

입주 전 신축 건물의 사무실내 방향족 탄화수소의 농도 특성

Characteristics of Aromatic Hydrocarbons Measured in an As-built Building

나 광 삼 · 배 귀 남 · 김 용 표
한국과학기술연구원 지구환경연구센터
(2000년 1월 22일 접수, 2000년 9월 15일 채택)

Kwangsam Na, Gwi-Nam Bae and Yong Pyo Kim
Global Environment Research Center, Korea Institute of Science and Technology
(Received 22 January 2000; accepted 15 September 2000)

Abstract

Eight aromatic hydrocarbons were quantified in a newly constructed building before occupancy during the period of November 1997 to January 1998. Air samples were collected in 6 L stainless steel canisters for 8 hours based on working hour. It was found that the measured total concentration of aromatic hydrocarbons decreases rapidly with time up to a steady-state value. However, the fractions of each aromatic hydrocarbon were not greatly changed with time. The concentration ratios of indoor to outdoor for aromatic hydrocarbons are greater than 1 during early period of the measurement, and the ratios decrease with time. The concentrations of toluene, m+p-xylene, ethylbenzene, and o-xylene are much higher than those of styrene, 1, 2, 4-trimethylbenzene, and 1, 3, 5-trimethylbenzene in indoor air. The concentration fractions of m+p-xylene, ethylbenzene, and o-xylene in indoor air are about twice as high as those in outdoor air measured during the similar period. It was concluded that the aromatic hydrocarbons were emitted from building materials, paints, and adhesives in an as-built building.

Key words : indoor air, aromatic hydrocarbons, concentration ratio, as-built building

1. 서 론

경제발전에 의해 사람들의 생활수준이 향상됨에 따라 생활양식이 인간의 감성과 건강을 중요시하는 방향으로 변하고 있다. 현대인들은 하루 시간의 80~90%를 주택, 사무실 등의 실내공간에서 보내고 있으므로(Shah와 Singh, 1988), 쾌적한 실내환경에 대한 인식과 욕구가 높아지고 있으며, 국내외적으로 실내 공기질 (IAQ, indoor air quality)의 중요성이 크

게 부각되고 있다(김윤신, 1999; Jones, 1999). 실내 공간에는 부유분진, 가스(CO, CO₂, NO_x, SO_x, HCHO, O₃), 담배연기, 라돈, 석면, 미생물, 휘발성 유기화합물(VOCs, volatile organic compounds) 등 다양한 오염물질이 존재하며, 최근 들어 VOCs에 대한 관심이 국내외적으로 높아져 이에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다(김윤신, 1999; 나광삼과 김용표, 1999; 나광삼 등, 1998a; 백성욱 등, 1998; 백성욱과 김윤신, 1998).

실내 공기에서 1ppb를 초과하는 VOCs는 약 350

여 종이, 수백 종의 VOCs가 1ppb 이하로 존재하는 것으로 추정되고 있다. 실내환경에서 발생하는 대표적인 VOCs로는 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스타이렌과 같은 방향족 탄화수소와 포름알데히드를 포함하는 카보닐계 화합물, 할로젠화 탄화수소, 케톤, 에스테르, 에테르 등이 알려져 있다. 이 중에서 벤젠은 호흡기성 질환이나 암 등 갖가지 질병을 유발시킬 수 있는 물질로 알려져 있어 다른 오염물질에 비해 특별히 많은 관심과 연구의 대상이 되고 있다. 실내환경에서 VOCs의 주요 발생원으로는 건축재료와 마감재료, 건물의 유지관리 용품(청소용 각종 세척제 등), 소모성 재료(복사기의 토너), 연소과정의 물질, 재실자(인체), 외부 공기 등이 있다(손장열과 윤동원, 1995). 표 1은 실내환경에서 발생하는 방향족 탄화수소의 주요 발생원을 나타낸 것이다(Jones, 1999; Hester와 Harrison, 1998).

실내에서 발생하는 VOCs는 건축재료와 밀접한 관련이 있으므로, 건축물에 사용되는 재료들의 화학적 조성을 정확히 파악하여 실내 공기질에 미치는 영향이 가장 적은 건축재료를 사용할 필요가 있다. 또한, 다양한 모든 종의 VOCs가 배제된 건축자재를 사용하는 것은 현실적으로 매우 어려우므로, 건물이 완공되어 사용하는 동안 실내 공기질을 최적의 수준으로 관리하는 것도 중요하다.

