2020-SR-14

소규모 도장시설 배출 VOCs 관리방안

송민영 최우석 전혜준 이기용

서울기술연구원

서울과학기술대학교
Seoul National University of Science and Technology

소규모 도장시설 배출 VOCs 관리 방안

연구책임

송민영 기후환경연구실 수석연구원

연구진

최우석 기후환경연구실 수석연구원
전혜준 기후환경연구실 전임연구원
이기용 기후환경연구실 전임연구원

이 보고서의 내용은
서울특별시의 정책과 다를 수 있습니다.

휘발성유기화합물(VOCs) 저감 및 관리의 필요성은 증대되지만, 도심 내 소규모 사업장의 배출 및 관리를 위한 노력은 여전히 부족.
소규모 사업장 VOCs의 관리로 미세먼지(PM2.5)와 오존(O_3) 문제 동시 대응 전략 마련을 위해 배출원 중심의 실효성 있는 대기오염 저감 정책 실현 및 관리 제도 활성화 필요.

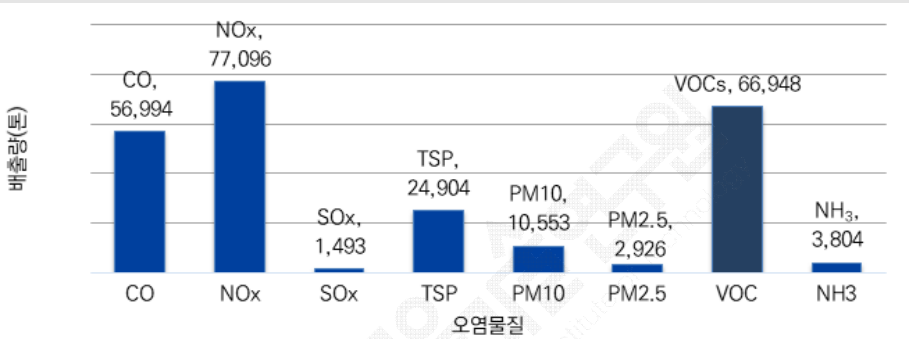
휘발성유기화합물(VOCs)은 생활 주변에서 지속적으로 배출되는 유해물질이며, 초미세먼지(PM2.5)와 오존(O_3) 생성에 관여하는 물질

휘발성유기화합물(VOCs)은 가스상의 대기오염물질로 대규모 산업단지뿐만 아니라 세탁업, 인쇄업, 음식업, 자동차정비업, 도장업 등 생활환경 주변에서 지속적으로 배출되는 유해물질이며, 대기 중 화학반응의 영향으로 오존(O_3)과 미세먼지(PM2.5) 생성의 원인이 되기도 한다. 또한 VOCs는 물질에 따라 독성을 띠며 일부 성분은 발암성 물질로 알려져 있고, 장기간 노출 시 신경계, 호흡계에 유해 영향을 미칠 수 있으므로 집중 관리가 필요하다. 미세먼지, 가스상 물질 등 대기오염물질 발생과 건강에 미치는 영향에 국민적 관심이 증가하고 있으며 관리 강화 요구도 증가하고 있다. 이에 따라 2020년도부터 환경부는 국내 유기용제 사용에 따른 VOCs 관리 배출허용 기준을 강화(비연속식 도장시설/탄화수소 THC 200ppm → 110ppm 이하)하였다. 정부에서는 「미세먼지 종합관리계획」, 「수도권 대기환경관리 기본계획」, 「국내 융기용제 사용 부문 VOCs 관리 대책」 등을 수립하였고, 서울시는 「생활권 오염원의 그물망 관리대책」 마련을 통해 대기배출시설 관리 방안을 추진 중이며 VOCs 관리의 중요성 및 필요성을 강조하고 있다.

PM2.5 및 O_3 저감을 위해 VOCs 대형 배출시설은 일부 관리하고 있으나, 도심 내 생활주변의 소규모 배출시설 관리는 미흡한 실정이다. 전국 대기배출사업장 5만 6,584개소 중 소규모 사업장이 92%(5만 2,221개소)를 차지하나 대부분 영세하여 방지시설 개선 및 대기 배출 관리에 어려움을 겪고 있다. 소규모 배출시설 사업장 대부분은 4, 5종 사업장으로 분류되어 VOCs 처리 및 관리의 실효성은 매우 낮은 실정이다.

