

## 신축 아파트의 실내 마감재 변경 및 시공단계별 휘발성유기화합물 발생 특성

방 승 기<sup>†</sup>, 조 우 진<sup>\*</sup>, 손 장 열<sup>\*\*</sup>

경민대학 실용건축과, \*한양대학교 대학원 건축공학과, \*\*한양대학교 건축대학

### Characteristics of VOCs Emission According Interior Finish Materials and Working Phases of New Apartments

Seung-Ki Pang<sup>†</sup>, Woo-Jin Cho<sup>\*</sup>, Jang-Yeul Sohn<sup>\*\*</sup>

Department of Architecture, Kyungmin College, Eujungbu 480-703, Korea

\*Department of Architecture, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

\*\*College of Architecture, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received February 16, 2006; revision received April 26, 2006)

**ABSTRACT:** In this research, IAQ is measured to evaluate the emission performance of VOCs in three new apartment houses finished by totally EFMs (Environmental Friendly Material), partially installed EFMs and general materials. Among various VOCs, Target pollutants for the IAQ measurement are benzene, ethylbenzene, toluene, xylene, 1,4-Dichlorobenzene and formaldehyde. The measurement is conducted one day after each interior finishing material is worked over by construction schedule. The result of this research concluded that (1) Except toluene, the concentration levels of each pollutant did not exceed the national IAQ standards in all test residences, (2) As the interior finishing work schedule, A toluene level peaked when the furniture installing was ended. (3) The toluene concentration level of the house installed general interior materials as the non-EFMs furniture was one and half higher than other houses. Consequently, installing the furniture made by EFMs is one of effective methods to improve the IAQ for new apartment houses.

**Key words:** Indoor air quality(실내공기질), VOCs(휘발성유기화합물), Formaldehyde(포름알데히드), Pollutant concentration(오염물질농도)

#### 1. 서 론

최근 아파트의 실내공기질 향상을 위하여 많은 노력을 기울이고 있으며 이를 위한 방안 중의 하나로 실내의 마감재로 일반자재를 사용하던 것을

친환경자재로 변경하여 사용하고 있다.

그러나 지금까지의 연구는 접착제, 페인트 등과 같은 단일 품목의 휘발성유기화합물의 방출속도에 관한 단순 평가<sup>(1)</sup>와 자재 자체에 대한 소형 챔버를 이용한 휘발성유기화합물의 방출강도 평가<sup>(2)</sup>가 주로 이루어지고 있다.

본 연구에서는 신축중인 아파트를 대상으로 친환경자재, 일반자재 및 친환경자재를 부분 적용한 3개 세대를 대상으로 실내의 마감자재 설치단

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-31-828-7322; fax: +82-31-828-7949

E-mail address: skpang@kyungmin.ac.kr

계에서 건축공정의 시공단계별로 실내의 포름알데히드와 휘발성유기화합물 발생량을 평가한다.

## 2. 실험방법 및 내용

### 2.1 측정대상 건물

측정은 서울에 위치한 신축중인 아파트를 대상으로 하였으며 2005년 10월에 1개월간 실시하였다. Table 1에 측정대상 아파트의 개요, Table 2에 측정 일정을 나타내었다. Fig. 1은 측정대상 공동주택의 평면을 나타낸 것이다.

측정대상 세대의 실내 마감은 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 3가지 경우로 나누어 시공하였다. 각 case에 대한 시공자재 및 각 세대의 마감자재 등급을 Table 3과 Table 4에 표시하였다.

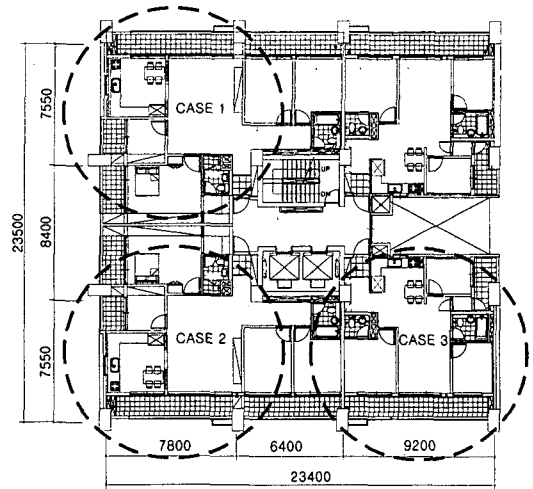


Fig. 1 Floor plan of household.

