

## 지하도상가의 리모델링 및 공간 특성에 따른 포름알데히드 농도 분석

심경섭, 김현수, 유슬기, 김수민<sup>†</sup>

승실대학교 건축학부

### Estimation of the Formaldehyde Concentration of Subterranean Shopping Centers according to their Spatial Configuration and Renovation

Kyung-Sub Sim, Hyunsoo Kim, Seulgi Yu, Sumin Kim<sup>†</sup>

School of Architecture, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

**Abstract:** Underground shopping center has become a important commercial facility due to their good accessibility to the public transport. However, underground shopping center has high risk of air contaminants emission like formaldehyde and lowered indoor air quality. In this study, formaldehyde concentration of the underground shopping center was estimated according to the renovation and characteristics of space. It was found that newly renovated underground shopping center has low formaldehyde concentration. In case of closed entrance type, the formaldehyde concentration was 320 % higher than open type. Formaldehyde concentration was varied by product type and especially, high formaldehyde concentration was measured near the stores selling nail polish and cosmetics. It is important to apply appropriate ventilation system according to characteristics of space.

**Keywords:** Indoor air quality, Formaldehyde, Underground shopping center, Remodeling

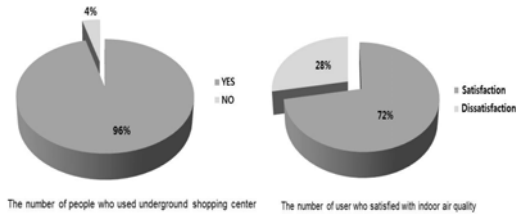
#### 1. 서 론

현대인의 실내 재실시간이 전체 활동시간의 약 80 - 90%를 차지하면서 실내 공간의 쾌적성에 대한 요구가 증대되고 있다(American Conference Governmental Industrial Hygienists 2004). 또한, 실내에서 발생하는 오염물질은 새집증후군, 화학물질과민증과 같은 질병의 주요 원인이 되므로 재실자의 건강 측면에서 실내공기질(Indoor Air Quality; IAQ)의 관리는 매우 중요하다. 현재 국내에서는 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법에 근거하여

미세먼지, 이산화탄소, 일산화탄소, 총 보유세균, 포름알데히드 등의 오염물질을 규제 및 관리하고 있다. 이 중 포름알데히드는 실내에서의 발현빈도와 유해성이 가장 높은 물질로써 섬유, 신발, 건축 자재, 사무용품, 식품 등의 다양한 물질로부터 방출되어 장기간 지속적으로 실내공기질에 악영향을 미친다(Jung 1994; Ham 2012). 국내 포름알데히드 실내 허용치는 0.1 ppm으로 세계보건기구(WHO)와 일본 후생성의 허용치인 0.08 ppm에 비해 다소 높은 수준이다(환경부 2004). 포름알데히드 농도가 1.0 ppm 또는 그 이상의 수치일 경우, 눈, 코 목 등에서 자극 증상이 나타난다. 미국 정부 산하 산업위생 전문가 협회(American Conference of Governmental industrial Hygiene Association)에

2014년 5월 29일 접수; 2014년 7월 18일 수정; 2014년 7월 18일 게재확정

<sup>†</sup> 교신저자 : 김 수 민 (skim@ssu.ac.kr)



**Fig. 1.** Survey Analysis of Subterranean Shopping Center Users.

서는 포름알데히드를 발암성 의심물질인 A2 그룹으로 분류하였다(Kim *et al.* 2005). 따라서 그 위험성을 고려해보았을 때, 포름알데히드를 실내 허용치 이하로 관리하기 위한 노력은 필수적이다.

대도시의 효율적인 공간 활용을 위한 효과적인 방안으로 도심의 지하화가 진행됨에 따라, 1970년대 서울시 지하철 건설을 계기로 지하도상가의 수가 크게 증가하였다(Roh & Kim 2011). 1985년 이후 대형건물의 지하층이 지하철과 연계되면서 지하도상가의 대형화가 이루어져 도심의 주요 상업시설로 자리매김하였다(Roh & Kim 2011; Lee *et al.* 2008). 그러나 지하도상가는 각종 상가가 밀집되어 있어 상품에 의한 오염물질 방출량이 크고, 지하공간이라는 특성상 자연환기가 어려우므로 환기시설이 제대로 갖추어져 있지 않은 경우 공기의 오염과 유해가스의 체류 가능성이 크다(Yeo *et al.* 2008).

