

서울시 도장시설 VOCs 발생 및 오존생성기여도 분석

전혜준, 송민영
서울기술연구원 기술개발본부 기후환경연구실
e-mail: hjj223@sit.re.kr

Measurement of VOCs emissions and analysis of ozone creation potential during auto-repair operations in Seoul

Haejoon Chun, Min Young Song
Division of Climate and Environmental Research

요약

휘발성유기화합물은 도장시설, 세탁시설, 인쇄소 등 생활주변에서 지속적으로 배출되는 유해 대기오염물질이며, 오존을 생성하는 오존전구물질로써의 역할도 하고 있어 관리가 필요한 물질이다. 본 연구에서는 자동차 도장시설에서 발생하는 휘발성유기화합물의 배출특성을 분석하고, 개별 물질별 오존생성기여도를 계산하여, 오존생성반응성이 크고, 우선적으로 저감을 위한 노력과 관리가 필요한 물질을 분석하였다.

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

2018년 서울시 대기오염물질 배출량은 NO_x(질소산화물) 88,319톤(32%), VOCs(휘발성유기화합물) 72,393톤(26%), CO(일산화탄소) 59,091톤(21%) 등 NO_x > VOCs > CO > TSP > PM10 > PM2.5 > NH₃ > BC > SO_x 순으로 나타났다. VOCs의 경우 서울시 전체 배출량의 약 26%를 차지하여 관리가 필요한 주요 오염물질로 손꼽히고 있으며, 특히 도장시설, 세정시설, 세탁시설, 기타 유기용제 사용 분류를 포함한 유기용제 사용 부문에서 배출량 기여도가 가장 높다. 서울시 유기용제 사용 부문 중 기타 유기용제 사용의 VOCs 배출량 기여 비중이 55%로 가장 높고, 도장시설이 38%, 세탁업이 7%, 세정시설이 0.5%로 높은 배출률을 기록하여, 기타 유기용제 사용부문을 제외하면, 도장시설 발생 VOCs에 대한 특성분석과 체계적 관리가 필요한 것을 확인할 수 있다.

서울시는 VOCs 주요 배출원인 도장시설에 대해 VOCs 배출 기준을 별도의 조례로 규정하고 있으며, 2008년을 기준으로 도장시설에 대한 구분을 연속식 및 비연속식 도장시설로 나누고, 탄화수소(THC)의 배출허용기준을 각각 40ppm이하, 100ppm 이하로 나누어 설정하고 있다.

일부 VOCs는 대기 중에서 광화학 반응을 통해 오존을 생성하는 오존전구물질로 분류되며, 2차 미세먼지 생성에도 영

향을 미친다. 또한 VOCs는 개별물질마다 오존을 생성할 수 있는 가능성을 나타내는 오존생성반응성이 다르고, 일반적으로 에틸렌을 기준으로 개별 물질이 광화학스모그를 유발시키는 정도를 나타내는 POCP, 개별 물질이 1시간에 생성할 수 있는 최대 오존량을 나타내는 MIR을 이용하여 오존생성반응성을 수치로 비교한다.

본 연구에서는 서울시 VOCs 주요 배출원 중, 도심 내 산재되어있고 시민 건강과도 밀접한 연관이 있는 자동차 도장시설을 대상으로 작업 중 발생하는 VOCs 물질의 발생특성을 확인하고, 오존생성반응성을 고려하여 주요 오존전구 원인물질 파악하고, 오존 저감방안을 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 연구 방법

2.1 서울시 도장시설 VOCs 배출 현장조사

2.1.1 현장측정 대상장소

서울시 소규모 도장시설 현장에서 VOCs 발생 특성을 파악하기 위해 서울시 내에 자동차 수리 도장시설 총 2개소를 섭외하여 현장측정 대상 장소로 선정하였다. 유성페인트를 사용하는 유성 도장시설 1개소, 수성페인트를 사용하는 수성 도장시설 1개소를 현장 방문하여 조사하였다.

