

## 화학 및 천연페인트에서 발생하는 TVOCs의 방출강도 특성 연구

김신도<sup>†</sup> · 김정호 · 박진수 · 이정주\*

서울시립대학교 환경공학과, \*용인대학교 환경보건학과

## Characteristics of TVOCs Emission Factors from Chemical and Natural Coating Materials

Shin Do Kim<sup>†</sup> · Jeong Ho Kim · Jin Soo Park · Jeong Joo Lee\*

Department of Environmental Engineering, University of Seoul

\*Department of Environmental Health, Yong-In University

(Received Oct. 18, 2004/Accepted Nov. 23, 2004)

### ABSTRACT

Building materials are composed of very complex chemical compounds, and these indoor building materials discharge very much Volatile Organic Compounds(VOCs). We performed the environmental chamber test to investigate the Total VOCs(TVOCs) emission characteristics and emission factors about chemical and natural coating materials. As the result, we concluded that TVOCs emission are high at initial time and decreased in course of time. Natural paint was low emission level for TVOCs than chemical paint by small chamber test. The TVOCs emission factor-time profile showed a good fit with the results from the measured and predicted value.

**Keywords:** coating material, TVOCs(Total Volatile Organic Compounds), emission factor

### I. 서 론

실내 환경 중 VOCs는 사람의 활동, 자연 식물체 그리고 건축자재에 의해 배출되고,<sup>1)</sup> 몇몇 물질들은 인간 및 동물에 발암과 고농도에 흡입 및 폭로 시 자극을 유발하는 것으로 알려져 있다.<sup>2,3)</sup>

실내에서의 VOCs 폭로수준은 오염된 도시 및 중공업 지역의 대기에 비해 5~50배 이상, 신축건물의 경우에는 실내가 실외에 비해 수백 배 이상 높게 조사되었고,<sup>4,5)</sup> Hoddinott 등(2000)<sup>6)</sup>은 주요 VOCs 물질에 대하여 실내에서 배출되는 농도를 이용하여 환경위해성평가를 통해 성인 및 아동에 적용하여 발암의 유무를 확인한 바 있어, 이처럼 실내공기질의 중요성은 인체 보건학적인 측면에서 매우 중요하게 다루어지고 있다.

최근 신축되고 있는 수도권 지역의 아파트에서 측정된 TVOCs의 농도는 3,770  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로,<sup>7)</sup> 이것은 WHO의 실내 환경의 권고치인 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 12배 이상 높은

수준으로, 대부분 새로 시공되는 건축자재에 의한 영향으로 확인되었다.<sup>7-9)</sup>

건축자재에서 발생하는 VOCs에 관하여 Tichenor(1988)<sup>10)</sup>는 소형챔버를 이용하여 실내 건축자재 및 제품에 대한 유기화합물의 방출량을 측정하였으며, 유럽연합은 European Collaborative Action(ECA)을 통해 건축자재에서 배출되는 VOCs 물질을 파악하였고, 실험실 간 비교를 통해 소형챔버실험을 규격화하여 제시하였다.<sup>11-13)</sup> 또한 미국 EPA는 다양한 실내오염원으로부터 방출되는 오염물질의 특성과 방출률(emission rate)에 영향을 미치는 여러 가지 인자를 규명하기 위해 환경챔버를 이용하여 오염물질의 방출특성에 관한 연구를 수행하였다.<sup>14)</sup> 건축자재에서 방출되는 오염물질의 농도는 실내공기질 모델의 중요한 입력변수로 활용되고,<sup>15,16)</sup> 실내에서 장기간 예측된 오염물질농도는 위해성평가에 적용되고 있어,<sup>6,17)</sup> 우리가 사용하고 있는 다양한 실내 건축자재에 대한 방출농도를 정량적으로 평가하여 Data Base를 구축하는 작업이 필요한 실정이다.

