

다중이용시설 실내공기 중 VOCs 분포 특성 연구

손정원[†] · 조정구
대기보전과

Study on VOCs Characteristics in the Indoor Air of Public Utilization Facilities

Jung-Won Son[†] and Jeong-Gu Jo
Air preservation division

Abstract

Volatile Organic Compounds (VOCs) in the indoor air of public utilization facilities were investigated for their concentration and components. Because of its widespread indoor emission and adverse health effects, VOCs is one of the most important indoor air pollutants. In this paper, we collected 59 indoor air samples in various public utilization facilities in Busan and analysed it with GC-MSD for TVOC and VOCs components. TVOC average was highest as 545 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in indoor parking lots and 384 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in large stores. VOCs components (benzene, toluene, ethyl benzene, xylene, styrene) was also analysed. Among VOCs components, toluene was detected with the highest concentration in all the facilities and xylene, ethyl benzene was detected in the order.

Key Worlds : Volatile organic compounds, Indoor air quality, Public utilization facilities

서 론

현대의 도시민은 생활습관 변화 및 생활수준 향상으로 실내 거주시간이 증가되고 있다. 또한 냉난방 및 에너지 절약을 위하여 건물이 점차 밀폐되고 있으며, 건물이 대규모화되고 지하공간이 증가됨에 따라 자연환기량이 감소되어, 인공적인 시스템에 환기를 의존하는 경향이 확대되고 있다. 또한 각종 새로운 건축자재들과 화학물질들이 사용되고 있으며 실내공간이 다양한 활동에 이용되고 있어, 실내공기오염의 가능성은 증가되고 있는 실정이다. 실내공기 오염물질은 미세먼지, 이산화탄소, 포름알데히드, 일산화탄소 등 매우 다양한데, 특히 휘발성유기화합물(VOCs)은 빌딩증후군(Sick building syndrome) 유발물질의 하나이며, 정서적, 신경적 장애를 나타낸다는 연구결과가 있어, 실내공기 오염 문제에 있어 주요 관심물질로 등장하고 있다. 휘발성 유기화합물이란 상온, 상압 하에서 기체상태로 존재하는 모든 유기화합물질을 통칭하는 의미로 사용되고 있는데, 건축자재, 접착제, 연소과정, 흡연, 가구, 의류 등 아주 광범위하고 다양한 곳에서 방출되고 있지만 그에 대한 구체적인 데이

터는 매우 부족한 실정이다. 본 연구에서는 부산시 다중이용시설 중 일부를 선정하여 휘발성유기화합물 농도의 분포 경향, 종류와 특성 등을 파악하여 향후 실내공기질 관리에 있어서의 기초자료를 확보하고자 실시하였다.

연구내용 및 방법

연구대상시설

부산시 다중이용시설 중 비교적 많은 사람이 사용하는 시설을 중심으로 2008년 6월에서 12월까지 대규모점포 14지점, 지하역사 및 지하상가 20지점, 실내주차장 6지점, 병원 8지점, 기타 11지점 등 총 59지점에 대하여 VOCs 시료를 채취하였다.(Table 1)

시료채취 및 분석방법

시료채취는 VOCs 전용샘플러인 MP- Σ 30 (Sibata Co., Japan)을 사용하였으며, 여기에 흡착관(Tenax-TA, 60mm, 180mg, GERSTEL, Germany)을 연결하여 유량은 100~200 mL/min, 총채취량은 3.0~6.0 L 정도가 되도록

[†] Corresponding author. E-mail:jwson@korea.kr
Tel:+82-51-757-7505, Fax:+82-51-757-2879

Table 1. Sampling facilities

시설분류(총지점수)	채취지점	채취지점수
대규모점포(14)	의류매장	7
	식품매장	3
	식당	4
지하역사, 지하상가(20)	승강장	8
	대기실	8
	지하상가	4
의료기관,산후조리원(8)	의료기관	6
	산후조리원	2
실내주차장(6)	실내주차장	6
	장례식장	4
기타(11)	어린이집	1
	찜질방	4
	도서관	2

채취하였다. 시료 채취 후 1시간 이내에 분석되지 못할 경우, 흡착관의 마개를 막고 알루미늄 호일로 밀봉한 후 분석시까지 4℃ 냉장소에 보관하였다.

VOCs 시료분석은 Thermal Desorption System (TDS, GERSTEL, Germany)과 GC-MSD (HP-6890, Agilent 5973, Agilent, USA)를 이용하였다. Thermal Desorption System으로 시료가 채취된 흡착관을 열탈착하고, 다시 저온농축관에서 재농축한 후 2단 열탈착하였으며, GC-MSD로는 열탈착된 시료를 고성능 캐필러리 컬럼을 이용한 기체크로마토그래프에 의해 분석대상물질을 분리한 후, 질량분석기로 분석하였다.

