

## 실내 공기 중 일부 알데하이드류에 대한 위해도 평가 -일부 주택 및 아토피 환자 주택을 대상으로

문경환 · 변상훈 · 최달웅 · 이은일\* · 오은하\* · 김영환†

고려대학교 보건과학대학 환경보건과, \*고려대학교 의과대학 예방의학교실

## Risk Assessment of Aldehydes in Some Residential Indoor Air Included Atopy Patient's Homes

Kyong Whan Moon · Sang Hoon Byeon · Dal Woong Choi · Eun Il Lee\* ·

Eun Ha Oh\* · Young Whan Kim†

Department of Environmental Health, College of Health Sciences, Korea University

\*Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Korea University

(Received October 10, 2005/Accepted November 25, 2005)

### ABSTRACT

This study was undertaken to determine the concentrations of 15 aldehydes in air samples collected from 21 households including 9 atopy patient's homes and to assess the extent of exposure and risk for an individual due to inhalation. Of all the aldehydes identified in both indoor and outdoor environment, formaldehyde and acetaldehyde were the most abundant aldehydes, which were occupied 60% and 17% of total amount, respectively. The geometric mean concentration of formaldehyde and acetaldehyde in indoor air were  $170.5 \pm 1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $47.3 \pm 1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. There existed a strong correlation between formaldehyde, acetaldehyde and other aldehydes. And the ratio of indoor and outdoor concentrations (I/O) exceeded 1.0 for almost every measured aldehydes except *m*-tolualdehyde... No associations were found between the level of aldehydes and either housing characteristics or living habits in most of the samples with only a few exception. And the concentrations of all aldehydes indoor air between atopy patient's homes and control homes were not significant ( $p > 0.05$ ). Formaldehyde and acetaldehyde exposures and risks were estimated by using the inhalation unit risk, mean concentrations and the 95th percentiles, and which were  $2.6 \times 10^{-3}$  and  $1.1 \times 10^{-4}$ , respectively. The mean and the 95th percentile risk estimates were 25 times higher for formaldehyde than for acetaldehyde in homes.

**Keywords:** aldehydes, formaldehyde, acetaldehyde, atopy, indoor air, exposure, risk

### I. 서 론

알데하이드류는 카보닐기가 결합되어 있는 유기화합물로서 지방족 알데하이드와 방향족 알데하이드가 있으며, 탄소수가 적은 것을 저급 알데하이드라고 한다. 포화 지방족 알데하이드류에는 폼알데하이드, 아세트알데하이드, 프로피온알데하이드, 발레르알데하이드, 글루타르알데하이드 등이 있으며, 불포화 지방족 알데하이드류에는 아크롤레인, 메타클로레인, 크로톤알데하이드

등이 포함된다. 또한 방향족 알데하이드류는 벤즈알데하이드, 톨루알데하이드, 신남알데하이드 등이 있다.

일반 대기중에서 알데하이드류는 자유라디칼이나 오존, PAN(peroxyacyl nitrates) 등을 생성하는 전구물질로서 생물체나 화석연료의 불완전 연소나 탄화수소의 광화학 반응에 의해 생성되며, 주로 폼알데하이드와 아세트알데하이드의 형태로 존재하는 것으로 알려져 있다.<sup>1,3)</sup> 실내 공기중의 알데하이드류는 주로 건축재료나 가구, 생활용품 등에서 배출되며, 흡연에 의해서도 다양한 종류의 알데하이드류가 배출되는 것으로 보고되고 있다.<sup>4,5)</sup>

알데하이드류는 분자구조 및 용해성, 화학적 반응성 및 독성 등이 각기 다른 특성을 가지고 있으나, 많은

†Corresponding author : Department of Environmental Health, College of Health Sciences, Korea University  
Tel: 82-2-940-2862, Fax: 82-2-943-5304  
E-mail : kyw@korhealth.ac.kr

종류의 알데하이드가 수용성이며, 반응성이 커서 상기도 호흡기계의 점막이나 시신경, 피부 등을 자극하는 것으로 알려져 있다.<sup>6,7)</sup> 이중 폼알데하이드와 아크롤레인, 크로톤알데하이드 등은 비교적 낮은 농도에서도 자극성이 강해 호흡기계에 큰 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있으며, 미국 환경보호청에서는 폼알데하이드와 아세트알데하이드를 인간에게 발암 가능성이 있는 물질로, 아크롤레인은 유전독성과 세포독성이 있는 물질로 분류하고 있다.<sup>8,13)</sup>

한편 최근에는 체내에 흡입된 폼알데하이드가 알부민과 같은 인체의 각종 단백질과 결합하여 특이 IgE 항체가 생성되어, 천식이나 아토피 등의 알러지를 일으키거나 기관지수축 매개체로도 작용한다고 보고되고 있다.<sup>14-18)</sup>

