한국환경과학회지 제19권(제7호), 807～818, 2010
Journal of the Environmental Sciences

신축공동주택의 실내공기 중 카보닐화합물의 방출특성에 관한 연구

류정민 · 조태진 · 장성기[1)] · 손부순[*]
순천향대학교 환경보건학과, [1)]국립환경과학원 실내환경연구팀
(2009년 5월 4일 접수; 2010년 3월 17일 수정; 2010년 4월 16일 채택)

A Study on Emission Characteristics of Carbonyl Compounds for Indoor Air in New Apartment

Jung-Min Ryu, Tae-Jin Cho, Seong-Ki Jang[1)], Bu-Soon Son[*]
Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University, Chungnam 336-745, Korea
[1)]Indoor Environment & Noise Research Team, National Institute of Environmental Research, Inchon 404-708, Korea
(Manuscript received 4 May, 2009; revised 17 March, 2010; accepted 16 April, 2010)

Abstract

The study is about variations in Carbonyl compounds concentration within apartment buildings according to pre-residence and residence.

We consecutively investigated indoor air pollutants in 120 households in 6 cities at pre-residence and residence. Carbonyl compounds were collected using the 2,4-DNPH cartridge and were analyzed using HPLC. The carbonyls concentration of indoor air in the new apartments before occupation measured formadlehyde(76.0 μg/m^3), acetone(85.9 μg/m^3), acetaldehyde(13.8 μg/m^3). The carbonyls concentration of indoor air in the new apartments after occupation measured formadlehyde(233.1 μg/m^3), acetone(128.9 μg/m^3), acetaldehyde(29.8 μg/m^3), respectively.

As a result, the mean concentration of carbonyl compounds within the pre-occupancy stage was lower than those of residence.

Key Words : Indoor Air, New apartments, Carbonyls, Formaldehyde

1. 서 론

1970년 이후 에너지 절감 및 효율을 높이기 위한 노력의 일환으로 건물의 밀폐화와 다양한 화학물질을 사용한 실내 건축자재로 인해 실내공기가 악화되었다. 이로 인해 사람들에게서 두통, 현기증, 메스꺼움, 졸음, 눈의 자극, 집중력 감소 등을 호소하는 빌딩증후군(Sick Building Syndrome : SBS), 복합화학물질민감증(Multiple chemical Sensitivity : MCS) 등이 발생하여 환경 · 경제적 측면에서 사회적으로 문제시 되고 있다(EPA, 1991). 최근 WHO에서는 실내공기오염에 의한 사망자가 280만명에 이르고, 실내오염물질이 실외 오염물질보다 폐에 전달될 확률이 약 천배 높다고 추정하여 보고하였고, SBS를 질병으로 인정하였다(American Lung Associantion ; WHO, 2005).

우리나라에서도 실내공기질오염의 심각성이 제기

[*]Corresponding author : Bu-Soon Son, Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University, Chungnam 336-745, Korea
Phone: +82-41-530-1270
E-mail: sonbss@sch.ac.kr

되어, 실내공기질의 합리적 관리를 통해 국민의 건강 증진과 유지를 목적으로 2004년 5월 30일부터 「다중이용시설등의실내공기질관리법」을 시행 · 운영하고 있으며(환경부, 2004), 공동주택의 실내공기오염물질을 타당하고 통일된 방법으로 측정하기 위해 「실내공기질공정시험방법」중 공동주택 실내공기질 시험방법을 제정 · 운영하고 있다.

또한 우리나라를 포함한 그 밖의 여러 나라에서는 실내공기오염의 원인인 실내건축자재, 가구류, 생활용품 등의 실내공기오염물질의 종류와 발생원으로 인해, 인체에 발암성과 위해성을 갖는 포름알데하이드(Formaldehyde; HCHO)와 관련하여 많은 연구를 하고 있다.

포름알데하이드는 일반주택 및 공공건물에서 많이 사용되는 단열재인 건축자재 이외에 실내가구의 칠, 가스난로 등에서의 연소과정, 접착제, 흡연, 의약품 등에서 발생되는 것으로 보고되고 있고(CPSW, 1997), 신축건물에서 일반적으로 높게 나타나며 조리, 흡연, 벽난로 등에서도 방출된다(환경부, 1999). 신축 공동주택의 건축마감재 및 가구류에 따른 실내공기질 농도에 미치는 영향을 평가한 결과 일반마감재/가구를 적용한 세대는 친환경 마감재/가구를 적용한 세대보다 포름알데하이드의 실내공기 중 농도가 높게 나타난 것으로 보고되었으며(이 등, 2005), 리모델링 후 거주중인 아파트 실내공기질 평가 한 연구에서는 리모델링 후 리모델링 양과 포름알데하이드의 농도와 유의한 상관관계를 보였으며, 상대습도가 높은 주택에서 오염물질의 농도가 높게 나타났다(심 등, 2008)[1]. 또한 우레아포름을 단열재로 사용한 주택에 살고 있는 주민을 조사한 결과, 오랫동안 포름알데하이드에 폭로되었을 경우 정서적 불안정, 기억력 상실, 정신집중의 곤란 등을 유발하고 동물실험에서는 폐수종, 비염의 증상이 있는 것으로 나타났다.

실내 환경에서 다양하게 방출되고 악영향을 미치는 실내오염물질로 인하여, 대다수 국민들이 거주하고 있는 공동주택의 실내공기환경에 대하여 막연한 불안감을 조성할 가능성이 높아지며 이에 대한 과학적이고 타당한 실증자료가 필요할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 공동주택의 건강하고 안전한 실내공기질 조성을 위하여 120세대의 신축공동주택의 카보닐화합물을 대상으로 입주 전 신축공동주택과 입주 후 신축공동주택의 실내공기질을 측정하고, 실내공기오염물질의 분포특성을 파악하여 신축공동주택 내 실내공기질을 평가함으로써 쾌적한 실내공기 환경의 개선을 위한 공동주택 실내공기질에 대한 기초 자료로 활용 하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구기간 및 대상선정

본 연구의 대상세대는 120세대의 입주자가 입주하지 않은 신축공동주택으로, 거주자가 연구기간동안 이주가 없을 것으로 생각되는 곳을 선정하였으며, 측정은 입주 전과 입주 후 2개월에 실시하였다. 또한, 저층에 비해 고층이 햇빛을 더 많이 받아 오염물질을 내보내는 화학작용이 더 활발히 일어나는지 알아보기 위해 저층 · 중층 · 고층으로 나누어 선정하였다(저층-6층 이하, 중층-7층～13층 이하, 고층-14층 이상).

