

천안지역 일부 다중이용시설의 포름알데히드 농도에 관한 연구

전혜리 · 조수연 · 조혜란 · 조태진 · 박종안 · 손부순*
순천향대학교 환경보건학과

A study on the concentration of formaldehyde in public Facilities in Cheon-An area

Hye-li Jeon, Su-yeon Jo, Hye-ran Jo, Tae-Jin Cho, Jong-an Park, Bu-soon Son*
Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University, Chungnam 336-745, Korea

Abstract

This study was conducted at a Terminal, a Parking Lot, an Underground shopping center, a Funeral hall and a Hospital waiting room of Cheon An area in August 2008 to examine the concentration level of HCHO(formaldehyde).

The concentration level of the remodeled sites were $39.4 \pm 12.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in the terminal, $32.7 \pm 7.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in the parking, and $97.8 \pm 29.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in the underground shopping center. The underground shopping center had the highest level and followed by the terminal and the parking. On the contrary, the site remodeling had the level of $17.7 \pm 12.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in the funeral hall and $17.9 \pm 0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in the hospital waiting room. The funeral hall had highest level than that of the hospital waiting room.

Both the remodeled sites and the not remodeled site had concentration level of HCHO below the standard level, but it was higher in the remodeled sites.

There were no relations among the HCHO, the temperature and the humidity in facilities of Cheon An area.

Key Words : HCHO, remodel level, terminal

* Corresponding author E-mail : sonbss@sch.ac.kr

I. 서론

최근에는 다양한 건축자재들의 사용으로 인해 새로운 오염 물질들이 방출되면서 실내공기의 오염은 악화되고 사람들의 건강에 영향을 주고 있다¹⁾. 현대에 들어 주된 시간을 보내는 학교와 직장뿐만 아니라 그 밖에 시간을 보내는 장소 또한 실외보다는 실내에 위치하고 있는 경우가 대부분임에도 불구하고 거의 대다수의 사람들은 실내공기의 오염이 끼치는 영향에 대해서는 크게 인식하지 못하고 있다.

수많은 고층건물과 지하공간에서 주기적인 청소나 적절한 환기도 없이 이중창 등으로 밀폐된 실내에서 생활하면서, 우리는 간혹 가슴이 답답하고 피로를 느끼면서도 대수롭지 않게 지나칠 때가 많다. 쾌적한 실내공기질을 확보하기 위한 노력들이 계속되고 있으며 실내공기와 관련하여 최근 새집증후군(SHS : Sick House Syndrome), 건물증후군(SBS : Sick Building Syndrome), 복합화학물질과민증(MCS : Multiple Chemical Sensitivity) 등의 용어가 등장하고 있으며, 이런 용어들은 우리도 모르게 불편을 겪고 있는 피로, 두통, 현기증, 집중력감퇴 등과 같은 증상을 일컫는 말이기도 하다.

실내 환경질에 대한 개념은 여러 오염물질로부터 건강상의 영향은 물론 불쾌감이 없어야 한다는 방향으로 정의되고 있으며, 이를 위해 실내공기질을 규정하고 확보하기 위한 다양한 연구와 노력들이 필요하다.^{12,13,14)}

미국환경청(EPA)은 실내공기오염의 심각성과 인체 위해성에 대한 사람들의 무관심을 경고하였으며 가장 시급히 처리해야 할 환경문제 중 하나라고 발표하였다. 세계보건기구(WHO)는 대기오염에 의한 사망자 수는 연간 최대 600만 명이며 실내공기오염에 의한 사망자는 280만 명에 이르고, 실내 오염물질이 실외 오염물질보다 폐에 전달될 확률은 약 천배 높다고 추정하였다. 또한 WHO는 실내공기를 단순한 '매체관리' 차원에서 벗어나 UN현장에서 명시하고 있는 '인간의 기본권' 차원에서 다룰 것을 요구하며, '건강한 실내공기에 대한 권리

(The Right to Health Indoor Air)'라는 선언문을 채택하였다(2000. 05).

환경부에서는 2003년 "다중이용시설 등의 실내공기질관리법"을 공포하고 2004년 5월 30일부터 시행하였다. 최근 실내공기질에 대한 관심과 중요성이 대두됨에 따라 점차적으로 대상시설을 확대할 필요성도 제기되고 있다. 일정한 패턴을 갖는 주택이나 사무실과는 달리 짧은 시간에 많은 사람들이 이동하며 불특정 다수가 이용하는 다중이용시설은 많은 오염원에 노출될 위험성을 가지고 있기 때문에 다중이용시설의 실내공기질은 더욱 중요하다.

