

유아교육시설의 위치 및 실내·실외에 따른 포름알데히드 농도 변화

윤충식[†] · 정지연* · 이광용* · 박동욱** · 박두용***

대구가톨릭대학교, *한국산업안전공단, **한국방송통신대학교, ***한성대학교

Variation of Formaldehyde Concentration in Preschool Facilities by Location and Indoor/Outdoor

Yoon Chungsik[†] · Jeong Jeeyeon* · Yi Gwangyong* · Park Donguk** · Park Dooyong***

Catholic University of Daegu, Kyongsan 712-702, Korea

**Korea Occupational Safety and Health Agency, Incheon, Korea

***Korea National Open University, Seoul 110-791, Korea

***Hansung University, Seoul 136-792, Korea

(Received July 5, 2004; Accepted August 14, 2004)

ABSTRACT

This study was performed to investigate airborne formaldehyde concentration in preschool facilities. Arithmetic mean of indoor formaldehyde concentration in urban area was 34.9 ppb(Geometric mean 24.4 ppb) whereas outdoor concentration was 21.5 ppb(GM 11.9 ppb). In rural area, formaldehyde concentrations were 36.4 ppb(GM 28.7 ppb), 4.1 ppb(GM 4.1 ppb), respectively. There is no statistical significance between the formaldehyde concentrations of urban classrooms and those of rural area. We verified that the distribution of airborne formaldehyde concentration was log-normal characteristic using Shapiro and Wilk test. The 6.7% of urban indoor samples was exceeded the domestic standard limit of indoor air quality. From our study and other study, we concluded that the major emission sources of formaldehyde in preschool facilities was in indoor rather than outdoor.

Keywords: Formaldehyde, Preschool, Classroom, Indoor air quality(IAQ)

I. 서 론

실내공기는 실외공기보다 유해인자의 노출에 있어서 더 중요한 의미를 갖는데 첫째는 사람의 실내 거주시간이 실외에 생활시간보다 훨씬 많고, 둘째로, 많은 유해인자의 경우 실내 농도가 실외농도보다 높기 때문이다.^{1,2)} 아동은 유해인자에 더 민감하며, 단위체중당 호흡량이 많기 때문에 더 취약하다. 이런 측면에서 미국 환경보호청은 1999년에 아동에게 많이 노출될 수 있는 물질이나 아동에게 더 유해한 물질을 잘 규제할 수 있는 정책개발을 지원하기 위하여 아동건강보호사무국(Office of Children's Health Protection)을 새로 설치하였다.³⁾

어린이집이나 유치원시설은 아동이 처음 사회생활을 하는 곳으로 장시간 머무르며 다양한 놀이 활동과 교육을 받는 곳이다.⁴⁾ 이 유아교육시설에서 아동에게 유해한 대표적인 물질이 포름알데히드다. 포름알데히드는 흡입에 의해 인체로 들어오며 아동은 주로 코와 눈에 자극(염증, 가려움, 목 따가움)을 받는다. 저농도의 포름알데히드에 노출되면 눈, 코, 목, 피부를 자극하며, 천식에 더 민감할 수 있다.⁵⁾ 포름알데히드는 동물실험결과 코에 암을 일으키는 물질로 알려져서 의심되는 발암성 물질(Group 2A)로 분류되고 있다.⁶⁾

일반 대기환경에서 포름알데히드의 주요 발생원은 스모그이며, 이외에도 담배연기, 가스렌지를 이용한 조리, 화재 등이 주요 발생원이 된다. 포름알데히드는 비료제조, 제지, 합판, 우레아-포름알데히드 수지를 만드는 작업장뿐 아니라 방부제, 의약품, 화장품을 만드는 데 사용되기도 한다. 일반 사무실 또는 가정실내의 공기에서는 유리섬유, 카펫, 직조물, 종이제품, 세제에서

[†]Corresponding author : Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu
Tel: 82-53-850-3738, Fax: 82-53-850-3736
E-mail : csyoon@cu.ac.kr