연구기간은 입주 전 2005년 2월부터 4월, 입주 후 2개월은 2005년 7～8월에 서울, 인천, 고양, 김해, 목포, 여수 등 각 지역(Table 1)의 120세대의 신축공동주택을 대상으로 실내공기 중 오염물질의 방출농도분포를 측정, 분석하였다.

2.2. 시료 채취 방법

본 연구에서는 환경부 「실내공기질 공정시험방법」

Table 1. Subject by area

N	Seoul	Kyonggi	Incheon	Gimhae	Yeosu	Mokpo
Low floor	12	4	12	4	4	4
Middle floor	12	4	12	4	4	4
High floor	12	4	12	4	4	4
total	36	12	36	12	12	12

에 준하여 카보닐화합물(Carbonyl coumpounds)등의 실태를 조사하였다. 시료 채취 시 입주자가 거주한 기간, 시료채취시간, 층 및 평형, 거실방향, 온・습도 등에 대한 조사를 실시하였다.

카보닐화합물의 시료채취는 입주 전과 입주 후 2개월로, 저층・중층・고층의 단위로 공동주택세대의 거실 중앙부에서 실시하며, 환기 30분 후, 기공기와 접하는 창호, 개구부 등을 닫고 60분간 밀폐한 후, 1시간 1회 시료채취 하였다. 측정지점은 벽으로부터 최소 1 m 이상 떨어진 위치의 바닥 면으로부터 1.2～1.5 m 높이를 기본으로 하고, 개인용 펌프(SIBATA Co, Japan)에 오존의 간섭을 제거하기 위한 KI(potassium iodide)가 충진 된 오존스크러버(Supelco Inc, USA)와 350 mg의 실리카로 코팅된 2,4-DNPH(2,4-Dinitrophenylhydrazine) cartridge(Supelco Inc, USA)를 연결시켜 장착한 뒤 500 mL/min 유량으로 60분 동안 채취하였다. 이때 각 지점에서는 Field blank, Duplicate, 외기 시료를 확보하고, 모든 시료는 즉시 밀봉한 후 알루미늄 호일로 빛을 차단하여 분석 전까지 4 ℃이하 냉암소에 보관하였다.

2.3. 분석 방법

카보닐화합물의 농도를 분석하기 위해서 표준원액(1000 ppm in Acetonitrile)을 희석하여 5개의 표준용액을 제조(포름알데하이드 기준 0.11, 0.21, 0.27, 0.54, 1.07 ㎍/mL)하여 검량선을 작성하고, 2,4-DNPH유도체화 HPLC분석법을 이용하였다. 시료 전처리는 유도체를 형성하여 포집된 DNPH cartridge를 SPE(고체상추출)vacuum manifold에 부착하여 압력을 건 후 500 mL/min의 유속에서 HPLC grade acetonitrile 5 mL로 추출한다. 추출한 용매는 HPLC 바이알(vial)에 넣고 HPLC-UV로 분석하였다. 유도체화 된 카보닐화합물은 350～380 nm의 흡광영역에서 최대의 감도를 가지므로 본 연구에서는 UV파장을 360 nm에 고정시키고, HPLC 분석 시 시료는 20 ㎕ 주입하였다. HPLC에 관한 분석조건은 Table 2에 나타내었다.

2.4. 정도관리

본 연구에서는 신축 공동주택 내에서 발생되는 실내공기 오염물질을 측정함에 있어 시료 채취 및 분석 시 사용된 DNPH 카트리지의 파과용량을 평가하였고, 실내공기 오염물질의 농도를 정량하고자 검량선을 작성하였으며, 카보닐화합물의 분석을 위한 DNPH 카트리지/용매추출/HPLC의 전반적인 성능을 평가하고자 재현성, 시료의 검출한계 실험을 수행하였다.

2.5. 설문조사

설문조사는 조사대상 세대의 입주자로 공동주택의 실내공기질에 영향을 줄 수 있는 요인들과 농도와의 상관관계를 알아보기 위하여, 거주자의 사회인구학적 특성, 생활습관 및 주택의 다양한 환경영향 인자(평수, 층수, 새 가구 구입여부, 리모델링 여부, 흡연 여부)등을 조사하였다.

2.6. 통계분석

측정대상의 측정결과와 설문조사 결과의 분석을 위하여 SPSS 12.0 for Windoow 통계패키지를 이용하여 분석하였다. 실내공기오염물질과 오염물질 농도에 영향을 줄 수 있는 인자들과의 관계를 알아보기 위하여 상관관계분석 및 Kruskal-Wallis test, ANOVA test를 실시하였으며, 실내오염물질과 거주자의 생활

Table 2. Analytical condition of HPLC

HPLC system	Shimadzu LC-10vp
Injector	Shimadzu SIL-10ADvp
Analytical column	ACE 5 C-18(L 250× ID 4.6 mm, T 5 μm)
Detector	UV-VIS Detector, Shimadzu
Mobile phase	water(A)/Acetonitrile(B)
Gradient Elution	0～20 min : A/B = 60/40 →75/25
	20～23 min : A/B = 75/25 →60/40
Detection	Absorbance at 360 nm
Flow Rate	1.0 mL/min
Injection Volume	20 ㎕

용품 및 활동행태들 간의 관계를 분석하기 위하여 T-test를 통해 차이 검정을 실시하였다.

3. 연구 결과 및 고찰

3.1. 정도관리 결과

3.1.1. 카보닐화합물의 검량선

검량선 용 시료는 카보닐화합물에 미리 DNPH가 반응된 각각 농도가 다른 7 종의 액상혼합표준물질인 CARB Carbonyl-DNPH Mix 1(Supelco, USA)을 5 단계의 농도수준으로 조제하여 본 연구의 실제 시료 분석시와 동일한 기기조건으로 분석하였다. 검량선은 검출된 각각의 표준물질의 크로마토그램을 정량하여 작성하였다. 그 결과 Table 3과 같이, 카보닐화합물의 직선성(Lineality, R^2)은 모두 0.999 이상으로 좋은 결과를 보였다.

