

# VOCs의 특성과 그 관리현황

글 | 임재신 (주)키보텍 대표이사 공학박사 02-514-3001 | kavotech@kavotech.com

VOCs는 주로 유기화학공장, 페인트공장 및 도장용 설비 등의 산업용 설비에서 고농도로 발생하나, 밀폐된 건축물의 실내에서도 건축자재에 함유된 VOCs가 방출되어 거주자들에게 심각한 위협을 줄 수 있다. 본고에서는 VOCs의 기본적인 특성과 실내공기 측면에서의 VOCs 관리현황 및 그 대책방안을 개괄적으로 알아보기로 한다.

## 1. 서론

최근 일련의 사건으로 인해 실내공기질(Indoor Air Quality)의 문제가 사회적 이슈가 되었다. 오늘날, 건축자재들은 화학처리된 재료들을 주로 사용하므로 VOCs가 방출되는 오염원이 증가하고 있으며, 에너지 효율을 높이기 위해 건축물의 기밀성이 향상되어 대기오염물질의 배기가 어려워졌기 때문에 실내공기질이 악화될 가능성이 더욱 크다. 특히, 현대인이 2/3 이상의 생활을 영위하는 주거 및 사무 공간의 오염이 더욱 심각해지고 있어, 미주, 유럽 및 일본에서는 이미 심각한 사회문제로 비등 있게 다루어져 왔다. 우리나라에서도 최근, 신축이나 개축 직후의 건축물 실내에서 눈이 따갑다던가 두통, 알레르기 등의 건강상 위해를 호소하는 경우가 증가하고 있으며, 이미 1995년 6월 23일, 국내 모 일간지에서도 홍콩의 'South China Morning Post'를 인용하여 '집안에서 나오는 화학물질 공해, 공장보다 더 심각하다'라는 기사를 게재한 바 있다.

이러한 실내공기오염의 원인물질들 중, 주로 중추신경계에 악영향을 주는 VOCs(Volatile Organic Compounds, 휘발성 유기화합물)가 가장 중요한 원인으로 주목을 받고 있다. VOCs는 기화하기 쉬운 특성을 가진 유기화합물의 총칭으로, 피로, 무기력, 구토, 기억력 상실 등 각종 이상증상을 일으키며, 화합물에 따라 발암성까지 가지고 있다. VOCs는 주로 유기화학공장, 페인트공장 및 도장용 설비 등의 산업용 설비에서 고농도로 발생하나, 밀폐된 건축물의 실내에서도 건축자재에 함유된 VOCs가 방출되어 거주자들에게 심각한 위협을 줄

수 있다. 본고에서는 VOCs의 기본적인 특성과 실내공기 측면에서의 VOCs 관리현황 및 그 대책방안을 개괄적으로 알아보기로 한다.

## 2. VOCs의 정의와 특성

### 2.1 VOCs의 정의와 물리화학적 특성

대기 중에 존재하는 유기화합물은 증기압과 끓는점에 따른 휘발의 정도(volatility)에 의해, 휘발성(volatile), 반휘발성(semivolatile) 및 비휘발성 유기화합물로 분류된다. 일반적으로, 휘발성유기화합물은 증기압이  $10^{-2}$  이상, 반휘발성은  $10^{-2} \sim 10^{-6}$ , 비휘발성은  $10^{-6}$  kPa 이하이며, 끓는점  $100^{\circ}\text{C}$  이하는 휘발성으로,  $100^{\circ}\text{C}$  이상은 반휘발성과 비휘발성으로 분류된다.

대기환경보전법 시행령 제39조(휘발성유기화합물질의규제)에서는 '휘발성 유기화합물질이라 함은 탄화수소류 중 석유화학제품·유기용제 기타 물질로서 환경부장관이 관계중앙행정기관의 장과 협의하여 고시하는 것을 말한다.'라고 규정하고 있다.

이와 같이, 휘발성 유기화합물은 탄화수소류(hydrocarbon)이며, 액체 상태로 존재하더라도 손쉽게 대기중으로 기화되는 화학물질을 총칭하는 것으로, 대기오염물질로 취급되고 있으며, 총 휘발성유기화합물(Total VOCs), 또는 위해성이 있는 개별 화합물을 정하여 관리 및 규제하고 있다. VOCs에 속하는 화합물로는, 그 화합물 자체로 환경에 위해한 방향족탄

화수소와 할로겐화탄화수소, 그리고 대기중에서 광화학반응을 일으켜 오존 오염 등 2차오염을 일으키는 지방족탄화수소 등이 있다. 다음 <표 1>에 현재 관심의 초점이 되고 있는 VOCs인 포름알데하이드(Formaldehyde, HCHO)와 톨루엔(Toluene)의 물리화학적 특성을 정리하였다.