발생할 수 있으며 특히 유아교육시설에서의 포름알데히드 노출은 여러 가지 교육기자재나 놀이완구 등으로 인해 더 문제가 될 수 있다.⁵⁾

포름알데히드의 작업장 기준은 미국산업안전보건청(OSHA)인 경우 0.75 ppm, 미국정부산업위생전문가협회(ACGIH)는 권장값 0.3 ppm, 우리나라는 8시간 시간가중평균치 1 ppm, 단시간노출기준 2 ppm을 정하고 있다. 실내공기질인 경우 세계보건기구(WHO)에서 30분동안 100 mg/m³(≒80 ppb), 홍콩(8시간)은 1수준을 30 mg/m³(≒24 ppb), 2수준을 100 mg/m³, 우리나라인 경우 노동부는 사무실 기준(8시간)을 100 ppb, 환경부는 실내공기질 기준을 120 mg/m³(≒100 ppb)로 설정하고 있다.^{7,8)}

본 연구는 도시 및 농촌지역에 위치한 유아교육시설의 교실내외에서 포름알데히드 농도를 평가하여 유아교육시설의 위치지역에 따른 농도변화와 실내외의 농도를 측정하고, 2004년부터 적용되는 환경부의 실내기준과 비교·평가하고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 연구대상

2003년 7월부터 9월까지 우리나라 전역(서울지역 3곳, 경기도 7곳, 충청도 2곳, 경상도 2곳)에서 14개 유치원 및 어린이집을 선정하여 58개 교실과 교실외부의 실외 환경에서 시료를 채취하였다. 각 교실당 1개의 지역시료와 유아교육시설당 1개의 실외시료를 채취하였다. 모든 시료는 지역시료로 채취하였으며 실내인 경우 책상높이 위치에서 시료를 채취하였고, 실외지역도 같은 높이에서 채취하였다. 지역구분을 하면 도시지역이 11곳이고, 시골지역으로 구분되는 곳이 3곳이었다. 시골지역의 구분은 행정구역상 면소재지이하를 기준으로 하였다.

2. 연구 방법

1) 공기 중 포름알데히드의 채취

알데히드에 특이적으로 반응할 수 있는 2,4-dinitrophenylhydrazine (2,4-DNPH)이 코팅된 실리카 흡착관(300/150 mg, S.K.C Cat. No. 226-119, USA)를 이용하여 저유량 펌프(Gilian LFS-113DC, Sensidyne, USA)를 약 0.1 l/분으로 6시간 이상 시료를 채취하였다. 시료채취후에 펌프는 자동 유량측정기기(Gilibrator, Sensidyne, USA)를 이용하여 정확히 유량을 측정하였다. 2,4-DNPH와 반응한 포름알데히드는 Fig. 1과 같이 DNPH 유도체를 형성하게 된다. 포름알데히드 자체는

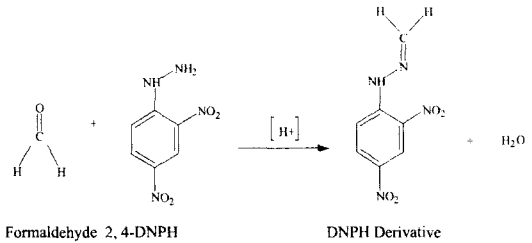


Fig. 1. Derivatization of formaldehyde with 2,4-DNPH.

분자량이 작아 흡착관에 흡착하기 어렵고 분석이 까다롭지만 포름알데히드와 DNPH의 반응으로 Fig. 1과 같은 특이적이고 안정한 2,4-DNPH-포름알데히드 유도체를 형성하기 때문에 포집과 분석이 용이하다.⁹⁾ 채취한 시료는 분석할때까지 -20°C에서 냉동보관하였다.

2) 포름알데히드의 분석

시료채취한 흡착관은 앞층과 뒷층을 따로 4 ml vial에 넣은 다음 2 ml의 아세트니트릴(HPLC grade, Merk Ltd, Germany)을 넣고 상온에서 가끔 흔들면서 30분 방치하였다. 그 후 가스크로마토그래피-질소인검출기(GC-NPD; Agilent Technologies, USA)를 이용하여 Table 1과 같은 조건으로 분석하였다.¹⁰⁾ 표준용액은 미국 Supelco 사의 제품(103 µg/ml, Formaldehyde-DNPPH, Cat No, 47177, USA)를 단계적으로 희석하여 사용하였다.

