

7. 휘발성 유기화합물 제거

휘발성 유기화합물은 대기 중에서 광화학반응에 의해 오존을 생성하고 생성된 오존은 질소산화물등과 반응하여 2차 미세먼지로 변하기 때문에 휘발성 유기화합물 자체의 위험성과 동시에 미세먼지 저감을 위해서도 배출을 억제해야하는 물질이다. 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)이란 일반적으로 상온·상압에서 대기중에 가스 상태로 배출되는 탄화수소류의 물질을 말한다. 우리나라에서는 아세트알데히드·벤젠·휘발유 등 37개 물질을 휘발성 유기화합물 지정 고시(환경부고시 제 2012-130호, '12.7.27)하고 321개의 제품을 규제대상으로 하고 있다. 배출시설 외 관리대상(도료의 VOCs 함유기준 등)에는 '1기압 250°C 이하에서 최소 비등점을 가지는 유기화합물'(다만, 탄산 및 그 염류 등 국립환경과학원장이 정하여 공고하는 물질은 제외)을 규제대상으로 하고 있다. 이들 화합물의 배출원은 다양한데, 그 중 유기용제 사용에 의한 것이 전체 배출량의 62.1%로 가장 비중이 크며, 생산 공정 등에서 발생하는 것이 그 뒤를 이어 18.3%를 차지하고 있다. 휘발성 유기화합물 배출원 중 배출 비중이 가장 높은 유기용제 사용과정에서의 배출저감을 위해 도료의 VOCs 함유기준 설정 등 관리를 강화하고 있다. 제도 도입초기에는 수도권 지역에 대해서만 함유기준을 적용하였으나, 2013년 5월부터는 대상지역을 전국으로 확대하는 한편, 당초 건축용, 자동차보수용, 도료표지용 도료에만 적용하던 것을 공업용·선박용 도료까지 확대·시행('14.2)하고 있으며, 2015.1월부터는 도료 VOCs 함유 기준을 강화하여 적용중이다.

구분	계	유기용제 사용	생산 공정	도로 이동 오염원	폐기물 처리	에너지 수송·저장	비도로 이동 오염원	에너지 산업 연소	제조업 연소	비산업 연소	기타 면오염원
배출량 (비중,%)	911 (100%)	565 (62.1%)	167 (18.3%)	68 (7.4%)	49 (5.4%)	27 (3.0%)	20 (2.2%)	8 (0.9%)	3 (0.4%)	3 (0.3%)	1 (0.1%)

[그림 7-1. 주요 배출원별 연간 VOCs 배출량 ('12년 단위 : 천톤/년)]

(출처 : 환경부, 환경백서2015, 2016)

휘발성 유기화합물의 배출이 유기용제 사용에 의한 것이 가장 많으나 오존생성이 높은 대도시의 경우 대도시에 운행되는 자동차에 의한 양도 무시할 수 없을 정도로 많다. 도로오염원의 배출량이 전국 총배출량 911천톤의 7.5%인 68천톤인데 비해 수도권에서는 296천톤의 9.7%인 29천톤을 배출하고 있는 것으로 나타났다.

(단위 : 천톤/년)

구분	합계	CO	NOx	SOx	PM ₁₀	VOCs	NH ₃	
전국	배출량 합계	3,531	704	1,075	418	120	911	303
	도로이동 오염원 배출량 (비중)	880 (24.9%)	443 (62.9%)	346 (32.2%)	0 (0.0%)	13 (10.8%)	68 (7.5%)	10 (3.3%)
수도권	배출량 합계	939	265	275	36	10	296	57
	도로이동 오염원 배출량 (비중)	352 (37.5%)	187 (70.5%)	129 (46.7%)	0 (0.2%)	4 (40.4%)	29 (9.7%)	4 (6.9%)

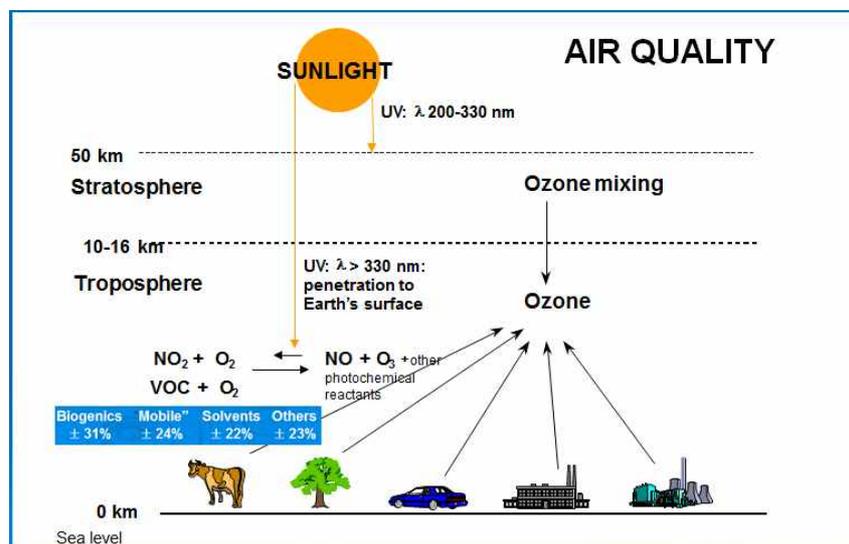
※ 자료 : 2012년 대기오염물질 배출량(국립환경과학원, '15.4), 비산먼지, 생물성 연소 및 식생 제외