우리의 실내 공간을 이루고 있는 건축물의 대부분은 스틸렌, 일산화탄소, 포름알데히드(이하: HCHO), 이산화질소, 이산화황, 톨루엔 등 유해물질들을 포함하고 있다. 이 중 HCHO는 새집증후군 등 실내공기질에 영향을 미치는 매우 중요한 유해인자로 부각되고 있다.⁵⁾ 최근 국제암 연구소에서 인체에 확실한 발암물질로 결정하면서 최근 많은 관심을 받고 있는 HCHO는 흡입에 의해 인체로 들어오며 실온에서 가스로 존재하기 때문에 공기를 통해 80% 이상 노출되는 발암성 물질이다. HCHO 농도가 1 ppm 또는 그 이하에서 상기도, 눈 등의 점막과 피부에 자극을 일으키며 동물실험에서는 발암성이 있는 것으로 나타났다. 장기간 노출된 경우 피부에는 알레르기성 접촉성 피부염 및 습진, 호흡기계에는 기침, 가래, 천식, 만성 기관지염 등의 폐쇄성 폐 증상을 일으키며, 생식기계에 대한 영향으로 자연유산과 저체중아 출산, 임신중독증 등을 유발하기도 한다.²⁾

현재 다중이용시설등의 실내공기질관리법에 적용되는 지하역사, 지하상가, 터미널, 공항, 도서관, 박물관, 의료기관, 실내주차장, 철도역사, 보육시설 등의 다중이용시설은 법적 규제를 받고 있으나, 영화관, 업무시설, 음식점, 공연장, 학원 등은 이용 및 유동인구가 많아 실내공기질에 대한 영향이 많을 것으로 예상됨에도 불구하고 법적규제를 받지 않고 조사연구가 미진한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 현재 "다중이용시설

등의 실내공기질관리법”의 대상 시설 중 5곳을 선정하여(천안소재 지하상가, 지하주차장, 천안 순천향대학교병원 대합실, 장례식장, 터미널) HCHO농도와 온습도에 따른 농도변화를 검토함으로써 다중이용시설의 실내공기질 관리를 위한 기초자료로서 제공하고자 한다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구에서는 “다중이용시설 등의 실내공기질관리법”의 대상 시설을 천안 지역 내를 중심으로 5곳(터미널, 지하상가, 종합병원, 장례식장, 실내주차장)을 선정하여 HCHO농도를 1일 2회씩 총 10 번 측정하였다.

2. 연구방법 및 분석

HCHO의 시료 채취와 분석을 위해 우리나라

환경부의 실내공기질 공정시험법을 적용하였다.

2.1 시료측정 방법

Personal air sampler(Gilian Air-3)에 오존스크리버를 장착한 2,4-DNPH 카트리지를 이용하여 분당 0.5 l/min의 유량으로 30분간 2회 포집하였다. 4 cm의 폴리프로필렌 튜브에 고순도로 정제된 2,4-DNPH(2,4-Dinitrophenylhydrazine)가 코팅되어 있는 2,4-DNPH cartridge (supelco S10, USA)를 이용하였다.

2.2 분석 방법

포집된 시료를 고성능액체크로마토그래피(HPLC-10AVP SERIES, SHIMADZI, JAPAN)를 이용하여 분석하였으며, 분석에 사용된 DNPH 카트리지와 HPLC의 분석조건을 Table 1, 2에 나타내었다.

Table 1. Condition of DNPH cartridge

Items	Conditions
A particle size	150 - 250 μm (60/100 mesh)
DNPH load	0.29 % (1 mg/cartridge)
Bed weight	\approx 350 mg
Capacity	Total carbonyl compound \approx 75 μg
Background level	under 0.1 μg

Table 2. Analytical conditions of HPLC for formaldehyde detection

Items	Analysis Conditions
Column	4.6 (I.D) \times 250 mm, 5 μm (Mightysil RP-18, Kanto Chemical Co..)
Wavelength	360 nm
Injection volume	5 μl
Mobile phase	Acetonitrile : Water = 60 : 40
Flow rate	1.2 ml/min

3. 통계 처리

HCHO 농도는 SPSS(ver. 12.0) 통계프로그램

램을 이용하여 평균, 표준편차, 상관관계를 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 리모델링 적용 시설의 HCHO 농도 측정 결과

리모델링을 한 천안 지역 다중이용시설의 HCHO 농도와 실내 온도 및 습도의 평균 측정값을 Table 3에 나타냈다. HCHO의 농도는 터미널 $39.4 \pm 12.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 주차장 $32.7 \pm 7.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 지하상가 $97.8 \pm 29.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다. 우리나라 실내 공기질 관리법에 제시된 HCHO의 다중이용시설 기준치는 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 평균농도는 세 장소 모두 기준치를 초과하지 않았으나, 지하상가에서의 농도가 가장 높았으며, 터미널, 주차장 순으로 나타났다. 지하상가의 경우 최대 농도치가 $130.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 기준치를 초과하는 경우를 보여주기도 하였는데,

이는 최근 리모델링을 마친 상태였고, 벽면에 파티클보드를 부착한 것으로 보아 측정 장소의 HCHO의 농도에 크게 영향을 준 것이라 생각된다.