<표 1> 포름알데하이드와 톨루엔의 물리화학적 특성

물질명	포름알데하이드 (Formaldehyde)	톨루엔 (Toluene)
별칭	Methanal, Methylaldehyde, Methyleneoxide, Formalin	Methylbenzene, Phenylmethan
물리적 특성	- 가스 : 무색, 질서성 - 액체 : 무색, 타는 맛 - pH : 2.8~4.0	- 액체 : 무색~호박색, 벤젠 냄새 - 가스 : 공기보다 무거움 - OT : 0.17ppm - 연소열 : -9,686kJ/g
비중/밀도	0.815(20°C)	0.867(20°C)
녹는점	-92.0	-95.0
끓는점	- 가스 : -21.0 - 용액(37%) : 96.0	110.6
용해도	- Water : $\geq 100\text{mg}/\text{ml}(20.5^{\circ}\text{C})$ - DMSO : $\geq 100\text{mg}/\text{ml}(20.5^{\circ}\text{C})$ - 95% 에탄올 : $\geq 100\text{mg}/\text{ml}(20.5^{\circ}\text{C})$ - 이세톤 : $\geq 100\text{mg}/\text{ml}(20.5^{\circ}\text{C})$ - 대부분의 유기용매 : 용해성	- Water : $< 1\text{mg}/\text{ml}(18^{\circ}\text{C})$ - DMSO : $\geq 100\text{mg}/\text{ml}(18^{\circ}\text{C})$ - 95% 에탄올 : $\geq 100\text{mg}/\text{ml}(18^{\circ}\text{C})$ - 이세톤 : $\geq 100\text{mg}/\text{ml}(18^{\circ}\text{C})$ - Ligurin : 용해성

### 2.2 VOCs의 유해성

VOCs에 의한 건강 장애로 가장 중요하면서 보편적인 것은 중추신경계를 억제하는 마취작용으로, 크게 급성과 만성으로 나누어진다. 일반적으로 이러한 장애는 노출된 VOCs의 화학적 구조, 노출 농도와 시간, 다른 VOCs와의 복합노출, 개인적인 감수성과 표적장기의 분포 등에 따라 다르게 나타난다(<표

2> 참조).

<표 2> 대표적인 VOCs의 특이 독성

구분	독성
벤젠	조혈기능 장애 (백혈구 감소증, 재생불량성 빈혈), 부정맥, 발암성(백혈병)
할로겐화 탄화수소	신독성, 간독성, 심장독성(부정맥, 들뜬사), 동물 발암성
염화비닐	근골격계 장애, 간독성, 발암성(간 백관육종)
메타놀	시력 상실, 대사성 산중
포름 알데하이드	알레르기성 피부염, 폐기를 저하, 동물 발암성
이황화탄소	뇌병증, 말초신경병증, 관상동맥성 심장병, 시력 장애, 청력 손상, 생식기능 장애, 신독성, 간독성
노르말 핵산	말초신경 장애

고농도 VOCs에 의한 급성 장애는 VOCs의 종류에 관계 없이 비슷한 증상을 보인다. 이는 여러 VOCs의 상승작용(synergy)에 의해 증상이 나타나기 때문으로 평가되고 있다. 증상으로는, 지남력 상실(시간, 장소 및 사람을 알아보는 정신기능의 장애), 도취감, 현기증 및 혼돈(일관적인 사고능력 상실)에 이어, 농도가 높아지면서 의식상실, 마비, 경련 그리고 사망에 이르게 된다. 현재 실내공기 오염물질로 주목 받고 있는 포름알데하이드와 톨루엔에 의한 노출 농도별 건강장애를 다음 <표 3>과 <표 4>에 나타내었다. 급성장애는 독성효과가 빠른 반면, 원인물질 제거와 함께 신속하고 완전하게 회복되는 경향이 있으므로, 이들 증상은 원인이 되는 VOCs의 체내 대사물질에 의한 것 보다는 원인물질 자체의 독성에 의한 것으로 생각되고 있다.

