하는 방법이다. 또한 세 번째 방법은 explicit chamber model을 이용하는 방법이며, 마지막은 응용 기술을 이용하는 방법이다. 각각의 경우에 있어서 최적의 방법을 선택하는 것은 오염원의 종류, 데이터의 질, 샘플링한 빈도수 등과 같은 여러 가지 경우에 따라 달라진다.

1) 개별의 농도 데이터로부터 직접 계산하는 방법
emission rate가 거의 일정하거나 챔버가 정상상태에 이르렀을 경우에는 emission factor는 단 하나의 농도 데이터만을 가지고도 계산할 수 있다.

$$EF = C_s \frac{N}{L} \quad \text{(식 11)}$$

여기서, C_s:정상상태에서의 챔버 농도 [mg/㎥]
N: 환기 회수[회/h]
L: 부하율

1) ASTM D 5116-97,Small-Scale Environmental Chamber Determination of Organic Emissions From Indoor Materials/products. pp.10-11

만약, emission rate가 일정하지 않거나 챔버가 정상상태에 있지 않을 경우에는 이 방법은 일반적으로 오차가 크게 생긴다.

2) 시간과 농도를 이용하는 방법
시간과 챔버농도에 관한 데이터를 충분히 확보하고 데이터가 비교적 매끄러운 곡선을 나타낼 경우에는, 시간변화에 따른 emission factor와 챔버농도 데이터로부터 직접 계산할 수 있다.

$$EF(t_i) = \frac{\frac{\Delta C_i}{\Delta t_i} + NC_i}{L} \quad \text{(식 12)}$$

$EF(t_i)$: 시간 t_i에서의 emission factor
C_i: 시간 t_i에서의 챔버의 농도
$\frac{\Delta C_i}{\Delta t_i}$:시간 t_i에서의 기울기

이 기울기는 두개의 인접한 두 구간의 기울기를 평균함으로써 근사치를 구할 수 있다.

$$\frac{\Delta C_i}{\Delta t_i} = \frac{\frac{C_i - C_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} + \frac{C_{i+1} - C_i}{t_{i+1} - t_i}}{2} \quad \text{(식 13)}$$

따라서, 만약에 n+1개의 농도 데이터를 갖고 있다면 n-1개의 emission factor를 구할 수 있다.

3) Explicit Chamber Model 이용 방법
특정한 오염원에 대한 방출 패턴이 수학적인 표현방식으로 나타낼 수 있다면, emission factor는 비선형 회귀분석을 이용하여 챔버 모델을 시간과 농도에 대한 그래프로 표현 할 수 있다.
일정하게 오염원이 방출될 경우의 emission factor는 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\frac{dC}{dT} = L(EF) - NC \quad \text{(식 14)}$$

초기 조건의 시간과 농도값을 0으로 할 경우에는 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$C = \frac{L(EF)(1 - e^{-Nt})}{N} \quad \text{(식 15)}$$

미지의 변수 EF는 챔버농도 데이터를 위의 (식 15)에 적용해서 얻어질 수 있다. 또한 가장 많이 사용되는 일차감쇠 모델을 사용할 경우는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$EF = (EF_0)e^{-kt} \quad \text{(식 16)}$$

EF_0: 초기 emission factor(방출강도)
k: 일차감쇠계수(상수)

위의 (식 16)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\frac{dC}{dt} = L(EF_0)e^{-kt} - NC \quad \text{(식 17)}$$

윗 식에 t=0, C=0을 대입하면,

$$C=\frac{L(EF_0)(e^{-kt}-e^{-NT})}{(N-k)} \quad \text{(식 18)}$$

(식 18)에서의 k값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$k=(N)e^{(k-N)t_{max}} \quad \text{(식 19)}$$

여기서, t_{max} : 최고 농도의 시간, C_{max}

(식 19)는 두개의 결과 값이 나오며 하나는 k=N일 경우이며 또 다른 경우는 실제 예측식에 사용하는 상수값이 된다.