3.1.2. 재현성평가

카보닐화합물의 재현성 역시 월별 실험(Batch)마다 평가하였다. 7 종의 물질 모두 분석기간 동안 감응계수의 재현성은 RSD가 6 % 이하로 나타나 기기분석에 따른 측정대상물질의 재현성은 양호하였으며, 머무름 시간에 대한 재현성 역시 양호한 결과를 보였다. HPLC에 의한 카보닐화합물의 재현성은 Table 4에 나타내었다.

3.1.3. 검출한계평가

방법검출한계를 평가한 결과, Table 5와 같이, 카보닐화합물의 종류에 따라 0.0006 ng～0.0011 ng의 범위로 나타났으며, 이 값을 본 연구에서 사용한 현장 시료채취유량인 30 L로 나누어 공기 중 농도로 계산하면 0.10～0.18 μg/m^{3}에 해당하였다.

3.2. 온 · 습도 분포

포름알데하이드는 온도와 습도의 영향에 따라 실내 공기 중의 농도가 다르게 나타난다. 온도와 습도가 상승될 때 건축자재 및 가구, 생활용품 등에서 포름알데하이드의 방출이 더 많아지게 된다(CPSCW, 1997 ; EPA, 2005). 따라서 본 연구에서 실내오염물질 측정시 실내 온 · 습도 및 실외 온도를 조사하였으며, 또한

Table 3. Lineality of Carbonyl compounds

Compounds	R^2	Compounds	R^2
Formaldehyde	0.999	Propionaldehyde	0.999
Acetaldehyde	0.999	Butyraldehyde	0.999
Acetone	0.999	Benzaldehyde	0.999
Acrolein	0.999		

Table 4. Relative Standard Deviation(RSD) of Carbonyls as HPLC (Unit :RSD(%))

Compounds	Retention time (RSD)	Response factor (RSD)
Formaldehyde	2.2	2.5
Acetaldehyde	1.9	2.6
Acetone	1.5	3.1
Acrolein	2.5	2.0
Propionaldehyde	1.9	2.7
Butyraldehyde	9.6	6.0
Benzaldehyde	1.8	2.6

Table 5. Method detection limit of Carbonyl compounds

Compounds	MDL		Compounds	MDL	
	ng/ml	μg/m^3		ng	μg/m^3
Formaldehyde	0.0011	0.18	Propionaldehyde	0.0006	0.10
Acetaldehyde	0.0006	0.10	Butyraldehyde	0.0007	0.12
Acetone	0.0007	0.12	Benzaldehyde	0.0008	0.12

MDL : Method Detection Limit

실내오염물질과 온·습도의 상관성을 분석하였다. 온·습도의 측정 결과를 Table 6에 나타내었다. 공동주택에서 실내 공기 중 평균 습도는 입주 전 공동주택은 35.7 %, 입주 후 습도는 60.7 %로 조사되었고, 실내·외 공기 중의 평균 온도는 입주 전 공동주택은 20.3 ℃, 11.7 ℃, 입주 후는 26.4 ℃, 26.9 ℃로 조사되었다. 입주 전과 입주 후의 온도 차이는 계절적인 영향으로써 입주 전은 겨울에서 초봄의 날씨였고, 입주 후 2개월은 6월에서 7월로 여름 날씨를 나타냈다. 본 연구의 입주 전 온도와 비슷한 경향을 보인 전 등의 연구에 의하면 2004년 11월부터 2005년 12월까지 신축공동주택에서 실내온도와 외기온도는 20 ℃와 7.5 ℃로 나타났다(전, 2005). 또한 국립환경과학원의 연구에 의하면 1년 된 신축공동주택의 온도를 2월~4월에 측정한 결과 21~25 ℃로 본 연구와 비슷한 온도범위를 보였다(국립환경과학원, 2005).

Table 7은 신축공동주택 입주 전과 입주 후 카보닐화합물과 온도·습도, 외기와의 상관성을 분석한 결과이다. 실내공기 중 포름알데하이드, 아세트알데하이드, 아세톤은 실내온도와 높은 상관관계($p<0.01$)를 나타내었고, 포름알데하이드, 부틸알데하이드, 벤즈알데하이드는 실내습도와 높은 상관관계($p<0.01$)를 나타내었다. 카보닐화합물간의 상관관계에서는 아크롤레인을 제외한 카보닐화합물간의 상관관계에서는 서로 95 %와 99 %의 신뢰수준에서 높은 상관관계를 보였다. 본 연구결과와 유사한 경향을 보인 국립환경과학원의 연구에 따르면 습도가 증가할수록 포름알데하이드의 농도가 증가하여 습도와 상관성이 높은 것으로 나타났고(국립환경과학원, 2005), 본 연구에서도 카보닐화합물과 온·습도가 상관성이 높은 것으로 나타났다. 따라서 카보닐화합물은 온도와 습도의 영향을 받으며, 온·습도가 증가 할수록 카보닐화합물의 농도도 증가하는 것으로 나타났다.

Table 6. Temperature and humidity in new apartments

	Before occupation			After occupation		
	Indoor		Outdoor	Indoor		Outdoor
	*temp(℃)	**humi(%)	temp(℃)	temp(℃)	humi(%)	temp(℃)
Mean	20.3	35.7	26.9	26.4	60.7	11.7
S.D	4.3	6.8	2.8	1.7	11.0	3.9
Min.	5.8	22.5	21.0	23.0	41.0	-1.5
Max.	26.0	64.0	34.0	31.0	81.0	18.0

*temp: Temperature, **humi : Humidity

Table 7. Correlation analysis among Carbonyls concentration, temperature and humidity in new apartments

	Temp	Humi	OTemp	Form.	Acet.	Acrolein	Acetone	Propion.	Butyr.	Benz.
Temp	1									
Humi	-0.237**	1								
OTemp	0.208*	-0.241**	1							
Form.	0.297**	0.266**	0.004	1						
Acet.	0.361**	0.007	0.155	0.781**	1					
Acrolein	-0.107	0.096	0.107	-0.047	-0.119	1				
Acetone	0.270**	0.085	-0.070	0.734**	0.668**	-0.072	1			
Propion.	-0.008	-0.060	0.201*	0.185*	0.386**	0.112	0.006	1		
Butyr.	0.083	0.304**	-0.274**	0.367**	0.407**	-0.177	0.284**	0.149	1	
Benz.	-0.032	0.476**	-0.446**	0.562**	0.306**	-0.108	0.382**	-0.024	0.540**	1