국내에서도 여러 연구자에 의해 이미 실내 공기중에서 폼알데하이드에 대한 조사연구가 이루어진 바 있다.<sup>19-21)</sup> 그러나 다양한 종류의 알데하이드류를 조사한 사례는 많지 않다. 특히 알레르기 질환과의 관계를 파악하고자 하는 연구는 더욱 미진한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 일반 가정과 아토피 환자 가정의 실내 공기 중에서 알데하이드류의 분포 특성을 조사하고 인체 노출량 및 위해도를 평가하여 향후 실내 공기질 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구 대상

연구 대상은 인터넷을 통해 실험의 목적을 설명한 후 자원자를 모집하였으며, 아토피 환자 가정의 경우에는 자원자를 피부과 전문의에게 진료 의뢰하여 아토피로 확진된 경우만을 연구 대상으로 하였다. 조사는 일반 가정 12개소와 아토피 환자 가정 9개소를 대상으로 하여 2005년 6월부터 2005년 8월에 걸쳐 실시되었다. 조사대상 항목으로는 폼알데하이드(formaldehyde) 외에 14종을 선정하였다. 측정에 앞서 주거특성 및 생활습관, 사용하고 있는 생활용품 등에 관한 설문조사를 실시하였다.

### 2. 연구 방법

#### 1) 시료 채취 및 분석방법

알데하이드류 측정을 위한 시료의 포집 및 분석은 EPA TO-11A<sup>22)</sup> 및 ISO 16000-3<sup>23)</sup>에 준하여 실시하였다. 시료 포집 전에 각 측정지점의 환경조건을 동일하게 유지하기 위해 먼저 주택 외부에 면한 모든 개구부(창호, 출입문, 환기구 등)와 실내 출입문, 수납 가구의

문 등을 개방하고 30분 동안 자연 환기를 시켰으며, 환기 후 모든 문을 닫고 30분 경과 후에 거실 및 안방의 중앙에서 시료를 채취하였다. 동시에 주택의 외기에서도 시료를 채취하였다. 공기 시료의 포집은 미리 유량이 보정된 펌프(SKC 210-1002, USA)에 2,4-DNPH(2,4-dinitrophenylhydrazine) 카트리지(Waters Corp, USA)와 오존스크러버(Waters Corp, USA)를 연결하고 500 ml/min의 유량으로 약 30분간 동시에 2개의 시료를 포집하였다. 포집된 시료는 알루미늄 호일과 폴리에틸렌 백으로 밀봉하여 4°C 이하의 냉암소에 보관하였으며, 채취 후 1주일 이내에 분석하였다.

분석방법은 먼저 시료가 포집된 카트리지를 manifold (Supelco INC, USA)에 부착하고 HPLC 등급의 아세트나이트릴로 생성된 유도체를 용출하였으며, 용출된 용액은 고속액체크로마토그래프(HPLC, Waters, USA)를 이용하여 360 nm의 파장에서 측정되었다. 이때 컬럼으로는 C<sub>18</sub> 역상 컬럼(SUPELCO™ LC-18, USA)을 사용하였으며, 이동상으로는 60% 아세트나이트릴/40% 물을 사용하였다. 표준용액으로는 미국 Supelco 사의 제품(103 µg/ml, formaldehyde-DNPH, Cat No. 47177, USA)을 단계적으로 희석하여 사용하였다.

#### 2) 분석 방법의 유효성 검증

알데하이드류 분석방법에 대한 유효성을 검증하기 위해 표준용액을 이용하여 EPA TO-11A 방법에 의거 MDL(Method Detection Limit)과 정확도(Accuracy), 정밀도(Precision)를 산출하였다.

#### 3) 자료의 평가

공기중 농도는 µg/m<sup>3</sup>로 표시하였으며, 기하평균과 기하표준편차를 구하였다. 집단간의 차이를 보기 위해 Mann-Whitney 검정과 Kruskal-Wallis 검정을 실시하였으며, 항목간의 상관성은 상관분석 및 회귀분석을 이용하였다. 통계분석은 Excel 2002와 SPSS 12.0을 사용하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 분석방법의 유효성

조사대상 15개 항목에 대한 MDL은 Table 1과 같이 아세트알데하이드의 경우가 0.06 µg/m<sup>3</sup>로 가장 낮았으며, 폼알데하이드와 아세톤은 0.13 µg/m<sup>3</sup>로, 2,5-다이메틸벤즈알데하이드는 0.92 µg/m<sup>3</sup>로 조사되었다. 정확도(Accuracy)와 정밀도(Precision)는 조사대상 항목 모두가 EPA TO-11A에서 규정하고 있는 범위인 정확도 80~120%, 정밀도<10%를 만족하는 것으로 나타났다.