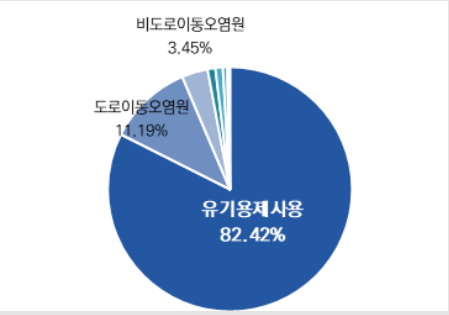
국내 VOCs 배출량은 증가 추세로 유기용제 사용 부문 배출에서 도장시설 비율이 가장 높은 수준

최근 10년간(2008~2017년) 유기용제 사용 부문의 VOCs 배출량을 분석한 결과, 지난 10년간 완만하게 증가하는 추세를 보였다. 2017년도 수도권(서울·경기·인천)의 연간 유기용제 사용 부문의 VOCs 배출량은 21만 8,480톤으로 전국 배출량의 38.8%로 매우 높은 비중을 차지하는 것으로 분석되었다.

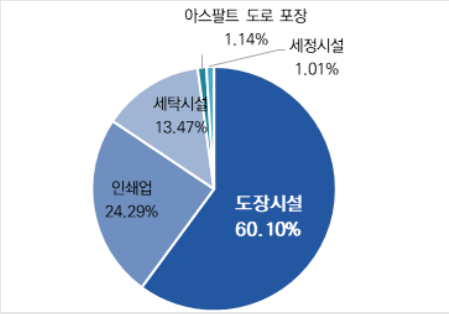


[그림 1] 서울시 오염물질 배출량

2017년 기준, 서울시의 배출원별 VOCs 총 배출량은 6만 6,948톤이며, 그중 유기용제 사용량에 따른 부분이 가장 많은 5만 5,180kg으로 총 배출량의 82.4%를 차지하고 도로이동오염원이 11.2%, 비도로 이동오염원이 3.5%를 차지했다. 유기용제 사용 부문에서 도장시설의 배출량은 1만 7,523kg로 유기용제 총 배출량의 약 60.1%를 차지하여 VOCs 배출량 기여도가 가장 높은 것으로 나타났다.



[그림 2] 서울시 VOCs 배출원별 배출 비율



[그림 3] 서울시 유기용제 사용 VOCs 비율

도심 내 소규모 배출시설 사업장의 대기오염물질 배출 관리 필요성 대두

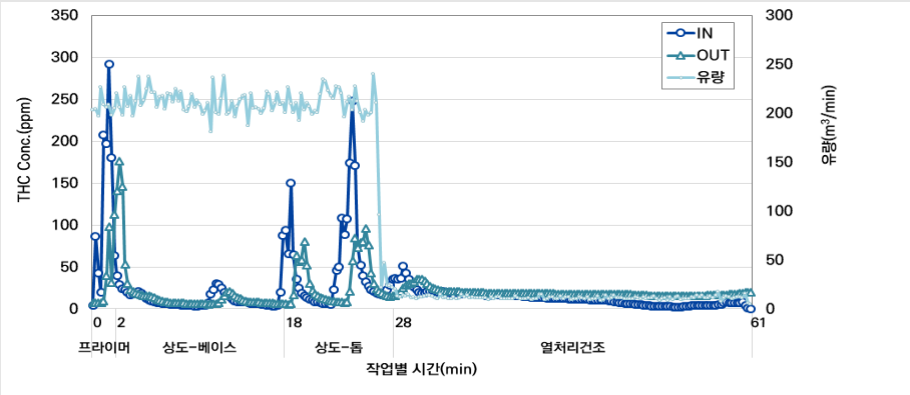
대기환경보전법에 따른 사업장 분류를 기준으로 현재까지 1~3종의 대형 사업장을 중심으로(대기오염물질 발생량의 합계가 연간 10톤 이상) 배출량 산정 및 배출 저감에 관한 연구가 집중적으로 이루어졌다. 4, 5종의 소규모 사업장(대기오염물질 발생량의 합계가 연간 10톤 미만)은 대형 사업장과 달리 별도의 방지시설 없이 대기 중으로 오염물질이 배출되는 경우도 있으며, 특정 화학물질 혹은 배출원에 따른 발생이 아니므로 관리에 어려움이 많은 실정이다. 또한 전문 환경기술인 인력 확보가 어렵고 자체 방지시설 설치 및 유지관리 등 배출원과 저감 대응 관리가 미흡하다.