### 2.2 측정방법 및 항목

마감자재는 401호는 일반자재, 402호는 친환경자재를 부분 적용, 404호는 창호 및 석고보드를 제외한 전체 마감자재를 친환경자재로 시공하였다. 각 세대별로 내부 마감재를 설치하기 전에 Multi gas monitor와 SF<sub>6</sub> 가스를 이용하여 환기회수를 측정하였으며, 측정대상 물질인 휘발성유기화합물과 포름알데히드는 각각 Tenax-TA와 DNPH cartridge를 이용하여 샘플링한 후 GC/MS와 HPLC로 분석하였다.

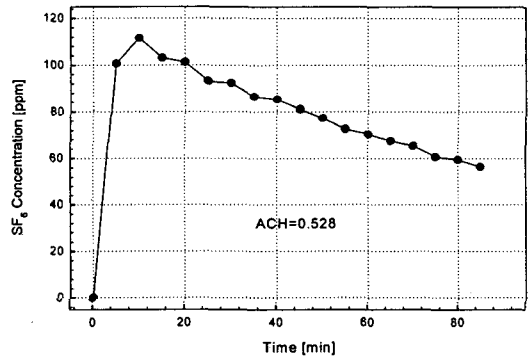


Fig. 2 Air exchange rate.

Table 1 Descriptions of test building

Location	Seoul, Korea
Site area	2,551 m <sup>2</sup>
Floor area	27,226 m <sup>2</sup>
Floors	23 floors above ground and 4 floors below
Houses	160 EA (27 PY : 40, 33 PY : 80, 43 PY : 40)

Table 2 Field test schedule

2005.10																														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
														Door							Kitchen furniture									
Door frame						Tile						indoor furniture																		
Wall paper											Caulking																			
Art wall											Floor																			

Table 3 The list of interior finishing of each house

Material type		Finishing material	Bonding	House
PVC	Door, Window	PD Frame (FZ003-89B)	277N	401,402
		E0 + Film (deco-sheet FZ003-89B)	277N	404
Wall-paper	Base	Typical materials	503H	401,402
	Cover finishing		200	
	Base	EFM	503H	404
	Cover finishing		200	
Flooring	Plastic finishing	Typical materials (MSJ9563-01)	FA-900	401
	Plywood (living R/M)	Typical materials (MAPLE-M/75*900*8)	FA-850A	
	Plastic finishing	The Calkumi	FA-900	402,404
	Plywood (living R/M)	The Calkumi	FA-850A	
Tiling	Wall, floor tiles	Typical materials (840-F001, 840-H001)	Ceratec CT-600	401,402,404
Interior	MDF	E2		401
	Film	LG DECO sheet general (FZ003-89B)	195N	
	MDF	E1		402
	Film	LG DECO sheet blue (FZ003-89B)	195N	
	MDF	E0		404
	Film	LG DECO sheet blue (FZ003-89B)	195N	
Caulking	Moulding, bathroom	-	AS-5500	401,402,404
Built-in furniture	MDF	E1	205	401,402
	PB	E1	205	
	Film	LG DECO sheet blue (WAM3512)	195N	
	MDF	E0	205	404
	PB	E0	205	
	Film	LG DECO sheet blue (WAM3512)	195N	

Table 4 Environment friendly rate of each interior material

House	Window	Gypsum B/D, tile	PVC door	Wall paper	Floor	Art wall	Int. fur.	Kic. fur.	Bond	Paint
401	Typical materials						E1	E1	EFM	EFM
402	Typical materials				EFM	EFM	E1	E1	EFM	EFM
404	Typical materials	EFM	EFM	EFM	E0	E0	E0	EFM	EFM	