본 연구는 향후 개별자재의 TVOCs 방출강도 정보를 실내공기질 예측에 활용하기 위해 소형챔버실험장치를 이용하여 1) 화학 및 천연 수용성 페인트로부터 방출되

<sup>†</sup>Corresponding author : Department of Environmental Engineering, University of Seoul  
Tel : 82-2-2210-2453, Fax : 82-2-2242-4962  
E-mail : sdkim@uos.ac.kr

는 TVOCs의 농도 및 방출강도를 파악하였고, 2) 방출 강도의 예측식에 적용하여 실내공기질 관리에 적용가능성을 살펴보았다.

## II. 연구방법

### 1. 실험장치의 구성

건축자재에서 배출되는 오염물질을 평가하기 위한 소형챔버시험의 국제적인 기준 및 방법으로 International Standard Organization-16000-9과 American Standard Test Method D 5116, 일본규격협회의 JIS A 1901이 있으며, 우리나라 공기청정협회에서는 친환경 건축자재 단체품질인증 시험방법을 제시하고 있다.<sup>18,21)</sup> 도료에서 방출되는 오염물질을 측정하기 위해 위 기준에 근거하여 다음의 Fig. 1과 같이 실험장치를 구성하였다.

소형챔버는 40l 용량의 스테인레스 재질로 VOCs의 흡착이 낮으며, 시험전·후 세정열처리가 용이하게 제작되었다. 또한, 챔버내의 급기와 배기를 위해 각각 상단부와 하단부에 급기구와 배기구를 설치하였다. 공급되는 공기에 대해서는 공기정화 장치를 거쳐 휘발성유기화합물을 제거하였다. 공기정화장치는 필터 1단, activated carbon과 molecular seive가 2개의 층으로 충

진된 흡착트랩 2개를 직렬로 연결하여 제작하였다. 측정조건의 온도와 습도를 일정하게 유지시켜 주기 위하여 항온장치와 가습장치(humidifier) 장치를 이용하였으며, 습도조절에는 초순수(18 mΩ 이상) 증류수를 사용하였고, 온도와 습도의 연속측정이 가능한 온·습도계를 이용하여 5분 간격으로 모니터링하였다. 환기량과 환기회수를 측정하기 위해 챔버의 입구와 출구에 각각 유량계를 설치하였다.

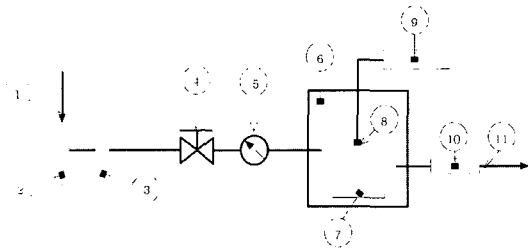
### 2. 시험도료의 특성 및 시험편 제작

도료는 물체의 표면에 피막을 형성하여 물체를 보호하고 미장의 기능을 가진 것으로 종류에 따라 특수한 기능을 함께 가진 피막을 형성하는 재료이다. 우리가 시험대상으로 한 도료는 전색제에 따라 수성도료로 분류되고, 도료 상태는 에멀션이며 도막은 백색이다. 각각의 도료는 에멀션 페인트에 해당하는 상업제품인 내부용 수성페인트를 선정하였으며, 서로 다른 제작사의 일반화학페인트 4종, 천연페인트 4종에 대해 각각 3쌍의 도료 시험편을 제작하여 시험하였다. 시험대상 도료를 대상으로 내부용 합성수지 에멀션 페인트 물성 시험법인 KS M 5320 규격에 규정된 20가지 항목을 시험하였고, 이중 5가지 주요항목에 대해 1급 기준과 측정된 수치를 아래의 Table 1에 나타내었다.

주도는 82~110 범위 기준을 모두 만족하였고, 불휘발분은 천연페인트 2종(Na, Nc)이 50 이상을 충족하지 못하였다. 광택의 경우 화학페인트 2종(Cb, Cd)이 기준치 10을 초과하였으며, 연화도와 은폐율에서는 모두 기준을 만족하였다. 이외에 내수성, 내알칼리성, 내세척성 항목에서는 천연페인트의 물성이 화학페인트에 비해 못 미치는 것으로 나타났다.