3. 실험방법 및 내용

벽체를 구성하는 각종 재료에 대한 실험은 총 13종류의 시험체를 대상으로 하였다. 재료는 콘크리트, 석고보드, 모르타르 및 벽지의 조합을 이용하였으며 시험체의 크기는 200mm * 200mm로 하였다. 재료자체에 대한 평가를 하기 위하여 콘크리트, 석고보드, 유리판에 액상세라믹을 설치한 시험체를 별도로 제작하였다. 각 시험체에서 발생하는 VOCs 농도의 시간에 따른 변화를 살펴보기 위하여 시험체 설치 후 1, 3, 5, 7, 9, 12시간, 1일, 3일, 5일 및 7일 간격(총 10회)으로 측정을 실시하였다. 시험체의 구성은 표 1과 같다.

측정결과는 개별물질(benzene, toluene, ethylbenzene, m,p-xylene, o-xylene)의 농도($\mu g/m^3$), TVOC($\mu g/m^3$)와 방출강도[$\mu g/m^2 \cdot h$]로 나타내었다. 또한 시간에 따른 발생량의 감소는 챔버내의 농도 값을 이용하여 나타내었다.

표 1. 시험체의 분류

No.	시험체 명칭 (W*H*Dmm)	1차 마감 (액상세라믹 300㎛)	2차 마감
1	200*200*5 유리판	○	
2	200*200, 석고보드	×	
3	200*200, 석고보드	○	
4	200*200, 석고보드	○	도배지부착
5	200*200*50, 콘크리트	×	
6	200*200*50, 콘크리트	○	
7	200*200*50, 콘크리트	○	도배지부착
8	200*200*50콘크리트+모르터	×	도배지부착
9	200*200*50콘크리트+모르터	○	
10	200*200*50콘크리트+모르터	○	도배지부착
11	200*200*50콘크리트 +200*200 석고보드	×	
12	200*200*50콘크리트 +200*200 석고보드	○	
13	200*200*50콘크리트 +200*200 석고보드	○	액상결합제

그림 3은 실험에 사용한 측정기기의 계통[2] 을 나타낸 것이다. 측정기기는 HAQT(Hanyang Air Quality Test System)으로 항온항습챔버, 항온챔버 및 측정챔버로 구성되어 있다. 각 챔버의 구성 및 제원은 표 2와 같다.

사진 1은 항온챔버를, 사진2는 항온항습챔버를 나타낸 것이며, 사진 3에는 측정챔버의 모습을 나타내었다. 또한 챔버의 온도, 습도는 23℃, 50%로 설정하여 실험을 실시하였으며, 챔버의 환기회수는 0.7회/h, 부하율은 0.1(m^2/m^3)로 하였다.

표 2. HAQT 시스템의 제원

		항온챔버	항온.항습챔버		측정챔버	
크기(inner) W×D×H[mm]		1000×1000 ×1000	500×630×600		20L	24L
조절 범위	온도 [℃]	-5℃~90℃	-40℃~150℃		좌동	좌동
	습도 [%]	-	at 10℃ at 30℃~85℃ at 90℃ at 120℃	15%~85% 10%~98% 10%~85% 10%~50%	좌동	좌동

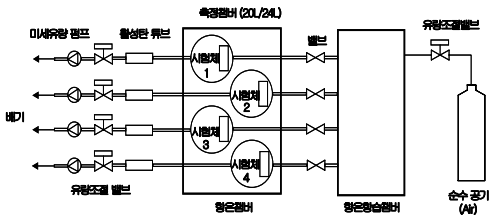

그림 3. HAQT시스템의 구성

사진 1. 항온챔버

사진 2. 항온 · 항습챔버

사진 3. 측정챔버

2) 손장열, 방승기 외 2인, 경량칸막이 구성재료에 따른 VOCs 방출특성에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 제22권 2호, 2002

4. 실험결과 및 분석

그림 4는 콘크리트에 석고보드를 부착한 시험체 11의 시간경과에 따른 BTEX와 TVOC의 농도변화를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 일정한 비율로 감소하지는 않았지만 시간이 흐름에 따라 점차적으로 TVOC가 감소하여 1000 $\mu g/m^3$에서 안정되는 것을 알 수 있었다.