〈표 3〉 포름알데하이드의 폭로 농도에 따른 건강 장애

농도(ppm)	건강 장애
0.05~1.0	민감한 어린이의 아토피성 피부염 발병, 신경조직 자극 시작
0.05~0.1	냄새 감지
0.2	눈의 자극 시작
0.25~0.33	호흡기 장애 시작
0.5	목 자극 시작
1.0	5년간 노출 시 1만명 중 14명이 알 발병
2.0~3.0	눈을 찌를 듯한 고통
4.0	눈물
10.0~20.0	격렬한 눈물, 정상적 호흡이 곤란
30.0~50.0	5~10분 내에 급성 증폭, 독성 폐기증으로 사망 가능

〈표 4〉 툴루엔의 1회 폭로 농도에 따른 건강 장애

농도(ppm)	건강 장애
2.5	냄새 감지 (threshold)
37	모든 사람이 냄새 감지
50~100	피로, 졸림, 가벼운 두통, 신경반응시간 및 조화운동기능에는 영향 없음
200	인후 및 눈에 가벼운 자극, 조화운동 및 인지기능의 가벼운 저하, 가벼운 두통 및 현기증, 피로, 혼돈, 졸리움
300	8시간 노출 시 조화운동기능 변화
400	눈 및 인후 자극, 전반적 조화운동기능 저하, 정신적 혼돈
500	식욕 감퇴, 보행 장애, 메스꺼움, 단기 기억력 저하, 반응시간 저하
800	심한 메스꺼움, 혼돈, 지체력 결여, 심한 신경질, 근육 피로, 수면 장애
1,500	8시간 노출 시 심한 조화운동기능 장애, 극심한 피로
3,000	1시간 노출 시 즉각적 반응시간 및 협조운동 장애, 마취되면서 사망 가능
10,000~30,000	수분 내 마취되면서 더 지속되면 치명적

만성 장애로는 감각 이상, 시각 및 청각 장애, 기억력 감퇴, 작업능률 저하, 수면 장애, 혼돈, 신경질, 불안, 우울 및 무관심 등의 정서장애와 사지 무력감, 조화운동능력의 저하 및 피로 등의 운동장애가 있다. 이들은 신경행동학적 장애로, 급성과는 달리 신경세포의 병리조직학적 변화에 의해 나타나므로, 완전 회복이 거의 불가능한 비가역적(irreversible) 장애로 여겨지고 있다. 세계보건기구(WHO)에서는 이러한 만성 장애를 다음 〈표 5〉와 같이 3단계로 구분한다.

〈표 5〉 VOCs의 만성중추신경계 장애(WHO)

구분	증상
가립적 저서 증후군	피로, 신경질, 경미한 기억력 감퇴, 집중장애, 정서 장애
경증의 만성 독성 뇌병증	현저한 기억력 감퇴, 전신운동 장애, 신경생리학적 검사상 이상 소견, 이 경우 완전히 회복되지 않는 경우도 있음.
중증의 만성 독성 뇌병증	지적 수준과 기능의 전반적 저하로 인한 치매, 회복되지 않거나, 극히 일부만 회복됨.

### 2.3 Sick Building Syndrome과 Sick House Syndrome

‘Sick Building Syndrome’ 또는 ‘Sick House Syndrome’은 오염된 실내 공기로 인해 발생하는 건강상 문제점을 말한다. 미주와 유럽에서는 이미 1940년대에 빌딩과 일반 주택에서 이러한 문제가 발생하여 1980년대에 크게 사회 문제화되면서 ‘Sick Building Syndrome’이라는 용어가 생겨났다. 호주의 CSRIO 소속의 Steve Brown은 Sick Building Syndrome에 관한 최초의 구체적인 연구를 수행하여 1998년 산업화학분야에서 Grimwade Prize를 수상하기도 하였다. ‘Sick House Syndrome’은 일본의 ‘Sick House’를 생각하는 시민의 모임’에서 사용하기 시작한 명칭으로, 화학 물질과민중 중에서도 실내의 건설자재나 가구 등에 함유되어 있는 화학물질의 오염이 원인이 되어 일으키는 두통이나 눈이 아픈 현상, 구토, 심신의 피로, 아토피성 피부염, 스트레스, 정서불안정 등을 일으키는 증상이라고 정의되어 있다. WHO에서는 Sick Building Syndrome의 증상을 다음과 같이 정의하고 있다.

- 눈, 특히 안구 결막과 코의 점막 및 목의 점막에서의 자극
- 입술 등의 점막이 건조됨
- 피부의 붉은 반점, 전마신, 습진 등 발생
- 쉽게 피로를 느낌
- 두통, 호흡기 질환에 감염되기 쉬움
- 숨이 막히는 듯한 기분이 들거나 호흡기에서 소리가 나는 듯한
- 아무 이상 없이 과민한 반응을 함
- 어지러움, 구토증, 구토의 반복이나 복합적인 증상

Sick House Syndrome의 원인으로는 건설자재나 가구에 함유되어 있는 포름알데하이드로 대표되는 VOCs가 주목을 받고 있다. 특히, 최근에는 일반주택이나 상업용 건물의 기밀성이 높아져 실내에서 발생하는 오염물질이 외부로 방출되는 양이 적어졌다는 것도 Sick House Syndrome의 주요원인 중의 하나로 지적되고 있다. Wieslander 등이 유럽에서 연구한 결과에 따르면, 실내에 새롭게 페인트칠을 한 경우, 그렇지 않은 경우보다 VOCs가 100 µg/m³ 높았고 포름알데하이드 농도

