

신축공동주택의 실내공기질 특성 및 평가 -휘발성 유기화합물 및 포름알데히드 중심으로-

심상호 · 김윤신[†]
한양대학교병원 산업의학과

Characterization and Assessment of Indoor Air Quality in Newly Constructed Apartments -Volatile Organic Compounds and Formaldehyde-

Sang hyo Sim · Yoon shin Kim[†]

Department of Occupational and Environmental Medicine, Hanyang University Medical Center

(Received June 26, 2006/Accepted August 11, 2006)

ABSTRACT

Indoor air quality is the dominant contributor to total personal exposure because most people spend a majority of their time indoors. Especially exposure to indoor air can potentially pose a greater threat than exposure to ambient air when indoor environments have sources of contaminants. In this study, volatile organic compounds (VOCs) and formaldehyde (HCHO) within newly constructed apartment have been determined in 27 houses of apartment in Seoul from December 2004 to March 2005. The measured indoor air pollutants were HCHO, volatile organic compounds including benzene, toluene, styrene, xylene, ethylbenzene and sampled on the standard method of Ministry of Environment in Korea. The indoor levels for benzene, xylene, toluene, ethylbenzene, styrene, and HCHO have significant increase trend after 5 hours closing of windows and doors. Levels of measured air pollutants concentrations between living rooms and bedrooms have not shown significant difference. Spearman correlation coefficient among the measured air pollutants ranged from 0.303 to 0.946, indicating similar source in building materials.

Keywords: sick house syndrome, indoor air quality, VOCs, HCHO

I. 서 론

현대인 대부분의 하루 시간의 80~90% 이상을 실내에서 생활하고 있다.¹⁾ 실내공기질에 영향을 미치는 건강상의 악영향 물질로 휘발성 유기화합물, 포름알데히드 석면, 중금속 등의 다양한 화학물질이 제시되고 있다. 이 중 포름알데히드는 새집증후군 등 실내공기질에 영향을 미치는 매우 중요한 유해인자로 부각되고 있다.^{2,3)} 포름알데히드의 인체에 미치는 영향으로는 상기도, 눈 등의 점막과 피부에 자극을 일으키며, 장기간 노출된 경우 피부에는 알레르기성 접촉성 피부염 및 습

진, 호흡기계에는 기침, 가래, 천식, 만성 기관지염 등의 폐쇄성 폐증상을 일으키며, 생식기계에 대한 영향으로 자연유산과 저체중아 출산, 임신중독증 등을 유발하게 된다.⁴⁾ 미국 정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygiene Association, ACGIH)에서는 포름알데히드를 인체에서 암을 일으키는 물질인 A2그룹(발암성 의심물질)으로 분류하고 있으며, 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서는 발암성물질(Ca)로 분류하고 있다.^{5,6)}

일반적으로 건축물에 사용되는 건축자재는 매우 많은 종류가 있으며, 실내에 설치되는 내장재에도 여러 가지 재료로 구성된 복합재료가 사용하고 있다. 특히, 아파트 같은 신축공동주택은 많은 자재들이 석유화학계 제품을 사용하고 있어, 실내에서 발생의 주된 원인이 되고 있다. 휘발성 유기화합물, 포름알데히드는 건축 재

[†]Corresponding author : Department of Occupational and Environmental Medicine, Hanyang University Medical Center

Tel: 82-2-2290-1510, Fax: 82-2-2299-3915

E-mail : yoonshin@hanyang.ac.kr

료로부터 오랜 시간 동안 실내공기로 방출되는 특징을 가지고 있다.⁷⁾

이러한 상황에서 입주자들 중에는 두통, 현기증, 메스꺼움, 졸음, 눈의 자극, 집중력 감퇴, 아토피성 피부염 등 각종 질환 등을 호소하는 빌딩증후군(Sick Building Syndrome, SBS), 화학물질과민증(Multiple Chemical Syndrome, MCS) 등의 문제를 일으켜 건강에 크게 위협하고 있는 실정이다.⁸⁾ 이러한 문제점과는 달리 실내 오염에 관한 인식과 연구는 상당히 부족한 실태이다. 국내의 실내공기질 연구는 지하상가, 지하역사 등 일부 공중이용시설을 대상으로 주로 수행되어져 왔으며, 신축공동주택을 대상으로 체계적으로 조사한 연구는 드문 형편이다.