건물의 건축재료 및 마감재료 등에서 발생하는 VOCs 농도는 초기에는 매우 높으나 시간이 경과함에 따라 감소되는 것으로 알려져 있다. 즉, 아파트에서 카펫을 새로 교체하여 톨루엔이 7% 함유된 접착제로 바닥에 부착시킨 후 시간 경과에 따른 톨루엔 농도 변화를 측정한 Seifert와 Ullrich(1987)의 연구 결과에 의하면, 카펫을 부착한 직후의 톨루엔 농도는 30mg/m³로 매우 높았으나, 약 4개월이 경과한 후에는 카펫을 교체하기 이전 수준인 0.1 mg/m³로

감소되었다. 또한, 신축한 주택내 비메탄계 탄화수소의 농도 변화를 측정한 연구결과에 의하면, 신축 직후 실내 비메탄계 탄화수소 농도는 약 13ppmC로 높았지만 시간 경과에 따라 빠르게 감소하다가 4개월 이후 6개월까지는 초기 농도의 약 1/6 수준으로 거의 일정하였다(Matsumura, 1999). 건물의 종류, 국가에 따라 사용되는 건축자재의 특성과 VOCs 발생량이 다를 것이므로, 다양한 건물을 대상으로 이러한 현상을 정량적으로 파악하여 실내 공기질 관리에 활용할 필요가 있다.

실내공간의 VOCs 농도는 외기 상태, 실내 발생원, 인간의 활동, 환기 및 계절적 요인에 의해 영향을 받는다(Fellin과 Otson, 1994). 실내공간의 VOCs에 대한 연구는 사무실, 주택, 상가, 지하공간 등 사람이 실제 생활하고 있는 환경의 VOCs 농도 현황을 파악하는 것이 대부분을 차지하고 있다(백성욱, 1998; Baek *et al.*, 1997). 이러한 연구를 통하여 다양한 실내공간에서 VOCs의 현황을 파악할 수 있지만, 실제 생활환경에는 다양한 VOCs 발생원이 존재하므로 발생원과 VOCs 성분간의 인과관계를 밝히는 데 어려움이 있다. 이에 따라 건축자재나 가정용품을 대상으로 VOCs 발생량을 평가하는 연구도 수행되고 있다(Sack *et al.*, 1992; Hawthorne와 Matthews, 1987; Wallace *et al.*, 1987).

건축 과정에서 다양한 VOCs 발생물질이 사용되고 있으므로, 박물관의 경우 건축자재에서 발생하는 오염물질에 의한 유물 손상을 방지하기 위해 일정기간이 경과된 후 입주하고 있다(배귀남 등, 1997). 그런데, 신축 건물내 공기 오염도에 대해서 잘 알려져 있지 않으므로, 일반 건물의 경우 경제적인 이유로 건물이 준공되면 바로 사람들이 입주하여 생활하고 있는 실정이다. 특히, 건물이 준공된 초기의 공기 오염도는 보통 건물에 비해 매우 높으므로(손장

Table 1. Sources of aromatic hydrocarbons in indoor air.

Compounds	Examples of typical sources
Benzene	Smoking, adhesives
Toluene	Building materials, adhesives, paints and associated supplies, consumer and commercial products, gasoline, combustion products
Ethylbenzene	Building materials, paints, adhesives, gasoline, combustion products
Xylene	Paints, adhesives, gasoline, combustion products, consumer and commercial products
Styrene	Building materials, paints, adhesives, furnishings and clothing, nsulation, textiles, disinfectants, plastics
Trimethylbenzene	Paints, adhesives, gasoline, combustion products

Sources: Jones, 1999; Hester and Harrison, 1995

열과 윤동원, 1995), 국민 건강에 큰 영향을 미칠 것으로 여겨진다. 따라서, 신축 건물에 대한 VOCs 현황을 정량적으로 파악하고, 이런 자료를 이용하여 VOCs가 인체에 미치는 위해성을 평가하는 일은 매우 중요하다고 생각된다.

이 연구에서는 신축 건물에 사람이 입주하기 전 실내 VOCs의 특성을 파악하기 위하여 1997년 8월에 준공된 한국과학기술연구원내 청정 연구동을 대상으로 1997년 11월 4일부터 1998년 1월 14일까지 사무실내에서 방향족 탄화수소의 농도를 측정하였다(배귀남 등, 1998). 사무실내 방향족 탄화수소의 농도를 실외 농도와 비교하였고, 실내 오염물질의 발생원을 추정하기 위하여 성분별 실내/실외 농도 비와 농도 분율을 검토하였다.