검출한계는 미국국립직업안전보건연구소에서 제시하는 방법에 따라 표준용액을 가능한 한 낮은 농도의 6가지 농도수준으로 제조하여 공시료와 같이 분석하여, 선형회귀방정식(Y = bX + a)을 구한 다음 회귀방정식의 표준오차(standard error; Sy)를 회귀식의 기울기(b)로 나눈 다음 3배(3 · Sy/b)를 하여 구하였다.¹¹⁾ 본 분석방법의 검출한계는 0.06 µg로, 시료채취유량을 0.1 l/분으로 하여 6시간 시료채취했을 때를 가정하면 공기중 검

Table 1. Analytical conditions of GC for formaldehyde-2,4-DNPH derivative

Parameter	Analytical condition
Column	HP-5 (5 m × 0.32 mm × 0.25 µm)
Injector temperature	220°C
Temperature	2 min at 100°C, 35°C/min, 5 min at 160°C
Carrier gas	He(6 ml/min)
Injection volume	1 µl(10:1 split mode)
Detector	NPD
Detector temperature	220°C

출한계 농도는 약 1.3 ppb(1.6 mg/m³)이다.

3) 공기중 농도의 평가

공기중 농도는 ppb로 표시하였으며, 산술평균과 표준편차, 기하평균과 기하표준편차를 구하였다. 지역간 또는 교실내와 실외의 농도에 차이가 있는지를 보기 위하여 일원분산분석을 실시하였다. 공기중 노출자료는 대개 기하정규분포를 한다고 알려져 있으나 실제로 측정된 자료가 정규분포를 하는지 기하정규분포를 하는지를 결정하기 위하여 유의수준 5%에서 Shapiro and Wilk Test(일명 W-test)를 실시하였다.¹²⁾ 허용기준 초과여부는 2004년부터 적용되는 환경부의 다중시설에 대한 실내공기질 유지기준 및 노동부 사무실 기준인 100 ppb 및 세계보건기구의 기준인 80 ppb를 적용하여 평가하였다.

III. 결과 및 고찰

본 연구에서 조사한 우리나라 유아교육시설에서의 포름알데히드 농도를 Table 2에 표시하였다. Table 2에서 보듯이 도시에 위치한 교실에서의 농도는 평균 34.9 ppb(기하평균 24.4 ppb)이었으며, 시골 실내가 36.4 ppb(기하평균 28.7 ppb)로 다소 높았다. 실외지역의 포름알데히드 농도는 도시인 경우 평균 21.5 ppb(기하평균 11.9 ppb)이고, 시골지역이 4.1 ppb(기하평균 3.0 ppb)으로 도시와 시골지역의 차이가 컸다.

유치원시설이 도시 시골지역의 위치여부 및 교실 내외에서 측정된 포름알데히드의 평균농도의 차이는 유의하지 않았다(p = 0.20). 유의한 차이가 나지 않는 이유는 도시와 시골지역의 실외에서 포름알데히드의 농도차이가 크에도 불구하고, 도시에 위치한 교실과 시골의 교실내 포름알데히드 농도 차이가 크지 않기 때문이다. 이로써 교실내 포름알데히드의 농도에 영향을 미치는 요인은 교실외보다는 교실내에 있다고 추정할 수 있다. 실제로 교실내의 다양한 교재 및 완구, 합판, 카펫 등은 포름알데히드의 주된 발생원으로 작용한다. 이

러한 다양한 실내의 포름알데히드 발생원이 도시교실과 시골교실간에 농도차이를 크게 만들지 않는 것 같다. 그러나 도시와 시골을 구분하지 않고 단순히 실내와 실외로 구분하면 실내평균은 35.21 ppb, 실외 평균은 17.82 ppb로 통계적으로 유의한 차이가 있어 (p < 0.05) 유아교육시설에서 포름알데히드는 실내에서 많이 발생한다고 할 수 있다.