최근 환경부는 '다중이용시설 등의 실내공기질관리법'은 관리대상시설로 최근 문제가 되고 있는 신축공동주택을 포함하고 있으며, 제4조의 규정에 의거 실내공간 오염물질 항목들에 대하여 정확하고 통일된 측정을 위하여 '실내공기질 공정시험방법'을 제정하였고, 공동주택과 관련된 실내공기질 시험방법과 오염물질 방출 건축자재 시험방법을 마련하였다. 또한 2005년 10월 '새집증후군'의 주요원인 물질인 휘발성 유기화합물, 포름알데히드 등에 대한 신축공동주택의 실내공기질 기준을 설정하였다.⁹⁾

신축공동주택내 실내공기 오염에 대해서 잘 알려져 있지 않으므로 일반 건물의 경우 경제적인 이유로 건물이 준공하면 바로 사람들이 입주하여 생활하고 있는 실정이다. 건물이 준공된 초기의 공기오염도는 보통 건물에 비해 매우 높을 수 있으므로 입주자 건강에 큰 영향을 미칠 수 있다. 더욱 중요한 것은 실내 공기오염 물질은 노약자, 유아, 환자들은 실내환경에서 장기간 생활하기 때문에 매우 큰 건강영향을 미치는 것으로 알려져 있다.¹⁰⁾

현재 신축공동주택에서 다양한 건축내장재에서 방출되는 오염물질은 그 종류가 매우 다양하지만, 본 연구에서는 인체에 위해한 새집증후군의 원인 물질인 휘발성 유기화합물, 포름알데히드의 농도특성을 평가하였다.

II. 연구 방법

1. 연구내용

본 연구는 서울시 K구에 위치한 입주 전 신축공동주택(신축아파트)을 대상으로 실내공기 오염도를 평가하였다. 대상 신축공동주택에서 44평형 27가구를 저층부(최하층 1~3층, 9가구), 중층부(중간층 7~9층, 9가구), 고층부(최상부 12~15층, 9가구)를 선정하여 2004년

12월부터 2005년 3월까지 실내공기질을 측정하였다. 대상 신축공동주택은 2004년 8월에 완공하였고 기타 설비 등의 설치 후 12월부터 입주자들의 입주가 시작된 시점이었다. 신축공동주택은 고도별 저층 9가구, 중층 9가구, 고층 9가구로 구분하여 거실과 침실에서 30분 환기 후 모든 문을 닫은 직후 1회, 동일 조건에서 5시간 후 1회 조사하였으며, 목적 실내 오염물질은 휘발성 유기화합물 중 benzene, toluene, styrene, xylene, ethylbenzene 및 포름알데히드이었다.

2. 측정 및 분석방법

신축공동주택에서 발생될 수 있는 휘발성 유기화합물, 포름알데히드의 시료채취 대상 세대의 선정은 '다중이용시설 등의 실내공기질 관리법'을 근거로 하여 측정 단위세대의 창, 문, 내장가구의 문 등을 모두 개방하고 30분 이상 사전환기를 실시하였다. 거실과 침실에서 30분 환기 후 모든 문을 닫은 직후 1회, 동일 조건에서 5시간 후 1회 측정하였다. 환기 후 외부공기에 접한 창, 문, 개구부 등은 모두 닫고 5시간 이상 밀폐상태를 유지하였으며, 밀폐가 끝난 후 거실과 침실의 벽으로부터 최소 1m 이상 떨어진 위치의 바닥 면으로부터 1.2~1.5m 높이를 기본 측정점으로 하였다(Fig. 1). 각 물질별 정해진 유량으로 시료를 채취하였다.

휘발성유기화합물의 측정은 고체흡착법으로 Tenax-TA(60/80 mesh, Supelco, USA)가 200 mg 이상 충전된 스테인레스 흡착관(1/4 inch×9 cm, Perkinelmer, UK)을 이용하여 측정하였다. 분석은 포집된 시료는 오토샘플러(Ultra TD, Markes, U.K.)가 부착된 열탈착기(Unity Markes, U.K., 이하 TD)를 통해 탈착한 후 가스크로마토그래프/질량분석기(6890N/5973 inert, Agilent, USA, 이하 GC/MSD)를 이용하여 분석하였다.