2. 측정 및 분석

2.1 측정

1997년 11월 4일부터 1998년 1월 14일까지 한국과학기술연구원내 청정 연구동 1층에 위치한 한 사무실에서 근무 시간을 고려하여 오전 10시부터 오후 6시까지 8시간 동안 방향족 탄화수소의 농도를 측정하여 총 6개의 시료를 얻었다. 측정대상 사무실 주변의 건물 평면도를 그림 1에 나타내었다. 사무실은 아직 사람이 입주하지 않은 빈 공간으로 가로와 세로가 각각 6, 18m이며 높이는 2.6m이다. 사무실의 한쪽 벽 전체는 이중 창문으로 실외와 접해 있

으며, 창문의 맞은 편 벽면에는 2개의 출입문이 있다. 나머지 두 면은 실내 벽면으로 이루어져 있다. 측정 지점은 그림 1에서 A라고 표시된 사무실 중앙이고, 바닥으로부터 약 1.5m 높이에서 시료를 채취하였다.

시료채취 용기는 부피가 6L이고 내부 표면이 매끄러운 니켈, 크롬 산화물과 같은 불활성 물질로 코팅되어 있으며, 스테인레스 스틸로 만들어져 있다. 측정장치와 채취방법에 관한 자세한 사항은 나광삼 등(1998b)에 기술되어 있다.

2.2 시료 분석

채취한 시료는 한국과학기술연구원의 특성분석센터에서 분석하였다. 분석에 사용된 GC-MS는 Varian사(Walnut Creek, CA, USA)의 Varian 3,400cx GC와 Saturn 2,000MS이다. 대기 시료 및 표준 시료의 농축관으로는 60~80 mesh의 glass bead가 충전된 SPT(sample preconcentration trap)를 사용하였다. 액체 질소로 -150°C에서 5.5분 유지하여 trapping 한 후 170°C에서 11.3분 동안 유지하여 시료를 탈착시켰다. 이때, 시료를 20mL/min로 5분 동안 농축하였다(총 100 mL). 분석 컬럼은 DB-1(J&W, USA)으로 길이가 60 m, 내경이 0.32mm, 필름 두께가 0.25mm이다. 컬럼 온도는 초기 0°C에서 7분 동안 유지한 후 170°C까지 분당 15°C씩 승온하여 6분 동안 유지하였다. 질량의 이온화는 전자 이온화 방식이고, 질량 범위는 47~270 amu이었다. Ion trap의 온도는 200°C로 유지하였다. 표준 시료의 제조는 Scott Specially Gases(Plumsteadville, USA)에서 100 ppb의 혼합물을 구입하여 희석장치(Enteck, 4560 SL, USA)에서 1~10 ppb로 희석한 후 사용하였다. 희석된 표준 시료 100 mL를 초저온 농축 장치로 농축하여 분석한 결과를 사용하여 교정곡선(calibration curve)을 작성하였다. 분석 항목은 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, m+p-자일렌, o-자일렌, 스타이렌, 1, 2, 4-트리메틸벤젠 그리고 1, 3, 5-트리메틸벤젠의 방향족 탄화수소 8종이며, 5회 반복 분석한 결과에 의하면 대기 시료 분석에 대한 정밀도(precision)는 3~15%이었다. 분석 결과의 신뢰성을 검토하기 위하여 동일한 측정조건에서 얻은 대기 시료에 대해 미국 Atm AA사와 특성분석센터에서 독립적으로 6종의 방향족 탄화수소를 분석한 결과의 비교에 의

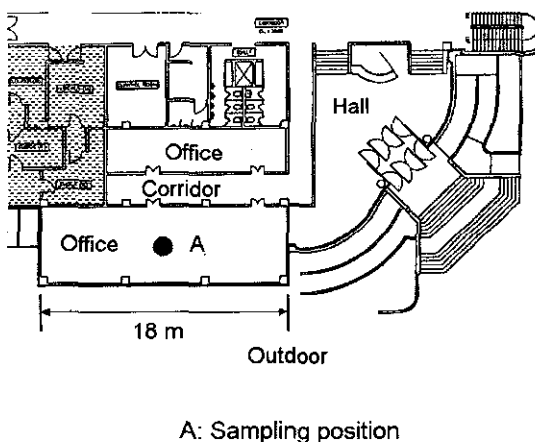


Fig. 1. Cross-sectional view of the measured building.

하면, 전체적으로 3~49%의 차이가 있었다(나광삼 등, 1998b).