2001년 가을철 수도권 지역을 대상으로 하여 측정 분석한 HCHO의 농도는 기준인 0.1 ppm 이하로 보고되었으나, 측정 대상이었던 유치원, 어린이집, 노인복지회관, 병원, 아파트, 도서관, 미술관, 박물관, 공항, 고속버스터미널, 지하철, 지하상가 중 가장 높은 농도분포인 72.5 ppb로 나타난 곳은 지하상가로 조사되었다⁵⁾. 지하생활공간 중 지하상가는 외부의 공기가 안으로 유입되는 양이 적고, 유동 인구가 많으며, 여러 종류의 점포에서 취급하고 있는 의류, 건축자재, 가죽제품, 화학약품 등에서 발생되었을 것으로 판단되므로 각 발생원에서 발생하는 오염물질 양을 조사하여 효과적으로 관리하여야 할 것이다⁸⁾.

Table 3. Concentration of HCHO where Remodeling

Measurement Site	Temperature(°C)	Humidity(%)	HCHO($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	Mean \pm S.D (Range)	Mean \pm S.D (Range)	Mean \pm S.D (Range)
Terminal	27.3 ± 2.3 (24.9 - 30.0)	66.3 ± 5.9 (59.0 - 74.0)	39.4 ± 12.0 (28.2 - 50.9)
Parking	27.5 ± 0.4 (26.9 - 28.0)	70.8 ± 9.7 (60.0 - 81.0)	32.7 ± 7.3 (22.1 - 38.7)
underground shopping center	26.7 ± 0.6 (26.1 - 27.5)	65.0 ± 3.5 (60.0 - 69.0)	97.8 ± 29.4 (68.3 - 130.6)

2. 리모델링 미적용 시설의 HCHO 농도 측정 결과

리모델링을 하지 않은 천안 지역 다중이용시설의 HCHO 농도와 실내 온도 및 습도의 측정 결과를 Table 4에 나타내었다. HCHO의 농도

는 장례식장 $17.7 \pm 12.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 병원대합실 $17.9 \pm 0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 평균 농도치는 비슷하나 최대 농도치의 차이를 살펴보았을 때 장례식장이 더 높게 나타나는 것을 볼 수 있었는데, 이는 장례식장이 병원대합실에 비해 가구 용품과 조리시설 기구 등 HCHO가 배출되

는 배출원이 더 많기 때문이라 생각된다. 또한 건축년도를 살펴보았을 때에 장례식장은 2002년, 병원대합실은 1981년에 설립된 것으로 장례식장이 최근에 건립된 것을 알 수 있었다.

변상훈 등의 연구보고서¹⁵⁾에서는 시공되어 입주한지 얼마 안 된 아파트에서 HCHO의 높은 농도가 검출되었고 시간이 지날수록 점점 검출 농도가 낮아지는 것을 볼 수 있다. 시간의 경과에 따라 HCHO의 농도는 줄어드는데 이는 환기를 통한 자연적인 감소 이외에 건축

자재의 수명 등이 경과함으로 생각된다. 문경환 등¹⁸⁾과 환경부 연구 보고서⁵⁾에 따르면 HCHO의 농도 분포에 영향을 미치는 인자는 건축 시 사용한 건축자재, 가구나 실내 가구의 칠, 난방연료의 연소과정, 흡연, 생활용품, 접착제, 의약품 등에서 배출된다고 보고하고 있다. 따라서 시간이 지날수록 HCHO의 양은 점점 줄어드나 HCHO가 검출되는 것은 흡연과 난방연료의 연소시설에서 HCHO가 발생되기 때문으로 생각된다.