EFM : Environmental-friendly materials

### 3. 측정결과 및 분석

#### 3.1 환기회수

구조체와 외부에 면한 창호 및 출입문만 시공된 상태에서 환기회수를 측정하였다. 환기회수 측

정결과 각 세대의 환기회수는 유사하게 나타났으며 측정결과를 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2에서 볼 수 있는 바와 같이 환기회수는 일반적인 공동주택의 경우보다 조금 큰 0.528회/h로 나타났다. 이는 실내의 마감재가 완전히 설치되어 있지 않고 창호, 출입문의 틈새 등에 코킹

처리가 되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.2 포름알데히드

Table 5는 실내공기 오염물질의 허용기준을 나타낸 것이며, Fig. 3은 실내 마감재료 설치에 따른 포름알데히드(Formaldehyde)의 농도변화를 살펴보기 위하여 각 마감재료를 시공한 후 측정된 결과를 나타낸 것이다. Fig. 3에서 Pre는 건물의 구조체가 완공된 상태에서 외부에 면한 창호, 현관문을 시공한 상태에서 측정된 값을 나타낸 것이며, Frame은 문틀을 시공한 이후의 측정값, Art는 아트월과 천장을 시공한 이후의 측정값을 나타낸 것이다. 또한 W-Paper는 실내의 도배가 끝난 후, Door는 실의 출입문을 설치한 후, Tot1은 출입문까지 설치한 후 2일이 경과한 후 측정된 값을 나타낸 것이다. Kit는 부엌가구를 설치한 후, Fur는 실내의 신발장과 거실장을 설치한 후 측정값을, Tot2는 실내의 마감재 및 가구를 모두 설치한, 완공 후 2일이 지난 후 측정된 값을 나타낸 것이다. 측정단계는 Table 6에 나타내었으며 각 단계에서의 측정은 공정시험법에 따라 30분간

Table 5 Guideline for indoor air quality

VOCs	Guideline ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Formaldehyde	210
Benzene	30
Toluene	1,000
Ethylbenzene	360
Xylene	700
Styrene	300

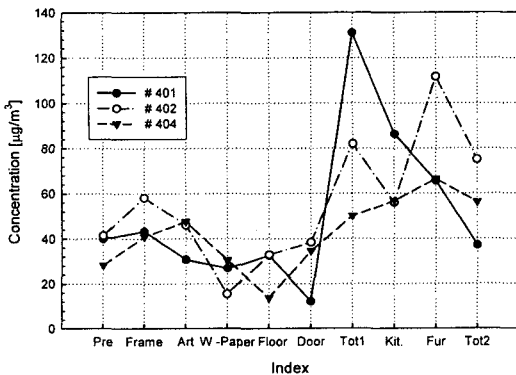


Fig. 3 Variation of formaldehyde concentration.

실내의 모든 창문과 출입문을 개방한 후 다시 밀폐하고 5시간 후에 실내의 공기를 포집하였다.

측정결과 포름알데히드의 농도는 최저  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 최고  $145 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위를 보이고 있으며, 기준치인  $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 나타났다.

따라서 일반자재를 시공한 세대인 401호, 친환경자재를 부분 적용한 402호 및 친환경자재를 적용한 404호 모두 기준을 만족시키는 것을 알 수 있다.

### 3.3 휘발성유기화합물

Fig. 4는 각 시공단계별 실내의 benzene의 농도변화를 나타낸 것으로 각 단계에서 측정된 benzene의 실내농도는 가구를 설치한 후 일반자재를 시공한 401호에서 일시적으로 농도가 상승하나 전체적으로 신축 공동주택의 실내공기질 기준인  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족시키는 것으로 나타났다.

Table 6 Procedure of interior finishing and field test

Steps	Working and testing
1	Pre-test
2	PD frame finished
3	Art wall working finished
4	Wall paper working finished
5	Plywood flooring finished
6	PD door finished
7	Ended step 6, field test after two days
8	Kitchen furniture
9	Indoor furniture
10	Ended step 9, field test after two days

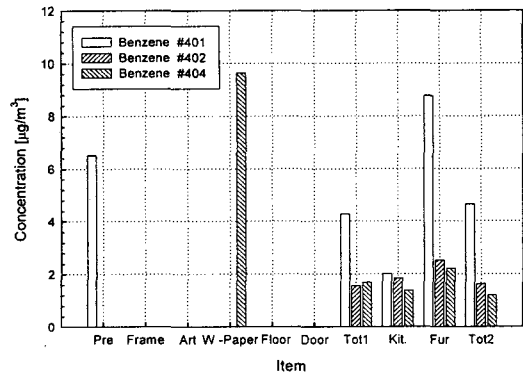


Fig. 4 Variation of benzene concentration.