그림 5와 6은 시험체 6~10의 시간 경과에 따른 TVOC의 변화를 나타낸 것으로 콘크리트에 모르터와 비닐 도배지를 부착한 후 세라믹 코팅을 하지 않은 시험체 8의 경우, 시간의 감소에 따라 감소하는 경향을 보였으나, 액상세라믹을 코팅한 시험체 6,7은 3일이 지난 후 그 양이 감소 또는 증가하는 것으로 나타났다. 또한 동일한 조건에서 도배지를 부착한 경우와 부착하지 않은 경우를 비교하기 위하여 시험체 9와 시험체10을 비교한 결과 그림 7에서 볼 수 있는 바와 같이 도배지를 부착하지 않은 시험체 9가 시간이 경과함에 따라 발생하는 TVOC의 양이 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 이는 도배지 부착 시 사용하는 도배용 본드의 영향에 의한 것으로 판단된다.

4.1 단순 감소 예측

그림 7은 콘크리트에 도배지를 부착한 시험체 7의 시간경과에 따른 TVOC 농도감소를 예측한 것으로, y축에 로그값을 사용하여 직선화하여 나타낸 것이다. 그림에서 볼수 있는 바와 같이 예측식은 $34906*e^{-0.0093*경과시간}$으로 나타낼 수 있었으며, 결정계수는 0.83으로 비교적 높게 나타나 동일한 구조체로 이루어진 실내에 적용할 경우 TVOC 농도를 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

그림 8은 콘크리트에 모르터와 도배지를 부착하고 액상세라믹 처리를 한 시험체 9의 시간감소에 따른 m,p-xylene의 농도감소를 예측한 것이다. 예측식은 $655.16*e^{-0.3044*경과시간}$으로 나타낼수 있었으며, 이때 결정계수는 0.665로 나타났다. 또한, 그림 9는 동일한 시험체의 ethylbenzene의 시간경과에 따른 농도감소를 예측한 것이다. 예측식은 $534.8*e^{-0.3044*경과시간}$으로 표현할 수 있었으며, 이때 결정계수는 0.78로 비교적 높게 나타났다.

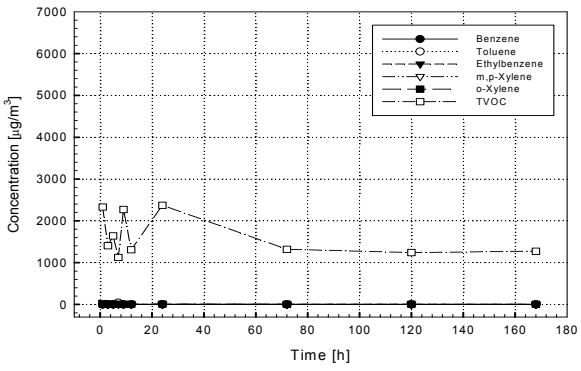

그림 4. VOCs 농도변화 (시험체 7)

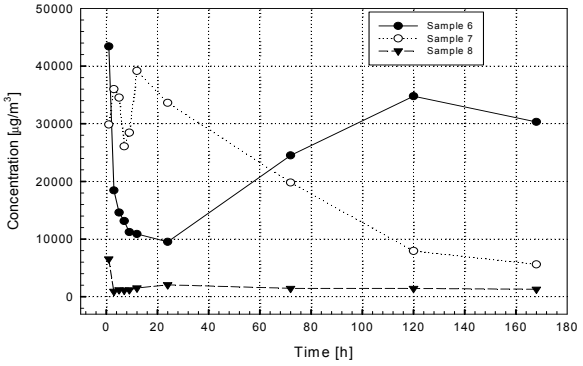

그림 5. TVOC 농도변화(시험체 6,7,8)