Table 4. Concentration of HCHO where does not remodeling

Measurement Site	Temperature(℃)	Humidity(%)	HCHO(μg/m ³)
	Mean ± S.D (Range)	Mean ± S.D (Range)	Mean ± S.D (Range)
Funeral hall	25.4 ± 2.0 (23.0 - 27.9)	78.8 ± 8.8 (68.0 - 92.0)	17.7 ± 12.4 (6.5 - 32.0)
Hospital waiting room	26.9 ± 1.4 (25.8 - 29.4)	58.7 ± 6.7 (52.0 - 67.0)	17.9 ± 0.6 (17.2 - 18.5)

3. 리모델링 여부에 따른 HCHO 상관성 조사

리모델링 여부에 따른 천안 지역 다중이용시설의 HCHO 농도 측정 결과를 Table 5에 나타내었다. 리모델링을 한 곳과 하지 않은 곳 모두 기준치는 초과 하지 않았지만, 리모델링을 한 곳의 농도치가 리모델링을 하지 않은 곳에 비해 높게 나타났다. 특히 리모델링을 한 장소 중에서 지하상가의 최대 농도치는 기준치를 초과하기도 했다. 반면 리모델링을 하지 않았던 장례식장과 병원대합실은 리모델링을 한 곳에 비해 농도치가 낮게 나타났으나, 2002년

에 설립된 장례식장과 1981년에 설립된 병원대합실을 통해 리모델링 기간과 HCHO의 농도는 건축년도와도 상관관계를 나타내는 것을 알 수 있었다.

리모델링 여부가 HCHO의 농도치와 상관관계를 나타내므로 HCHO의 허용기준치를 선진국 수준만큼 낮추고 건축자재를 HCHO가 적게 방출되는 제품을 사용해야 하며, 환기횟수를 증가시켜 HCHO를 고농도로 방출하는 지점에서 복합적인 오염원을 저감해야 할 것으로 생각된다.

Table 5. Concentration of HCHO

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

Remodeling O		Remodeling X	
Measurement	Mean \pm S.D (Range)	Measurement	Mean \pm S.D (Range)
Site		Site	
Terminal	39.4 \pm 12.0 (28.2 - 50.9)	Funeral hall	17.7 \pm 12.4 (6.5 - 32.0)
Parking	32.7 \pm 7.3 (22.1 - 38.7)	Hospital waiting room	17.9 \pm 0.6 (17.2 - 18.5)
underground shopping center	97.8 \pm 29.4 (68.3 - 130.6)		

4. 온습도와 HCHO 상관성 조사

천안 지역의 다중이용시설에서 분석한 HCHO의 농도와 실내 온도와의 상관성을 Table 7에 나타내었다. HCHO와 온도 간에는 유의한 관계를 보이지 않았고, 습도 또한 유의한 관계를 보이지 않았다. 대부분의 연구결과 실내 공기 질은 온습도와 밀접한 관계가 있으며, 특히 새집증후군의 주요물질인 HCHO와 VOCs(Volatile Organic Compounds)는 온도가 증가할수록 방출량도 증가되는 것으로 알려져 있으나, 본 연구에서는 상관성이 나타나지 않았다. 이러한 결과는 온도가 여름철 실내 위생학적 온도범위로 실내 온도가 높지 않았기

때문인 것으로 보인다. 단지, 지하상가가 여름철 실내 위생학적 온도인 26 $^{\circ}\text{C}$ 인 상태에서 HCHO 최대 농도가 130.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 이는 온도에 의한 영향이기 보다는 실내공기질에 영향을 주는 다른 요인에 의한 것으로 판단된다. 이로써, HCHO의 농도는 높은 온도에서 더 많은 배출을 하겠지만, 건축자재 및 마감재, 환기 등 다른 원인이 존재 할 가능성이 있는 것으로 생각 된다.

따라서, HCHO 농도가 검출된 곳에 적절한 환기 시설은 물론이고, 많은 사람들이 이용하는 다중이용시설인 만큼 제도적인 부분이 필요 하다고 생각된다.

Table 6. Correlation coefficient among HCHO, Temperature, Humidity

Variables	HCHO($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Temp($^{\circ}\text{C}$)	Hum(%)
HCHO($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.000		
Temp($^{\circ}\text{C}$)	0.781	1.000	
Hum(%)	0.708	0.274	1.000

*Temp = Temperature

Hum = Humidity

IV. 결론

본 연구에서는 “다중이용시설등의 실내공기 관리법”의 대상 시설을 천안 지역 내를 중심으로 5 곳(터미널, 지하상가, 종합병원, 장례식장, 실내주차장)을 선정하여 다중이용시설의 HCHO 농도와 그 때의 온도 및 습도를 함께 측정하였다. 온도 및 습도 농도 분포를 측정 분석 결과는 다음과 같다.