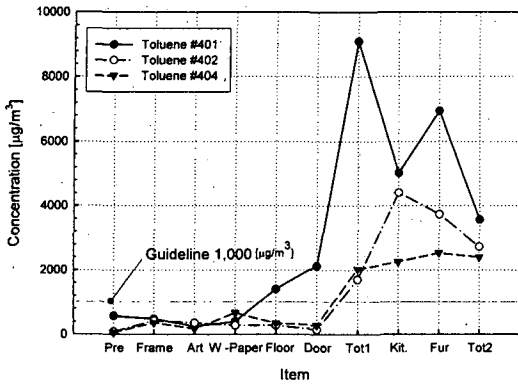


Fig. 5 Variation of toluene concentration.

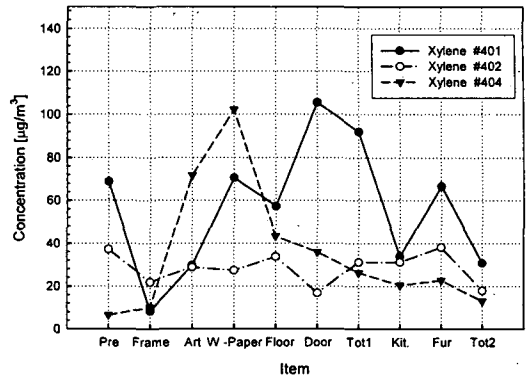


Fig. 7 Variation of xylene concentration.

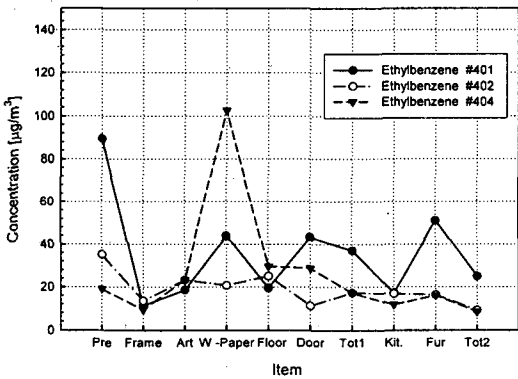


Fig. 6 Variation of ethylbenzene concentration.

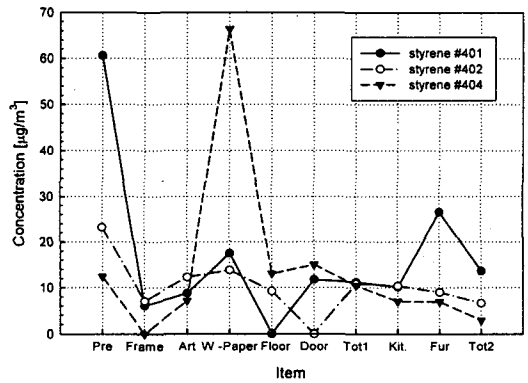


Fig. 8 Variation of styrene concentration.

Fig. 5는 시공단계별 실내의 톨루엔 농도측정 결과를 나타낸 것으로 온돌 마루를 설치한 후의 측정값이 일반 자재를 시공한 401호에서 기준인  $1,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘는 것으로 나타났다. 또한 친환경 자재를 일부 적용한 세대와 전체를 적용한 402호와 404호에서도 출입문을 설치한 후 2일이 지난 상태에서는 기준치를 초과하는 것으로 나타났다.

따라서 실내의 toluene의 농도를 저감시키기 위해서는 온돌용 마루, 마루용 접착제 및 실의 출입문의 선택에 유의해야 할 것으로 판단된다. 또한 부엌가구와 실내의 가구를 시공한 이후에 시간경과에 따라 실내의 toluene의 농도가 줄어드는 경향은 보였지만, 기준치보다 3~4배의 농도를 보이는 것으로 나타났다.