[그림 7-2 자동차에서 나오는 오염물질 현황(전국, 수도권 '12년)]

잘 알려진 것과 같이 휘발성 유기화합물은 지표면에서 광화학 반응으로 오존생성, 독성 및 발암성으로 인체에 미치는 유해성이 크며, 성층권의 오존층 파괴 및 온실효과 유발기체로 지구온난화에 영향을 끼치는 물질로 알려져 있다. 휘발성 유기화합물 중에는 발암성물질인 방향족 탄화수소가 다수 포함되어 있다. 벤젠의 경우 백혈병과 중추신경장애를 일으키며 매우 낮은 농도의 벤젠에 노출되었던 사람에게도 염색체 변이가 일어나는 사례가 보고되고 있다. 오존의 경우 서울시 오존 경보 발생횟수가 2006년 3회에서 2014년 23회로 크게 증가하였으며 이는 기상조건 등 다양한 원인이 있지만 휘발성 유기화합물도 그 원인 중 하나로 작용하고 있다. 주요 휘발성 유기화합물의 오존생성 지수는 다음과 같이 보고되고 있다.

※ VOCs의 POCP(Photochemical Ozone Creation Potential)지수

ethylene 100, toluene 33±8, o-xylene 79±19, m-xylene 94±23, p-xylene 74±17, benzene 1±6, ethylbenzene 36±9, butyl acetate 14±2, styrene 7±31



[그림 7-3. 오존생성에 대한 VOCs의 역할, CES & Dow Corning Corporation]

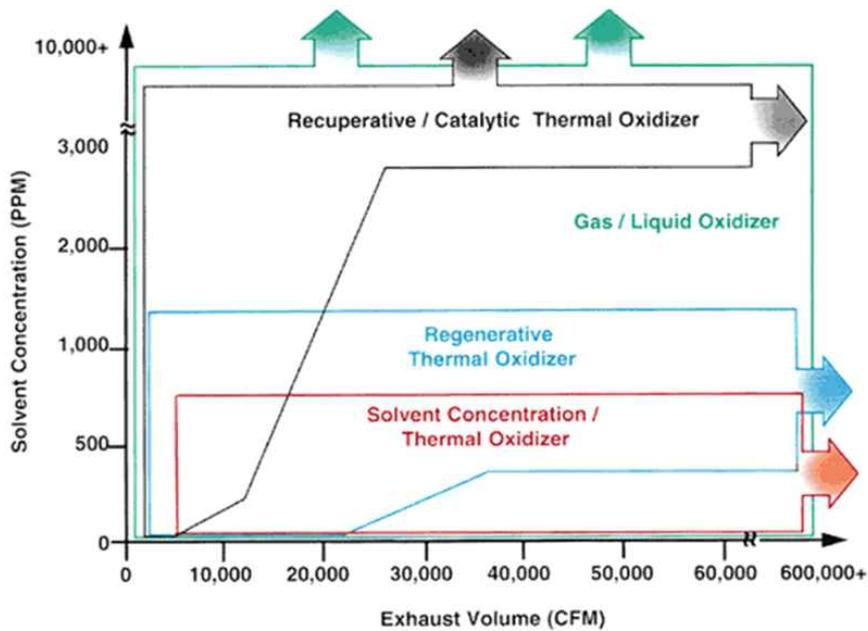
휘발성 유기화합물을 제거하기 위한 기술은 흡착법, 산화법, 촉매산화법등 다양한 기술들이 연구 개발되어 적용되고 있으며 각 기술의 장단점은 아래 표와 같다.