서울 시민 48명을 대상으로 지하도상가의 실내 공기질에 대한 설문조사를 실시한 결과, Fig. 1과 같이 약 96%가 지하도상가를 이용해본 경험이 있었으며, 이용객의 약 72%가 지하도상가의 실내공기질에 불만족 한다고 답했다. 환경부에서는 2006년 다중이용시설 및 공동주택의 환기기준을 마련하고, 2007년 공중이용시설의 포름알데히드 기준을 도입하였다. 이에 지하도상가연합에서는 실내 공기 오염원 관리체계 하에 환기시설의 정비뿐만 아니라 리모델링을 실시하여 지하도상가의 구조적, 기능적, 환경적 성능을 개선하고자 하였다. 최근에는 실시간 실내공기질 모니터링 시스템을 도입하여 일산화탄소, 이산화탄소, 미세먼지의 농도를 관리하고 있다. 그러나 실내공기질의 향상이 체감하기에 어려운 수준에 머물러 있고, 포름알데히드와

**Table 1.** Classification of Test Sites

	Remodeling period (Year)	Entrance type	Product Type
A	2012	Open	Clothes, Shoes, Bag, Nail polish, Cosmetics
B	2011	Closed	
C	2012	Open	
D	2007	Closed	
E	2005	Open	
F	1985	Open	

**Table 2.** The Range of Renovation for Indoor Air Quality

	Ventilation	Air conditioning	Blowers	Oxygen supply	Real-time monitoring system
A	○	○	○	×	○
B	○	○	○	×	○
C	○	○	○	×	×
D	○	○	○	○	○
E	○	○	○	×	×
F	○	○	○	×	×

같이 유해성이 큰 오염원은 다루어지고 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 서울 시내 지하도상가의 포름알데히드 농도를 실측하고, 지하도상가의 리모델링 시기와 출입구 형태 및 판매 상품 등의 공간 특성에 따른 영향을 비교 분석해보도록 한다. 이를 바탕으로 지하도상가 내 실내 유해물질을 저감하고 재실자의 쾌적성을 향상시키기 위한 설비요소 및 실내 공간의 특성을 파악해보고자 한다.

## 2. 실험대상 및 측정방법

### 2.1 실험대상

본 실험에서는 서울 시내에 위치한 29곳의 지하도상가 중, 규모, 유동인구, 접근성이 큰 6곳의 상가를 실험대상으로 선정하였다. 선정된 각각의 상가는 리모델링이 이루어진 시점을 기준으로 Table 1과 같이 분류된다. 각 상가의 리모델링 공사 중 실내공기질과 관련되어 설치된 설비요소는 Table 2와 같다. 모든 지하도상가에서 리모델링 시 환기,



(a) Open Type, and (b) Closed Type

Fig. 2. Entrance Type.

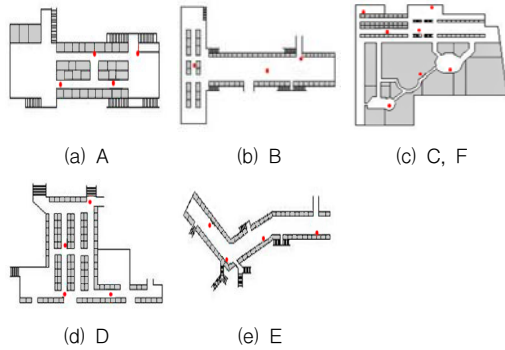


Fig. 3. Measurement Locations.

공조 및 송풍설비를 정비하였으며, 비교적 최근 리모델링한 상가의 경우 실시간 실내공기질 모니터링 시스템을 도입하였음을 알 수 있다. 지하도상가의 공간 특성에 따른 포름알데히드 농도를 분석하기 위하여 지하도상가의 출입구 형태를 개방형과 폐쇄형으로 나누어 측정을 진행하였다. Fig. 2(a)는 출입구가 외기와 직접 면하여 자연환기가 일어나는 개방형 출입구의 모습을 나타내고, Fig. 2(b)는 출입문이 설치된 폐쇄형 출입구를 나타낸다. 지하도상가는 복합상업시설로서 다양한 상품을 판매하므로 주요 판매품목인 의류, 신발, 가방, 네일용품, 화장품 등의 품목에 따라 방출되는 포름알데히드의 특성을 비교 분석하였다.