### 3. 실험장치의 운전 조건

도료 시험편에서 방출되는 오염물질을 정량 및 정성하기 위해 소형챔버실험장치의 운전조건을 최적으로 유지하는 것은 매우 중요하다. 소형챔버의 용적이 0.4 m<sup>3</sup>으로 환기량은 0.020 m<sup>3</sup>/hr, 환기회수는 시간당 0.5회로



**Fig. 1.** Schematic view of small chamber test system (① Air inlet, ② Air filter, ③ Air conditioning system unit-humidifier, ④ Air flow regulator, ⑤ Air flow meter, ⑥ Test chamber, ⑦ Device to circulate air, ⑧ Temperature and air humidity sensors, ⑨ Monitoring system for temperature and air humidity, ⑩ Manifold for air sampling, ⑪ Exhaust outlet).

**Table 1.** Property of test coating materials

Items	1 <sup>st</sup> Quality level	Chemical paint				Natural paint			
		Ca	Cb	Cc	Cd	Na	Nb	Nc	Nd
Consistency [K.U]	82~110	108	110	107	108	109	86	109	92
Nonvolatile content [%]	>50	59	62	61	52	46	50	46	53
Gloss [%]	<10	5	15	5	15	5	10	3	10
Fineness [N.S]	>3	4	4	4	4	4	4	4	4
Contrast ratio	>0.92	0.95	0.94	0.95	0.94	0.95	0.98	0.92	0.93

유지하였고, 내부 확산판을 설치하여 챔버내부에 유입된 공기가 안정한 상태를 유지하도록 하였다. 도료 시험편의 크기는 0.0648 m<sup>2</sup>으로 면적대비 용적의 부하율 (loading factor)은 1.62 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>이다. 온도와 습도는 실험이 진행된 7일 동안 5분 간격으로 측정하였으며, 측정기간 온도는 25.5±0.4°C, 습도는 48±3%로 유지하였으며, 공기청정협회, ASTM, JIS의 적정유지기준 범위를 만족하였다.

**4. 소형챔버 실험**

소형챔버 시험장치의 공기청정장치에 유입된 공기는 dry heater를 통해 수분이 제거되고, HEPA 필터를 거치며 입자상 오염물질이 포집된다. 그리고 UV 산화기에서 유기화합물질을 분해하고, activated carbon, molecular sieve 트랩에 포집되어 청정하게 된다. 그리고 두 갈래로 나누어진 유로는 각각 건조공기 라인과 습윤공기 라인으로 구성되고, 습윤공기 라인에는 버블미터(용량 2l)가 직렬로 2대 연결되어 있으며, 건조공기 라인과 습윤공기 라인의 길이는 동일하게 유지하였다. 또한 건조공기와 습윤공기의 유량을 조절하여 혼합조에 유입시키고 혼합된 공기를 챔버에 유입시켜 습도 조건을 조절하였다. 총 9개의 소형챔버를 이용하였으며, 이중 1개의 챔버는 Blank 챔버로 사용하여 보정하였다. 각각의 챔버에 공급되는 환기량은 400 ml/min이고 최초 시험편을 챔버에 고정시킨 후 24시간 48시간, 72시간, 96시간, 144시간에 VOCs를 포집하였다.

**5. 측정 및 분석방법**

Tenax-TA(60/80 mesh) 200 mg이 충전된 스테인레스관을 이용하여 VOCs를 50 ml/min으로 1시간 포집하였으며, 포집된 VOCs 흡착튜브는 열탈착기(ATD400, Perkin-Elmer, UK)와 GC-FID(Perkin-Elmer, UK)를 이용하여 분석하였다. VOCs 표준가스는 EPA-TO 14에서 규정한 혼합 표준가스(Supelco, USA)를 이용하였다.<sup>22)</sup> VOCs 표준시료는 단계적으로 0.25, 0.50, 1.0 ppm으로 주입하여 주입농도에 대한 FID의 감도의 선형성을 평가하였다. 선형성은 주입농도와 크로마토그램을 적분한 면적을 비교하여 검량선을 작성하였으며, 피어슨 상관계수를 구하여 정밀도를 평가하였다. 대부분의 물질에서 Pearson-R<sup>2</sup>이 0.98 이상으로 나타났다.