특히 4, 5종 사업장은 도심 내 밀집 주거지역에 위치하고 있어 오염물질 노출, 악취 등 시민 피해를 가중시킬 위험이 있기 때문에 소규모 대기배출 사업장의 배출원 조사, 배출 특성 분석, 방지시설 효율 파악 등을 통해 방지시설의 관리와 지속적인 유지관리 방안 마련이 필수적이다.

소규모 도장시설 VOCs 성분별 특성 분석 결과 Toluene, Butyl Acetate, Ethylbenzene 성분 등이 상위 검출. THC 농도는 160~500ppm 수준

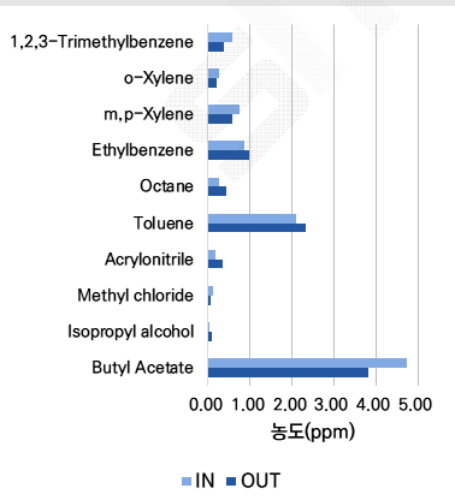
4, 5종 사업장인 소규모 도장시설의 VOCs 배출 특성을 확인하고 방지시설 운영 현황을 파악하기 위하여, 자동차 수리업체 3개 업소(기존 방지시설 설치업소 1개소, 신규 방지시설 설치업소 2개소)를 대상으로 도장 작업 시 발생한 총탄화수소(THC) 농도를 측정하고 VOCs 성분별 분석을 진행하였다. 프라이머, 실러, 상도, 열처리 건조 공정을 진행하는 동안 방지시설 전단인 도장부스 내 방지시설 유입구와 방지시설 후단인 방지시설 배출구에서 THC 측정과 공정별로 VOCs 시료를 채취하였다.

THC 농도의 경우 유색도료를 사용하는 상도 공정에서 보통 측정값이 가장 높은 수준을 기록하였으며 최고치는 160~500ppm 수준이었으며, 이후 열처리 공정에서 THC 농도가 점진적으로 낮아지는 특성을 나타냈다. 일반적으로 유입구의 농도보다 배출구의 농도가 낮게 나타나는 추이를 보였으며, 방지시설을 통과하며 오염물질의 농도가 낮아진 것으로 판단된다.

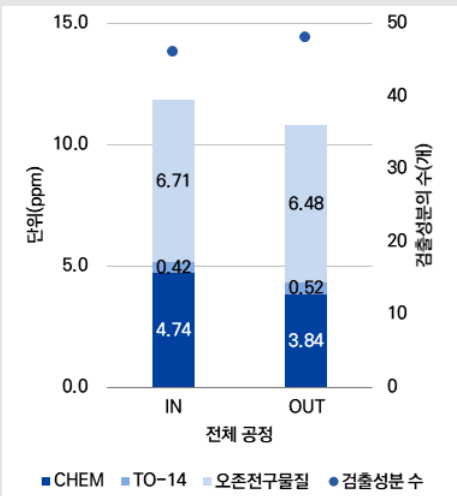


[그림 4] THC 농도 변화 추이 분석

VOCs를 독성물질 42종, 오존전구물질 50종, 악취영향물질(CHEM) 10종을 성분별로 분석한 결과 오존전구물질의 총 합계 농도가 가장 높게 나타났으며. 전 공정에서 Toluene, Butyl Acetate, Ethylbenzene, m,p-Xylene 성분 등이 상위 검출 항목으로 분석되었다. VOCs 농도 합계를 분석한 결과 각 공정에서 유입구의 VOCs 농도 합계보다 배출구의 VOCs 농도 합계가 더 낮은 경우가 대부분이었으나, 일부 공정에서는 유입구보다 배출구의 농도가 더 높게 측정된 경우도 확인되었다.