2.2 측정방법

포름알데히드 측정은 F300-L 기기를 이용하여 환경부에서 정한 실내공기질 공정시험 방법에 따라 측정지점의 바닥에서 수직으로 1.2-1.5 m 떨어진 거리에서 측정하였으며, 20분 동안 2분 간격으로 10회 측정한 뒤 평균값을 데이터로 적용하였

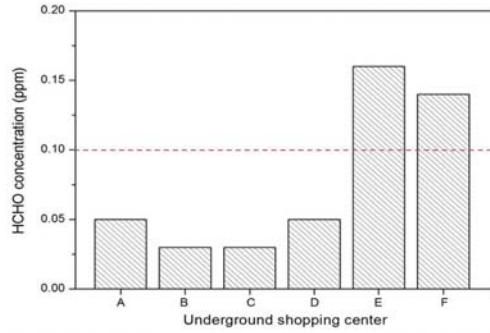


Fig. 4. Formaldehyde Concentration by Each Subterranean Shopping Center.

다. 측정값은 Table 3에 나타난 환경부령 제279호 다중이용시설 등의 실내 공기질관리법 시행규칙에 따라 포름알데히드 실내허용기준인 0.1 ppm과 비교하여 그 유해성을 확인하였다. 측정 지점은 개구부와 상가 위치 등을 감안하여 Fig. 3과 같이 선정하였고, 각 지점별 측정값의 평균을 산출하였다. Fig. 3(c)의 상부는 1985년 리모델링된 F 지하도상가이며, 하부는 2012년 리모델링이 된 C 지하도상가를 나타낸다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 리모델링 시기에 따른 포름알데히드 농도 분석

A-F 상가의 포름알데히드 농도 측정결과를 Fig. 4에 나타내었다. 비교적 최근 리모델링을 진행한 A, B, C, D 상가의 포름알데히드 농도는 각각 0.05 ppm, 0.03 ppm, 0.03 ppm, 0.05 ppm으로 실내 허용치 대비 안전한 수준임을 확인하였다. 그러나 오랜 시간 리모델링이 진행되지 않은 E와 F 상가의 경우 각각 0.16 ppm, 0.14 ppm의 농도가 검출되어 실내 허용치의 약 160%, 140%를 초과하였다. 따라서 최근 리모델링이 진행된 상가일수록 포름알데히드 농도가 안전한 수준인 것으로 나타나 실내공기질의 개선을 위한 지속적인 노력으로 과거에 비해 쾌적한 환경이 조성되고 있음을 확인하였다. 리모델링 시 교체되는 건축마감재로부터 평균 4.4년에 걸쳐 포름알데히드가 서서히 방출되

**Table 3.** The Indoor Air Quality Standard for Multi-use Facilities

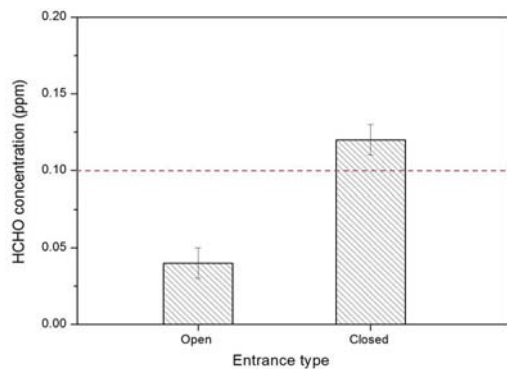
Multi-use Facility	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	CO <sub>2</sub> (ppm)	Formaldehyde (ppm)	CO (ppm)
Subway station, subterranean shopping center, Waiting room in passenger car terminal, Waiting room in subway station, Airport passenger terminal, Waiting room in harbor facilities, Library, Museum, Art gallery, Funeral hall, Public bathhouse, Large stores	Below 150	Below 1000	Below 0.10	Below 10
Medical institutions, Nursery facilities, Public care facilities, Geriatrics hospital, Postpartum care center	Below 100			
Indoor parking lot	Below 200			Below 25

**Table 4.** The Number of Ventilation Facilities of D and E Subterranean Shopping Centers

	D	E
Air conditioner	2	3
Extractor fan	2	3
Air cleaner	15	3
Indoor air quality measuring equipment	1	3

는데, 본 실험 결과에서는 건축마감재에 의한 영향은 미미한 것으로 나타났다. 리모델링 시기가 비슷한 D와 E 상가는 포름알데히드 농도가 약 3배 이상 다르게 측정되었다. Table 4에서 두 상가의 환기시설 규모를 살펴본 결과, D 지하도상가의 규모는 8,446 m<sup>2</sup>이고, E 지하도상가의 규모는 6,798 m<sup>2</sup>로 비슷한 수준이나, 공기청정기의 개수에서 5배의 차이를 보였다. D 상가에 설치된 공기청정기는 영업시간 동안 오염공기를 취출하고, 순도 77%의 청정산소를 공급하여 실내공기질 향상에 기여하였다. 따라서 지하도상가와 같이 자연환기가 적게 이루어지는 공간에서는 환기시설의 규모가 매우 중요하게 작용함을 알 수 있다.