따라서, 실내의 toluene의 농도는 시간경과에 따라 저감되는 것으로 나타나, 충분한 환기, bake-out 등에 의해서 기준치를 만족시킬 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 6은 일반자재를 시공한 401호, 친환경자재를 일부 적용한 402호 및 친환경자재를 전체 적용한 404호의 시공단계별 실내의 ethylbenzene 농도를 나타낸 것이다. 측정결과 측정대상 3세대 모두 기준인  $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족시키는 것으로 나타났다. 천장과 벽체에 도배를 실시한 다음날의 실내 ethylbenzene의 농도는 일시적으로 친환경자재를 적용한 404호에서  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이상이 나타났지만, 이는 신축 공동주택의 실내공기질 기준치의 1/3에 해당하는 값으로 크게 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

Fig. 7은 각 시공단계별 실내의 xylene의 농도 변화를 나타낸 것으로 일반 자재를 시공한 401호에서 출입문을 시공한 후 측정된 값이 최대  $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$  정도로 나타나, 신축 공동주택의 실내공기질 기준인  $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족시키는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 시공단계별 측정대상 세대의 실내의

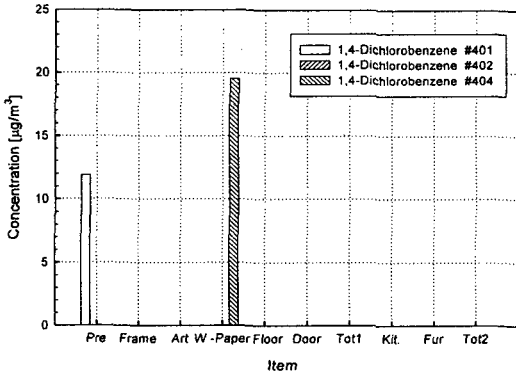


Fig. 9 1,4-Dichlorobenzene concentration.

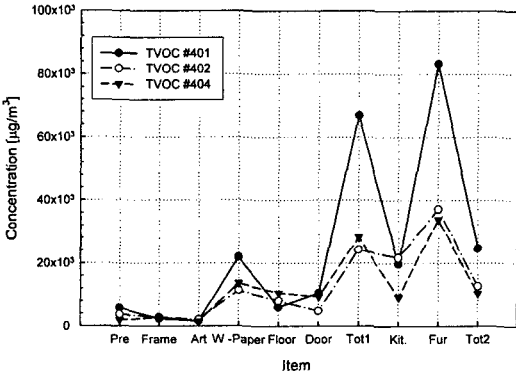


Fig. 10 Variation of TVOC concentration.

styrene의 측정결과를 나타낸 것이며, Fig.9는 1,4-Dichlorobenzene의 측정결과를 나타낸 것이다. Fig.8에서 실내의 도배공사 완료 후 24시간 후에 측정된 실내의 styrene의 농도는 친환경자재를 세대 전체에 적용한 404호에서 일시적으로  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 농도가 상승하지만 실내 공기오염물질의 허용농도기준인  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 1/4로 크게 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

1,4-Dichlorobenzene은 실내의 구조체 및 외부에 면한 창호와 출입문만을 시공한 경우 Fig.9와 같이 401호에서 일시적으로 발생되는 것으로 나타났다. 또한 친환경자재를 사용한 404호에서 도배 이후에 일시적으로 발생하는 것으로 나타났지만 그 이후 각 단계에서 발생하지 않았다. 또한 발생한 경우에도 그 농도가 매우 낮아 문제가 없을 것으로 판단된다. Fig.10은 각 시공단계별 TVOC의 농도변화를 나타낸 것으로 일반자재를 사용한 401호가 가장 크게 나타났다.

도배공사가 끝난 후 일시적으로 상승하고, 일정한 상태를 유지하다가 부엌가구, 거실가구 및 신발장을 설치한 이후에 급격하게 상승하는 것으로 나타났다. 그러나 완공 후 48시간 경과한 후 농도가 감소하는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 신축 공동주택을 대상으로 일반 자재, 친환경자재를 일부적용한 세대 및 친환경자재를 전체에 적용한 3개 세대를 대상으로 실험을 실시하였다. 측정은 각 시공단계별 실내의 마감재 설치에 따른 포름알데히드와 휘발성유기화합물 발생 특성을 평가하고 완공 후 각 세대의 실내공기 오염물질의 농도를 평가하였다.