**6. TVOCs 방출강도 및 예측**

1) 물질전달과정

도료에서 발생하는 VOCs는 물질전달과정을 통해 방출되며, 물질전달과정은 증발물질전달, 흡착된 화합물

들의 탈착, 건축자재 내부의 확산물질전달 등이 있다. 증발에 의한 물질전달은 공기가 도료의 표면을 흐르면서 발생되며, 식 (1)로 표현할 수 있다.<sup>13,16,23)</sup>

$$ER = k_m(VP_s - VP_a) \tag{1}$$

여기서,

ER : Emission rate [mg/hr]

k<sub>m</sub> : Mass transfer coefficient [m<sup>2</sup>/hr]

VP<sub>s</sub> : Vapor pressure at the surface of the material [mg/m<sup>2</sup>]

VP<sub>a</sub> : Vapor pressure in the air above the surface [mg/m<sup>2</sup>]

위의 식 (1)과 같이 방출강도는 도료의 표면과 접촉되는 공기 사이의 증기압 차이와 농도차이에 비례하며, 증기압은 도료에서 발생하는 농도와 직접적인 연관이 있다. 또한, 물질전달계수는 접촉되는 공기의 난류 정도와 시간에 따른 대상 화합물의 농도 즉, 확산계수의 함수로 표현된다. 또한 도료에서 배출되어 다른 건축자재에 흡착된 화합물의 탈착율은 흡착된 분자의 보유시간 또는 평균 체류시간에 의해 결정될 수 있으며, 보유시간이 클수록 탈착율이 낮아진다. 보유시간은 식 (2)와 같다.

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{Q}{RT}} \tag{2}$$

여기서,

τ : Retention time [sec]

τ<sub>0</sub> : Constant with a typical value from 10-12 to 10-15 [sec]

Q : Molar enthalpy change for adsorption [J/mol]

R : Gas constant [8.314J/mol-K]

T : Temperature [K]

건축자재로의 내부확산은 대상화합물에 대한 확산계수의 함수이며, 건축자재 내부의 화합물질에 대한 확산계수는 화합물의 분자량, 크기, 극성정도 등의 물리·화학적 특성과 온도의 함수이다.<sup>23)</sup> 또한, 건축자재의 내부구조도 확산에 많은 영향을 미치며, 각각의 화합물이 혼합되어 있는 상태에서의 확산정도는 혼합물의 조성과 관련이 있다. 도료는 습한 상태의 건축자재로 구분할 수 있으며, 시공 초기 표면의 증발에 의해 방출이 진행되다가 일정한 시간의 경과 후 표면이 건조한 상태로 되면 증발보다는 내부확산에 의해 방출되고 표면

이 완전히 건조해지면 내부확산에 의해 다시 대기 중으로 방출된다.<sup>27,28)</sup>

2) 방출강도

방출강도를 산정하기 위한 방법으로는 Individual Concentration Data Point와 Time Concentration Profile 방법이 있다. 또한, 시간의 경과에 따라 발생하는 VOCs와 포름알데히드의 방출농도를 예측하기 위하여 Explicit Chamber Model이 주로 사용하고 있으며, 이외에 많은 경험식들이 이용되고 있다.<sup>16)</sup>

Individual Concentration Data Point 방법은 방출농도가 일정하고 챔버 내부 공기의 흐름이 정상상태일 경우 하나의 데이터로부터 식 (3)을 이용하여 방출강도를 계산할 수 있으나, 만약 방출율이 일정하지 않거나 챔버 내부가 정상상태에 도달하지 않으면 많은 문제가 발생될 수 있다. 따라서 챔버 실험에서 내부를 정상상태로 유지하기 위한 노력이 필요하다.