포름알데히드 측정은 4 cm의 폴리프로필렌 튜브에 고순도로 정제된 2,4-DNPH가 코팅되어 있는 2,4-DNPH cartridge(Supelco S10, USA)를 이용하였다. 알데히드 측정시 오존(O₃)은 2,4-DNPH 유도체를 감소시키거나 2,4-DNPH가 오존과 반응하여 인위적인 불순물을 형성하는 등 방해물질로 존재하기 때문에 측정시 이러한 오존 영향을 제거하기 위해 2,4-DNPH cartridge 전단부

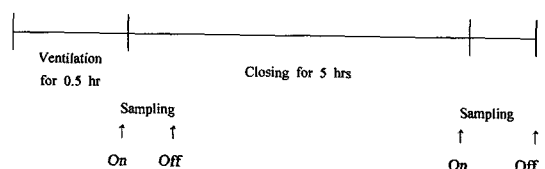


Fig. 1. Sampling process of VOCs and HCHO.

에 KI가 채워져 있는 오존 스크루버(Waters, USA)를 설치하였다. 측정시 사용한 펌프는 측정 전·후의 유량변화가 비교적 적은 Personal Air Sampler(Gilian, USA)를 이용하여 500 ml/min으로 30분간 총 15 l를 포집하였으며, 측정 전·후의 유량변화는 거의 모든 측정에서 5% 이내였다. 측정이 끝난 시료는 내부가 알루미늄으로 코팅되어 있는 container에 개별 포장하여 용매추출 전까지 4°C 이하에서 냉장보관하였다.

시료의 추출은 용매추출장치인 vacuum elution rack (Supelco, USA)에 2.4-DNPH cartridge를 고정시키고 지용성 필터(47 mm, 0.45 µm, PTFE)에 3회 이상 여과한 acetonitrile 5 ml를 이용하여 매우 느린 속도(1 ml/min)로 추출하였다. HPLC로 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

신축공동주택 입주 전 철근콘크리트구조의 신축아파트 44평 27가구를 대상으로 고도별(저층 9가구, 중층 9가구, 고층 9가구)로 구분하여 거실과 침실에서 30분 환기 후 모든 문을 닫은 직후 1회, 동일 조건에서 5시

간 후 1회 측정하였다. 27가구는 불박이장이 설치되었으며, 바닥은 마루, 벽면에 벽지를 사용하였다. 측정당시 실내 온도는 2~7°C, 습도 34~42%로 난방을 하지 않는 상태에서 측정을 실시하였다.

1. 밀폐 시간 경과에 따른 실내공기 농도

입주 전 신축공동주택에서 밀폐에 따른 실내공기중의 유해오염물질의 농도 증가량을 측정 평가하였다 (Table 1). 사전 환기 후 저층의 benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, styrene 및 포름알데히드의 농도는 5시간 밀폐 후의 농도에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<0.05). 중층의 경우 benzene, toluene, ethylbenzene, styrene 및 포름알데히드의 전·후 농도는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈으나(p<0.05), xylene은 통계적으로 유의한 차를 보이지 않았다. 고층의 경우 포름알데히드의 전·후 농도는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈으나(p<0.05), benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, styrene은 통계적으로 차이를 보이지 않았다. 층별 실내오염물질 농도 비교 결과 저층, 중층, 고층에서 benzene, toluene, xylene,

Table 1. Concentration of indoor air pollutants classified by conditions of ventilation floor level in newly constructed apartments (Unit : µg/m³)

Height of building	Pollutants	N	Newly constructed apartments by airtight time		p-value
			0-hr	5-hr	
			Mean ± S.D	Mean ± S.D	
Low floor	Benzene	18	0.00 ± 0.00	2.38 ± 1.50	0.00*
	Toluene	18	0.80 ± 0.86	80.89 ± 86.10	0.02**
	Ethybenzene	18	0.08 ± 0.11	14.17 ± 17.84	0.04**
	Xylene	18	0.10 ± 0.16	46.65 ± 57.93	0.04**
	Styrene	18	0.09 ± 0.16	8.16 ± 6.46	0.00*
	HCHO	18	0.04 ± 0.03	103.11 ± 40.29	0.00*
Middle floor	Benzene	18	0.009 ± 0.004	3.05 ± 2.54	0.00*
	Toluene	18	1.24 ± 1.53	91.78 ± 76.09	0.00*
	Ethybenzene	18	0.11 ± 0.14	18.39 ± 20.74	0.03**
	Xylene	18	0.12 ± 0.17	1261.54 ± 3564.22	0.31
	Styrene	18	0.10 ± 0.14	10.61 ± 8.07	0.00*
	HCHO	18	0.06 ± 0.05	145.63 ± 49.22	0.00*
High floor	Benzene	18	0.009 ± 0.002	2.83 ± 1.96	0.00*
	Toluene	18	1.28 ± 1.34	59.67 ± 82.73	0.06
	Ethybenzene	18	0.13 ± 0.13	11.73 ± 16.33	0.06
	Xylene	18	0.11 ± 0.11	36.33 ± 60.38	0.11
	Styrene	18	0.09 ± 0.13	6.98 ± 11.68	0.11
	HCHO	18	0.07 ± 0.05	63.25 ± 32.26	0.00*

*p<0.01, **p<0.05

styrene, ethylbenzene 및 포름알데히드의 전·후 농도는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p < 0.05$).