3.2 출입구 형태에 따른 포름알데히드 농도 분석  
 개방형 출입구인 A, C, E, F 상가와 폐쇄형 출입구인 B, D 상가의 출입구 부근에서의 포름알데히드 측정 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 출입구가 외기와 직접 통하는 개방형에서는 포름알데히드 농도가 A, C, E, F 상가에서 각각 0.04 ppm, 0.03 ppm, 0.03 ppm, 0.05 ppm으로 측정되어 평



**Fig. 5.** Formaldehyde Concentration by Entrance Type (Open/Closed).

균 0.038 ppm으로 실내 허용치와 비교하여 안전한 수준임을 확인하였다. 그러나 이용객이 출입문 개폐를 수동으로 조절하는 폐쇄형의 B, D 상가에서는 각각 0.11 ppm, 0.13 ppm의 포름알데히드 농도가 측정되어 각각 실내 허용치를 110%, 130% 초과하였다. 결과적으로 폐쇄형의 출입구에서 평균 0.12 ppm의 포름알데히드가 검출되어 개방형에 비해 320% 높은 측정값을 나타내었다. 특히 폐쇄형 출입구인 B 상가는 상가 내부에서 0.03 ppm의 안전한 수준의 포름알데히드 농도가 측정된 것과 달리, 출입구 부근에서는 위험 수준으로 측정되었다. 이는 상가가 밀집되어 있는 내부와는 달리 출입구 부근에서는 환기시설이 미비하여 내부 공기가 정체됨에 따라 포름알데히드가 다량 검출된 것으로 해석된다. 따라서 설계초기단계에서부터 출입구 계획을 실내공기질과 연관지어 고려해야 하며, 폐쇄형 출입구를 사용할 경우 국부적으로 환기

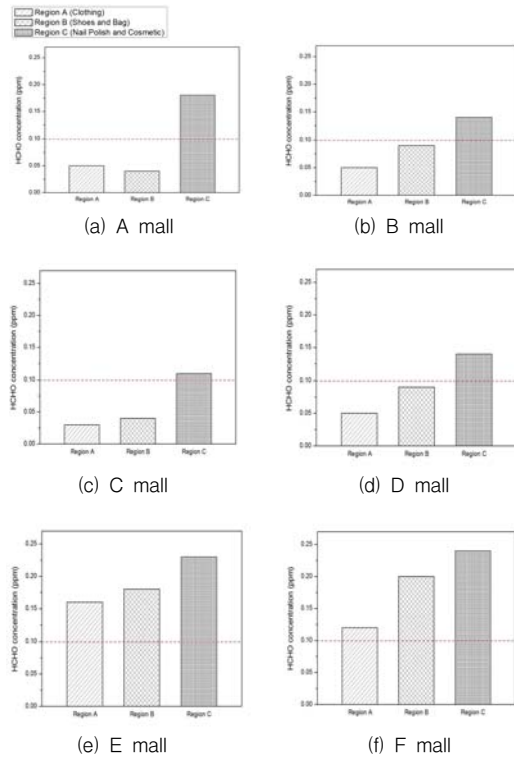


Fig. 6. Formaldehyde Concentration by Product Type.

시설을 확충하거나 출입구를 상시 개방하여 적절한 자연환기가 이루어질 수 있도록 유도해야 한다.

3.3 판매 상품에 따른 포름알데히드 농도 분석  
 상가 내 판매 상품이 실내 포름알데히드 농도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 상품별로 Region A, B, C로 분류하여 측정을 진행하였다. Region A는 의류매장 부근, Region B는 신발과 가방과 같은 잡화매장 부근, Region C는 네일샵 및 화장품 매장 부근으로 정의한다. Fig. 6의 상가별 포름알데히드 농도를 살펴보면, A-F의 모든 상가에서 판매 상품에 따른 뚜렷한 차이를 보였다. 특히, E 상가의 Region A에서 0.16 ppm, Region B에서 0.18 ppm, Region C에서 0.23 ppm, F 상가의 Region A에서 0.14 ppm, Region B에서 0.20 ppm, Region C에서 0.24 ppm의 위험 수준의 포름알데히드가 측정되었다. 또한 A 상가 내에서 판매 상품에 따라 포름알데히드 농도가 최대 3.5배의