$$C_s = \frac{EF \times A}{Q}$$

$$EF = C_s \times \frac{Q}{A} = C_s \times \frac{NV}{A} = C_s \times \frac{N}{L}$$

$$EF(t) = C(t) \times \frac{N}{L} \tag{3}$$

여기서,

- $C_s$  : chamber concentration [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]
- $EF$  : Emission factor [ $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ ]
- $Q$  : Air volume [ $\text{m}^3$ ]
- $A$  : Area [ $\text{m}^2$ ]
- $V$  : room volume [ $\text{m}^3$ ]
- $N$  : Air exchange rate [ $\text{hr}^{-1}$ ]
- $L$  : Loading factor [ $\text{m}^2/\text{m}^3$ ]
- $t$  : Time

소형 챔버의 방출농도 측정 자료를 이용하여 방출강도를 산정하려면 위의 식 (3)에서 챔버 내부의 정상상태가 유지되는 최초의 시간이 선정되어야 한다. 본 연구에서 실시한 측정결과를 살펴보면, 실험 초기의 TVOCs 농도가 전체 배출량의 약 40% 수준이었다. 시간이 경과됨에 따라 초기 방출농도 경사가 큰 쪽으로 감소하고 있는 것은 화학평형에 따른 오염물질의 배출이 정상상태에 도달하기 위한 과정으로서, 이러한 농도 변화 경향은 3일을 기점으로 변곡점을 가지며 배출농도가 완화되고 있다(Fig. 2). 그러므로 시간에 따른 농도를 추정하기 위해서는 정상상태에 가까운 3일의 측정 자료를 해석하여 정확한 예측식과 농도를 얻을 수

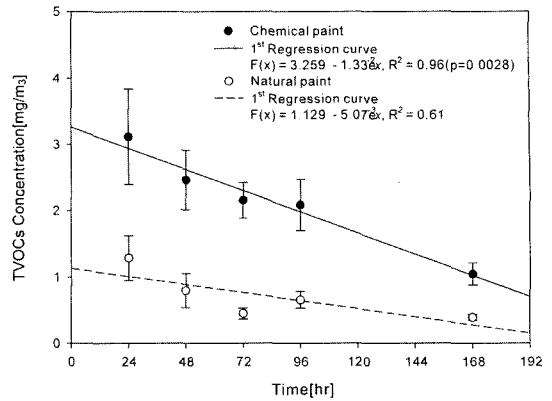


Fig. 2. Comparison of TVOCs emitted from a chemical and a natural paint.

있다. 이와 같이 준 정상상태 3일을 기준으로, 시료부하율인  $L$ 과 환기회수가 정해진다면 시간에 따른 방출강도( $EF(t)$ )를 부하율과 환기회수,  $EF_0$ 의 관계를 이용하여 나타낼 수 있으며, 배출강도 예측식은 식 (4)와 같다.

$$EF(t) = EF_0 \times \exp[-kt] \tag{4}$$

여기서,

- $k$  : Emission rate decay constant [ $\text{hr}^{-1}$ ]
- $t$  : Time

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 페인트에서 방출되는 TVOCs 농도

TVOCs 농도는 분석결과 중  $C_6$ (hexane)~ $C_{16}$ (hexadecane) 범위의 VOCs중 정성된물질과 비정성된 물질을 더하여 이를 TVOCs의 농도로 나타내었다. 비정성된 화합물은 분석 크로마토그램 상에서 정성되지는 않았지만, 크로마토그램으로 표현된 미확인 물질들로서, TVOCs 농도를 산출하는 여러 가지 규정에 의거하여 톨루엔(toluene) 등가농도(equivalent concentration)로 환산하여 나타낸 수치이다.<sup>13)</sup>

Fig. 2에는 화학 및 천연페인트로서 중앙의 점은 4개 재료에 대한 12개 시료의 평균값을 나타내고 있다. 화학페인트의 1일차 초기 방출농도는  $3.11 \text{ mg}/\text{m}^3$ (SE: 0.72)로 천연페인트  $1.29 \text{ mg}/\text{m}^3$ (SE: 0.34)에 비해 약 2.4배 이상 높은 수준이었다. 시간이 경과함에 따라 화학페인트의 경우 1차 회귀직선을 통해 추정된 TVOCs의 감소량은 단위시간 약  $1.33e^{-2} \text{ mg}/\text{m}^3$ 으로, 7일차