1. 천안 지역의 다중이용시설 중에서 리모델링을 한 곳의 HCHO 농도는 터미널 $39.4 \pm 12.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 주차장 $32.7 \pm 7.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 지하상가 $97.8 \pm 29.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 지하상가, 터미널, 주차장으로 높았다.
2. 천안 지역의 다중이용시설 중에서 리모델링을 하지 않은 곳의 HCHO 농도는 장례식장 $17.7 \pm 12.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 병원대합실 $17.9 \pm 0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 장례식장이 병원대합실보다 높았다.
3. 리모델링을 하였던 터미널, 주차장, 지하상가와 리모델링을 하지 않은 장례식장, 병원대합실 모두 기준치는 초과 하지 않았지만, 리모델링을 한 곳의 농도가 더 높았다.
4. 미적용 다중이용시설에서 영화관이 $67.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 고농도를 보였으며, 다중이용시설에서는 $97.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 지하상가에서 가장 높은 농도로 조사되었다. 그 외 다른 장소에서는 비교적 적은 농도를 보이고 있으나, 적용시설보다는 미적용 시설에서의 HCHO 농도가 높은 수준을 보이고 있다.
5. 천안 지역의 다중이용시설의 HCHO와 온도, 습도와 상관계수에서는 상관성이 나타나지 않았다.

현재 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에 관한 연구 및 자료가 많이 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 현재 다중이용시설 등의 실내공기질관리법의 대상 시설 중 우려되는 HCHO의 농도조사와, 온도와 습도에 따른 농도를 알아봄에 따라 다중이용시설의 실내공기질 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 실시한

연구로서 보다 더 체계적이고 구체적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 신동천, 양지연, 임영옥, 김호현, 박성은, 홍천수 : 실내환경오염이 거주자의 건강에 미치는 영향평가 및 예방모델개발, 한국대기환경학회지, 35, 69-70, 2003.
2. 정규철 : 산업독성편람, 서울, 신광출판사, 442-445, 1994.
3. 환경부 : 다중이용시설 등의 실내공기질 공정시험법, 2003.
4. 노동부 : 산업보건기준에 관한 규칙 노동부령 제 195호, 2003.
5. 환경부 : 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구, 연구보고서, 2002.
6. 윤홍식, 정지연, 이광용, 박동욱, 박두용 : 유아교육시설의 위치 및 실내·실외에 따른 HCHO 농도 변화, 한국환경보건학회지, 30(3), 259-263, 2004.
7. 정연희, 최상준 : 인천지역 일부 학교의 실내 및 대기 중 HCHO 농도 평가, 한국환경보건학회지, 33(5), 372-378, 2007.
8. 하권철 : 경남지역 지하생활공간 중 미량유해물질인 HCHO의 농도 분포 특성, 한국환경보건학회지, 30(5), 353-357, 2004.
9. 홍은주, 전용택, 이치원, 노선진, 이종대, 송미라, 손부순 : 충남지역 초·중·고등학교 실내 공기 중 HCHO의 농도분포에 관한 연구, 대한위생학회지, 22(2), 53-60, 2007.
10. Hines, A. L. : Indoor air quality and control, New Jersey, PTR Prentice Hall, 1993.
11. Ryan, P. B. and Lambert, W. E. : Personal exposure to indoor air pollution. indoor air pollution, A Health perspective, 109-127, 1994.
12. McCarthy, J. F., Bearg, D. W. and Spengler, J. D. : Assessment of indoor

- air quality, indoor air pollution: A Health Perspective, 82~108, 1998.
13. Harrje, D. T. : Building dynamics and indoor air quality. indoor air pollution: A Health Perspective, J.M. Samet and J.D. Spengler, Eds. The Johns Hopkins University Press, London, 68~81, 1991.
 - 14 Spengler, J. D. : Sources and concentrations of indoor air pollution. indoor air pollution, A Health Perspective, J.M. Samet and J.D. Spengler, Eds. The Johns Hopkins University Press, London, 33~67, 1991.
 15. 변상훈, 김영환, 손종렬, 문경환 : 아파트 실내에서 시간경과에 따른 HCHO의 농도조사, Journal of health Science & Medical Technology, 28(1), 50 ~ 54, 2002.
 16. 서종원 : 작업장 및 실내공간 공기오염물질 중 VOCs와 HCHO(HCHO)에 대한 유해성 평가, 설비저널, 31(6), 2002.
 17. 홍성철, 조혜미, 조태진, 이치원, 정용택, 손부순 : 충남 지역 미적용 다중이용시설의 실내공기질에 관한 연구, 환경위생공학회지, 23(2) 35~45, 2008.
 18. 문경환, 변상훈, 최달용, 이은일, 오은하, 김영환 : 실내 공기 중 일부 알데히드류에 대한 위해도 평가 - 일부 주택 및 아토피환자 주택을 대상으로-, 32(1), 19~26, 2006.