**Table 1.** Verification parameters for aldehyde derivatives

Compounds	MDL* ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Accuracy (%)	Precision (%)
Formaldehyde	0.13	101.6	4.1403
Acetaldehyde	0.06	90.3	6.1466
Acrolein	0.09	95.5	5.2679
Acetone	0.13	101.4	4.1850
Propionaldehyde	0.23	97.0	6.2686
Crotonaldehyde	0.10	103.0	7.3642
Butylaldehyde	0.21	107.1	6.1650
Benzaldehyde	0.91	105.0	2.6323
Isovaleraldehyde	0.68	103.0	7.4991
Valeraldehyde	0.70	101.3	4.5892
<i>o</i> -Tolualdehyde	0.75	103.2	2.4395
<i>m</i> -Tolualdehyde	0.81	101.0	3.3537
<i>p</i> -Tolualdehyde	0.87	101.0	5.2311
Hexaldehyde	0.51	101.4	2.1684
2,5-Dimethylbenzaldehyde	0.92	102.2	3.2855

\*MDL: method detection limits.

**2. 알데하이드류 분포특성**

1) 실내 · 외 공기중 알데하이드류 농도

실내·외 공기중 알데하이드류의 농도를 비교하기 위해 각각의 시료를 포집하여 15종의 알데하이드류를 측정 한 결과는 Table 2와 같다. 아크롤레인과 아세톤은

피크가 명확히 분리되지 않아 정량하지 않았으며, 이소 발레르알데하이드와 오소톨루알데하이드는 검출되지 않았다. 실외 대기중의 폼알데하이드 평균 농도는  $28.7 \pm 2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 인데 비해 실내공기에서는 평균  $170.5 \pm 1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 폼알데하이드가 검출된 것으로 조사되었으며, 일부 주택에서는  $403.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높게 검출된 경우도 있었다. 폼알데하이드 다음으로 높은 농도는 아세트알 데하이드로서 실내·외 공기중에서 각각  $47.3 \pm 1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $20.0 \pm 1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 검출되었으며, 2,5-다이메틸벤즈 알데하이드의 경우에도 실내·외에서 각각  $19.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 검출된 것으로 조사되었다. 그 외 대부분의 화합물은 실내·외 모두에서  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 존재하는 것으로 나타났다. 실내 공기중의 알데하이드류 의 총 농도는  $283.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 였으며, 이 중에서 폼알데하 이드와 아세트알데하이드가 각각 60.1%, 16.7%를 차지 하는 것으로 나타났다. 외기에서도 총  $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 알 데하이드류 중에서 폼알데하이드와 아세트알데하이드 가 각각 33.0%, 23.5%의 비율로 존재하는 것으로 조 사되었다.

한편 환기조건이나 실내 배출원의 강도 등을 판단하 기 위한 지표로 사용되는 실내와 실외의 농도비, I/O 비는 메타톨루알데하이드를 제외한 전항목이 1.0 이상 이었으며, 폼알데하이드가 5.4, 아세트알데하이드가 2.8

**Table 2.** Indoor and Outdoor concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) of aldehydes

Compounds	Indoor (n=21)	Outdoor (n=21)	I/O	p-value
	GM $\pm$ GSD (range)	GM $\pm$ GSD (range)	GM	
Formaldehyde	$170.5 \pm 1.9$ (43.9~403.6)	$28.7 \pm 2.1$ (3.4~76.4)	5.4	0.000
Acetaldehyde	$47.3 \pm 1.5$ (23.6~89.0)	$20.0 \pm 1.6$ (8.3~51.5)	2.8	0.000
Acrolein	nq	nq	-	-
Acetone	nq	nq	-	-
Propionaldehyde	$7.6 \pm 1.7$ (3.2~26.5)	$5.6 \pm 2.6$ (1.6~40.6)	2.0	0.126
Crotonaldehyde	$2.8 \pm 4.5$ (nd~31.8)	$1.9 \pm 2.9$ (0.1~10.0)	3.1	0.093
Butylaldehyde	$12.1 \pm 2.1$ (2.7~24.6)	$4.3 \pm 2.3$ (0.6~21.7)	3.9	0.002
Benzaldehyde	$5.5 \pm 1.9$ (2.1~19.5)	$1.3 \pm 3.4$ (0.1~7.3)	3.8	0.001
Isovaleraldehyde	nd	nd	-	-
Valeraldehyde	$3.9 \pm 3.3$ (nd~14.7)	$0.6 \pm 4.3$ (0.1~6.3)	6.7	0.000
<i>o</i> -Tolualdehyde	nd	nd	-	-
<i>m</i> -Tolualdehyde	$9.8 \pm 7.8$ (nd~54.7)	$14.0 \pm 3.7$ (0.3~72.5)	0.7	0.983
<i>p</i> -Tolualdehyde	$2.0 \pm 11.1$ (nd~40.2)	$0.9 \pm 11.4$ (nd~18.9)	2.3	0.352
Hexaldehyde	$3.1 \pm 9.9$ (nd~31.8)	$0.2 \pm 3.6$ (nd~4.2)	15.4	0.001
2,5-Dimethylbenzaldehyde	$19.2 \pm 5.8$ (nd~92.5)	$7.5 \pm 7.7$ (nd~59.4)	2.6	0.125
Total	283.8	85.0		

N: number of samples.