농도는 초기 농도의 34% 수준인 1.05 mg/m<sup>3</sup>(SE: 0.17)을 나타내었다. 천연페인트의 경우 추정된 TVOCs 배출량은 화학페인트의 약 38% 수준으로 시간당 5.07e<sup>-3</sup> mg/m<sup>3</sup>(SE: 0.17)이었고, 7일차 농도는 초기 농도의 30% 수준인 0.39 mg/m<sup>3</sup>(SE: 0.04)로 나타났다. 방출농도는 3일을 기점으로 하여 오염물질의 방출농도의 경사가 변화하고 있으며, 초기의 급격한 방출이 지체되며 안정되고 있음을 알 수 있다.

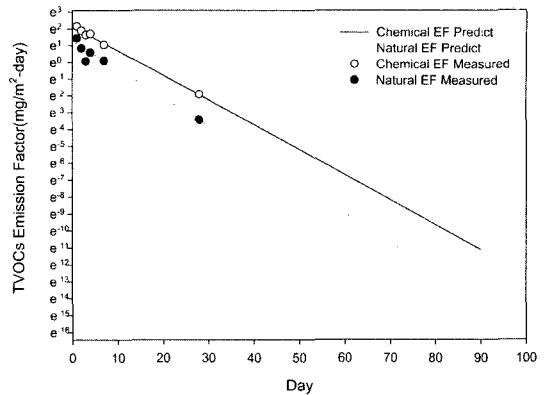
화학페인트( $f(x) = 3.259 - 1.33e^{-2x}$ )는 초기농도가 높은 반면에 시간에 따라 배출되는 TVOC량이 천연페인트( $f(x) = 1.129 - 5.07e^{-3x}$ )에 비해 유의한 수준을 나타내었다. Chang 등(1997)<sup>24</sup>과 Silva(1999)<sup>25</sup>는 페인트 및 varnish를 시공현장에 적용했을 때 페인트의 종류 이외에도 페인트를 도말한 벽체의 종류 및 표면 특성에 따라 방출경향이 다르게 나타난다고 보고하였다. Kwok 등(2003)<sup>26</sup>은 시험벽체를 aluminium, plaster, gypsum 및 plywood로 하여 varnish 방출시험을 하였으며, 10 시간 후 톨루엔 방출농도가 각각 2080.2, 323.2, 326.1, 34.9 mg/m<sup>2</sup>·hr로 알루미늄을 사용했을 때에 시간에 따른 방출농도가 제일 크게 나타났으며 나무재료를 사용했을 경우에 가장 낮은 것으로 평가되었다. 그러므로 동일한 재료의 페인트를 현장에 시공하더라도 사용되는 벽체의 종류에 따라라도 VOCs의 방출농도는 다르게 나타나며 이러한 조건을 적절히 이용하여 페인트에 의해 가중되는 실내공기중 VOCs의 방출농도 수준을 일정부분 제어할 수 있을 것으로 판단된다.

**2. TVOCs 방출강도 및 예측결과**

건축자재에서 발생하는 VOCs는 시간에 따라 감소하며, 이것은 시간에 따른 오염물질의 저감과 관계된 함수로 나타낼 수 있고(식 (1)~식 (4)), 소형 챔버 시험을 통해 측정된 자재의 오염물질의 방출 농도를 이용하여 Table 2에는 화학페인트와 천연페인트의 방출강도 감쇄계수 및 초기강도 그리고 28일과 90일의 예측 값을 나타내었으며, Fig. 3에는 측정값과 예측값을 비교하였다.