〈표 6〉 실내에서 발생하는 주요 오염물질의 영향

오염물질	발생원	건강에 미치는 영향
부유먼지	대기 중의 먼지가 실내유입, 실내바닥의 먼지, 담뱃재	눈이나 목의 통증, 호흡기질환, 천배증
색연	단열재, 절연재, 석면타일, 방열재	호흡기 질환, 과다한 흡입이나 피부에 접촉시 폐암 및 폐질환 석연증
이산화탄소(CO₂)	각종 난로(연탄, 가스, 석유), 벽난로, 연료연소, 가스렌지	이명, 두통, 3% 이상에서 불쾌감, 5% 이상에서 호흡 촉진, 10% 이상에서 호흡곤란으로 사망
리튬(Rn²²²)	콘크리트, 흙, 지하수, 화강암	임자가 기도상피에 침입하여 기저세포의 유전물질 손상 ※ 미국 환경보호국은 매년 리튬 방출에 의해 5천~2만명이 암에 걸려 사망하는 것으로 추정.
포름 알데하이드 (HCHO)	각종 합판, 보드, 가구, 단열재, 소취제, 담배연기, 화장품, 옷감, 실크실	발암성, 민감한 사람에게 냄새만으로 알레르기, 두통, 피로감, 기억상실, 안면장애
이산화질소(NO₂)	각종 난로(연탄, 가스, 석유), 벽난로, 연료연소, 가스렌지	호흡기 질환 환자의 폐기능 저하, 감염저항성 감소, 면역성의 저하, 기도장애
일산화탄소(CO)	각종 난로(연탄, 가스, 석유), 벽난로, 연료연소, 가스렌지	체조직의 산소운반 장애, 대뇌피질 및 심장의 산소 결핍, 협심증 환자의 발작 심화, 운동능력 및 인지력 저하되며, 긴가늠 장애의 기능저하
휘발성 유기 화합물	페인트, 접착제, 스프레이, 연소과정, 세탁소, 왁스, 방향제	경독성·마취·식용부진, 피로, 기억장애 등, 긴장독성, 발암성, 변이원성 ※ 900종류 이상이 실내에서 검출.
다환 방향족 탄화수소		대다수가 발암물질로서 변이원성을 갖는다. 심혈관계에의 영향도 있다
살충제		신경계, 간장, 생식기에 영향을 미친다.
담배연기	담배, 권연	암, 호흡기계통 및 심혈관계 영향, 감염저항성 감소
생활학 인자	생활학 인자	감염성 질환(결핵, 재향군인병 등), 알레르기 증폭
방사선		암(신경계, 유선)
미생물성 물질(곰팡이, 벡테리아, 꽃가루)	가습기, 냉방장치, 냉창고, 에어컨통, 세탁소, 왁스, 방향제	피로감, 정신착란, 두통, 구역, 현기증, 중추신경 억제작용
악취	각종 악취 발생원	식욕감퇴, 구토, 불면, 알레르기증, 정신신경증 등
전자파	각종 전자제품	식욕감퇴, 졸음감소, 백혈병 등

도 높았으며, 전신 유행율이 1.5배 높은 것으로 나타났다. 실내에서 발생하는 오염물질의 원인은 생활용품, 취미용품, 난방용품, 자동차 등에서부터, 건축자재, 시멘트, 담배연기, 가구, 조리 시 발생하는 가스 및 음식 냄새, 부패된 음식물 그리고 주거생활에서 발생하는 먼지 등에 이르기까지 상당히 다양하다. 다음 〈표 6〉에 실내에서 발생하는 오염물질의 원인과 그 증상을, 〈표 7〉에 실내에서 발생하는 VOCs와 그 발생원을 정리하였다.

〈표 7〉 실내에서 발생하는 VOCs 물질과 발생원

VOC	주요 발생원
벤젠	연기, 세척 및 청소용품, 페인트 제거제, 접착제, 파티클 보오드
디클로로벤젠	방향제, 염약
펜타클로로벤젠	목재보존제, 곰팡이제거제, 재층제
부틸아세테이트	락커
톨루엔, 자일렌	페인트, 바닥용 왁스, 니스, 염료착제, 등유용 난방기구, 벽지, 코팅 및 살린트제품
스티렌	담배연기, 코팅제, 발포형 단열재, 섬유용 보오드

건축자재로부터의 VOCs 방출 실험은 국내에서도 많은 연구가 진행되고 있다. Small Chamber를 이용하여 온도, 상대습도, 환기량 등을 고려한 시간에 따른 ST 02 건축자재에서의 VOCs 방출량 다음 〈표 8〉과 같다.