3. 결과 및 고찰

3.1 시간 경과에 따른 사무실내 방향족 탄화수소의 농도 변화

건물이 완공된 후 실내 VOCs 농도는 오염원으로부터 배출량의 감소, 환기 등으로 인해 시간 경과에 따라 감소되는 것으로 알려져 있다. 이 연구에서는 신축 건물을 대상으로 시간 경과에 따른 방향족 탄화수소의 농도 변화 특성을 살펴보기 위하여 건물이 준공되어 약 3개월이 경과하였지만, 사람이 입주하지 않은 상태에서 약 3개월 동안 6개의 시료를 채취하여 분석하였다. 8종의 방향족 탄화수소의 분석 결과를 정리하여 표 2에 나타내었다.

신축 건물의 사무실에서 시간 경과에 따라 채취한 6개 시료의 방향족 탄화수소의 농도를 보면, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, m+p-자일렌, o-자일렌의 평균 농도가 전체 농도의 약 96%를 차지하며, 스타이렌, 1, 2, 4-트리메틸벤젠, 1, 3, 5-트리메틸벤젠의 평균 농도는 0.7ppb 이하이고 이들 성분의 최대 농도도 1.6ppb로 매우 낮다.

농도가 높은 5종의 방향족 탄화수소에 대하여 시간 경과에 따른 농도 변화를 그림 2에 나타내었다. 여기서, 시간은 1번째 시료 채취일을 기준으로 하였

다. 그림을 보면, 5종의 방향족 탄화수소의 농도가 시간 경과에 따라 감소하는 경향이 뚜렷하며, 일정한 농도에 이르는 시기는 성분별로 약간 차이가 있음을 알 수 있다. 즉, 톨루엔, o-자일렌, 벤젠은 3번째 시료(11월 18일)에서 거의 일정한 농도에 도달하지만, m+p-자일렌과 에틸벤젠은 4번째 시료(12월 2일)부터 농도가 거의 일정하다. 방향족 탄화수소의 총 농도는 1번째 시료(11월 4일)에서 52ppb 인데, 이후 농도가 급격히 감소하여 20ppb 정도로 낮아지면 시간 경과에 따라 농도 변화가 거의 없는 경향을 나타낸다. 건물이 준공되어 약 3개월이 경과한 후 1번째 시료를 채취하였으므로, 건물이 준공된 직후 사무실내 방향족 탄화수소의 농도는 매우 높았을 것으로 추정된다(손장열과 윤동원, 1995). 각 시료에서 톨루엔의 농도가 전체 방향족 탄화수소 농도의 35~57%(평균 48%)를 차지하므로, 톨루엔이 시간 경과에 따른 실내 방향족 탄화수소의 농도 변화를 주도하고 있음을 알 수 있다. 이러한 연구결과는 건물 준공 후 실내 VOC 농도가 시간 경과에 따라 감소된다고 알려진 기존 연구결과와 잘 일치한다(Matsumura, 1999).

그림 2를 보면, 사무실내 방향족 탄화수소 중에서 톨루엔의 농도가 가장 높고, m+p-자일렌, 에틸벤젠, o-자일렌 순으로 높다. 이번 연구가 건물이 완공된 후 사람이 입주하지 않은 빈 사무실에서 수행 되었으므로, 인간의 활동과 관련된 흡연, 가구, 사무

Table 2. Concentrations of aromatic hydrocarbons measured in indoor and outdoor air.

Compounds	Indoor							Outdoor ⁺⁺	
	Mean# (ppb)	Group A*			Group B*			Mean (ppb)	Fraction (%)
		Average (ppb)	Fraction (%)	I/O ⁺ ratio	Average (ppb)	Fraction (%)	I/O ratio		
Benzene	1.5	2.3	4.9	1.3	1.2	6.1	0.6	1.8	12.6
Toluene	14.4	23.4	49.4	2.7	10.2	52.5	1.2	8.8	60.3
Ethylbenzene	4.0	5.7	12.0	7.2	2.3	11.7	2.9	0.8	5.4
m+p-Xylene	6.0	9.6	20.2	6.2	3.7	18.9	2.4	1.6	10.6
o-Xylene	2.7	4.2	8.8	6.3	1.7	8.6	2.5	0.7	4.6
Styrene	0.2	0.5	1.0	2.3	BDL	0.2	0.5	0.2	1.4
1, 2, 4-Trimethylbenzene	0.7	1.3	2.8	2.4	0.3	1.7	0.6	0.6	3.8
1, 3, 5-Trimethylbenzene	0.2	0.4	0.9	2.3	0.1	0.5	0.5	0.2	1.2
Sum	29.8	47.5	100.0		19.4	100.0		14.6	100.0

#: Overall mean in indoor air

*: Transient state (November 4 and 5 1997; 2 samples)

** : Quasi-steady state (December 2 1997 to January 14 1998; 3 samples)

⁺: Concentration ratio of indoor to outdoor air

⁺⁺: This site is about 1.5 km away from the indoor site (7 samples), BDL: Below detection limit