<표 7-1> VOCs 처리기술의 장단점 분석

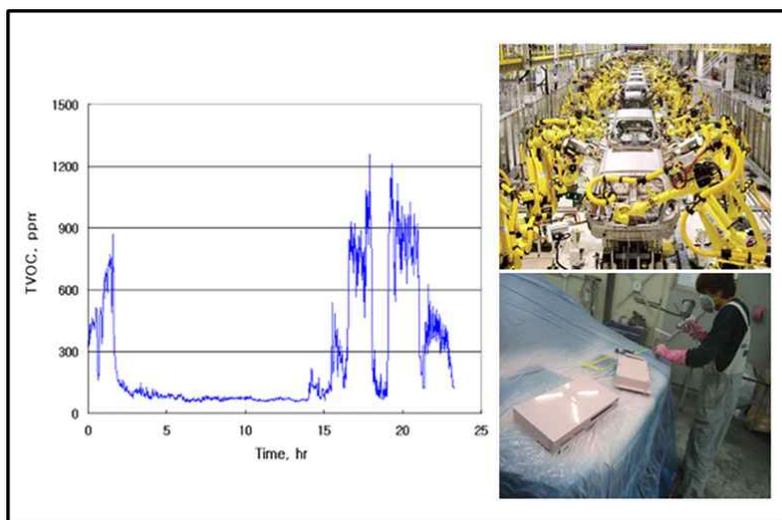
처리방법	장 점	단 점	유의점
직접연소법	Size가 compact. 장치비가 비싸다. 설치가 용이. 500Nm ³ /min이 풍량에 적합.	열회수 효율이 낮다. (최대 75%) NOx 생성이 비교적 많다. 고온으로 사용하므로 유지보수가 필요.	연소실 교환기 재질 선정 열교환기 열회수 효율 유지보수 방법
축열식연소법	높은 열효율(95%). NOx 생성이 적다(2~3ppm). 유지보수가 용이.	장치비가 많다. 장치가 크고 설치비가 많다.	전환 Value와 전환 Timing 축열층의 높이 운전온도 관리와 보온 연소실의 Design
촉매식연소법	연료소비량이 적다. NOx 생성이 적다 VOC 처리효율이 높다.	촉매독에 의한 성능저하. 촉매교환비 등 유지비가 많다.	처리가스의 성상 (먼지, 촉매독 외) 촉매반응조의 Design
흡착법	연료소비량, 운전비가 적다. NOx 생성이 없다. 흡착제 교환이 용이. 저농도, 대용량에 적합.	고도의 전처리제가 필요. 발화 방지대책이 필요	흡착제의 선정(용제의 종류) -활성탄 -소수성 제올라이트 -합성수지
생물여과법	연료소비량, 운전비가 적다. NOx 생성이 없다.	설치면적이 크다.	처리가스 성분의 조사 농도변동, 온도의 조절

위의 다양한 기술 적용은 여러 가지 요인을 고려해야 하지만 일반적으로 휘발성 유기화합물 농도와 배출량을 기준으로 아래 [그림 7-4]와 같이 나타나고 있다. 현재 휘발성 유기화합물을 대량으로 배출하는 공정에서는 촉매연소, 축열식 연소법 등이 적용되고 있고 작은 공정에서는 활성탄을 이용한 흡착법이 이용되고 있다. 휘발성 유기화합물을 실질적으로 저감하는 많은 노력이 있었음에도 불구하고 실효성이 크게 나타나지 않은 이유는 휘발성 유기화합물을 배출하는 소규모 영세사업장이 많기 때문으로 판단된다. 일례로 주거지에 인접해있는 국내 자동차 수리 및 관리 사업 등록 업체는 2012년 기준 3,535개로(국토교통부 자동차 정책과) 이러한 소규모 도장공정에 휘발성 유기화합물 처리 공정을 설치운영하기에는 설치공간의 협소성, 초기 설치비용 부담, 유지관리의 어려움을 극복할 수 있어야 하나 현실적으로 어려운 실정이다. 부산시 조사 결과 도장공정에 설치된 활성탄 흡착공정의 경우 활성탄 교체주기는 4 ~ 24일이

나 실제 사업장의 활성탄 교체주기는 6개월 ~ 1년으로 적절한 운영이 이루어지지 않는 것으로 나타났다.(부산광역시 보건환경연구원보 “도장공정에서의 THC 배출특성에 관한 연구, 2004) 또한 중소기업의 특성상 주문량에 따라 작업이 이루어지기 때문에 배출되는 휘발성 유기화합물도 간헐적이라는 특성이 있으며, 연속공정으로 조업할 수 있는 대기업에 비해 필요에 따라 휘발성 유기화합물 제거 장치를 쉽게 조작할 수 있는 작업자 친화성 공정이 필요하다.



[그림 7-4] VOCs 농도 및 유량에 따른 적용 저감 설비.



[그림 7-5. 중소형 공정의 간헐적 VOCs 배출]

정부에서는 미세먼지 대응을 위해 부처 간 벽을 허물고 과학기술을 통해 미세먼지 문제에 근본적, 혁신적 해결을 지원하기 위한 ‘과학기술기반 미세먼지 대응 전략’을 2016년 11월 발표하였다. 미세먼지 대응 중점기술 개발 분야로는 ① 발생, 유입 ② 측정, 예보 ③ 집진, 저감 ④ 보호, 대응 등 4대 분야의 해결책을 마련하고자 하고 있다. 집진 및 저감분야에서는 1차 미세먼지와 SOx, NOx 저감을 통한 2차 미세먼지 저감 기술개발이 포함되어 있으며 2차 미세먼지 유발요인 중 하나인 휘발성 유기화합물 저감 기술은 포함되어 있지 않다. 그러나 환경부를 주축으로 휘발성 유기화합물 저감 기술 개발에 꾸준한 투자를 하고 있어 향후 소규모 사업장에도 적용할 수 있는 실효성 있는 휘발성 유기화합물 저감 기술이 개발될 것으로 예측되며 이로 인한 미세먼지 감소가 기대된다.