[그림 5] 상위 검출 VOCs 물질농도



[그림 6] VOCs 성분별 분석

소규모 도장시설의 방지시설 운영 현황 파악 및 방지효율 측정 결과, 방지시설은 설계 풍량 대비 낮은 풍량으로 운전되고, 활성탄 충전량 대비 방지효율 낮음

위의 THC 농도 측정값을 기반으로 3개 업소(기존 방지시설 설치업소 1개소, 신규 방지시설 설치업소 2개소)의 방지효율을 계산하였다. 신규 방지시설 설치업소는 정부 및 지자체에서 추진한 소규모 방지시설 설치 지원사업으로 2020년에 방지시설을 신규로 설치한 업체이다. 그 외에도 방지시설 규격, 풍량, 활성탄 두께, 부피, 충전량, 단면적 등 방지시설 운영 현황 파악을 위해 현장 방문 조사를 진행하였다.

현장 조사 대상 자동차 수리 도장 3개 업소의 방지시설 VOCs 제거 기술은 활성탄 흡착탑을 활용한 시설이다. THC 기준으로 기존 방지시설 설치업소의 방지시설 제거효율은 27.1%였으며 신규 방지시설 설치업소의 방지시설 제거효율은 41.0%, 40.5%로 나타났다.

3개 업소의 방지시설 운영 현황을 살펴본 결과, 기존 설계 풍량과 비교해 낮은 풍량으로 운전되고 있었다. 또한 활성탄이 적은 양으로 충전되어 있거나, 이론적 활성탄 교체 주기에 맞는 활성탄 교체 등이 이루어지지 않아 방지시설 유지관리가 원활하게 이루어지지 않는 것으로 보인다. 비교적 낮은 방지효율의 원인은 이전 작업 과정에서 활성탄 흡착제에 유입되었던 물질의 탈착 혹은 설계 인자에 비해 실측 풍량이 현저하게 낮아 방지시설 외에 도장부스 외부로 오염물질이 비산 배출되거나 도장부스 내부에 잔여 물질이 상당히 많을 것으로 예상된다.

[표 1] 본 연구 현장 조사 대상 업체별 방지시설 현황 및 측정 결과

구분	연구진 측정 결과		설계 풍량		활성탄 두께	활성탄 부피	활성탄 충전량	활성탄 교체 주기 (이론적 계산)
	방지시설 효율	풍량						
	%	Sm^3/min	m^3/min	m/s	mm	m^3	kg	day
AA 사업장	27.1%	225	380	6.3	50	0.24	120	7.4
BB 사업장	41.0%	212	380	6.7	90	0.68	340	20.9
CC 사업장	40.5%	45	400	6.7	100	1.02	510	31.4

현장조사 및 VOCs 배출 특성 파악을 통한 소규모 도장시설의 배출 VOCs 처리 문제점 분석

소규모 도장시설 중 자동차 수리 정비업체의 방지시설 현황조사와 VOCs 특성 분석을 파악한 결과를 바탕으로 배출 VOCs를 처리하는 과정에서 몇 가지 문제점을 분석하였다. ①적은 도료사용량, 분무량 및 운전시간 설정의 문제이다. 방지시설의 도료 사용량을