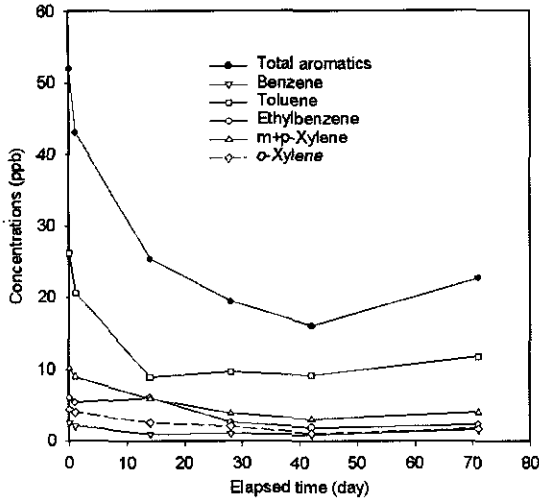


Fig. 2. Variation of concentrations of aromatic hydrocarbons in indoor air.

용 기기, 방향제, 살충제, 세제 등에서 직접적으로 VOCs가 발생되지는 않았다. 따라서, 표 1의 실내 VOCs 발생원 자료를 근거로 판단하면, 사무실내에서 톨루엔, 자일렌, 그리고 에틸벤젠의 농도가 높은 것은 건축에 사용된 건축재료, 페인트와 접착제에 기인된 것으로 추정된다. 인체의 발암물질인 벤젠의 실내 농도는 0.9~2.5ppb이고, 벤젠은 실내에서 흡연, 페인트, 석고 보드, 카펫 등으로부터 발생되는 것으로 보고되어 있다(Wallace *et al.*, 1987).

건물이 준공된 후 초기에 방향족 탄화수소의 농도가 감소되는 원인으로 다음과 같은 3가지를 생각할 수 있다. 첫째, 실내 오염원으로부터 발생하는 VOCs의 양이 시간 경과에 따라 감소된다(Seifert와 Ullrich, 1987). 둘째, 발생한 VOCs가 실내에 전부 축적되지 않고 자연 환기에 의해 실외 공기와 섞이면서 VOCs의 농도가 낮아진다. 셋째, 발생한 VOCs가 벽면에 흡착되어 실내 공기 중의 VOCs 농도가 감소된다(Hester와 Harrison, 1995).

그림 2에서 보는 바와 같이 건물이 준공된 후 사무실내 방향족 탄화수소의 농도가 매우 높지만 시간이 경과함에 따라 감소되며, 방향족 탄화수소가 위해성 물질인 점을 고려하면, 초기에 실내를 충분히 환기시키고 일정 시간이 경과하여 VOCs 농도가 낮아진 후 사람들이 건물에 입주하는 것이 건강 측

면에서 바람직할 것으로 판단된다.

3.2 사무실과 대기의 방향족 탄화수소 농도의 비교

대기에서 방향족 탄화수소의 농도는 계절에 따라 다르므로, 이 연구에서 측정된 사무실내 방향족 탄화수소의 농도를 실외 농도와 비교하기 위하여 저자가 동일한 채취방법으로 비슷한 시기에 실내 측정위치 근처에서 측정된 연구 결과와 비교하였다(나광삼과 김용표, 1999). 즉, 서울시 동대문구 회기동에 위치한 청량초등학교 4층 옥상에서 겨울철(1997년 11월 20일~1998년 1월 13일)에 24시간씩 총 7회 대기를 채취하여 8종의 방향족 탄화수소를 분석한 것으로, 분석 결과를 표 2에 나타내었다. 대기 측정소는 실내 측정위치로부터 약 1.5km 떨어져 있다.

서울 대기에서 시간 경과에 따라 채취한 7개 시료의 방향족 탄화수소의 농도를 보면, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, m+p-자일렌, o-자일렌의 평균 농도가 전체 농도의 약 93%를 차지하며, 스타이렌, 1,2,4-트리메틸벤젠, 1,3,5-트리메틸벤젠의 평균 농도는 0.6ppb 이하이고 이들 성분의 최대 농도도 1.3ppb로 매우 낮다. 이러한 경향은 3.1에서 언급한 사무실내 방향족 탄화수소의 농도 특성과 매우 유사하다.