이러한 결과는 포름알데히드의 주요 발생원이 실외보다는 실내에 있음을 반영하는데 다른 연구도 동일한 결과를 보고하였다.¹³⁾ 따라서 교실내 포름알데히드의 공기중 농도를 낮추기 위해서는 발생원 관리와 더불어 자주 환기가 필요하다.¹⁴⁾

Table 2에서 보는 것과 같이 같은 도시지역 또는 시골지역이라 하더라도 유아교육시설에 따라 농도범위가 매우 큰데 이는 시설내의 다양한 포름알데히드 발생원의 차이, 노후와 정도, 측정당시의 창문개폐여부, 기후 등이 다양하게 영향을 주었을 것으로 판단되나 본 연구에서 이런 다양한 인자를 평가하지는 못하였다.

프랑스 경우 교실에서의 포름알데히드 농도는 4.9~103.4 ppb로 보고되었고, 홍콩에서는 14.7~35 ppb로 보고하였다.^{13,14)} 우리나라는 각각 시료수가 1개밖에 안되기는 하지만 유치원과 어린이집에서 각각 5.0 ppb와 12.6 ppb를 보고하였다.¹⁵⁾

포름알데히드의 우리나라 노동부 사무실기준 및 환경부 실내공기질 기준인 100 ppb를 초과하는 곳은 Table 2에서 보는 것처럼 도시에 위치한 46개 교실 중 3곳(6.7%)이, 시골 지역에 위치한 12개 교실은 초과하지 않았다. 특히 도시지역의 한 유치원(2층)은 지하가 봉제공장이고 1층이 미용실인데 이곳은 실외가 100 ppb로 해당유치원의 실내평균(75 ppb)보다 농도가 높았다. 이는 포름알데히드를 방출할 수 있는 직물이 많은 봉제공장의 문이 열려져 있었고 따라서 유치원시설까지 연결된 계단통로를 통해 포름알데히드가 이동되었을 것으로 추정된다. 다른 도시 및 시골의 실외중 포름알데히드는 실내농도보다 낮았으며 우리나라 공기질 기준

Table 2. Formaldehyde concentration in preschool facilities

		No. of samples	Airborne formaldehyde concentration, ppb			Standard exceeding rate, %		P-value
			Arithmetic Mean ± SD	Geometric Mean ± GSD	Range	Korea	WHO	
Urban	Indoor	46	34.9± 31.5	24.4 ± 2.4	4.6-126.9	6.7	13.0	0.20
	Outdoor	11	21.5± 29.4	11.9 ± 2.9	3.2-100.9	9.1	9.1	
Rural	Indoor	12	36.4 ± 23.8	28.7 ± 2.2	7.1-91.2	0.0	8.3	
	Outdoor	3	4.1 ± 3.5	3.0 ± 2.8	1.0-8.0	0.0	0.0	

Note: Indoor air quality standard : Korea 100 ppb, WHO 80 ppb

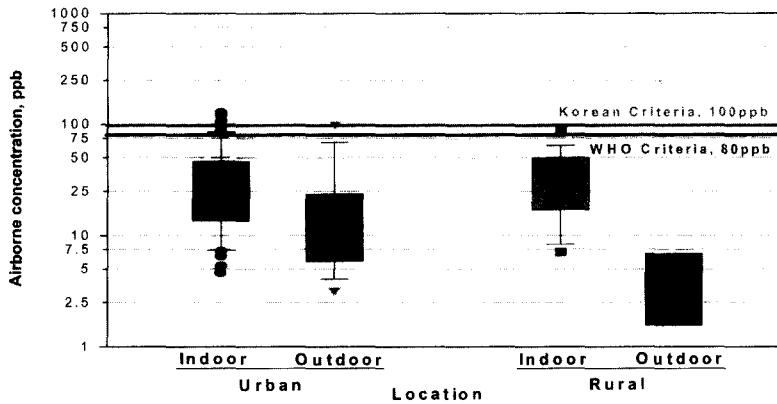


Fig. 2. Airborne formaldehyde concentration by sampling site.