**Table 2.** Predict value and parameter for TVOCs emission factor

Parameters	Chemical paint	Natural paint
$k$ (day <sup>-1</sup> )	0.1454	0.1670
$EF_0$ (mg/m <sup>2</sup> ·day)	1.1529	0.4697
$EF_{28}$ (mg/m <sup>2</sup> ·day)	0.0197	0.0044
$EF_{90}$ (mg/m <sup>2</sup> ·day)	< 0.00001	< 0.000001
R <sup>2</sup>	0.983	0.866



**Fig. 3.** Emission factor-time profiles resulting from measured and predicted value.

화학페인트의 경우 초기강도( $EF_0$ )는 단위면적당 하루에 방출되는 TVOCs의 양이 1.1529 mg/m<sup>2</sup>·day로 천연페인트보다 약 2배 이상인 것으로 나타났다. 28일이 경과된 시점에서 방출강도는 0.0197 mg/m<sup>2</sup>·day로 천연페인트보다 약 4.5배 가량 높은 수준이며, 90일이 경과된 시점에서는 화학페인트가 10 µg/m<sup>2</sup>·day 이하, 천연페인트가 1 µg/m<sup>2</sup>·day 이하로 매우 낮은 수준으로 예측되었다. 측정치와 예측치의 방출강도는 모두 95% 신뢰수준에 수렴하고 있으며 화학페인트 및 천연페인트의 방출강도 측정값에 대한 예측값 모두 유의한 수준으로 평가되었다.

우리가 연구한 페인트에서 TVOCs의 방출강도는 시간에 따라 지수 감소형태를 띄고 있으며, Zhang 등(2003),<sup>8</sup> Chang 등(1997),<sup>24</sup> Silva 등(1999),<sup>25</sup> Kwok 등(2003)<sup>26</sup> 및 Zhang 등(2003a)<sup>27</sup>의 연구 결과와 동일한 경향을 보였다. 그리고 방출시험 초기단계에 관찰되는 높은 수준의 방출강도는 페인트 표면에서의 증발력이 우세하게 작용하고, 이후 방출강도가 시간이 경과함에 따라 감소하는 것은 오염물질의 방출이 페인트 내부의 확산력에 의해 좌우되기 때문인 것으로 판단된다.<sup>27,28</sup> 예측된 방출강도는 다른 건축자재에 대한 정보와 함께 신축건물의 실내공기 중 TVOCs 농도를 예측하는데 활용될 수 있으며, 여기에는 실내공간에 시공된 자재별 부하율(load factor)과 실제 환기율이 고려되고 있다.<sup>16</sup>

**IV. 결 론**

건축자재에 대한 정보를 이용하여 실내 공기질의 예측에 적용하고자 화학페인트와 천연페인트에 대하여 오염물질의 방출농도를 측정하고, 방출강도를 예측하였

다. 시간에 따라 오염물질의 방출량은 감소하고 있었으며, 천연페인트가 화학페인트에 비하여 방출량과 방출강도는 낮게 평가되었다. 방출강도 측정값은 예측치의 95% 신뢰수준 범위에 수렴하고 있었다. 향후 건축자재에 의한 실내공기중 TVOCs의 방출농도 예측 및 평가를 위해 바닥재, 벽지, 가구류에 대한 추가적인 실험이 필요하다.