Nq: not quantify, nd: not detected (below method detection limits).

GM: geometric mean, GSD: geometric standard deviation.

I/O: indoor/outdoor ratio.

**Table 3.** Comparison of mean concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) of formaldehyde and acetaldehyde with other studies

Location	Site	Formaldehyde		Acetaldehyde		Reference
		Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	
Guangzhou, China	hotel ballroom	29.74	12.37	69.84	6.90	Yanli <i>et al.</i> (2004) <sup>24)</sup>
Mexico city, Mexico	house	47	17	27	14	Armando <i>et al.</i> (2003) <sup>25)</sup>
Paris, France	house	24.3	-	10.0	-	Clarisse <i>et al.</i> (2003) <sup>26)</sup>
Prince Edward Island, Canada	house	33.2	-	20.2	-	Nocolas <i>et al.</i> (2005) <sup>27)</sup>
France	house	6-127	-	3-86	-	Meininhhaus <i>et al.</i> (2005) <sup>28)</sup>
Seoul, Korea	apartment	134.7	-	34.4	-	Jang <i>et al.</i> (2004) <sup>29)</sup>
Seoul, Korea	apartment	68.6	-	40.9	-	Yang <i>et al.</i> (2004) <sup>30)</sup>
Seoul, Korea	house	170.5	28.7	47.3	20.0	present study

로 나타났다. 한편 실내·외 간의 농도차이를 파악하기 위해 Mann-Whitney t-검정을 실시한 결과 폼알데하이드와 아세트알데하이드, 뷰틸알데하이드, 벤즈알데하이드, 발레르알데하이드, 헥سال데하이드는 실내·외간에 유의한 차이를 보였으나 ( $P<0.01$ ), 프로피온알데하이드, 크로톤알데하이드, *m,p*-알데하이드, 2,5-다이메틸벤즈알데하이드는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다( $p>0.05$ ).

Table 3은 일부 연구자들<sup>24-30)</sup>에 의한 폼알데하이드와 아세트알데하이드의 측정결과를 비교한 것이다. 멕시코, 프랑스, 캐나다의 가정에서는 평균 24~47  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 폼알데하이드가 검출되었으나 본 조사와 장<sup>29)</sup> 등이 행한 조사의 경우에는 각각 170  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 134  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 약 3~7배가 높은 것으로 나타났으며, 아세트알데하이드의 경우에도 약간 높은 수치를 나타냈다.

현행 우리나라에는 '다중이용시설등의실내공기질관리법'에 폼알데하이드의 유지기준이 0.1 ppm으로 규정되어 있으며, 세계보건기구(WHO)에서는 폼알데하이드와 아세트알데하이드의 가이드라인을 각각 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 20,000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 정하고 있다. 본 조사에서는 총 21개 가정중에서 71%인 15개 가정에서 폼알데하이드의 농도가 법적인 기준치를 초과하는 것으로 조사되었다.

Table 4는 실내 공기중 폼알데하이드 또는 아세트알데하이드와 기타 알데하이드류와의 상관관계를 나타낸 것이다. 헥سال데하이드 등의 비교적 분자량이 큰 알데하이드류를 제외하고는 대부분의 알데하이드류가 폼알데하이드 및 아세트알데하이드와 높은 상관관계를 나타내었다. 특히 아세트알데하이드와 크로톤알데하이드, 프로피온알데하이드, 뷰틸알데하이드, 벤즈알데하이드 간에는 Pearson 상관계수가 0.70~0.85로 매우 높은 상관성을 보였다.

2) 주거형태 및 생활환경에 따른 알데하이드류 농도  
실내 알데하이드류의 농도는 건축년도, 건물형태, 가

**Table 4.** Correlation coefficients for formaldehyde and acetaldehyde in indoor air

	R (formaldehyde)	R (acetaldehyde)
Formaldehyde	1.000	0.635*
Acetaldehyde	0.635*	1.000
Acrolein	-	-
Acetone	-	-
Propionaldehyde	0.455	0.706*
Crotonaldehyde	0.235	0.762**
Butylaldehyde	0.721**	0.848**
Benzaldehyde	0.521	0.763**
Isovaleraldehyde	-	-
Valeraldehyde	0.673*	0.633*
<i>o</i> -Tolualdehyde	0.236	0.429
<i>m</i> -Tolualdehyde	0.308	0.128
<i>p</i> -Tolualdehyde	0.246	0.382
Hexaldehyde	0.240	0.306
2,5-Dimethylbenzaldehyde	0.494	0.230

R: Pearson coefficient.