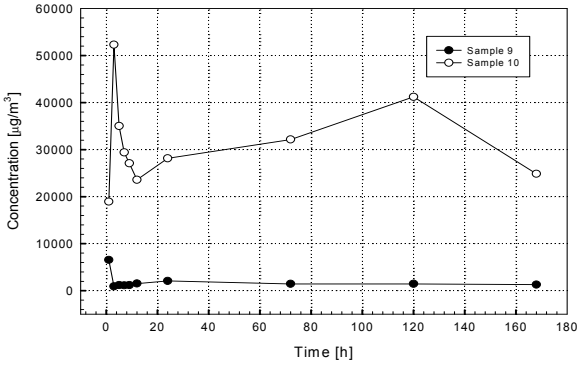

그림 6. TVOC 농도변화(시험체 9,10)

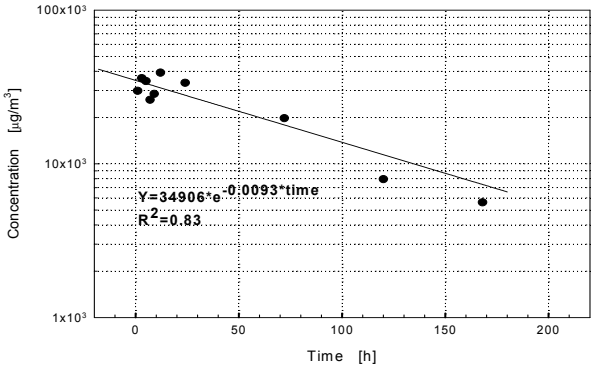

그림 7. TVOC 예측(시험체 7)

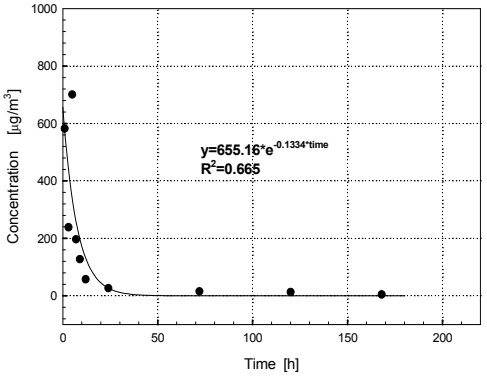

그림 8. m,p-xylene(시험체 9)

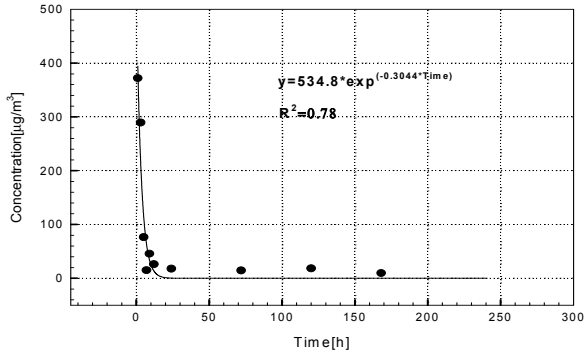

그림 9. ethylbenzene 감소 예측(시험체 9)

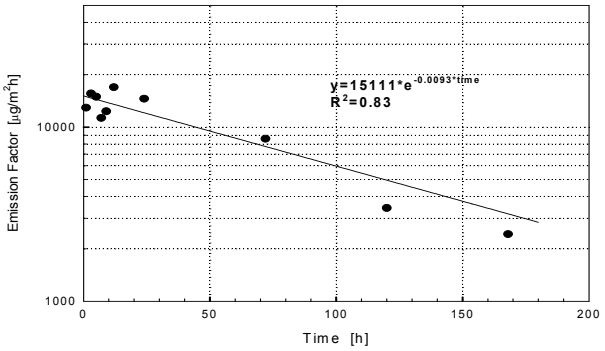

그림 10. Emission Factor 감소 예측 (시험체 7)

그림 10은 시험체 7의 VOCs Emission Factor의 감소를 예측한 것으로 예측결과, 결정계수는 0.83으로 나타났으며, 발생강도는 측정개시 후 100시간이 경과된 후 급격히 감소하는 것을 알 수 있었다.