(1) 각 시공단계에서 실내의 휘발성유기화합물 농도를 평가한 결과 측정대상 3세대 모두 toluene을 제외하고는 기준치를 초과하지 않는 것으로 나타났다.

(2) 시공단계별 실내의 toluene 농도는 실내가구를 설치한 직후 급격하게 상승하여 농도기준을 초과하는 것으로 나타났다.

(3) 포름알데히드의 농도는 측정대상 세대 모두 기준을 넘지 않는 것으로 나타났다.

(4) 가구를 실내에 설치한 후에 일반자재를 사용한 경우가 친환경자재를 사용한 경우보다 실내의 톨루엔 농도가 1.5배 정도 크게 나타나 실내의 공기오염물질의 농도를 낮추는 방안으로는 가구에서 발생하는 오염물질의 농도를 낮추는 것이 가장 효율적인 방법인 것으로 판단된다.

본 연구는 3개 세대를 대상으로 실험을 실시한 결과로 일반화하여 실제 공동주택에 적용할 경우에는 다양한 평수 및 많은 세대를 대상으로 실험을 실시하여야 할 것이다. 동시에 장기적인 관찰을 통하여 자재별 오염물질 방출 특성을 파악한 후 사용자재에 따른 실내의 농도를 예측하여야 할 것으로 사료된다.

#### 후 기

본 연구는 환경부가 출연하고 한국환경기술진흥원에서 위탁 시행한 2005년도 차세대 핵심기술 연구개발사업(013-51-039)에 의한 것으로 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Sung, M. K., Min, Y. S., Lee, J. M. and Lee, S. M., 2005, Evaluation of building materials emission rates in newly built apartments, Proceeding of Annual Conference in AIK, Vol. 25, No. 1, pp. 91-94.
2. Kim, H. W., Lee, K. H. and Sohn, J. Y., 2003, A study in the emitting characteristic of pollutant by finishing materials, Proceeding of Annual Conference in AIK, Vol. 23, No. 2, pp. 813-817.
3. Kwak, M. J., Jo, W. J., Pang, S. K. and Sohn, J. Y., 2005, The impact of bake-out method on the reduction of pollutant concentration, Proceeding of Annual Conference in AIK, Vol. 25, No. 1, pp. 411-414.
4. Pang, S. K., Sohn, J. Y. and Ahn, B. W., 2005, Prediction of the concentration decay of volatile organic compounds under different air change rates and loading factor conditions, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 6, pp. 505-513.
5. Pang, S. K., Sohn, J. Y. and Park, B. Y., 2005, Prediction of concentration decay of VOCs emitted from Ondol floor and furniture, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 21, No. 6, pp. 125-132.
6. Spengler, J. D. Samet, J. M. and McCarthy, J. F., 2001, Indoor Air Quality Handbook, McGraw-Hill, p. 315.
7. Keith, L. H. and Warker, M. M., 1995, Handbook of Air Toxics: Sampling, Analysis, and Properties, Lewis Publisher, Inc.
8. Samet, J. M. and Spengler, J. D., 1991, Indoor Air Pollution, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, pp. 252-272.
9. Rostron, J., 1997, Sick Building Syndrome, E&FN Spon, London, p. 39.
10. Salthammer, T., 1997, Emission of volatile organic compounds from furniture coatings, Indoor Air, Vol. 7, No. 3, pp. 189-197.
11. Van der Wal, J. F., Hoogeveen, A. W. and Wouda, P., 1997, The influence of temperature on the emission of volatile organic compounds from PVC flooring, carpet, and paint, Indoor Air, Vol. 7, No. 3, pp. 215-221.
12. Wolkoff, P., 1998, Impact of air velocity, temperature, humidity, and air on long-term VOC emissions from building products, Atmospheric Environment, Vol. 32, No. 14/15, pp. 2659-2668.