검량선 작성은 표준용액(Indoor Air Standard, SUPELCO, USA)을 메탄올로 희석하여 표준시료를 제조한 후 농도별 표준시료 일정량을 흡착관에 micro syringe를 이용하여 함침하여 제조하여 검량선을 작성하였다. 표준시료의 농도는 미지시료의 농도가 포함될 수 있도록

3~5개 작성하였다. 분석대상물질은 총휘발성유기화합물(TVOC), Benzene, Toluene, Ethyl benzene, Xylene, Styrene이며, VOCs의 분석조건을 Table 2에 나타내었다.

연구결과 및 고찰

총휘발성유기화합물(TVOC) 농도

TVOC란 총휘발성유기화합물(Total volatile organic compounds)을 말하며, 가스크로마토그래피법에 의하여 n-헥산에서 n-헥사데칸까지의 범위에서 검출되는 휘발성 유기화합물을 Toluene양으로 환산하여 정량한 것을 말한다. 각 시설별로 TVOC 농도를 비교하면 Fig. 1과 같다. 실내주차장이 545 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았으며 이어서 대규모점포, 찜질방 등의 순이었다. 실내주차장은 이동하는 차량의 배기가스가 주요한 TVOC 배출원이고, 대규모점포 등은 실내 인테리어 등 건축자재, 전시상품 등이 주요배출원인 것으로 생각된다.

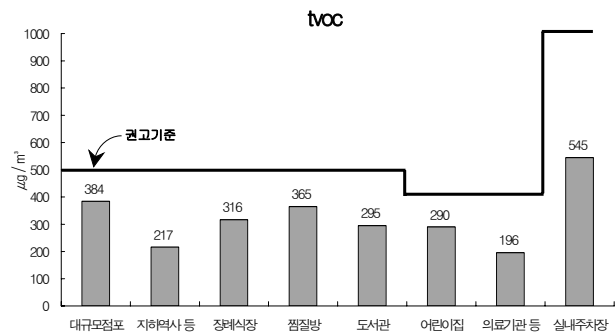


Fig. 1. Average TVOC concentration of facilities

Table 2. TDS and GC/MSD program parameters

	Item	Conditions
TDS	Desorption Temp	20℃ (0.1min)→60℃/min→260(5min)
	Desorp. Temp & Time	260℃, 10min
	Concentration temperature	-70℃
GC/MSD	Column	HP-VOC (60m × 0.32mm × 1.8 μm)
	Column flow	1.5ml/min
	GC oven Temp.	60℃ (5min)→4℃/min→200℃ (10min)→20℃/min→260(2min)
	Split ratio	20 : 1
	Mode	Scan
	MS source	230℃
	MS Quad	150℃
	Ionization mode	EI mode

Table 3. TVOC recommended guideline(Korea)

시설	권고기준
대규모점포, 지하역사, 지하도상가, 장례식장, 찜질방, 도서관 등	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
의료기관, 산후조리원 어린이집 등	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
실내주차장	1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

우리나라의 경우 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법에서 TVOC 권고기준(Table 3)을 설정하고 있는데, 각 시설별 평균값은 다중이용시설 등의 실내공기질관리법 상의 권고기준을 만족하고 있다. 그러나 대규모 점포는 최대값이 831 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Table 5)으로 권고기준 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하고 있는 등, 채취지점에 따라 높은 값을 나타내는 지점이 있었다.

유럽의 공동연구위원회는 Table 4와 같이 TVOC에 대한 위해성 평가를 통해 기준농도를 설정하였다. 평균값을 살펴볼 때, 본 연구 조사지점의 TVOC 농도는 대체적으로 영향이 없음과 건강영향 발생가능 단계의 사이에 위치하고 있다. 그러나 TVOC에 의한 인체영향을 살펴보기 위해서는 노출농도 뿐 아니라 노출시간에 대한 검토도 동시에 연구되어야 할 것으로 생각된다.

Table 4. TVOC concentration and health impact(Europe)

분류	TVOC($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
영향이 없음	< 300
건강영향 발생가능	300 ~ 3000
건강영향 발생	3000 ~ 25000
독성범위	>25000

각 시설별 휘발성유기화합물 분포 특성

조사지점을 유사한 시설끼리 묶어 TVOC와 Benzene, Toluene, Ethyl benzene, Xylene, Styrene 등 주요 VOCs 성분에 대해 분석하여 Table 5와 같이 나타내었다. VOCs 성분 중 대체적으로 Toluene이 가장 높은 농도를 나타내었고, 이어서 Xylene, Ethyl benzene의 순으로 검출되었다. VOCs의 주요성분(Benzene, Toluene, Ethyl benzene, Xylene, Styrene)에 대하여는 다중이용시설에 적용할 만한 기준은 현재 없는 상태이지만 신축공동주택의 실내공기질 권고기준은 Table 5와 같이 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법에 제정되어 있다. 이 기준에 의하면 Benzene, Toluene, Ethyl benzene, Xylene, Styrene 항목에 대해서는 모두 기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다.