4.2 누적농도 이용 예측

그림 11은 콘크리트에 도배지를 부착한 시험체 7의 경우, 시간 경과에 따른 benzene의 농도변화를 예측하기 위하여 측정시간별 농도를 누적시켜서 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 benzene의 농도는 $1274*(1-e^{-0.0833*경과시간})$으로 나타낼 수 있었으며, 이때 결정계수는 0.97로 매우 높게 나타났다. 따라서, 실제 건물에 적용할 경우 실내의 benzene 농도감소 또는 benzene의 농도가 더 이상 증가하지 않고, 감소되는 시간을 예측하는 것이 가능할 것으로 판단된다. 그림 12는 그림 10과 동일한 시험체의 경우 toluene의 농도감소를 예측하기 위한 것으로, 예측식은 $2495.17*(1-e^{-0.0758*경과시간})$으로 나타낼수 있었으며, 이때 결정계수는 0.98로 매우 높게 나타났다. 또한 toluene의 경우 benzene의 경우보다도 더 높은 농도를 나타내었으며, 농도가 감소하는 시점도 측정 개시후 60시간이 경과한 후에 나타나는 것을 알 수 있었다. 또한 단순히 챔버내의 농도 값만을 이용해서 예측하는 것보다 시간별 측정치를 계속 누적시켜서 농도감소를 예상하는 것이 농도변화를 예측하는 데 더 정확한 것으로 나타나, 실제 사용시에도 누적시켜서 사용하는 것이 합리적일 것으로 예상된다.

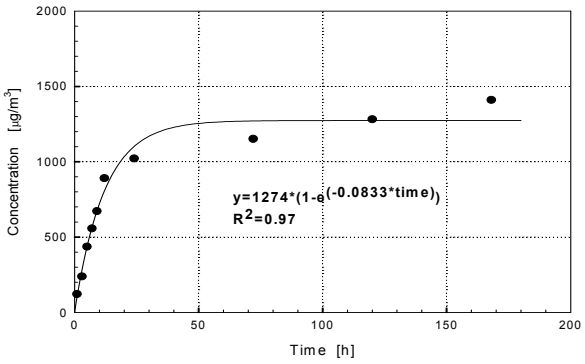

그림 11. benzene 누적 예측(시험체 7)

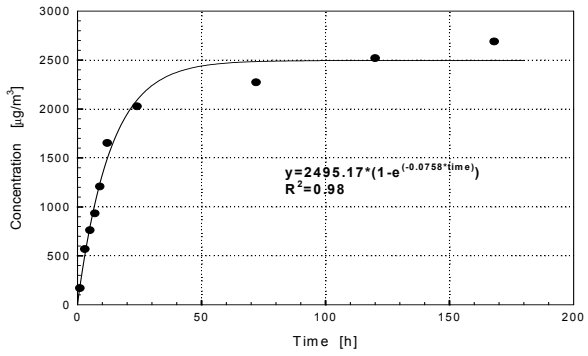

그림 12. toluene 누적 예측(시험체 7)

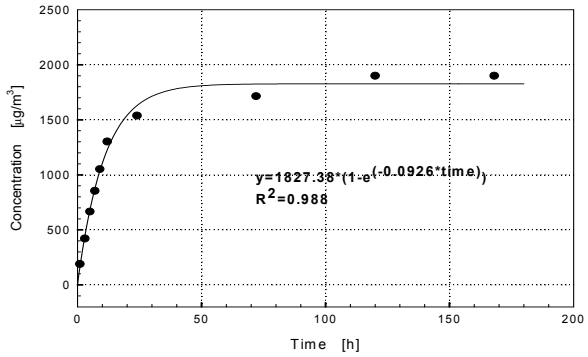

그림 13. ethylbenzene 누적 예측(시험체 7)

그림 13은 시험체 7의 ethylbene의 농도를 예측한 것으로 예측식은 $1827*(1-e^{-0.0926*경과시간})$으로 나타낼 수 있었으며, 결정계수는 0.988로 매우 높게 나타났으며, 발생량은 benezene과 toluene의 중간값을 보이고 있었다.