사무실내 방향족 탄화수소의 농도 특성과 비교하

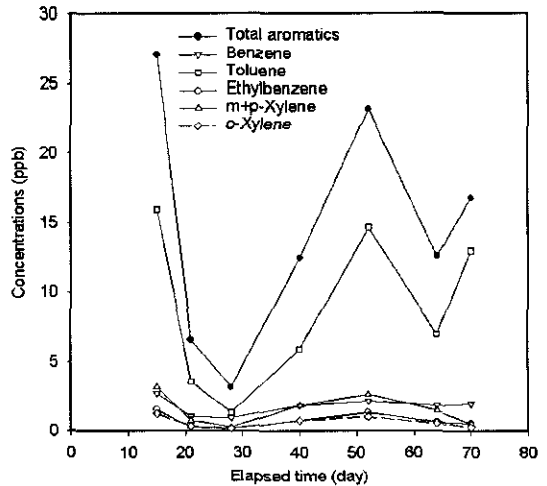


Fig. 3. Variation of concentrations of aromatic hydrocarbons in outdoor air.

기 위하여 대기 시료에서 농도가 높은 5종의 방향족 탄화수소에 대하여 시간 경과에 따른 농도 변화를 그림 3에 나타내었다. 여기서, 시간은 사무실내 1번째 시료 채취일을 기준으로 하였다. 그림을 보면, 5종의 방향족 탄화수소의 농도는 측정일에 따라 편차가 있으며, 시간 경과에 따른 농도의 특별한 경향은 보이지 않는다. 방향족 탄화수소의 총 농도는 3.2~27.1ppb(평균 14.6ppb)로 측정일에 따라 편차가 심하다. 각 시료에서 톨루엔의 농도가 전체 방향족 탄화수소 농도의 43~77%(평균 60%)를 차지하므로, 실내 공기의 경우와 마찬가지로 톨루엔이 대기 방향족 탄화수소의 농도 변화를 주도하고 있음을 알 수 있다.

실내와 대기의 방향족 탄화수소의 농도를 비교하기 위하여 사무실내 시료를 2개의 그룹으로 나누어 각 성분별 실내/실외(I/O, indoor/outdoor) 농도비를 구하여 표 2에 나타내었다. 즉, 그림 2에서 농도가 급격히 감소하는 부분(A 그룹: 2개의 시료)과 농도가 비슷하게 나타나는 부분(B 그룹: 3개의 시료)으로 나누었으며, 3번째 시료의 경우 총 농도는 낮아졌지만 m+p-자일렌과 에틸벤젠의 농도가 감소 상태이므로 B 그룹에서 제외하였다. 대기의 경우 1번째 시료의 측정일이 사무실내 3번째 시료의 측정일 이후이고 시간 경과에 따라 농도 변화가 뚜렷한 경향을 나타내지 않으므로, 7개 시료의 평균을 대표값으로 사용하였다.

실내/실외의 농도비는 실내 오염원의 존재를 나타내는 지표로 널리 사용되고 있다(Sexton과 Hayward, 1987). 일반적으로 I/O 농도비가 1보다 크면 실내 공기는 실내 오염원의 영향을 많이 받으며, 1보다 작으면 실외에서 배출된 오염물질이 실내로 유입되어 실내 공기에 영향을 미치는 것을 의미한다. 표 2를 보면, 초기(A 그룹)의 I/O 농도비는 벤젠을 제외한 모든 방향족 탄화수소의 경우 2이상으로 높다(벤젠의 경우 1.3). 특히, 에틸벤젠, m+p-자일렌, o-자일렌의 경우 I/O 농도비가 6~7로 매우 높다. 그러나, 농도가 일정한 경향을 보이는 시기(B 그룹)의 I/O 농도비는 3가지 성분(에틸벤젠, m+p-자일렌, o-자일렌)만 2~3이고, 톨루엔의 경우 1.2이며, 나머지 4가지 성분의 경우 0.7 이하로 1보다 작아졌다.

시간 경과에 따라 모든 방향족 탄화수소의 I/O 농도비가 낮아짐을 알 수 있다. 또한, 사무실내 B 그

룹의 방향족 탄화수소의 평균 농도가 19.4ppb로 대기의 평균 농도인 14.6ppb에 비해 약 1.3배 높고, 4가지 성분(에틸벤젠, m+p-자일렌, o-자일렌, 톨루엔)의 I/O 농도비가 1보다 크다. 이것으로부터 실내 VOC 발생원이 분명히 존재하고 이것의 영향은 시간이 경과함에 따라 줄어들지만, 건물이 준공된 지 5개월이 경과하여도 건축 과정에 사용된 VOCs 발생원의 영향이 남아 있음을 알 수 있다.