을 초과하지 않았다.

Fig. 2는 지역구분에 따라 교실내와 실외의 포름알데히드 농도수준을 표시한 것이다. 그림에서 보는 것처럼 전반적으로 실내는 도시지역 교실과 시골지역의 농도 수준이 비슷하였으나 실외는 도시가 시골에 비해 농도가 높다.

교실 내외의 포름알데히드 농도수준은 Table 2에서 보는 것처럼 그 범위가 매우 넓은데 측정자료의 분포

는 정규분포보다는 기하정규분포를 한다.

Table 3은 도시지역에 위치한 교실내외와 시골지역에 위치한 교실내외로 나누어 포름알데히드 측정자료의 분포가 정규분포를 하는지 기하정규 분포를 하는지 95% 신뢰수준에서 W-test를 한 결과이다. 표에서 보듯이 네 가지 범주의 모든 자료는 기하정규분포를 하고 있다. 또한 시골지역의 교실내 자료는 95% 신뢰수준에서 기하 정규분포 및 정규분포의 기준을 모두 만족하지만 그

Table 3. Fit test distribution for formaldehyde concentration

	Urban		Rural	
	Indoor (n=46)	Outdoor (n=11)	Indoor (n=12)	Outdoor (n=3)
W-test of log transformed data	0.967	0.920	0.928	0.993
Lognormal ($\alpha = 0.05$)?	Yes	Yes	Yes	Yes
W-test of data	0.801	0.654	0.916	0.963
Normal ($\alpha = 0.05$)?	No	No	Yes	Yes

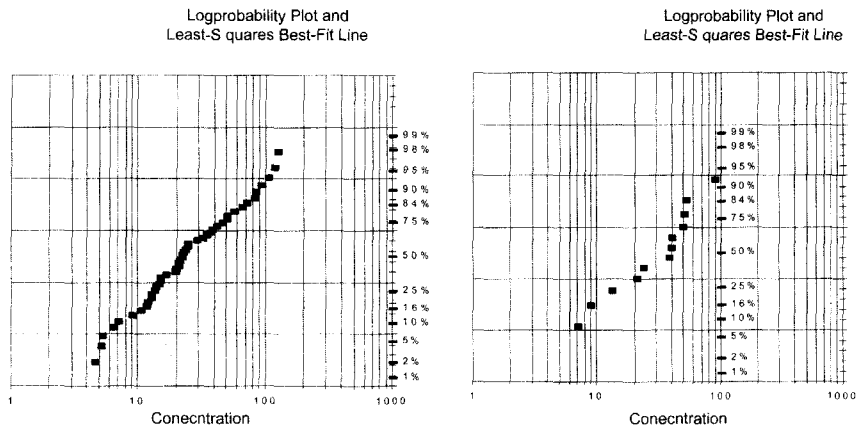


Fig. 3. Lognormal distribution of formaldehyde concentration in urban and rural classroom.

계수가 기하정규분포(0.928)일 때가 정규분포(0.916)일 때보다 더 높아 기하정규분포의 속성을 더 따른다고 판단할 수 있다. 시골지역 실외시료도 두 분포를 모두 만족시키지만 시료수가 3개 밖에 안되는 제한점이 있다.

Fig. 3은 도시지역에 위치한 교실의 포름알데히드 농도와 시골지역의 교실내에서의 농도의 기하분포도를 표시한 것으로 모두 기하분포를 하고 있다. 실외지역은 시료수가 작아 기하분포도를 표시하지 않았다.

IV. 결 론

2003년 7월에서 9월 사이에 전국소재 14개 유아교육시설의 58개 교실 및 실외에서 포름알데히드 시료를 채취하여 가스크로마토그래피로 분석하여 공기중 농도를 도시지역과 시골지역, 교실내와 교실외로 구분하여 새로 제정된 환경부의 실내공기질 기준과 비교평가하였다.