그림 14는 시험체 7의 시간경과에 따른 m,p-xylene의 농도감소를 예측한 것으로 예측식은 $1772.5*(1-e^{-0.0895*경과시간})$으로 나타낼 수 있었으며, 결정계수는 0.978로 매우 높게 나타났다. 따라서, 실제 m,p-xylene의 농도감소를 예측할 경우 단순 농도를 사용하는 것보다, 측정치를 누적해서 사용하는 것이 좀더 정확한 값을 보일 것으로 사료된다.

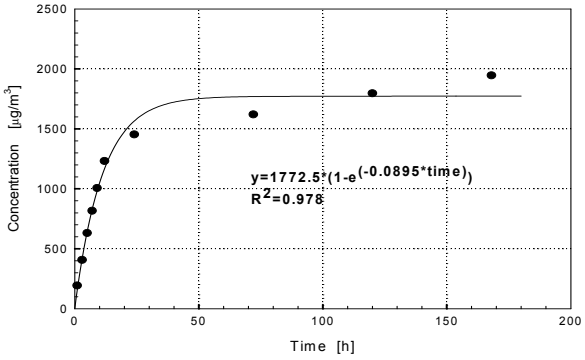

그림 14. m,p-xylene 누적 예측(시험체 7)

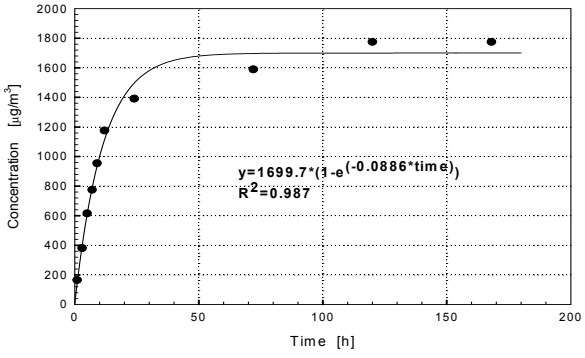

그림 15. o-xylene 감소 누적 예측(시험체 7)

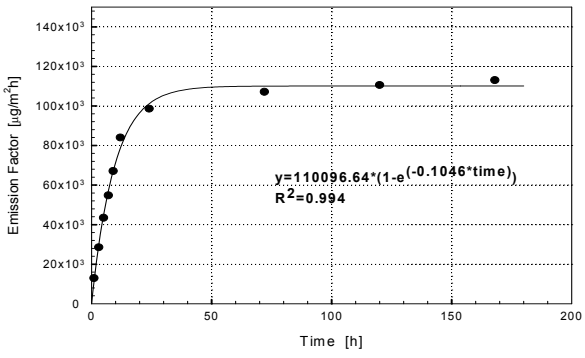

그림 16. Emisson Factor 누적 예측(시험체 7)

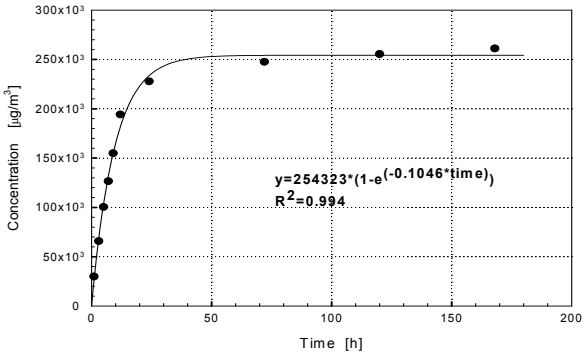

그림 17. TVOC 감소 누적 예측(시험체 7)