Table 5. VOCs concentration data($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

항목		tvoc	benzene	toluene	ethyl benzene	xylene	styrene
대규모 점포	평균	384	2.90	109.52	19.15	15.15	8.60
	최대	831	5.23	260.01	70.62	26.17	41.13
	최소	119	1.71	19.98	3.21	4.95	0.44
지하역사, 지하상가	평균	217	4.73	55.56	8.07	9.53	2.95
	최대	497	11.83	246.10	22.43	20.79	17.07
	최소	42	1.41	13.11	2.92	4.78	0.36
실내 주차장	평균	545	4.48	162.11	24.80	25.35	9.24
	최대	951	6.72	211.79	46.20	47.80	28.47
	최소	183	2.82	111.58	6.31	15.69	0.00
의료기관	평균	196	3.89	69.35	13.35	11.49	7.29
	최대	324	7.84	140.45	31.95	19.43	29.04
	최소	71	1.54	23.14	3.28	4.63	0.35
장례식장	평균	316	8.37	21.82	5.05	7.34	0.67
어린이집	평균	290	2.69	35.24	5.46	5.60	1.20
찜질방	평균	365	4.26	58.39	7.76	9.79	4.55
도서관	평균	295	1.47	24.27	6.92	8.91	2.12
신축공동주택 실내공기질 권고기준			30	1000	360	700	300

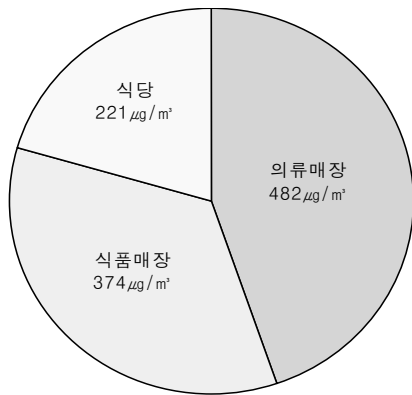


Fig. 2. Average TVOC concentration in large store compartments

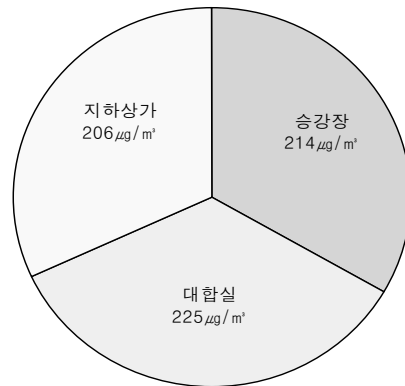


Fig. 3. Average TVOC concentration in underground spaces

대규모점포의 이용 용도별로 TVOC 발생량을 Fig. 2와 같이 나타내었다. 대규모점포의 경우 대체적으로 대부분의 공간이 의류매장으로 이용되고 있었으며 TVOC 발생량도 의류매장에서 가장 많았다. 의류매장의 경우 인테리어를 자주 바꿀 뿐 아니라 좁은 공간에 많은 제품을 전시하고 있는 경우가 많아 인테리어 자재나 섬유, 피혁제품들로부터 방출되는 TVOC 발생량이 많은 것으로 추측된다. 식당에서는 음식 조리시 발생하는 연소가스에 의한 VOCs 발생이 우려되었으나 이번에 측정했던 대규모점포의 식당이 대부분 공간이 넓어 오염물질의 희석이 원활하여 이용 용도별로는 가장 낮은 TVOC 농도가 검출된 것으로 생각된다.

지하역사와 지하상가 등 지하공간에 대해서도 Fig. 3과 같이 지하철 승강장과 대합실, 지하상가로 분류하여 TVOC 발생량을 검토하였다. TVOC 측정결과 각 분류지점간의 특별한 차이는 나타나지 않았고 모두 200~230 µg/m³ 정도의 값으로 유사한 값을 나타내었다.

실내주차장은 TVOC와 개별 VOCs 모두 대체적으로 가장 높은 값을 나타내었다. 실내주차장은 주로 지하에 설치되어 있어 자연환기가 잘 되지 않으며 차량운행 증가에 따라 급속히 오염농도가 높아지는 특성이 있어 환기시스템의 규모나 운영에 따라 내부 농도가 크게 달라 질 것으로 생각된다.