### 참고문헌

- Wallace, L. A., Pellizzari, E. D., Hartwell, T. D., Davis, V., Mitchael, L. C. and Whitmore, R. W. : The influence of personal activities on exposure to volatile organic compounds. *Environmental Research*, **50**, 37-55, 1989.
- Cometto-Muniz, J. E. and Cain, W. S. : Relative sensitivity of the ocular trigeminal, nasal trigeminal and olfactory system to airborne chemicals. *Chem. Senses*, **20**(2), 191-198, 1995.
- Rune, B., Jan, K. H., Matti, J. J. and Erik, D. : Environmental chemicals relevant for respiratory hypersensitivity: the indoor environment. *Toxicology letters*, **86**, 155-162, 1996.
- Sheldon, L. S., Handy, R. W., Hartwell, T. D., Whitmore, R. W., Zelon, H. S. and Pellizzari, E. E. : Indoor Air Quality in Public Buildings I and II. Research Triangle Park(NC): USEPA; EPA 600/S6-88/009a,b., 1988.
- Spengler, J. D., McCarthy, J. F. and Samet, J. : Indoor air quality handbook-Wallace, L. A.: Assessing human exposure to volatile organic compounds. McGraw-Hill; New York, 33, 1-33.35, 2001.
- Hoddinott, K. B. and Lee, A. P. : The use of environmental risk assessment methodologies for an indoor air quality investigation. *Chemosphere*, **41**, 77-84, 2000.
- Lee, J. J., Kim, J. H. and Kim, S. D. : Estimation for emission concentration of volatile organic compounds from newly produced apartment house. *Journal of Korean Society of Urban Environment*, **4**(1), 13-49, 2004.
- Zhang, Y. and Xu, Y. : Characteristics and correlations of VOC emissions from building materials. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **46**(25), 4877-4883, 2003.
- Wolkoff, P. and Nielsen, G. D. : Organic compounds in indoor air-their relevance for perceived indoor air quality?. *Atmospheric Environment*, **35**(26), 4407-4417, 2001.
- Tucker, W. G. : Air pollutants from surface materials-facts influencing emissions, and predictive models. *Proceeding of 1st International Conference on Healthy Buildings*, Stockholm, 149-157, 1988.
- Indoor Air Quality Update, WHO issues chemical report, **3**(1), 9-14, 1990.
- ECA(European Collaborative Action) : Guideline for the characterization of volatile organic compounds emitted from indoor materials and products using small emission test chambers. Report No. 8, EUR 13593 EN. Luxembourg: Official Publications of the European Communities. 1993.
- ECA(European Collaborative Action) : Total Volatile Organic Compounds(TVOC) in Indoor Air Quality Investigations. Report No. 19, EUR 17675 EN. Luxembourg: Official Publications of the European Communities. 1997.
- EPA : Characterization of emission from carpet samples using a gallon aquarium as the source chamber. Report No. EPA-600/R-94-141, 1994.
- Haghighat, F. and Huang, H. : Integrated IAQ model for prediction of VOC emissions from building material, *Building and Environment*, **38**, 1007-1017, 2003.
- Guo, Z. : Review of indoor emission source models. Part I. Overview. *Environmental Pollution*, **120**, 533-549, 2002.
- Guo, H., Lee, S. C., Chan, L. Y. and Li, W. M. : Risk assesment of exposure to volatile organic compounds in different indoor environments. *Environmental Research*, **94**, 57-66, 2004.
- ISO : Determination of the emission of VOCs-Emission test chamber method. ISO/DIS 16000-9, 2004.
- ASTM : Standard Guide for small-scale Environmental Chamber Determination of Organic Emissions from Indoor Materials/Products, ASTM D 5116, 1997.
- 日本規格協會 : 建築材料の揮発性有機化合物(VOC), ホホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物放散測定方法 - 小形デヤンバ法, JIS A 1901, 2003.
- 한국공기청정협회 : 친환경 건축자재 단체품질인증 시험방법-소형챔버법, 2004.
- U.S. EPA : Determination of Volatile organic compounds in ambient air using active sampling onto sorbent tubes. Compendium Method TO-17, 1999.
- Fariborz, H. and Lisa, D. : Material emission rates: literature review, and the impact of indoor air temperature and relative humidity, *Building Environment*, **33**(5), 261-277, 1997.
- Chang, J. C. S., Tichenor, B. A., Guo, Z. and Kerbes, K. A. : Substrate effects on VOC emissions from a latex paint. *Indoor Air*, **7**, 241-247, 1997.
- Silva, G. V. A., Vasoncelos, M. T., Fernandes, E. O. and Santos, A. M. S. : The effect of substrate of volatile organic compounds emissions from a varnish. *Indoor Air '99, Proceedings of the Eighth International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Vol. 1(8-13), Edinburgh Scotland, 493-498, 1999.
- Kwok, N. H., Lee, S. C., Guo, H. and Hung, W. T. : Substrate effects on VOC emissions from an interior finishing varnish. *Building and Environment*, **38**, 1019-1026, 2003.
- Zhang, L. Z. and Niu, J. L. : Effects of substrate parameters on the emissions of volatile organic com-

- pounds from wet coating materials. *Building and Environment*, **38**, 939-946.
28. Zhang, J. S., Nong, G., Shaw, C. Y. and Wang, J. M. : Sink characteristics of a full-scale environmental chamber and their impact on material emission testing. *ASHRAE Transaction*, **105**(2), 400-413, 1999.