교실내 포름알데히드 수준은 도시소재의 유아교육시설보다 시골소재 유아교육시설에서 약간 높았으나 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$, 산술평균 34.9 vs 36.4 ppb, 기하평균 24.4 vs 28.7 ppb). 그러나 실외의 농도는 도시지역이 유의하게 높는데($p < 0.05$) 이는 전반적으로 도시의 대기오염이 더 심하기 때문일 것이다(산술평균 29.4 vs 3.5 ppb, 기하평균 11.9 vs 3.0 ppb).

포름알데히드의 교실내 농도가 새로 제정된 환경부의 실내기준 100 ppb를 초과하는 곳은 도시지역에서 6.7%였고, 시골지역의 교실내에서는 기준을 초과하지 않았다. 그러나 WHO 기준은 각각 13.0%, 8.3%가 초과하였다.

공기중 포름알데히드의 분포는 정규분포보다는 기하정규분포를 하고 있었다.

본 조사결과 유아교육기관의 포름알데히드의 주요 발생원은 실내에 있는 것으로 판단되며 일부는 외기에서 유입되는 것으로 판단된다. 유아 교육기관은 다른 실내 환경보다 포름알데히드의 발생원이 될 수 있는 각종 교육자재, 가구, 재료 등이 많다. 유아교육기관에서 포름알데히드 농도를 관리하려면 발생원의 관리와 자주 환기를 하여야 할 것이다.

참고문헌

1. Burge, H. A. and Hoyer, M. E. : Occupational envi-

ronment-its evaluation and control(edited by Dinardi, S.R.). American Industrial Hygiene Association, AIHA Press, U.S.A., 391-421, 1997.

2. Nazaroff, W. W. and Weschler, C. J. : Indoor air and the public good-guest editorial. *Indoor Air*, **11**, 143-144, 2001.

3. Devito, S. C. : Present and future regulatory trends of the United States Environmental Protection Agency. *Progress in Organic Coating*, **35**, 55-61, 1999.

4. Environmental Protection Agency(EPA) : Indoor air quality-tools for schools, EPA402-K-95-001, EPA, 1-3, 2000.

5. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ASTDR) : Formaldehyde, ToxFAQs, ASTDR, 1999. (available via <http://atsdr.cdc.gov/toxfaq.html>)

6. International Agency for Research on Cancer(IARC) : IARC Monograph on the evaluation of carcinogenic risks to humans-Overall evaluations of carcinogenicity, supplement 7, IARC, 211-216, 1987.

7. 노동부 : 산업보건기준에 관한 규칙(노동부령 제195호), 노동부, 2003. (available via www.molab.go.kr)

8. 환경부 : 다중이용시설등의 실내공기질 관리법(법률 6911호), 환경부, 2003. (available via www.moe.go.kr)

9. Beasley, R. K., Hoffman, C. E., Ruppel, M. L. and Worley, J. W. : Sampling of formaldehyde in air with coated solid sorbent and determination by high performance liquid chromatography. *Anal. Chem.*, **52**(7), 1110-1114, 1980.

10. 한국산업안전공단 : KOSHA CODE H-8-2001, Method 68. 한국산업안전공단, 2003. (available via <http://home.kosha.net/~yigy/>)

11. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) : Guidelines for Air Sampling and Analytical Method Development and Evaluation. NIOSH, Cincinnati, U.S.A., 95-117, 1995.

12. Mulhausen, J. R. and Damiano, J. : A Strategy for assessing and managing occupational exposures(2nd ed.). AIHA Press, VA, USA. ISBN 0-932627-86-2, 241-250, 1998.

13. Lee, S. C., Guo, H., Li, W. M. and Chan, L. Y. : Inter-comparison of air pollutant concentrations in different indoor environments in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, **36**, 1929-1940, 2002.

14. Meininghaus, R., Kouniali, A., Mandin, C. and Cicolella, A. : Risk assessment of sensory irritants in indoor air-a case study in a French school. *Environmental International*, Elsevier Science Ltd, **28**, 223-557, 2003.

15. 김신도, 김윤신, 박성규, 박진수, 김정호, 서병량, 김민석, 김경분, 김기영, 안진호, 염무중, 정경훈 : 실내공간 실내공기오염특성 및 관리방안연구. 환경부 최종보고서, 107-110, 2002.