의료기관 등의 나머지 분류군의 VOCs 농도는 그다지 높지 않았으나 이러한 실내공간에서는 비교적 장시간 사람들이 머물게 되므로 실내공기질 관리 필요성이 크다고 생각된다.

시료채취 시기별 총휘발성유기화합물 농도분포

대규모 점포, 의료기관, 산후조리원, 장례식장, 어린이집 등은 에너지 절감을 위해 냉난방 시, 외부 환기가 제한되는 경우가 많다. 위 5가지 시설군의 30지점에 대하여 냉난방 실시지점(20지점), 비실시지점(10지점)으로 분류하여, TVOC 농도 평균을 Fig. 4와 같이 비교하여 보았다.

냉난방 시에는 내부공기를 계속적으로 순환시키게 되므로 VOCs 등 실내공기오염물질이 축적될 가능성이 높다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 냉난방시에 TVOC 농도가 더욱 높은 것을 볼 수 있다. 실내공기질 개선을 위해서는 환기가 필수적이거나 외부공기 유입 시 에너지 비용이 크게 증가하게 되므로 각 시설에서는 외부환기를 제한하기 때문에 VOCs 농도가 높아지는 것으로 생각된다.

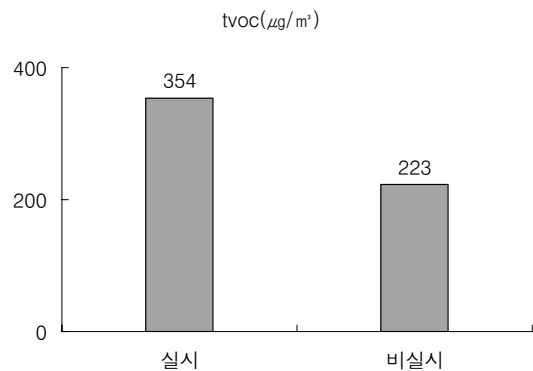


Fig. 4. Average TVOC concentration for air conditioning status

결 론

본 연구에서는 부산시 다중이용시설 중 비교적 많은 사람이 사용하는 시설을 중심으로 2008년 6월에서 12월까지 대규모점포 14지점, 지하역사 및 지하상가 20지점, 실내주차장 6지점, 병원 등 8지점, 기타 11지점 등 총 59지점에 대하여 VOCs시료를 채취하여, 총휘발성유기화합물(TVOC), Benzene, Toluene, Ethyl benzene, Xylene, Styrene에 대하여 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각 시설별로 TVOC 농도를 분석한 결과 실내주차장이 $545 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았으며 이어서 대규모점포, 찜질방 등의 순이었다.
2. 조사지점 별 주요 VOCs 성분에 대해 분석한 결과 Toluene이 가장 높은 농도를 나타내었고, 이어서 Xylene, Ethyl benzene의 순으로 검출되었다. 건축공동주택 실내공기질 권고기준에 의하면 Benzene, Toluene, Ethyl benzene, Xylene, Styrene 항목에 대해서는 모두 이 기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다.
3. 대규모점포의 이용 용도별로 TVOC 발생량을 조사한 결과 의류매장에서 가장 많은 TVOC가 검출되었다. 의류매장의 경우 인테리어 자재나 섬유, 피혁제품들로부터 방출되는 TVOC 발생량이 많은 것으로 추측된다.
4. 지하 다중이용시설을 지하철 승강장과 대합실, 지하상

가로 분류하여 TVOC 발생량을 검토한 결과 각 분류지점간의 특별한 차이를 나타나지 않았고 모두 $200 \sim 230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도의 유사한 값을 나타내었다.

5. 대규모점포 등 5가지 시설군 30지점에 대하여, 냉난방 실시지점(20지점), 비실시 지점(10지점)으로 분류하여 TVOC 농도 평균을 비교하여 보았다. 냉난방 시에는 내부공기를 계속적으로 순환시키게 되므로 VOCs 등 실내공기오염물질이 축적되므로 TVOC 농도가 더욱 높게 나타났다.

참고문헌

1. 환경부, “실내공기질공정시험방법”. 환경부 고시 제 2008-73호, 2008.
2. 안영성, 밀폐된 건물의 휘발성유기화합물 발생 특성 연구, 2007.
3. 김동영, 조진식, 다중이용시설 실내공기질 관리방안, 경기개발연구원, 2007.
4. 김운수, 서울시 다중이용시설의 실내공기질 실태조사 및 관리방안 연구, 서울시정개발원, 2004.
5. 환경부 실내공기질 관리대책 연구, 2005.
6. 다중이용시설 기준 합리화를 위한 실태조사, 환경부, 2006