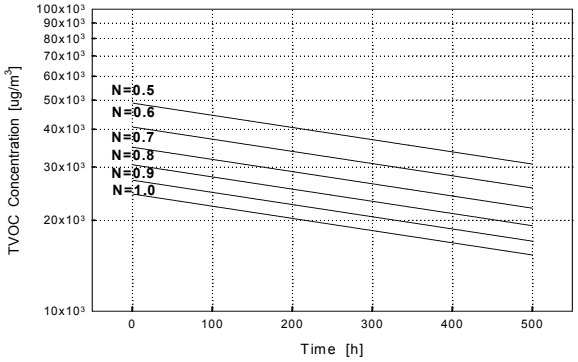

그림 18. 환기회수 변화에 따른 실내의 TVOC 농도 예측

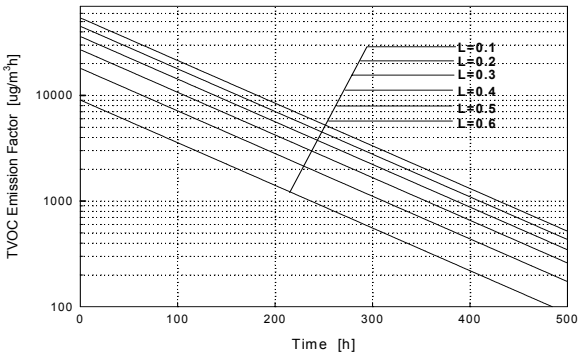

그림 19. 부하율변화에 따른 TVOC Emission Factor

그림 15는 시험체 7의 o-xylene의 감소를 예측한 결과를 나타낸 것으로, 예측결과 측정개시 후 100시간이 경과된 후 o-xylene의 방출강도가 급격히 줄어들며, 안정화되는 것으로 나타났다. 또한 결정계수는 0.987로 매우 높게 나타나 동일한 구조체로 이루어진 실내의 시간 경과에 따른 o-xylene의 농도를 예측하는데 사용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 그림 16은 Emission Factor의 감소를 매시간별 Emission Factor값을 누적시켜서 예측한 것이다. 예측결과 단순감소의 경우보다 결정계수가 0.994로 나타나 단순 측정치만을 이용하는 것보다, 더 높게 나타났다. 따라서 단순 농도만을 이용하여 Emission Factor을 예측하는 것보다, 측정시간별 측정값을 누적시켜서 예측하는 것이 더 신뢰성 있는 예측식을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

그림 17은 시간경과에 따른 TVOC의 농도감소를 예측한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 볼수 있는 바와 같이 예측식은 $254323*(1-e^{-0.1046*\text{경과시간}})$으로 나타났으며, 결정계수는 0.994로 매우 높게 나타났다. 따라서 예측식을 사용할 경우 동일한 구조체로 이루어진 실내의 TVOC 농도를 예측하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

그림 18은 시험체 7의 경우, 환기회수 변화에 따른 TVOC 농도를 예측한 것이며, 그림 19는 부하율변화에 따른 TVOC Emission factor를 나타낸 것이다.

5. 결 론

본 논문에서는 각종 재료로부터 발생하는 오염물질을 측정할 수 있는 측정시스템을 개발하고, 그 시스템을 이용하여 콘크리트, 석고보드, 모르터르 및 도배지를 조합하여 시험체를 제작하였다. 제작된 시험체를 대상으로 VOCs 및 TVOC 농도, Emission Factor의 시간경과에 따른 특성을 평가하고, 예측을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 콘크리트에 도배지를 부착한 시험체 7의 시간경 과에 따른 TVOC 농도감소를 예측한 결과, y축에 로 그값을 사용하여 직선화하여 나타낼 수 있었으며 예측식은 $34906*e^{-0.0093*경과시간}$으로 나타낼수 있었으며, 결정계수는 0.83으로 비교적 높게 나타나 동일한 구조체로 이루어진 실내에 적용할 경우 TVOC 농도를 예측할 수 있을것으로 판단된다.