\* $p<0.05$ , \*\* $p<0.01$ .

구나 내장재의 종류뿐만 아니라 카펫, 살충제, 방향제, 향수 등의 가정용품 및 흡연에 의해서도 증가될 수 있다.<sup>31,32)</sup> Table 5는 건축년도, 주거형태, 가구 구입년도, 흡연여부, 살충제 사용여부 등에 따른 실내 공기중 알데하이드류의 농도를 비교한 것이다. 건축년도에 따라서는 뷰틸알데하이드만이 3년 이내에 건축된 주택과 3년 이상이 경과된 주택 간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며( $p<0.01$ ), 주거 형태별로는 아파트에서 프로피온알데하이드가 연립주택에 비해 높은 것으로 나타났다( $p<0.05$ ). 하지만 스프레이 제품 등의 생활용품 사용 및 흡연 등의 생활습관에 따른 실내 공기중 알데하이드류는 별다른 차이가 없는 것으로 조사되었다.

**Table 5.** Associations between aldehyde concentrations and house characteristics

Independent variables	n	Concentrations, GM ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						
		formaldehyde	acetaldehyde	propionaldehyde	crotonaldehyde	butylaldehyde	benzaldehyde	m-tolualdehyde
Year of construction								
< 3 years	8	238.9	55.7	10.4	5.3	20.0**	6.2	13.2
> 3 years	13	136.1	42.4	6.2	1.8	8.6	5.0	8.1
Type of residence								
terraced houses	5	166.5	40.9	5.9**	2.3	12.3	5.2	11.3
apartment	16	174.1	53.6	9.4	3.2	12.0	5.7	8.7
Furniture purchase								
< 1 year	7	215.4	39.2	8.1	1.8	10.5	7.7	23.2
> 1 year	14	151.7	51.9	7.4	3.4	13.0	4.6	6.4
Smokes in family members								
yes	8	183.5	53.2	6.4	3.6	16.7	5.2	9.9
no	13	162.3	43.7	8.6	2.4	9.8	5.6	9.8
Spray insecticide use								
use	14	190.9	44.9	7.2	3.3	12.8	5.5	15.0
not use	7	135.9	52.4	8.6	1.9	10.8	5.3	4.2
Location of residence								
curb side	6	188.1	47.5	8.9	3.4	13.9	3.5	22.9
residential area	15	166.4	47.2	7.3	2.6	11.7	6.1	8.0

GM: Geometric means.

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ .

3) 아토피 환자군 및 대조군 가정의 알데하이드류 농도

Table 6은 아토피 환자로 확진된 그룹과 비환자군인

대조군간의 실내 공기중 알데하이드류 농도를 비교한 것이다. 폼알데하이드는 환자군이 평균  $184.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 대조군이  $150.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었으며, 아세트알데하이

**Table 6.** Comparison of indoor aldehydes concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) with atopy patient's homes and normal homes

Compounds	Atopy patients (N=9)	Control (N=12)	p-value
	GM $\pm$ GSD (range)	GM $\pm$ GSD (range)	
Formaldehyde	$184.9 \pm 1.9$ (74.0~403.6)	$150.9 \pm 2.0$ (43.9~336.1)	0.556
Acetaldehyde	$41.2 \pm 1.5$ (23.6~82.6)	$58.2 \pm 1.5$ (34.9~89.9)	0.517
Acrolein	nq	nq	-
Acetone	nq	nq	-
Propionaldehyde	$7.5 \pm 1.5$ (4.0~14.7)	$7.9 \pm 2.1$ (3.2~26.5)	1.000
Crotonaldehyde	$1.8 \pm 5.1$ (nd~5.9)	$5.5 \pm 2.9$ (2.1~31.8)	0.637
Butylaldehyde	$9.3 \pm 2.3$ (2.7~23.1)	$18.0 \pm 1.5$ (10.7~24.6)	0.077
Benzaldehyde	$5.9 \pm 1.9$ (2.3~17.2)	$4.9 \pm 2.2$ (2.1~19.5)	0.480
Isovaleraldehyde	nd	nd	-
Valeraldehyde	$3.5 \pm 4.3$ (nd~14.7)	$4.7 \pm 2.1$ (1.7~12.8)	0.906
o-Tolualdehyde	nd	nd	-
m-Tolualdehyde	$12.8 \pm 7.3$ (nd~54.7)	$6.6 \pm 9.8$ (nd~46.4)	0.516
p-Tolualdehyde	$1.1 \pm 10.5$ (nd~13.2)	$4.7 \pm 11.3$ (nd~40.1)	0.187
Hexaldehyde	$3.5 \pm 8.5$ (nd~22.2)	$2.7 \pm 14.9$ (nd~31.8)	0.812
2,5-Dimethylbenzaldehyde	$19.2 \pm 5.8$ (nd~69.2)	$19.2 \pm 7.7$ (2.2~92.6)	0.556

N: number of samples.