* $p<0.05$. ** $p<0.01$

Temp: Indoor Temperature, Humi : Humidity, OTemp : Outdoor Temperature,
Form : Formaldehyde, Acet: Acetaldehyde, Propion : Propionalehyde, Butyr : Butyraldlehyde
Benz : Benzaldehyde

3.3. 입주 전과 입주 후 농도 및 실내·외 농도 비교

카보닐화합물의 농도를 입주 전과 입주 후 2개월로 구분하여 신축공동주택 120세대 측정결과를 Table 8에 나타내었다. 신축공동주택의 실내농도/실외농도(I/O)의 비를 보면 대부분의 카보닐화합물 실내농도가 외기농도보다 높은 것으로 나타났다. 포름알데하이드의 입주 전 I/O는 8.2이였고, 입주 후 I/O는 33.0으로 카보닐화합물 물질 중 실내와 실외 농도차가 가장 큰 것으로 나타나 실내의 다양한 요인들로 인하여 포름알데하이드의 많은 양이 방출되고 있는 것으로 나타났다. 국내의 김 등의 연구에 의하면 신축공동주택에서 포름알데하이드의 평균농도는 실내에서 71.7 $\mu g/m^3$, 실외에서 16.3 $\mu g/m^3$으로 나타났고, I/O의 비는 6.5로 전체의 90.9 %에서 실내공기 중 포름알데하이드의 농도가 높게 나타나 본 연구와 유사한 연구결과로 나타났다(김 등 ,2005). 또한 일본 도쿄 신축공동주택을 대상으로 한 연구보고에서도 외기에 비해 실내농도가 더 높은 것으로 평가되었다(Iwata 등, 2003). 이와 같이 실내의 방출오염원에의해 실내공기 중으로 오염물질이 다량 방출됨으로 건강상에 악영향을 끼칠 수 있다. 따라서 실내에서 방출되는 오염원을 추정하여 발생원의 오염물질 방출을 관리해야 할 필요성이 있는 것으로 생각된다.

입주 전 신축공동주택의 카보닐화합물농도는 아세톤이 평균 85.9 $\mu g/m^3$(17.4～524.2 $\mu g/m^3$)으로 가장 높은 농도를 나타내었고, 두 번째로 높은 농도로 포름알데하이드의 평균농도가 76.0 $\mu g/m^3$(14.4～278.4 $\mu g/m^3$)이였다. 입주 후 신축공동주택의 카보닐화합물 농도는 포름알데하이드가 평균농도 233.1 $\mu g/m^3$(57.1～701.4 $\mu g/m^3$)으로 가장 높은 농도를 나타내었고, 아세톤은 128.9 $\mu g/m^3$(109.8～972.3 $\mu g/m^3$)이였다. 그리고 본 연구에서는 입주 전보다 입주 후의 카보닐화합물농도가 포름알데하이드는 약 3배, 아세트알데하이드는 약 2.2배, 아세톤은 약 1.5배 정도 높아진 것으로 나타났다.

3.4. 실내공기 중 포름알데하이드농도와 권고기준치

WHO와 일본 등의 여러 나라에서는 포름알데하이드 관리를 위해 허용기준치 및 권고기준치를 설정하여 관리하고 있다. 따라서 본 연구결과를 WHO의 권고기준(100 $\mu g/m^3$)에서 제시하는 기준과 비교하여 분석하였고, 2005년에 국내 '신축 공동주택의 실내공기질 권고기준(안)' 이 설정 되었는데(국립환경과학원, 2005), 본 연구결과와 비교해 보았다(Fig 1. 2).

입주 전 신축공동주택에서 측정한 결과로 120세대 평균 농도는 76.0 $\mu g/m^3$으로 WHO나 일본의 권고 기준을 초과하지는 않았으나, 포름알데하이드 중 가장 높은 농도는 278.3 $\mu g/m^3$으로 기준의 2배를 초과하였으며 공동주택 120세대 중 약 16.7 %가 일본의 권고기준(100 $\mu g/m^3$)을 초과하였다. 반면 국내 신축공동주택 권고기준으로 설정된 값은 210 $\mu g/m^3$으로 입주 전 포름알데하이드는 권고기준을 초과한 값은 거의 없었다.

입주 후 신축공동주택에서 포름알데하이드를 측정한 결과로 89.2 %가 일본의 권고기준치를 초과하는 것으로 나타났으며, 평균농도 233.1 $\mu g/m^3$으로 기준치의 약 2배정도 초과하는 것으로 나타났다. 포름알데하이드 농도 중 가장 높은 농도는 701.4 $\mu g/m^3$으로 기준치의 약 7배 정도 초과하였다. 그러나 권고기준과

Table 8. Concentration of Carbonyls in new apartments (unit : $\mu g/m^3$)

Compound	Before Resident					After Resident				
	Mean	S.D	Min.	Max.	I/O*	Mean	S.D	Min.	Max.	I/O*
Formaldehyde	76.0	44.5	14.4	278.3	8.2	233.1	133.7	57.1	701.4	33.0
Acetaldehyde	13.8	6.8	1.6	40.6	4.0	29.8	21.1	5.4	164.0	11.3
Acetone	85.9	69.4	17.4	524.2	5.4	128.9	109.8	14.2	972.3	12.9
Propionaldehyde	2.8	6.2	<MDL	45.1	6.3	7.1	6.1	<MDL	42.9	7.7
Butyraldehyde	1.2	1.3	<MDL	6.4	4.0	0.4	1.7	<MDL	13.0	0.3
Benzaldehyde	8.0	6.2	<MDL	29.0	1.4	30.7	30.6	1.7	145.2	1.7

* I/O = Indoor concentration/ Outdoor concentration

MDL = Minimum Detection Level

비교하면 입주 후 신축공동주택의 포름알데하이드는 약 20.83 %가 초과하였다.