〈표 8〉 ST 02 건축자재에서의 시간에 따른 VOCs 방출량 (단위 : mg/m³)

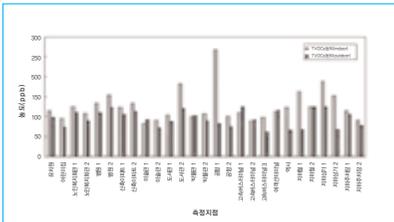
측정일	1일 후	2일 후	3일 후	4일 후	23일 후
Pentane	0.12	0.18	0.16	0.09	0.03
MIBK(4-Methyl 2-Pentanone)	0.56	1.65	2.03	2.28	1.59
Toluene	0.08	0.1	1.1	0.09	0.05
Ethylbenzene	0.28	0.69	0.78	0.81	0.69
m-Xylene	0.43	1.31	1.52	1.64	1.36
p-Xylene	0.14	0.55	0.73	0.59	0.92
o-Xylene	0.16	0.64	0.8	0.86	0.79
TVOCs	0.76	3.62	4.45	4.8	4.25

(단위) ST 02 자재 구성 : 무양탄 COOL + AL생방 + 집방방 + 황방 HONEY

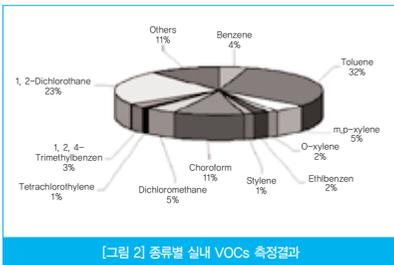
2.4 VOCs 오염현황

미국 EPA(United States Environmental Protection Agency)는 실내에서의 곰팡이, 박테리아, 꽃가루, 먼지 등의 생물학적 오염물질과 라돈, 간접흡연, 폼알데하이드, 석면, 이산화질소 등 오염물질의 농도가 실외에서보다 2~5배, 심한 경우에는 100배 가량 높은 것으로 파악되고 있다.

국내에서 진행된 연구에 따르면, 지하주차장, 신축아파트, 유치원, 어린이집, 병원, 노인복지관, 도서관 등 주거 및 근린시설에서 HCHO와 VOCs 농도가 실외보다 높게 측정되었다. 지하상가 실내에는 환기부족과 의류매장 등에 의해 폼알데하이드와 VOCs 농도가 높은 것으로 나타났으며, VOCs의 경우, 외국의 기준에 비해 높게 나타난 것으로 보고된 바 있다. 실내에서 검출된 VOCs 중에는 톨루엔, 폼알데하이드 그리고 1,2-dichloroethane이 가장 많았다. 특히 톨루엔은 신축 후 시간이 많이 경과되지 않은 건축물에서 높게 측정되었다(그림 11 및 [참조 2] 참조).



[그림 1] 실내와 TVOCs 측정결과



[그림 2] 종류별 실내 VOCs 측정결과

3. VOCs 관리 및 규제 현황

3.1 해외 현황

선진국의 실내공기질은 정부 여러 부처에 의한 법적 규제와 민간단체의 관리지침 등에 의해 관리되고 있으며, CO<sub>2</sub>, 미세먼지 등에서, 라돈, 석면, VOCs 등 유해물질관리를 강화해 나가고 있다.

미국은 EPA의 대기방사선실 산화 방사선 및 실내 대기국(ORLA)의 실내환경과(IED)에서 실내공기질 정책 개발 및 평가, 실내오염물질들의 영향 연구, 실내오염 분야의 발전 및 정책기구 결정 등의 업무를 수행하고 있으며, 21개 연방정부 기관들로 구성된 실내공기질위원회(CIAQ)의 모든 활동을 선도하고 있다. 또한, 주택 도시개발부에서는 건축자재의 폼알데하이드 규제를 담당하고 있으며, 이는 건축자재, 가구, 기타 생활용품에 대해 폼알데하이드 방출 기준에 적합한 인증서가 부착된 건축자재를 사용하도록 권장하는 업무를 포함하고 있다. 작업안전보건국(OSHA)에서는 작업장 공기오염 기준을 설정하였고 냉난방 및 공조 학회(ASHRAE)에서는 환기 및 공기질과 관련된 자발적 기준을 설정하였다.

