

# 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<sub>x</sub>(질소산화물) 88,319톤(32%), VOCs(휘발성유기화합물) 72,393톤(26%), CO(일산화탄소) 59,091톤(21%) 등 NO<sub>x</sub> > VOCs > CO > TSP > PM<sub>10</sub> > PM<sub>2.5</sub> > NH<sub>3</sub> > BC > SO<sub>x</sub> 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.