입주 전에 비해 입주 후 대부분의 포름알데하이드농도가 크게 증가하는 것을 볼 수 있는데 이는 Y.Sdkine의 연구에서도 유사한 결과를 보였다. Y.Sdkine 등은 신축공동주택의 포름알데하이드의 농도가 입주 전 약 50～85 $\mu g/m^3$으로 나타났고, 입주 후 가구류 등 생활용품을 들여놓은 세대의 포름알데하이드 농도는 85～145 $\mu g/m^3$으로 나타나 입주 후 포름알데하이드 농도가 높아진 것으로 평가되어(Sdkine 등, 2003) 본 연구와 유사한 결과로 보고되었다. 또한, 국내의 신축아파트 연구에 의하면 포름알데하이드 농도가 입주 전에는 164.9 $\mu g/m^3$, 입주 직 후 307.7 $\mu g/m^3$, 입주 후 1개월 후 359.0 $\mu g/m^3$이었고, 아세트알데하이드의 경우 입주 전 43.2 $\mu g/m^3$, 입주직후 35.7 $\mu g/m^3$, 입주 후 1개월 후 53.9 $\mu g/m^3$로 입주 전에 비해 입주 후의 농도

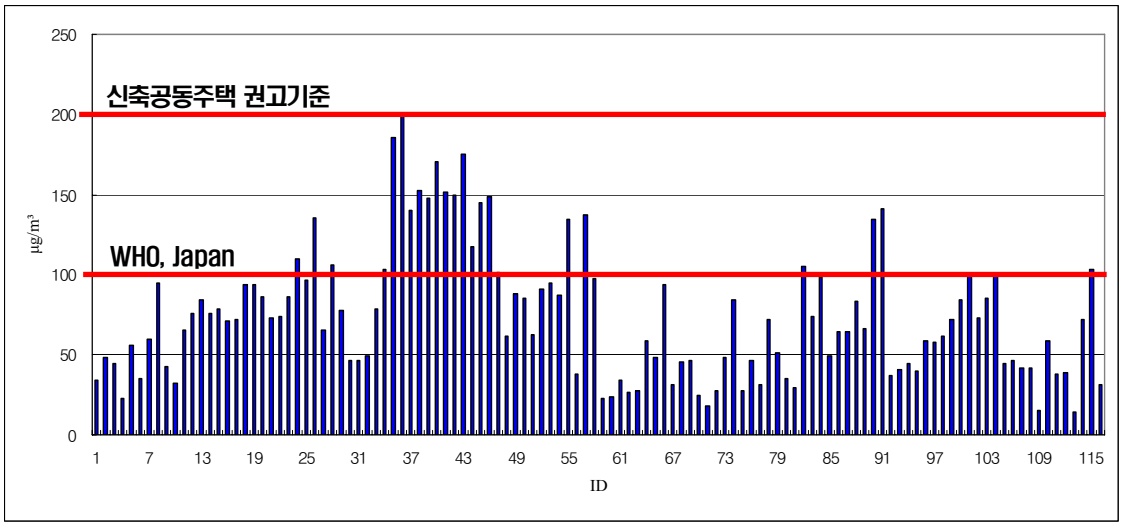

Fig. 1. Concentrations of formaldehyde unoccupied in new apartments.

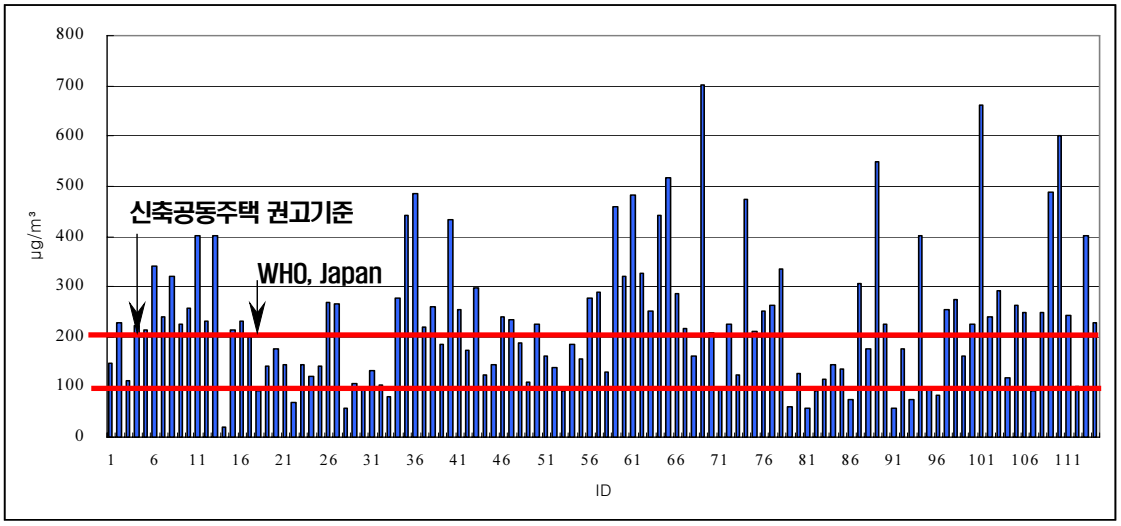

Fig. 2. Concentrations of formaldehyde occupied in new apartments.

가 높아져 본 연구와 유사한 연구 결과가 나타났다(김 등, 2005).

실내공기오염물질 농도가 입주 전에 비해 입주 후에 높게 나타난 것은 입주 전에 없었던 가구와 생활용품 등이 입주 후 실내오염물질 발생원이 되어 오염물질 농도에 영향을 주었을 것으로 생각된다. 따라서 입주 전 실내공기질 관리도 중요하지만 입주 후 관리의 필요성이 제기되며, 뿐만 아니라 가구류 및 생활용품 등의 오염물질 방출 관리가 필요할 것으로 사료된다.

3.5. 층별에 따른 오염도 비교분석

본 연구에서 층별에 따른 카보닐화합물 농도를 비교하기 위해 저층 · 중층 · 고층으로 구분하여 카보닐화합물을 측정하였고, 그 결과 Table 9에서 입주 전의 포름알데하이드의 평균 농도는 저층 71.4 $\mu g/m^3$, 중층 74.1 $\mu g/m^3$, 고층 82.1 $\mu g/m^3$으로 저층에서 고층으로 갈수록 농도가 높아진 것으로 나타났다. 그러나 Table 11에서 입주 후 포름알데하이드는 저층 233.1 $\mu g/m^3$, 중층 243.5 $\mu g/m^3$, 고층 222.5 $\mu g/m^3$로 저층에서 중층으로는 농도가 높아졌으나, 중층에서 고층으로 농도가 높아지지 않은 것으로 나타났고, 입주 전과 입주 후 모두 통계적으로 층수에 따른 포름알데하이드는 유의하지 않은 것으로 나타나 층별에 따른 포름알데하이드는 차이가 없는 것으로 나타났다($p>0.05$). 반면, 벤즈알데하이드의 경우 입주 전과 입주 후 모두 저층에서 고층으로 갈수록 농도가 높아지는 것으로 나타났다.