캐나다 환경부는 작업장과 주거지의 실내공기오염물질을 비발암성 물질과 발암성 물질로 나누어 지침을 설정하여 관리하고 있다. 노출 권고치는 CO<sub>2</sub>, CO, 폼알데하이드, NO<sub>x</sub>, 오존, 먼지, SO<sub>2</sub>, 라돈, 액적 등이 있다.

독일의 실내공기질 관리에는 환경부, 보건부, 경제부, 건설 노동사회부, 건설서 그리고 과학기술부 등이 Working Group을 결성하여 협조하고 있다. 또, 영국에서는 환경건설교통부 내 환경국에서 실내공기질 측정 및 감시를 전담하고 있다. 싱가포르 환경부는 1996년 실내공기질 관리 지침을 제정하여 시행하고 있다.

일본에서는 후생성과 5개 부서에서 실내공기질 관리를 수행하고 있다. 각 부서는 비공식적 유대관계를 가지고, 각기 다른 전문분야와 독립적인 업무를 추진하고 있다. 특히, Committee on Sick House Syndrome에서는 폼알데하이드, 톨루엔, 자일렌, p-dichlorobenzene 및 기타 VOCs 물질의 측정과 분석방법 지침을 마련하였다.

3.2 국내 현황

국내 실내 공기질은 환경부, 건설교통부, 교육인적자원부 그리고 보건복지부의 4개 부처에 분산되어 관리되고 있었다.

우리나라의 실내공기질 관리는 1986년 5월, 보건복지부(공중위생관리법)에서 공중이용시설에 대해 먼지 등 7개 항목의 위생관리기준을 설정한 것이 효시가 되었으며, 이후, 1992년 6월, 건설교통부(건축설비기준)는 환기설비 공급 공기질 관리를 위해 먼지, 일산화탄소, 이산화탄소 및 습도의 관리기준을 설정하였다. 교육인적자원부에서는 학교와 학원의 환기, 채광, 조명, 온도, 습도 등의 조절과 유지관리를 명하고 있으나, 구체적인 관리기준은 제시하지 않고 있다.

환경부(지하생활공간공기질관리법)에서는 1996년 12월, 지하역사와 지하상가에서의 먼지, 황산화물 및 폼알데하이드 등 14개 물질 규제와 공정시험방법을 고시한 이래 계속적으로 법령을 강화해 나가고 있다. 환경부는 대기환경보전법 상의 VOCs의 규제제품 및 물질을 37개로 확대하였으며(2001. 3), 2003년 6월 유기용제 사용분야에서의 휘발성유기화합물 저감 계획을 발표하였다. 이는 건축용 도료, 인쇄시설 등 산업시설, 공공기관의 저 VOCs 함유제품 사용 의무화 등으로, 2012년까지 2000년 배출량 352천톤의 60% 수준으로 저감시키는 것을

목표로 하고 있다. 또한, 기존에 대기오염방지법에 규정되어 있던 8개 악취규제물질 중 3개 VOCs 항목을, 2004년 말 시행 예정인 악취방지법으로 독립시켜 5개 VOCs가 추가되었고, 시행 5년 후에는 톨루엔, 프로피온산 등 10종이 더 규제된다.

기존의 '지하생활공간공기질관리법'은 '다중이용시설등의 실내공기질관리법'으로 개정되어 2004년 5월부터 시행된다. 이번 개정에서는 관리대상에 지하도 등과 함께 대통령령이 정하는 규모 이상의 신축 아파트와 연립주택 등 공동주택도 추가되며, 신축 공동주택은 VOCs를 포함한 실내공기질을 측정하여 입주인에게 고시하여야 한다. 실내공기질 기준은 환경부령으로 정하며, 지역 조례로 이보다 엄격한 기준도 설정할 수 있다. 더욱이, 제11조에서는 오염물질방출건축자재와 이들의 VOCs 방출량 기준을 환경부령에서 정하게 되어 있다(표 9) 참조

(표 9) 오염물질방출건축자재(안, mg/m<sup>3</sup>·hr.)

오염물질	구분	일반자재	친환경
폼알데하이드		125	4
총휘발성유기화합물		4	10

(주) 일반자재라 함은 도료(페인트), 합판, 바닥재, 벽지 등 건축자재를 말한다.