실내 공기와 대기에 포함된 방향족 탄화수소의 주요 발생원을 추정하기 위하여 조성별 농도 분율을 구하여 표 2에 나타내었다. 초기 실내 공기인 A 그룹의 농도 분율을 보면, 톨루엔이 약 49%로 방향족 탄화수소의 대부분을 차지하고, m+p-자일렌, 에틸벤젠, o-자일렌, 벤젠이 각각 20%, 12%, 9%, 5% 정도를 차지하고 있다. 시간이 경과한 B 그룹의 농도 분율도 A 그룹의 경우와 거의 비슷하다. 이것으로부터 신축 건물의 사무실내 방향족 탄화수소의 농도는 시간이 경과함에 따라 감소하지만, 조성은 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 대기의 농도 분율을 보면, 톨루엔이 약 60%로 가장 높고, 벤젠, m+p-자일렌, 에틸벤젠, o-자일렌이 각각 13%, 11%, 5%, 5% 정도를 차지하고 있다.

실내 공기와 대기의 농도 분율을 비교하면, 실내 공기에서 에틸벤젠과 자일렌의 농도 분율이 대기에 비해 약 2배 높은데, 이들 성분은 실내 건축재료, 페인트와 접착제에서 발생하는 것으로 알려져 있다(김소영, 1998; Sack *et al.*, 1992). 반면에, 대기의 경우 벤젠의 농도 분율이 실내 공기의 경우보다 약 2배 높은데, 벤젠은 자동차에서 많이 배출된다(김소영, 1998; Scheff *et al.*, 1989). 톨루엔의 농도 분율은 실내 공기와 대기에 모두 가장 높고, 대기에 있어서의 농도 분율이 약 60%로 실내의 약 49%보다 약간 높다. 이것은 실내의 톨루엔 농도가 대기보다 높지만, 건축재료, 페인트 및 접착제와 관련된 성분(에틸벤젠, 자일렌)의 실내 농도가 대기보다 높으므로, 전체 방향족 탄화수소에서 톨루엔이 차지하는 비율이 대기에 비하여 낮기 때문이다. 따라서, 방향족 탄화수소의 조성별 농도 분율의 비교로부터 사무실내 VOCs 발생원은 건축재료, 페인트와 접착제인 것으로 추정된다.

4. 요약

이 연구에서는 사람이 입주하지 않은 신축 건물을 대상으로 시간 경과에 따른 방향족 탄화수소의 농도를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 신축 건물의 사무실내 방향족 탄화수소의 농도는 시간 경과에 따라 감소하는 경향이 뚜렷하지만, 조성(성분의 분율)은 거의 변하지 않는다. 그런데, 일정한 농도에 도달하는 시기는 성분에 따라 약간 다르다. 즉, 톨루엔, o-자일렌, 벤젠은 상대적으로 빨리 일정한 농도에 도달하지만, m+p-자일렌과 에틸벤젠의 농도는 보다 천천히 감소한다.

둘째, 초기의 모든 방향족 탄화수소의 실내/실외 농도비는 1보다 크고, 모든 농도비는 시간 경과에 따라 감소한다. 또한, 실내 방향족 탄화수소의 농도가 일정해지는 시기에도 평균 농도가 19.4ppb로 대기에 비해 약 1.3배 높고, 에틸벤젠, m+p-자일렌, o-자일렌, 톨루엔의 I/O 농도비가 1보다 크다. 그러므로, 실내에 VOCs 발생원이 분명히 존재하고 이것의 영향은 시간이 경과함에 따라 줄어들지만, 건물이 준공된 지 5개월이 경과하여도 건축 과정에 사용된 VOCs 발생원의 영향이 남아 있다고 판단된다.

셋째, 사무실내 방향족 탄화수소 중에서 톨루엔의 농도가 가장 높고, m+p-자일렌, 에틸벤젠, o-자일렌 순으로 높다. 또한, 실내 공기에서 에틸벤젠과 자일렌의 농도 분율이 대기에 비해 약 2배 높고, 반면에 대기의 경우 벤젠의 농도 분율이 실내 공기의 경우보다 약 2배 높다. 그러므로, 사무실내 방향족 탄화수소의 발생원은 건축에 사용된 건축재료, 페인트와 접착제인 것으로 추정된다.

이 연구는 준공 후 약 3개월이 지난 뒤 수행되었으므로, 건물이 준공된 초기에 발생하는 높은 농도의 VOCs를 측정하지 못하였다. 대부분의 경우 건물이 준공되면 바로 입주하는 실정이므로, 초기의 VOCs 발생 특성을 파악하기 위해서는 준공된 직후부터 시간 경과에 따른 VOCs 농도를 측정할 필요가 있다. 이때, 실내 VOCs 농도에 영향을 줄 수 있는 환기, 가열 등의 인자를 제어하면서 VOCs를 측정하면 매우 유용한 데이터를 얻을 수 있을 것이다.