Nq: not quantify, nd: not detected (below method detection limits).

GM: geometric mean, GSD: geometric standard deviation.

드는 환자군과 대조군이 각각 41.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 58.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었으나 두 그룹간에는 유의한 차이가 없으므로 나타났다( $p>0.05$ ). 한편 기타 알데하이드류도 환자군과 대조군간에는 유의한 차이가 없으므로 나타났다. 하지만 Garrett,<sup>18)</sup> DOi 등<sup>33)</sup>은 실내 폼알데하이드 농도와 아토피 환자 간에는 상관관계가 있으며, 폼알데하이드의 노출정도가 클수록 증세가 심해진다고 보고한 바 있다. 본 연구의 경우 환자집단을 확보하기 어려워 측정된 자료의 수가 적은 제한점을 가지고 있다. 그러므로 추후에는 보다 많은 환자집단에 대한 조사가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

**3. 알데하이드류에 의한 인체 노출량 및 위험도**

실내·외 공기중에 존재하는 알데하이드류에 대한 인체 폭로 정도를 추정하기 위해서는 US EPA<sup>34)</sup>에서 제안하는 다음과 같은 식을 이용할 수 있다.

$$E_i = \sum_{j=1}^n C_j IR_i t_{ij} \quad (1)$$

여기서,  $E_i$ 는 1일 폭로량( $\mu\text{g}/\text{d}$ ),  $C_j$ 는 알데하이드류의 농도( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $IR$ 은 호흡률( $\text{m}^3/\text{h}$ ),  $t_{ij}$ 는 폭로시간( $\text{h}/\text{d}$ )을 나타낸다.

본 연구에서 측정된 폼알데하이드와 아세트알데하이드의 산술평균과 95백분위수를 식 (1)에 의해 산출했을 때의 폭로량과 발암 위험도(risk)를 Table 7에 나타냈다. 여기서 호흡률은 US EPA에 의한 0.63  $\text{m}^3/\text{h}$ 를 적용하였으며, 폭로시간은 퇴근 후 가정에서 머무르는 시간(밤 8시~오전 8시)인 12시간, 폭로시간은 통계청의 '2003년 생명표'에 의한 평균수명 77.5세를 적용하였다. 한편 폼알데하이드와 아세트알데하이드의 호흡 단위 위험도(inhalation unit risk)는 각각  $1.3 \times 10^{-5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<sup>-1</sup>,  $2.2 \times 10^{-6}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<sup>-1</sup>을 적용하였다.<sup>8,9)</sup>

폼알데하이드와 아세트알데하이드를 제외한 알데하이드류는 발암성이 없거나 조사된 자료가 거의 없어 산출하지 않았다.

폼알데하이드의 경우에 가정에서 호흡을 통해 폭로되는 양은 평균 1,635  $\mu\text{g}/\text{day}$ , 최대 3,076  $\mu\text{g}/\text{day}$ 였으며,

아세트알데하이드는 1일 최대 679  $\mu\text{g}$ 을 흡입하는 것으로 산출되었다. 발암 위험도의 경우에는 폼알데하이드가 평균  $2.6 \times 10^{-3}$ , 아세트알데하이드가 평균  $1.1 \times 10^{-4}$ 로 산출되어 폼알데하이드가 아세트알데하이드에 비해 약 25배 높은 것으로 나타났다. 한편 본 조사에 의한 폼알데하이드의 위험도는 미국 EPA<sup>8)</sup> 및 Baez<sup>25)</sup> 등이 조사한 위험도  $1.3 \times 10^{-5}$ 과  $4.9 \times 10^{-4}$ 에 비해 각각 20배와 6배가 높은 수치였으며, 아세트알데하이드의 위험도도 각각 약 50배와 3배가 높은 것으로 조사되었다.

**IV. 결 론**

실내 공기중에 존재하는 알데하이드류의 분포 특성과 인체에 미치는 위험도를 평가하기 위해 일반 가정 12개소와 아토피 환자 가정 9개소를 대상으로 2005년 6월부터 2005년 8월에 걸쳐 실내·외 공기를 포집하여 15종의 알데하이드류를 측정 한 결과는 다음과 같다.

1. 실내 공기중에 존재하는 분석대상 알데하이드류 중에 약 60%가 폼알데하이드였으며, 약 17%가 아세트알데하이드였다. 폼알데하이드와 아세트알데하이드는 실내에서 평균 170.5 $\pm$ 1.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 47.3 $\pm$ 1.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 검출되었으며, 현행 법적 기준치가 설정된 폼알데하이드는 71%의 시료가 기준치를 초과하는 것으로 판정되었다. I/O 비는 거의 모든 항목에서 1.0이상이었으며, 폼알데하이드가 5.4, 아세트알데하이드가 2.8로 나타났다.