이 결과는 밀폐 즉 실외 공기오염물질의 유입을 무시할 경우 신축공동주택 실내의 건자재 등에서 휘발성 유기화합물, 포름알데히드가 계속적으로 배출되고 있음을 알 수 있으며, 신축공동주택의 실내공기질 평가는 최소한 5시간 밀폐 후 정상상태(steady state)에서 측정되어야 함을 나타내고 있다. 조사된 유해오염물질 중 밀폐를 통해 가장 많은 농도의 증가량을 나타낸 유해오염물질은 밀폐 직후의 농도에 비해, 5시간 밀폐후의 농도가 약 1,728배 증가한 포름알데히드로 조사되었다.

최근의 연구로 전국 신축 1년 이내 공동주택을 대상으로 포름알데히드 및 휘발성 유기화합물질 오염도에 대한 실태조사¹¹⁾를 실시한 결과 포름알데히드 오염수준은 평균 $150.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, toluene의 평균 농도는 $127.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. ethylbenzene 및 xylene의 평균 농도는 각각 $30.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $59.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, benzene의 평균농도는 $2.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

2. 거실과 침실의 휘발성유기화합물(VOCS), 포름알데히드(HCHO) 농도

신축공동주택의 공기중에 포함되어 있는 휘발성 유기화합물 중 benzene, toluene, ethylbenzene, styrene,

xylene 및 포름알데히드를 거실과 침실의 모든 창문과 문을 닫은 후 5시간 후에 측정된 농도분포는 Table 2에서 제시한 바와 같이 오염물질 중 가장 낮은 농도분포를 나타내고 있는 물질은 benzene이었다. 이에 반해 가장 높은 농도를 나타낸 오염물질은 거실과 침실 모두 포름알데히드인 것으로 조사되었다. 침실에 비해 거실에서 높은 농도를 나타낸 오염물질은 benzene 및 xylene이었다.

T. Iwata 등의 연구에서는 포름알데히드의 경우 $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로¹²⁾ 본 연구의 저층, 고층보다는 높았으나, 중층의 평균농도 $152.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다는 낮았으며, WHO와 일본의 노동후생성(the Ministry of health, Labour and Welfare of Japan)에서는 실내공기중 포름알데히드 농도는 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (30분 기준: 약 80 ppm)을 초과하지 않아야 함을 권장하다.¹²⁾ 그러나 거실과 침실의 공기중 오염물질별 농도 차이는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 이와 같은 결과는 공동주택의 경우 거실과 침실의 공기 간에 혼합이 원활히 이루어지고 있거나, 침실과 거실의 건자재 등에서 발생하는 휘발성 유기화합물, 포름알데히드 양이 비슷한 것으로 생각할 수 있다. 또한 이결과는 향후 신축공동주택에 대한 실내공기질 조사에 있어 거실과 침실을 동일한 하나의 공간(one compartment)으로 구분하여 조사할 수 있음을

Table 2. Concentration of indoor air pollutants floor level in newly constructed apartments

(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Height of building	Compound	Location	N	Mean \pm S.D	p-Value	
Low floor	Benzene	Living room	9	2.38 ± 1.51	0.87	
		Bedroom	9	2.31 ± 1.22		
		Total	18	2.34 ± 1.33		
	Toluene	Living room	9	80.89 ± 86.11		0.81
		Bedroom	9	86.86 ± 51.63		
		Total	18	83.88 ± 68.94		
	Ethylbenzene	Living room	9	14.17 ± 17.84		0.69
		Bedroom	9	12.34 ± 9.32		
		Total	18	13.25 ± 13.84		
Xylene	Living room	9	46.66 ± 57.93	0.57		
	Bedroom	9	38.68 ± 31.92			
	Total	18	42.67 ± 45.56			
Styrene	Living room	9	8.16 ± 6.47	0.79		
	Bedroom	9	7.44 ± 5.70			
	Total	18	7.80 ± 5.93			
HCHO	Living room	9	102.12 ± 40.29	0.13		
	Bedroom	9	115.82 ± 51.23			
	Total	18	108.97 ± 45.29			