다음 <표 10>에 2004년 1월 현재 우리나라 실내공기질 규제

(표 10) 현행법의 실내공간 규제항목

항목	지하생활공간기질관리법(환경부)	공중위생법(보건복지부)	건축법(건설교통부)
적용 대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하역사</li> <li>2000㎡ 이상 지하도상가</li> <li>지하보차도</li> <li>터널</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>공중이용시설</li> <li>3000㎡ 이상 건축물, 2000㎡ 이상 학원</li> <li>1천석이상공연장</li> <li>백화점 쇼핑센터 및 2000㎡ 이상 지하상가</li> <li>2000㎡ 이상 결혼예식장</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>관광숙박시설, 위락시설, 관광집회시설 및 바닥면적 합계 500㎡ 이상 대중음식점 기타 이와 유사한 용도에 쓰이는 건축물의 객실, 조리장, 관람석, 집회실 및 식당등</li> <li>가설바닥면적 1000㎡ 이상 지하층</li> </ul>
관리대상 오염물질	<ul style="list-style-type: none"> <li>항목: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, HCHO, CO, CO<sub>2</sub>, PM-10, Pb</li> <li>※ 공기질 유지기준 및 권고기준</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>항목: 먼지, CO, CO<sub>2</sub></li> <li>온도: 17~28℃</li> <li>습도: 40~70%</li> <li>기류: 0.5%</li> <li>조명: 100Lux</li> <li>※ 위생관리기준</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>항목: 먼지, CO, CO<sub>2</sub></li> <li>습도: 40~70%</li> <li>기류: 0.5%</li> <li>※ 중앙공조기 공급공기질 기준</li> </ul>
측정주기	년간 1회측정후 보고	반기 1회 자가 측정	중앙공조기 출구 공기질을 준공기 확인
환기설비 기준	환기설비, 공기정화설비 용량 및 시설기준 설정	없음	설치 및 구조 기준 설정
관리 수단	<ul style="list-style-type: none"> <li>기준초과시</li> <li>이행수단: 개선명령</li> <li>벌칙: 1년 이하 징역 또는 1천만원 이하의 벌금 또는 500만원 이하의 과태료</li> <li>환기설비 정상가동</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기준초과시</li> <li>이행수단: 경고, 사용금지 등 조치</li> <li>벌칙: 2년 이하 징역 또는 1천만원 이하의 벌금</li> <li>환기설비 정상가동</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기준초과시</li> <li>이행수단: 경고, 사용금지 등 조치</li> <li>벌칙: 2년 이하 징역 또는 1천만원 이하의 벌금</li> <li>환기설비 정상가동</li> </ul>

〈표 11〉 실내공기질의 국내외 규제 및 권고 기준

오염물질	PM10	중금속						SO2	NO2	CO	CO2	Rn	HCHO	식염
		Pb	Cu	Hg	Cd	Cr	As							
단위	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	ppb	ppb	ppm	ppm	pCi/l	ppm	개/cc	
환경부	대기환경 기준	150(24시간)	0.5 (연평균)	-	-	-	-	250 (1hr)	150 (1hr)	25 (1hr)	-	-	-	
	지하공기질 기준	150(24시간)	3 (24시간)	-	-	-	-	250 (1hr)	150 (1hr)	25 (1hr)	1,000 (1hr)	-	0.1 (24hr)	
보건복지부	공중위생 기준	150(TSP)	-	온도 17~28°C	상대습도 40~70%	기류 0.5%	조명 100 룩스 이상	-	-	10	1,000	-	-	
건설교통부	건축법공조 설비기준	150(TSP)	-	-	-	-	-	-	-	10	1,000	-	-	
노동부	산업안전 기준	10,000(TSP)	5	100	50	50	200	3,000	3,000	50	5,000	4	1	0.2~2
미 국	일반 생활환경	EPA	50(연평균)	-	-	-	-	-	50(연간)	-	-	4	-	
		ASHRAE	260(TSP)	-	-	-	-	-	-	9,000	2,500	2.7	0.1	
	노동 환경	NIOSH	-	-	-	-	-	-	1,000	35	5,000	-	0.1	
		OSHA	-	-	-	-	-	-	1,000	35	10,000	-	1	
ACGIH		2,000~ 10,000(TSP)	-	-	-	-	-	3,000	25	5,000	-	0.3		
일 본	일반 생활환경	건축 기준법	150(TSP)	-	-	-	-	-	10	1,000	-	-		
	노동법	산업위생 학회	-	-	-	-	-	5,000	50	-	-	2		
W H O	일반 생활환경	권고치	100~120 (8시간TSP)	-	-	-	-	-	75유립, 24시간	98시간	920	2.7	-	

현황을, 〈표 11〉에 국내의 실내공기질 항목별 규제 및 권고사항을 정리하였다.

#### 4. VOCs 제어기술

산업시설이나 환경오염방지시설(하수처리장 등)에서 발생하는 VOCs는 VOCs를 함유한 공기를 포집하여 biofilter 등 별도의 처리시설로 처리하지만, 주택 등에서는 이러한 시설을 설치 및 유지관리하는 것이 비경제적이기 때문에, 보다 근본적인 대책을 수립하여야 한다. VOCs 등 실내공기오염물질의 제어방법은 크게 다음 3가지로 구분된다.