2. 주거형태 및 생활환경에 따른 알데하이드류 농도는 뷰틸알데하이드와 프로피온알데하이드만이 주거형태에 따라 유의한 차이를 보였으나, 그 외의 항목들은 별다른 차이를 보이지 않았다.

3. 아토피 환자 가정과 대조군 가정의 실내 공기중 알데하이드류 농도는 전 항목에서 그룹간에 유의한 차이가 없는 것으로 조사되었다( $p>0.05$ ).

4. 폼알데하이드와 아세트알데하이드의 발암 위험도는 각각 평균  $2.7 \times 10^{-3}$ ,  $1.1 \times 10^{-4}$ 으로, 산출되어 폼알데하이드가 아세트알데하이드에 비해 약 25배 높은 것

**Table 7.** Aldehydes concentration (C), exposure (E), and risk from indoor air of homes

Parameter	Formaldehyde				Acetaldehyde			
	Arith. mean	95th percentile	Risk		Arith. mean	95th percentile	Risk	
			Arith. mean	95th risk			Arith. mean	95th risk
C	201.6( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	403.7( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$2.6 \times 10^{-3}$	$5.3 \times 10^{-3}$	51.4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	89.9( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$1.1 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-4}$
E	1,635( $\mu\text{g}/\text{day}$ )	3,076( $\mu\text{g}/\text{day}$ )			389( $\mu\text{g}/\text{day}$ )	679( $\mu\text{g}/\text{day}$ )		

으로 나타났으며, 미국 EPA의 조사결과에 비해서도 각각 약 20배와 50배 정도가 높은 것으로 조사되었다.

비록 본 조사의 경우에 시료수가 적은 제한점이 있었으나 전반적인 측정 결과를 고려할 때 실내 공기중에 존재하는 알데하이드류에 의한 위해성이 매우 클 것으로 생각된다. 또한 천식이나 호흡기 질환 등을 가진 환자가 있는 가정의 경우에는 그 위해도가 더욱 가중될 것이므로 추후 이에 대해 세밀한 조사가 요구된다.

### 감사의 글

본 연구는 환경부 차세대 핵심 환경기술개발사업 연구비 지원으로 이루어진 결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Carter, W. P. L. : Computer modelling of environmental chamber studies of maximum incremental reactivities of volatile organic compounds. *Atmospheric Environment*, **34**, 287-296, 1995.
2. Grosjean, E., Grosjean, D., Fraser, M. P. and Cass, G. R. : Air quality model evaluation data for organics. 3. peroxyacetyl nitrate and peroxypropionyl nitrate in Los Angeles air. *Environmental Science and Technology*, **36**, 1389-1395, 1996.
3. Satsumabayashi, H., Kurita H., Chang, Y. S., Carmichael, G. R. and Ueda, H. : Photochemical formation of lower aldehydes and lower fatty acids under long-range transport in central Japan. *Atmospheric Environment*, **29**, 255-266, 1995.
4. Morrison, G. C. and Nazaroff, W. W. : Ozone interactions with carpet, Secondary emissions of aldehydes. *Environmental Science and Technology*, **36**, 2185-2192, 2002.
5. Kelly, T. J., Smith, D. L. and Satola, J. : Emission rates of formaldehyde from materials and consumer products found in California homes. *Environmental Science and Technology*, **33**, 81-88, 1999.
6. WHO : Acrolein. Environmental Health Criteria 127, World Health Organization, International Programme on Chemical Safety, Geneva, Suisse, 1992.
7. WHO : Acetaldehyde, Environmental Health Criteria 167, World Health Organization, International Programme on Chemical Safety, Geneva, Suisse, 1995.
8. US Environmental Protection Agency(US EPA), Integrated Risk Information System(IRIS) on Formaldehyde On-line IRIS, CASRN 50-00-0, 1991b.
9. US Environmental Protection Agency(US EPA), Integrated Risk Information System(IRIS) on Acetaldehyde On-line IRIS, CASRN 75-07-0, 1991a.
10. Steinhagen, W. H. and Barrow, C. S. : Sensory irritation structure-activity study of inhaled aldehydes in