신축공동주택을 대상으로 한 국내 연구들에 의하면, 저층에서 고층으로 갈수록 카보닐화합물 농도가 높아지는 경향을 나타내지 않았다(국립환경과학원 2004; 전, 2005; 이 등, 2005). 반면, 기존공동주택 연구에서는 본 연구의 입주 전 층별 포름알데하이드 농도 경향과 유사하게 저층에서 고층으로 갈수록 포름알데하이드의 농도가 높아지는 것을 보였으며(전, 2005), 이 등의 연구에서도 측정대상 세대별 농도의 변화가 고층부로 갈수록 높아지는 것으로 나타났다(이 등, 2005). 따라서 고층으로 갈수록 농도가 높아지는 경향을 보이는 연구는 온도와 습도의 차이에 의해 나타난 결과라고 할 수 있으나, 이러한 경향을 보이지 않은 연구는 실내의 체적이나, 건축자재 등의 다른 요인에 의한 것이라 판단된다. 본 연구는 입주 전 포름알데하이드를 제외한 다른 물질들은 층별에 따른 농도 차이가 없는 것으로 나타나 실내의 생활용품이나 건축자재 등에 의한 요인이 작용했을 것으로 생각된다. 따라서 같은 실내조건에서 저층, 중층, 고층으로 측정을 하여, 보다 정확한 연구를 실시하여 저층과 중층, 고층의 농도 변화가 온도와 습도의 영향에 의한 것인

Table 9. Carbonyl concentrations before resident in new apartments floor(unit : $\mu g/m^3$)

	Low floor	Middle floor	High floor	p-value
Formaldehyde	71.4 ± 38.3	74.1 ± 42.8	82.1 ± 51.5	0.747
Acetaldehyde	13.9 ± 7.0	13.3 ± 7.1	14.0 ± 6.5	0.714
Acrolein	0.9 ±0.3	0.9 ± 0.1	1.1 ± 0.4	0.693
Acetone	72.9 ± 45.3	82.8 ± 65.4	101.1 ± 87.8	0.136
Propionaldehyde	3.8 ± 7.9	4.4 ± 7.7	3.2 ± 5.1	0.884
Butyraldehyde	1.8 ± 1.0	1.7 ± 0.9	2.2 ± 1.4	0.527
Benzaldehyde	7.4 ± 5.3	7.9 ± 6.45	8.7 ± 6.9	0.671

Table 10. Carbonyl concentrations after resident in new apartments floor(unit : $\mu g/m^3$)

	Low floor	Middle floor	High floor	p-value
Formaldehyde	233.1 ±117.5	243.5 ± 165.3	222.5 ± 117.2	0.925
Acetaldehyde	27.4 ±13.6	34.5 ± 30.9	27.9 ± 14.9	0.805
Acrolein	N.D	N.D	N.D	-
Acetone	105.8 ± 61.2	151.6 ± 160.3	131.8 ± 85.1	0.324
Propionaldehyde	6.8 ± 4.9	8.4 ± 8.0	6.3 ± 4.8	0.555
Butyraldehyde	0.3 ± 1.3	0.6 ± 2.3	0.2 ± 1.2	0.684
Benzaldehyde	29.5 ± 26.5	30.4 ± 35.5	32.5 ± 30.3	0.840

지, 아니면 다른 요인에 의한 것인지를 정확히 파악하기 위해서는 보다 더 심도 있는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

3.6. 지역에 따른 오염도 비교분석

본 연구에서는 서울, 인천과 경기, 경상도(김해), 전라도(여수, 목포) 등의 신축공동주택의 실내 공기질을 측정하였고, Table 11은 4개 지역의 카보닐화합물농도를 나타내었다.

각 지역별 카보닐화합물농도는 대부분 입주 전에 비해 입주 후의 농도가 모두 높게 나타났다. 입주 전 포름알데하이드농도는 인천과 경기도(100.0 $\mu g/m^3$) > 전라도(75.5 $\mu g/m^3$) > 서울(55.0 $\mu g/m^3$) > 상도(38.7 $\mu g/m^3$) 순으로 높았으며, 입주 후 농도는 경상도(317.1 $\mu g/m^3$) > 서울(294.9 $\mu g/m^3$) >인천과 경기도(205.9 $\mu g/m^3$) > 전라도(205.1 $\mu g/m^3$) 순으로 높았다. 경상도의 경우 입주 전 농도는 4개 지역 중 가장 낮은 농도를 보였으나, 입주 후 가장 높은 농도를 보였다. 입주 전의 농도가 낮은 것으로 보아 건축자재의 영향은 아니며, 경상도의 입주자들의 생활용품 및 가구에 의해 실내오염농도가 높아진 것으로 생각되어진다. 입주 전 지역별 평균 농도 포름알데하이드는 38.7 ~ 100.0 $\mu g/m^3$로 일본의 기준치인 100 $\mu g/m^3$를 초과하지 않았으나, 입주 후 포름알데하이드는 4개 지역이 모두 일본의 기준치를 초과하였으며, 부틸알데하이드, 아세톤, 프로피온알데하이드를 제외한 입주 전과 입주 후의 지역별 카보닐화합물 농도는 지역별로 차이가 있는 것으로 나타났다($p<0.05$).

1년 된 신축공동주택을 대상으로 한 국립환경과학원의 연구에 의하면 각 도시별 포름알데하이드의 평균 농도는 9.4(포항)~248.8(안산) $\mu g/m^3$의 범위로 나타났고, 모든 조사대상의 평균농도는 105.4 $\mu g/m^3$으로 일본 권고치를 초과한 것으로 나타났다. 과학원의 연구에서는 주변이 공장이나 산업화가 된 곳의 농도가 높게 나타나, 외기의 영향에 의해서 지역적으로 차이가 난 것으로 보고하였다(국립환경과학원, 2004). 그러나 본 연구에서는 입주 전에는 인구밀집지역이며 대기오염도가 높은 서울지역이 가장 높은 농도를 나타내었으나, 입주 후에는 외기 농도도 낮으며, 인구밀집지역도 아닌 경상도가 제일 높은 농도로 나타났다. 따라서 본 연구에서의 카보닐화합물농도 차이는 지역에 따른 외기농도의 영향이라기보다는 입주자들의 흡연, 실내 개조 등 생활환경의 영향에 기인한 것으로 생각된다.