(2) 시험체 7의 VOCs Emission Factor의 감소를 예측한 결과, 시간경과에 따른 Emission Facotor = $15111*e^{-0.0093*경과시간}$으로 나타낼 수 있었으며, 결정계수는 0.83으로 나타났다.

(3) 시험체 7의 시간경과에 따른 TVOC의 농도감소를 예측한 결과 예측식은 $254323*(1-e^{-0.1046*경과시간})$으로 표현할 수 있었으며, 결정계수는 0.994로 매우 높게 나타났다. 따라서 예측식을 사용할 경우 동일한 구조체로 이루어진 실내의 TVOC 농도를 예측하는 것이 가능할 것으로 판단된다. 또한 매시간별 측정치를 이용하여 농도감소를 예측하는 것보다 시간별 측정치를 누적시켜서 예측하는 것이 보다 정밀한 예측결과를 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

(4) Emission Factor의 감소를 매시간별 Emission Factor 값을 누적시켜서 예측한 결과 결정계수가 단순감소의 경우보다 더 큰 0.994로 나타났다. 따라서 단순 농도만을 이용하여 Emission Factor을 예측하는 것보다, 측정시간별 측정값을 누적시켜서 예측하는 것이 더 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

추후의 연구과제는 시험체 실험 결과를 이용해 각 실제 공간에 적용 후 실험결과와 예측식을 이용한 결과와의 비교를 통해 좀더 정밀한 예측식의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 방승기, 손장열, 백용규, 조현, “오염물질 방출량 측정챔버 제작 및 경량 칸막이벽의 VOCs 방출특성”,한국생활환경학회지, 2004.3.
2. 손장열, 이철구, 백용규, 방승기, 조현. “고층아파트에서 환기조건에 따른 실내 VOCs 농도변화에 관한 연구,” 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 2002
3. 조 현, 손장열, 이철구, 백용규, 방승기,“경량칸막이 구성요소에 따른 VOCs방출특성에 관한 연구”, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 2002.
4. 백용규, 손장열, 조현, 방승기, “ Emission Characteristic of VOCs with the Lightweighted Panel Composition", The 26th Symposium on Human-Environment System, 2002.
5. 손장열, 이철구, 김홍욱, 이유진, “Performance Test of HAQT(Hanyang Air Quality Test) System for Measuring Volatile Organic Compounds”, The 26th Symposium on Human-Environment System, 2002
6. 환경부, “실내공간의 VOCs 특성 및 제어방안에 대 한 기초조사", 2001.
7. 공기청정협회, “친환경 건축자재 단체품질 인증 시험 방법 <소형 챔버법>”, 2004
8. 환경부, “실내 공기질 공정시험방법”, 2004
9. Lawrence H. Keith, Mary M. Warker Handbook of Air Toxics : Sampling, Analysis, and Properties. Lewis Publisher. Inc,1995.
10. H. Tanaka, "Performance test of a small test chamber (ADPAC) for aldehydes and VOCs emission rates measurements", Indoor Air, 2002
11. John D. Spengler et al, 2001. "Indoor Air Quality Handbook", McGraw-Hill, 2001.
12. Lawrence H. Keith, "Compliation of Epa's Sampling and Analysis Methods", Lewis Publisher. Inc. 1996.
13. Kathleen Hess-Kosa, "Indor Air Quality - Sampling Methodologies", Lewis Publisher. Inc. 2001
14. Public Health Service Centers for Disease Control and Prevention, "Pocket Guide to Chemical Hazards", National Institute for Occupational Safty and Health. 1997.
15. Jonathan M. Smart, John D. Spengler. Indoor Air Pollution. The Johns Hopkins Univ. Press, U.S.A. 1991
16. ASTM D 5116, “Standard Guide for Small - Scale Environmental Chamber Determinations of Organic Emissions From Indoor Materials/ Products”, 1997.