2.1.2 현장측정 대상물질

서울시 소규모 도장시설 현장에서 발생하는 대기오염물질 특성을 파악하기 위해 총탄화수소(THC)를 실시간 측정하고

VOCs를 포집하여 분석하였다. 본 연구에서는 THC 측정을 위해 실시간 측정기기인 Thermo Scientific TVA 2020 Vapor Analyzer로써 FID(불꽃 이온화 검출기) 검출기가 장착된 기기를 사용하였고, 개별 VOCs는 고체흡착관으로 포집한 뒤 GC/MS(Agilent HP-6890, USA)를 이용하여 화학성분을 분석을 진행하였다.

2.1.3 오존생성기여율 계산

VOCs 개별물질에 대해 오존생성반응성을 기반으로 오존생성기여율을 계산하기 위하여 POCP와 MIR 계산과정을 수행했으며, 계산식은 다음과 같다.

$$\text{오존생성기여율}_{POCP} = \frac{POCP_{VOC}}{POCP_{ethylene}} \times C_{VOC} \quad (1)$$

$$\text{오존생성기여율}_{MIR} = C_{VOC} \times MIR_{VOC} \quad (2)$$

이를 통해 오존전구물질의 오존생성기여율을 주요 우선순위를 정리하였다.

3. 결과

3.1 서울시 도장시설 THC 현장측정 결과

[표 1]은 서울시 도장시설 THC 현장측정 결과를 나타낸 것이다. 전 공정을 대상으로 실시간 측정을 진행한 결과, 유성도장시설에서는 경우 Inlet과 Outlet에서 각각 76 ppm, 72 ppm으로 측정되었고, 수성 도장시설의 경우 이보다 약간 낮은 수준인 38 ppm, 21 ppm으로 각각 측정되었다.

[표 1] 서울시 도장시설 THC 현장측정 결과
(단위 : ppm)

	도장시설1 (유성)		도장시설2 (수성)	
	IN	OUT	IN	OUT
Average	76	72	38	21
Max.	227	204	356	129
Min.	28	13	5	2

3.2 서울시 도장시설 VOCs 현장측정 결과

[표 2]는 서울시 도장시설 VOCs 개별물질 측정 결과를 나타낸 것이다. 도장작업이 진행될 때, inlet에서 VOCs 물질을 포집하여 성분 분석한 결과, 유성도장시설과 수성도장시설 상위 5개 물질 중 Butyl Acetate, m,p-Xylene, Toluene, o-xylene 4개 물질이 공통적으로 검출되었으며, 상위물질 모두 유성사업장에서 조금 더 높은 수준으로 검출되었다.

[표 2] 서울시 도장시설 VOCs 개별물질 측정 결과

순위	도장시설1 (유성)			도장시설2 (수성)		
	물질	농도 (ppb)	비율 (%)	물질	농도 (ppb)	비율 (%)
1	Butyl Acetate	1,290	23	Butyl Acetate	960	17
2	m,p-Xylene	1,131	20	m,p-Xylene	948	17
3	Toluene	711	12	Toluene	720	13
4	o-Xylene	663	12	o-Xylene	493	9
5	Ethylbenzene	425	7	Octane	357	6

3.3 서울시 도장시설 오존생성기여율 계산

[표 3]은 서울시 도장시설 개별 VOCs 측정결과를 바탕으로 POCP, MIR 계산식을 사용하여 오존생성기여율을 도출한 것이다. 상위 기여도 물질을 계산하여 결과, 유성사업장, 수성사업장에서 공통적으로 m,p-Xylene, Toluene, 1,2,3-Trimethylbenzene 물질의 오존생성기여율이 높게 나타났으며, POCP와 MIR 계산식 차이에 따라 기여율도 조금씩 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

순위	도장시설1 (유성)			도장시설2 (수성)		
	물질	POCP (%)	MIR (%)	물질	POCP (%)	MIR (%)
1	m,p-Xylene	29	34	Toluene	30	19
2	Butyl Acetate	12	4	Cyclopentane	13	9
3	o-Xylene	12	15	m,p-Xylene	13	19
4	1,2,3-Trimethylbenzene	11	13	Isopentane	8	5
5	Toluene	9	8	1,2,3-Trimethylbenzene	4	6

참고문헌

[1] 국가미세먼지정보센터(<https://airemiss.nier.go.kr/>)

본 연구는 서울기술연구원 (과제번호: 2021-AE-002, 서울시 오존생성 VOCs 배출시설의 특성 및 오존저감방안 연구)의 지원을 받았습니다.