사 사

이 연구는 1997년도 한국과학기술연구원 기관고유사업(과제번호: 2E1514)의 연구비 지원에 의해 수행되었다.

참 고 문 헌

김소영(1998) 휘발성 유기화합물의 주요 배출원별 배출 특성에 관한 연구, 건국대학교 석사학위논문.
 김윤신(1999) 실내 공기질 연구의 현황과 전망, 한국대기환경학회지, 15(4), 371-383.
 나광삼, 김용표(1999) 서울 대기에서 방향족 탄화수소의 계절적 농도 특성, 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집, 용인, 214-215.
 나광삼, 김용표, 김영성(1998a) 서울 대기 중에서 C₂-C₉ 휘발성 유기화합물의 농도, 한국대기보전학회지, 14(2), 95-105.
 나광삼, 김용표, 문길주, 백성욱, 황승만, 김성렬, K. Fung, 이강봉, 박현미(1998b) 대기중 휘발성 유기화합물의 채취 및 분석 방법 비교, 한국대기보전학회지, 14(5), 507-518.
 배귀남 등(1997) 환경친화적 처리 요소 기술 개발, 한국과학기술연구원 보고서, UCE1514-6079-6, 서울.
 배귀남 등(1998) 청정 연구동내 클린룸의 청정도 유지 관리 및 에너지 절감 방안에 관한 연구, 한국과학기술연구원 보고서, UCE 1562-6397-2, 서울.
 백성욱(1998) 실내·외 환경에서의 휘발성 유기화합물의 농도 분포와 관리 방안, 대기환경과 휘발성 유기화합물질, 한국대기보전학회 측정분석분과위원회, 제 6장, 134-158.
 백성욱, 김영민, 황승만(1998) 고속도로 터널 내부 공기 중 휘발성 유기화합물의 농도 측정, 한국대기보전학회지, 14(1), 73-77.
 백성욱, 김윤신(1998) 도시지역 실내환경 유형별 공기질 특성 평가, 한국대기보전학회지, 14(4), 343-360.
 손장열, 윤동원(1995) 실내 공기환경에서 휘발성 유기화합물질(VOCs)의 특성과 제어방법, 공기조화냉동공학, 24(1), 44-55.
 Baek, S.O., Y.S. Kim and R. Perry(1997) Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas-indoor/outdoor relationships, Atmos. Environ., 31, 529-544.
 Fellin, P. and R. Otson(1994) Assessment of the influence of climatic factors on concentration levels of volatile

- organic compounds (VOCs) in Canadian homes, *Atmos. Environ.*, 28, 3581-3586.
- Hawthorne, A.R. and T.G. Matthews (1987) Models for estimating organic emissions from building materials: formaldehyde example, *Atmos. Environ.*, 21, 419-424.
- Hester, R.E. and R.M. Harrison (1995) *Volatile Organic Compounds in the Atmosphere*, The Royal Society of Chemistry, UK.
- Jones, A.P. (1999) Indoor air quality and health, *Atmos. Environ.*, 33, 4535-4564.
- Matsumura, T. (1999) The present situation of the indoor air pollution with chemical substances in domestic and non-domestic building in Japan, International Symposium on Clean Technology and Management for Indoor Air, Korea Air Cleaning Association, November 12, Seoul, 3-15 (presentation material).
- Sack, T.M., D.H. Steele, K. Hammerstrom, and J. Remmers (1992) A survey of household products for volatile organic compounds, *Atmos. Environ.*, 26A, 1063-1070.
- Shah, J.J. and H.B. Singh (1988) Distribution of volatile organic chemicals in outdoor and indoor air, *Environ. Sci. Technol.*, 22, 1381-1388.
- Scheff, P.A., R.A. Wadden, B.A. Bates, and P.F. Aronian (1989) Source fingerprints for receptor modeling of volatile organics, *J. Air Pollut. Control Ass.*, 39, 469-478.
- Seifert, B. and D. Ullrich (1987) Methodologies for evaluating sources of volatile organic chemicals (VOC) in homes, *Atmos. Environ.*, 21(2), 395-404.
- Sexton, K. and S.B. Hayward (1987) Source apportionment of indoor air pollution, *Atmos. Environ.*, 21, 407-418.
- Wallace, L.A., E. Pellizzari, B. Leaderer, H. Zelon, and L. Sheldon (1987) Emissions of volatile organic compounds from building materials and consumer products, *Atmos. Environ.*, 21, 385-393.