Table 2. Continued

Height of building	Compound	Location	N	Mean ± S.D	p-Value
Middle floor	Benzene	Living room	9	3.06 ± 2.54	0.32
		Bedroom	9	2.27 ± 2.06	
		Total	18	2.67 ± 2.28	
	Toluene	Living room	9	91.79 ± 76.10	0.49
		Bedroom	9	75.78 ± 51.29	
		Total	18	83.78 ± 63.49	
	Ethybenzene	Living room	9	18.40 ± 20.74	0.22
		Bedroom	9	10.77 ± 8.53	
		Total	18	14.59 ± 15.88	
	Xylene	Living room	9	77.62 ± 92.27	0.07
		Bedroom	9	34.58 ± 33.96	
		Total	18	56.09 ± 70.99	
	Stylene	Living room	9	10.61 ± 8.07	0.66
		Bedroom	9	9.00 ± 8.26	
		Total	18	9.80 ± 7.96	
	HCHO	Living room	9	145.64 ± 49.41	0.22
		Bedroom	9	160.64 ± 21.66	
		Total	18	152.94 ± 56.43	
High floor	Benzene	Living room	9	2.83 ± 1.97	0.29
		Bedroom	9	1.95 ± 1.76	
		Total	18	2.39 ± 1.87	
	Toluene	Living room	9	59.67 ± 82.73	0.58
		Bedroom	9	84.40 ± 125.49	
		Total	18	72.03 ± 103.89	
	Ethybenzene	Living room	9	11.73 ± 16.33	0.42
		Bedroom	9	29.52 ± 60.64	
		Total	18	20.63 ± 44.04	
	Xylene	Living room	9	36.33 ± 60.39	0.47
		Bedroom	9	76.93 ± 152.78	
		Total	18	56.63 ± 114.62	
	Stylene	Living room	9	6.98 ± 11.68	0.58
		Bedroom	9	9.61 ± 14.07	
		Total	18	8.29 ± 12.61	
	HCHO	Living room	9	63.26 ± 332.26	0.50
		Bedroom	9	75.21 ± 39.58	
		Total	18	69.24 ± 35.56	

시사하고 있다.^{14,15)}

층별 실내오염물질 농도 비교 결과 benzene은 중층-고층-저층, toluene은 저층-중층-고층, ethylbenzene은 고층-중층-저층, xylene은 고층-중층-저층, styrene은 중층-고층-저층, HCHO는 중층-저층-고층의 순으로 높은 평균농도 값을 보였으나, 층별 유해물질 농도 차이는 통

계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 층별 유해물질의 농도간 차이는 없는 것을 의미하는 것으로 앞에서 제시한 결과와 종합하여 볼 때 신축공동주택 내 유해공기오염물질은 층별 농도 차이는 환경부의 신축공동주택의 실내공기질 기준 설정 연구¹¹⁾에서와 같이 유의한 차이가 나타나지 않았다.

Table 3. Spearman correlation matrix among measured indoor air pollutants

	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	Xylene	Styrene	HCHO
Benzene	1					
Toluene	.519**	1				
Ethylbenzene	.593**	.946**	1			
Xylene	.307	.841**	.810**	1		
Styrene	.591**	.933**	.946**	.771**	1	
HCHO	.303	.380	.314	.422*	.330	1

*p<0.01, **p<0.05

3. 공기오염물질 상관성 분석

신축공동주택의 5시간 밀폐후 거실에서 측정된 공기 오염물질 휘발성 유기화합물 중 benzene, toluene, ethylbenzene, styrene, xylene 및 포름알데히드 농도간의 상관분석 결과를 Table 3에 나타내었다. 목적 공기오염물질 농도간의 상관성분석은 모두 양(+)의 관계를 나타내어 같은 발생원에서 배출되고 있음을 알 수 있다. 휘발성 유기화합물중 benzene, toluene, ethylbenzene, styrene, xylene의 농도는 높은 상관관계를 보였지만, 상대적으로 포름알데히드는 낮은 상관관계를 나타내어, 휘발성 유기화합물, 포름알데히드는 서로 다른 발생원을 가질 수 있음을 나타내고 있다.

을 시사하고 있다.