- 발생원 제어(Source control) : VOCs 방출이 적은 건축 내장재의 사용, 연소가스 발생이 적은 연소기와 연료의 사용, 덕트의 청소, 습도 조절
- 제거(Removal) : 필터, 집진기, 공기청정기로 발생 오염 물질을 제거
- 희석(Dilution) : 신선한 공기로 실내를 유입시켜 실내공기를 희석하여 농도 저감

현재까지는 환기에 의한 희석 방법이 주로 이용되었고, 최근에는 물리화학적 흡착을 이용한 필터 제품에 의한 제거 방법이 늘어나고 있는 추세이나, 향후에는 VOCs 함량이 적은 자재를 사용하는 발생원 제거방법이 가장 적합한 방법일 것이다. 각각의 제어방법은 각 자재 및 오염물질마다 그 방법

이 매우 상이하므로 본고에서 상세한 설명은 다루지 않기로 한다.

#### 5. 결론

본고에서는, 최근 사회문제화 되어 있는 실내공기질 문제의 원인물질 중, 신경장해를 유발하면서 발암성까지 가지는 물질로, 가장 주목을 받고 있는 VOCs에 대해, 그 특성과 관리 현황을 알아보았다. 건강과 쾌적한 환경이 삶의 질의 가장 중요한 척도가 된 현 상황에서, 실내공기질 개선을 위한 VOCs 저감은 가장 먼저 해결되어야 할 과제라 할 수 있다.

VOCs는 기화하기 쉬운 유기화합물로, 대표적인 화합물

로 포름알데하이드, 톨루엔 등이 있다. 이들은 피로, 구토, 기억력 상실, 운동장애 등 각종 이상을 일으키며, Sick Building Syndrome 및 Sick House Syndrome의 주요 원인물질로 밝혀져, WHO와 각국에서 법으로 규제 및 관리되고 있다.

VOCs는 실외에서보다 실내공기에서 더욱 고농도로 검출되는데, 이는 그 발생원인이 세척 및 청소용품, 페인트, 접착제, 파티클 보오드, 방향제, 쏘약, 목재보존제, 곰팡이제거제, 제충제, 락커, 왁스, 니스, 염료착제, 벽지, 코킹 및 실런트제품, 발포형 단열재, 섬유형 보오드 등 가정 및 건축물에서 많이, 또는 필수적으로 사용되는 자재들이기 때문이다. 그러므로, 실내 VOCs 농도 저감을 위해서는 이들 자재의 VOCs 함량 저감이 중요한 과제이다.

#### 참고문헌

1. 환경부, 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구, 환경부, 2002. 2. 8.
2. 환경부 장관, 환경부고시 제2001-36호, 환경부, 2001. 3. 8.
3. 서울시립대학교 도시과학연구원, 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구, 환경부, 2002. 2. 8.
4. 김윤신 외, 휘발성유기화합물질 규제대상 설정 및 관리방안에 관한 연구, 환경부, 1997.
5. 김신도 외, 실내공간의 VOCs 특성 및 제어방안에 대한 기초조사, 환경부, 2001.
6. 환경부, 환경백서, 1999~2003.
7. 한화진, 유해 대기오염물질 규제에 관한 국내 대응방안 연구, 한국환경기술개발원, 1994.12.
8. 국내 VOC 관리의 현황과 문제점, 한국대기보전학회 측정분석과학 워크샵, 한국대기보전학회, 1997.
9. 김만규 외, 왁스청소에 기인한 실내공기 중 휘발성 유기화합물의 농도변화, 한국대기보전학회지, 제13권 제3호, pp. 221~229, 1997.
10. 한화진, 국내 VOCs 관리의 최근 동향 및 전망, 첨단환경기술 7월호, pp. 50~55, 2000.
11. 백성욱, 국내 실내공기질 관리의 중요성과 제도적 개선방안, 첨단환경기술, 1998.10.
12. 장재규, 실내공기질 관리 대책방향, 첨단환경기술, 2004. 1.
13. M. Maroni, A. C. Pickering, U. Risse, H. Rothweiler, B. Seifert and M. Younes, Total Volatile Organic Compounds(TVOC) in Indoor Air Quality Investigations, Indoor Air, Vol. 7, pp. 225~240, 1997.
14. US Environmental Protection Agency, Guidelines for Carcinogen Risk Assessment, Carcinogen Assessment Group, Office of Health and Environmental Assessment, Washington DC, 51 FR : 33992, September 24, 1996.
15. Perry & Green, Perry's Chemical Engineers' Handbook, McGraw Hill, 1997.