Table 5. Formaldehyde Concentration by Product Type

Product Type	Average formaldehyde concentration (ppm)
Clothing	0.077
Shoes, bag	0.107
Nail polish, cosmetic	0.173

차이를 보였다. Table 5의 상품별 포름알데히드 농도의 평균값을 살펴보면, 의류매장에서 0.077 ppm, 신발 및 가방을 판매하는 잡화매장에서 0.107 ppm이 측정되었다. 네일샵 및 화장품 매장에서는 0.173 ppm이 측정되어 실내 허용치를 173% 초과하였다. 일반적으로 의류에 비해 신발과 가방과 같은 잡화에서 포름알데히드의 주요 방출원인 접착제의 사용이 많고, 네일용품 및 화장품에서 화학약품의 사용이 많기 때문에 이와 같은 결과가 나타난 것으로 보인다. 따라서 매장의 특성상 포름알데히드 방출 위험이 높은 공간에서는 추가적인 환기 시설이 확보되어야 함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

지하도상가는 공기의 오염과 유해가스의 체류 가능성이 큰 공간으로 환기가 부족한 경우 실내공기질 문제가 심각해질 수 있다. 따라서 지하도상가의 실내공기질 실태를 파악하고, 개선점을 도출하기 위하여 서울 시내 지하도상가의 포름알데히드 농도를 측정하고, 리모델링 시기와 출입구 형태 및 판매 상품 특성에 따라 분석해보았다. 최근 리모델링이 진행된 상가에서는 안전한 수준의 포름알데히드 농도가 검출되었으나, 그렇지 않은 경우 실내 허용치의 약 150%를 초과하였다. 같은 상가 내에서도 출입구의 형태에 따라 포름알데히드 농도가 상이하였으며, 폐쇄형의 출입구에서 평균 0.12 ppm의 포름알데히드가 검출되어 개방형에 비해 320% 높은 값을 나타냈다. 지하도상가 내 판매 상품에 따라서도 포름알데히드 농도에서 약 3.5배의 차이가 나타났으며, 특히 네일샵 및 화장품 매장에서 0.173 ppm의 포름알데히드 농도가 검출되어 실내 허용치의 173%를 초과하였다. 실내공기질 개선을

위한 지속적인 노력의 결과, 지하도상가의 실내공기질은 과거에 비해 크게 향상되었다. 그러나 아직 리모델링이 진행되지 않은 지하도상가의 환기시설 확충 및 실내공기질 개선이 필수적이며, 설계초기 단계에서부터 출입구의 형태와 매장 분포 특성에 맞는 환기시설을 확보해야 한다. 향후, 체계적인 환기시설 설계와 효율적인 운영 및 사후관리를 통해 지하도상가의 실내공기질이 크게 향상되어야 할 것이다.

## 사 사

이 연구는 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 지원을 받아 수행된 연구임 과제번호: 2013K000390

## 참 고 문 헌

이홍철, 황인주, 김태형. 2008. 지하도상가 냉난방, 환기 시스템의 난방운전 특성 연구. 대한기계학회 춘추학술대회, 2989-2994.  
정규철. 1994. 산업독성편람, 신광출판사, 442-445.

환경부. 2004. 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법 시행규칙.  
김경수, 김상법, 김종부, 전용보, 이선정, 장은석, 김순원, 정혜연. 2005. 기능성 섬유필터가 사용된 실내공기정화 장치의 포름알데히드 제거효율에 관한 연구. 대한환경공학회 2005춘계학술발표회 논문집, 1255-1256.  
여락규, 김태우, 홍원화. 2008. 지하상업공간의 공기오염 물질이 인체에 미치는 영향 분석. 대한건축학회논문집 13(11): 214-218(통권 241호).  
Jitendra, J. S. and Hanwant, B. S. 1988. Distribution of volatile organic chemicals in outdoor air. Environ. Sci. Technol., 22(12), 1381-1388.  
American Conference Governmental Industrial Hygienists. 2004. 2004 TLV and BEIs: Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents.  
함진식, 2012. 신축 공동주택의 포름알데히드 농도 발생 특성과 저감대책에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 261-268.  
노수진, 김형우, 2011. 지하도상가 활성화를 위한 최근 개보수공사 현황분석, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집 계획계, 153-154.