3. 신축공동주택 층별(지, 중, 고층)로 구분하여 각 층별 거실, 침실을 비교한 결과 각 오염물질별 농도는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 조사되었다.

4. 공기오염물질 benzene, toluene, ethylbenzene, styrene, xylene 및 포름알데히드 농도간의 상관분석은 모두 양(+)의 관계를 나타내어 같은 발생원에서 배출되고 있음을 알 수 있었다. benzene, toluene, ethylbenzene, styrene, xylene의 농도간은 높은 상관관계를 보였지만, 상대적으로 포름알데히드는 낮은 상관관계를 나타내어 휘발성 유기화합물, 포름알데히드는 발생원이 다를 수 있음을 나타내었다.

IV. 결 론

본 연구는 입주 전 신축공동주택의 거실과 침실에서 건축자재 등으로부터 방출되는 유해공기오염물질(Hazardous Air Pollutants, HAPs) 중 benzene, toluene, styrene, xylene, ethylbenzene와 포름알데히드 농도를 측정하여 특성을 평가하였다. 본 연구의 수행을 통해 산출된 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

1. 환기 후 모든 창문과 외부공기가 유입되는 모든 개구부를 밀폐한 직후의 농도와 5시간 밀폐 후 실내 오염물질의 농도를 비교한 결과 benzene, toluene, xylene, ethylbenzene, styrene 및 포름알데히드는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<0.05). 조사된 유해오염물질(HAPs)중 밀폐를 통해 가장 많은 농도의 증가량을 보인 것은 포름알데히드는 약 1,728배 증가한 것으로 조사되었다.

2. benzene, xylene은 거실에서 높게 나타났으며, toluene, ethylbenzene, styrene 및 포름알데히드는 침실에서 높게 측정되었으나, 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 이 결과는 향후 신축공동주택에 대한 실내공기질 조사에 있어 거실과 침실을 동일한 하나의 공간(one compartment)으로 구분하여 조사할 수 있음

참고문헌

1. Jitendra J. Shah and Hanwant B. Singh : Distribution of volatile organic chemicals in outdoor and indoor air. *Environmental Science & Technology*, **22**(12), 1381-1388, 1988.
2. Seifert, B. : Organic indoor pollutants: sources, species and concentrations. chemical, microbiological, health and comfort aspects of indoor air quality-state of the art in SBS, 25-36. H. Knoppel and P. Wolkoff, Eds. ECSC, EEC, Brussels and Luxembourg. Printed in the Netherlands, 1992.
3. 하권철 : 경남지역 지하생활공간 중 미량 유해물질인 포름알데히드의 농도 분포 특성. *한국환경보건학회지*, **30**(5), 353-357, 2004.
4. 정규철 : 산업독성편람, 서울, 신평출판사, 442-445, 1994.
5. American Conference Governmental Industrial Hygienists. 2004 TLV and BEIs: threshold limit values for chemical substances and physical agents, Cincinnati, OH ACGIH, 2004.
6. National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH pocket guide to chemical hazards, DHHS (NIOSH) Pub. No. 97-140, Cincinnati, OH: NIOSH, 1997.
7. Tepper, J. S., Moser, V. C., Costa, D. L. and Mason, M. A. : Toxicological and chemical evaluation of emission from carpet samples. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **56**, 158-170, 1995.

8. 최성우 : 실내공기질 모델을 이용한 환기 시스템의 공기 정화 효율성 평가. 한국환경위생학회지, **23**(4), 57-66, 1997
9. 환경부 : 실내공기질 업무편람, 108-109, 2004.
10. Skillas, G., Huglin, C. and Siegmann, H. C. : Determination of air exchange rates of rooms and deposition factors for fine particles by means of photoelectric aerosol sensors. *Indoor Built Environment*, **8**, 246-254, 1999.
11. 환경부 : 신축공동주택의 실내공기질 기준 설정 연구 (I), 89-216, 2005.
12. Iwata, T., Tsukahara, H. and Hori, M. : Aldehydes and VOCs in newly-built unoccupied houses in Tokyo. *Proceeding: Healthy Buildings*, 154-159, 2003.
13. 국립환경과학원 : 신축공동주택 실내공기질 권고기준 설정을 위한 공청회, 39-79, 2005.
14. 손부순, 양원호 : 실내공기오염, 신광출판사, 111-139, 2003.
15. 건설교통부 : 새집증후군 저감을 위한 공동주택 및 다중이용시설의 환기설비 설치기준 해설서, 20-39, 2006.