3.7. 생활환경에 따른 오염도 비교분석

본 연구에서는 생활환경의 다양한 요인들을 조사하여 카보닐화합물의 농도를 비교 분석하였다(Table 12). 그 결과 대부분의 카보닐화합물농도는 바닥재를 교체하거나, 벽지를 새로 하거나, 베란다 개조 및 실내 개조, 페인트칠을 하였을 경우 카보닐화합물농도가 높게 나타났다.

입주 시 바닥재를 교체하였을 경우와 교체하지 않았을 경우의 포름알데하이드의 농도가 281.6 $\mu g/m^3$, 227.9 $\mu g/m^3$으로 나타났고($p<0.05$), 베란다 개조 시

Table 12. Carbonyl compounds concentration by new apartments area

	Region5	N	Form.	Acet.	Acetone	Propion.	Butyr.	Benz.
Before	Seoul	35	55.0	10.9	66.1	5.1	1.7	6.8
	Incheon & KyungKiDo	46	100.0	15.5	113.1	3.0	2.2	12.8
	KyungSangDo	10	38.7	7.9	35.9	5.5	0.9	3.3
	JeonRaDo	23	75.5	17.1	85.8	2.9	0.0	2.7
	p-value		0.000	0.000	0.000	0.043	0.101	0.000
After	Seoul	34	294.9	32.4	146.1	9.5	0.4	35.5
	Incheon & KyungKiDo	44	205.9	25.2	139.4	5.1	0.0	37.4
	KyungSangDo	10	317.1	21.4	119.5	5.6	1.2	38.4
	JeonRaDo	23	205.1	38.7	29.5	8.4	1.2	7.3
	p-value		0.006	0.009	0.223	0.052	0.374	0.000

포름알데하이드는 270.7 ㎍/m^{3}으로 개조하지 않은 집 219.3 ㎍/m^3 보다 높은 농도를 나타냈으며($p<0.05$), 페인트칠의 경우 벤즈알데하이드의 농도는 새로 페인트칠한 세대가 39.7 ㎍/m^3, 하지 않은 세대는 28.6 ㎍/m^{3}으로 나타나 페인트칠을 한 세대의 벤즈알데하이드 농도가 높게 나타났다($p<0.05$). 또한 120세대 중 흡연하는 세대가 11세대로 조사되었고, 그중 4세대가 집안에서 흡연을 하고 7세대가 집 밖에서 흡연하는 것으로 나타났다. 그 결과 포름알데하이드 농도는 집안에서 흡연하는 세대가 233.5 ㎍/m^3, 비 흡연 세대(담배를 피우지 않는 세대와 집밖에서 흡연하는 세대)는 203.8 ㎍/m^{3}으로 흡연세대가 비 흡연 세대보다 약간 높은 농도를 보였다.

실내공기오염은 연소나 흡연 등과 같은 거주자의 활동 그리고 복합화합물로 이루어진 단열재와 내부 마감재 등과 같은 건축자재 및 생활용품 등에서 비롯되는 것으로 알려져 있다(CPSCW, 1997). 본 연구에서도 바닥재교체, 베란다 개조, 페인트칠 등을 하였을 때 카보닐화합물의 농도가 높게 나타나 생활환경이 카보닐화합물 농도에 영향을 주는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 조사한 생활환경 외에 실내공기에 영향을 줄 수 있는 다양한 요인을 검토할 연구가 필요할 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구는 2005년 2월부터 7월까지 전국 6개 지역(서울, 인천, 경기, 여수, 목포, 김해)의 신축공동주택 120세대를 대상으로 실내 환경 중 카보닐화합물 농도를 측정하고, 실내공기오염물질에 영향을 줄 수 있는 다양한 환경영향인자를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 실내공기 중 포름알데하이드, 아세트알데하이드, 아세톤은 실내온도와 높은 상관관계($p<0.01$)를 나타내었고, 포름알데하이드, 부틸알데하이드, 벤즈알데하이드는 실내습도와 높은 상관관계($p<0.01$)를 나타내어, 실내 환경의 카보닐화합물의 농도는 온도 습도와 상관성이 있는 것으로 조사되었다.

2. 포름알데하이드의 입주 전 I/O는 8.2이였고, 입주 후 I/O는 33.0으로 카보닐화합물물질 중 실내와 실외 농도차가 가장 큰 것으로 나타나, 외부환경 보다는 주택의 실내의 다양한 요인들로 인하여 포름알데하이드의 많은 양이 방출되고 있는 것으로 나타났다.

3. 신축공동주택 내 포름알데하이드의 농도는 입주 전은 76.0 ㎍/m^3, 입주 후는 233.1 ㎍/m^{3}이었고, 아세톤의 농도는 입주 전은 85.9 ㎍/m^3, 입주 후 농도는 128.9 ㎍/m^{3}으로 입주 후 농도가 높게 나타났다. 본 연구에서 입주자들의 활동행태 및 생활용품에 대한 포

Table 13. Aldehyde concentrations by repairs (unit : ㎍/m^3)

		n	Formaldehyde			Acetaldehyde			Acetone			Propionaldehyde			Benzaldehyde		
			Mean	S.D	p	Mean	S.D	p	Mean	S.D	p	Mean	S.D	p	Mean	S.D	p
Floor change	Y	14	281.6	161.9	0.027	25.0	10.8	0.277	159.5	95.9	0.783	7.6	4.9	0.294	21.7	15.7	0.074
	N	96	227.9	129.4		30.8	22.3		125.9	112.1		7.2	6.2		32.3	32.3	
Wallpaper change	Y	15	299.0	125.3	0.258	31.4	14.8	0.240	144.0	75.8	0.445	7.3	4.5	0.105	36.3	32.3	0.067
	N	95	224.6	133.5		29.8	22.1		128.1	115.0		7.2	6.3		30.1	30.7	
Veranda change	Y	33	270.7	134.9	0.015	32.7	16.5	0.690	142.6	85.4	0.620	7.7	5.3	0.300	36.4	35.2	0.068
	N	77	219.3	131.9		28.9	22.9		124.9	119.5		7.0	6.4		28.6	28.6	
New furniture	Y	92	240.6	134.7	0.291	28.3	16.1	0.374	131.5	116.2	0.680	7.0	6.0	0.317	32.5	31.4	0.654
	N	18	204.7	131.9		39.0	37.4		121.9	75.8		8.1	6.3		22.8	26.7	
Remodel-ing	Y	45	260.1	137.5	0.315	29.6	16.4	0.695	138.5	85.2	0.513	7.1	5.2	0.984	33.3	32.0	0.081
	N	65	217.1	130.2		30.3	24.1		124.5	125.2		7.3	6.6		29.2	30.1	
Paint	Y	14	275.7	141.3	0.520	31.3	13.4	0.367	160.3	88.8	0.095	6.9	3.3	0.104	39.7	34.1	0.037
	N	96	228.7	133.0		29.9	22.2		125.8	112.9		7.3	6.4		28.6	30.3	
Smoking	Y	4	233.5	171.4	0.399	232.7	12.3	0.158	133.8	58.7	0.641	7.0	2.4	0.061	31.9	32.7	0.020
	N	108	203.8	142.2		26.4	19.1		117.5	95.8		5.8	3.9		24.3	16.9	