- B6C3F1 and Swiss-Webster mice. *Toxicology and Applied Pharmacology*, **72**(3), 495-503, 1984.
11. 정규철 : 산업중독판람, 서울, 신평출판사, 442-445, 1994.
12. Robinson, C. F., Fowler, D., Brown, D. P. and Lemen, R. A. : Plywood Mill Worker's Mortality Pattern, Cincinnati, U.S Department of Health and Human Services, 1987.
13. Godish, T. : Indoor Air Pollution Control, Michigan, Lewis Publishers, 37-41, 1991.
14. WHO : Formaldehyde, Environmental Health Criteria 89, World Health Organization, International Programme on Chemical Safety, Geneva, Suisse, 1989.
15. Ebner, H. and Kraft, D. : Formaldehyde-induced anaphylaxis after dental treatment. *Contact Dermatitis*, **24**, 1991.
16. Wantke, F., Hemmer, W., Haglmuller, T., Gotz, M. and Jarisch, R. : Anaphylaxis after dental treatment with a formaldehyde containing tooth-filling material. *Allergy*, **50**, 1995.
17. Franklin, P., Dingle, P. and Stick, S. : Raised exhaled nitric oxide in healthy children is associated with domestic formaldehyde levels. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*, **161**, 1757-1759, 2000.
18. Garrett, M. H., Hooper, M. A., Hooper, B. M., Rayment, P. R. and Abramson, M. J. : Increased risk of allergy in children due to formaldehyde exposure in homes. *Allergy* **54**, 330-337, 1999.
19. 하권철 : 경남지역 지하생활공간 중 미량유해물질인 포름알데히드의 농도 분포 특성. *한국환경보건학회지*, **30**(5), 353-357, 2004.
20. 윤중식, 정지연, 이광용, 박동욱, 박두용 : 유아교육시설의 위치 및 실내, 실외에 따른 포름알데히드 농도 변화. *환경보건학회지*, **30**(3), 259-263, 2004.
21. 김윤신, 김미경 : 실내·외 포름알데히드 농도에 관한 연구. *한국환경위생학회지*, **15**(2), 1-9, 1989.
22. US Environmental Protection Agency(US EPA), Compendium Method To-11A : Determination of Formaldehyde in Ambient Air Using Absorbent Cartridge Followed by High Performance Liquid Chromatography(HPLC)[active sampling method], 1999.
23. International Standard : Determination of Formaldehyde and Other Carbonyl Compounds-active Sampling Method, 2001.
24. Yanli Feng, Sheng Wen, Xinming Wang, Guoying Sheng, Qiusheng He, Jianhui Tang and Jiamo Fu : Indoor and outdoor carbonyl compounds in the hotel ballrooms in Guangzhou, China. *Atmospheric Environment*, **38**, 103-112, 2004.
25. Armando Baez, Hugo Padilla, Rocio Gracia, Ma. del Carmen Torres, Irma Rosas and Raul Belmont : Carbonyl levels in indoor and outdoor air in Mexico City and Xalapa, Mexico. *The Science of Total Environment* **302**, 211-226, 2003.
26. Clarisse, B., Laurent, A. M., Seta, N., Le Moullec, Y., Hasnaoui, A. El. and Momas, I. : Indoor aldehydes-measurement of contamination levels and identification of their determinations in Paris dwellings. *Environmental Research*, **92**, 245-253, 2003.

27. Nicolas L. Gilbert., Mireille Guay., J. David Miller., Stan Judek, Cecilia C. Chan. and Robert E. Dales : Levels and determinants of formaldehyde, acetaldehyde and acrolein in residential indoor air in Prince Edward Island, Canada. *Environmental Research*, **99**, 11-17, 2005.
28. Roman Meininghaus, Amin Kouniali, Corinne Mandin and Andre Cicolella : Risk assessment of sensory irritants in indoor air-a case study in a French school. *Environmental International* **28**, 553-557, 2003.
29. 장성기, 이석조, 정경미, 류정민 : 국내 공동주택의 알데히드류 분포 특성 연구. 한국실내환경학회 학술대회 논문집, 204-206, 2004.
30. 양지연, 호문기, 임영욱, 신동천, 이지호, 홍천수 : 다양한 실내공간에서의 aldehyde 농도 분포 및 건강 영향 평가. 한국실내환경학회 학술대회 논문집, 116-119, 2004.
31. Crum, D. R. and Gardiner, D. : Sources and concentrations of aldehydes and ketones in indoor environments in the UK. *Environmental International*, **15**, 455-462, 1989.
32. Shaughnessy, P. B., Macdaniels, T. J. and Weschler, C. J. : Indoor chemistry-ozone and volatile organic compounds found in tobacco smoke. *Environmental Science and Technology* **35**, 2758-2764, 2001.
33. Doi. S., Suzuki. S., Morishita. M., Yamada, M., Kanda, Y., Torii, S. and Sakamoto, T : The prevalence of IgE sensitization to formaldehyde in asthmatic children. *Allergy*, **58**, 668-671, 2003.
34. US Environmental Protection Agency(US EPA), Guidelines for Exposure Assessment. Office of Research Development, Office of Health and Environmental Assessment, Washington, DC, EPA 600Z-92y001, 1992.