름알데하이드 연구에서도 알 수 있듯이 입주 후의 입주자들의 생활에 인하여 카보닐화합물이 입주 후에 많은 양이 방출되고 있는 것으로 나타났다.

4. 신축공동주택의 입주 전 카보닐화합물농도는 아세톤(85.9 $\mu g/m^3$) > 포름알데하이드(76.0 $\mu g/m^3$)> 아세트알데하이드(13.8 $\mu g/m^3$) > 벤즈알데하이드(7.9 $\mu g/m^3$) 등의 순서로 높게 나타났으며, 입주 후 카보닐화합물 농도는 포름알데하이드(233.1 $\mu g/m^3$) > 아세톤 (128.9 $\mu g/m^3$)> 벤즈알데하이드(30.7 $\mu g/m^3$) >아세트알데하이드(29.8 $\mu g/m^3$) 등의 순서로 높게 나타나, 아세톤과 포름알데하이드의 농도가 공동주택에서 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

5. 신축공동주택 입주 2개월 후 입주자들에 대한 활동행태 및 생활용품에 대한 포름알데하이드 농도는 바닥재를 개조한 세대 281.6 $\mu g/m^3$, 베란다를 개조한 세대 270.7 $\mu g/m^3$으로, 개조하지 않은 세대(227.9 $\mu g/m^3$, 219.3 $\mu g/m^3$)보다 높게 나타나 실내공기오염도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 신축공동주택의 벽에 벽지를 시공하여 포름알데하이드의 방출량을 평가한 연구의 경우에서 PVC 바닥재와 벽지 등에서 포름알데하이드의 방출량이 높은 것으로 나타났으며, 목재가구류 등에서도 접착제를 사용한 가구 등에서 포름알데하이드의 농도가 높게 나타나 포름알데하이드의 농도가 높게 나타난 것은 실내개조와 새 가구류 등에서의 포름알데하이드 방출량이 높기 때문인 것으로 사료된다(이 등, 2005 ; 김 등, 2005).

이상의 연구 결과 실내 알데하이드의 농도는 실외보다 높게 나타나 실내의 다양한 요인들로 인하여 많은 양이 방출되고 있는 것으로 나타났으며, 특히 입주 전 보다 입주 후의 오염물질의 농도가 높게 나타나 입주 전에 없었던 가구와 생활용품 등이 입주 후 실내오염물질 발생원이 되어 오염물질 농도에 영향을 주었을 것으로 사료된다. 따라서 본 연구결과는 실내 공기 중 포름알데하이드를 포함한 카보닐화합물 물질은 다양한 실내 환경에 따라 농도에 영향을 미치는 것으로 판단되며, 향후 실내공기 중 카보닐화합물 방출특성에 관한 연구에 기초적인 자료로서 활용이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

국립환경과학원, 2004, 전국 신축공동주택 실내공기질 실태조사.

국립환경과학원, 2005, 신축공동주택 실내공기질 권고기준 설정 연구(II).

김경훈, 최인창, 손종렬, 김회서, 2005, 건축마감재의 방출특성을 고려한 실내 VOCs와 HCHO의 예측에 관한 기초적 연구, 정기학술대회 논문집, 대한건축학회, 21(12), 255-262.

김만구, 최상웅, 신우진, 박찬흠, 장기현, 홍성주, 2005, 연차학술대회 논문집, 한국실내환경학회, 2, 147-149.

김종철, 2005, 신/구 공동주택내 실내유해공기오염물질(HAPs)의 기준설정을 위한 위해성평가적용에 관한 연구.

심현숙, 최윤정, 2008, 리모델링 후 거주중인 아파트 단위주거의 실내공기질 평가, 정기학술대회 논문집, 대한건축학회, 24(12), 303-312.

이성재, 성민기, 이승미, 이은택, 2005, 패시브플럭스법을 이용한 가구의 오염물질 방출량 평가, 정기학술대회 논문집, 대한건축학회, 25(1), 75-78.

이윤규, 김창남, 2004, 기존 공동주택 실내공기질 실태에 관한 측정연구, 정기학술대회 논문집, 대한건축학회, 20(11), 327-334.

이정재, 김상희, 박종순, 조매인, 2005, 신축공동주택에서의 알데히드류 발생특성조사, 연차 학술대회 논문집, 한국실내환경학회, 2, 277-280.

전형진, 2005, 공동주택 내 휘발성유기화합물과 포름알데히드 특성 및 발생원 추정에 관한연구, 석사학위논문, 한양대학교.

환경부, 1999, 실내공기질 관리방안에 관한 연구.

환경부, 2004, 실내공기질공정시험방법.

American Lung Association, 2009, http://www. lungusa.org/.

Iwata, T., Tsukahara, H. T., Hori, M., 2003, Aldehydes and VOCs in newly-buit unoccupied houses in Tokyo, Health Buildings 2003 International Conference.

Sdkine, Y., Iwata, T., Okagaki, D., 2003, Measurements of indoor concentrations of aldehydes, VOCs and fungi in newly built apartment houses in Tokyo, Health Buildings 2003 International Conference.

U.S Consumer Product Safety Commission Washington, 1997, DC 20207 AN UPDATE ON formaldehyde 1997 REVISION.

U.S Environmental Protection Agency(EPA), 1991, Introduction to indoor air quality.
U.S Environmental Protection Agency(EPA), 2005, Indoor Air Pollution : Introduction for Health Professionals.
WHO, 2000, Guideline for Air Quality, Geneva.
WHO, 2005, http://www.who.int/mediacentre/factsheets /fs292/ en/.