산정할 때 실제 작업량(과다사용)을 고려하지 않고 사용량을 산정하는 경우가 많은 실정이며, 도료 휘발분 함량이 불명확하고, 희석액 사용량이 작업자에 따라 매우 다양하여 분무량을 근거로 계산되는 VOCs 발생량 또한 설계값과 매우 큰 차이를 보인다. 또한 정확한 운전시간의 산출이 어렵다는 문제점이 있었다. ②실제 현장에서 사용되는 도료에 함유된 VOCs 종류는 최소 50종으로 모든 성분의 구성비와 농도를 반영하여 방지시설 설계가 어렵고 ③도장 부스 내에서는 도장공정(실온)과 건조공정(60°C)이 비연속적으로 교대로 진행되고 공정별 온도 변화(실온 → 60°C)에 따라 흡착탑의 성능을 일정하게 유지하기가 어려워 고온 및 고유량 조건에서 열탈착 배출 우려가 있다. ④일반적으로 현재 흡착능이 낮은 불량 활성탄이 만들어져 국내에 유통되고 있으며, 활성탄 흡착능에 관한 규격 및 규정이 없는 상황이다. 또한 흡착능 과잉 산정의 문제로 교체주기(6개월) 이전에도 오염물질의 배출 농도가 매우 높을 수 있어 방지시설의 성능 확보에 매우 큰 문제를 야기한다.

소규모 도장시설 VOCs 배출 저감을 위해 사용 도료의 VOCs 배출 관리와 방지기술 효율 향상을 고려한 관리 방안 마련

소규모 도장시설의 사용 도료의 VOCs 배출 저감을 위한 관리 방안을 마련하였다. 도료의 VOCs 배출을 저감하기 위하여 ①도료 보관 및 관리 방법의 개선이 필요하다. 국소배기시스템 및 보관함을 이용하여 도료통마다 VOCs가 휘발되지 않도록 밀폐가 되도록 하고 ②밀폐 세척 장비를 이용하여 세척 시에 방출되는 VOCs를 저감하도록 한다. ③가능한 한 수성도료를 사용하여 VOCs 배출량을 줄이고 ④도장부스 내부에서 모든 작업별 공정을 진행하도록 하여 VOCs가 외부로 비산 배출되지 않도록 한다.

방지기술 효율의 향상을 위해 ①도장시설의 대기오염물질 배출 공정의 특성을 검토하고 ②가스 유량, 온도 및 압력 범위 등 설계 인자들을 고려하여 최적 방지기술을 선정해야 한다. 하지만 도장시설 운영 업체 또한 방지시설 설치 및 시공 비용, 운전 및 관리 비용, 설치면적, 방지시설의 효율 등을 함께 고려함으로써 현실적으로 활성탄 흡착탑을 가장 많이 설치하고 있는 상황이다.

따라서 활성탄 흡착탑 성능 향상 및 관리를 위해 ①활성탄 흡착탑 설계 시 공탑 속도, 체류시간, 유효흡착량, 활성탄 충전량, 활성탄 흡착층 두께, 적용 가능 온습도, 전처리 설비 구축 등 다양한 요소를 고려하여 설계하고, 유지관리를 위하여 ②배출 농도, 재생 유무, 흡착량 등을 고려하여 적정 교체주기를 준수하고 품질 관련 인자를 확인하여 고효율의 활성탄을 구매하는 노력이 필요하다.

소규모 도장시설 VOCs 배출 저감, 관리를 위한 기술적·정책적 개선 방안 제안

앞서 설명한 소규모 도장시설 VOCs 배출의 문제점과 개선점 도출을 기반으로 기술적, 정책적으로 개선되어야 할 방안을 제안한다.

기술적 개선을 위한 방안으로 소규모 도장시설에서 배출되는 VOCs를 단순 THC 농도뿐만 아니라 신규 배출물질 및 오존전구물질 등 관리 목적에 부합하는 물질별 오존전구물질 조사(배출량, 주변농도 조사)가 필요하며 이를 반영한 정책 추진을 위해 VOCs 개별 물질에 대한 시공간 배출 특성 자료 확보가 필요하다. 즉, ①도료 성분 변화에 따른 배출 물질종(speciation) 자료 확보가 필요하다. 또 지금까지 중앙정부 및 지자체의 R&D 사업으로 다양한 환경기술 및 방지기술이 상용화되었으나, 대부분이 대규모 배출원에 적용 가능한 최고 성능을 목적으로 개발되어 소규모 시설 적용이 어렵고 유지관리가 쉽지 않다. 따라서 ②소규모 사업장에 적용 가능한 맞춤형 고효율 VOCs 처리장치 개발과 고성능 흡착제의 개발이 필요하고 ③IoT 기반 상시모니터링 시스템 구축과 관리가 필요하다. 이는 VOCs 센서를 이용하여 실시간으로 농도를 측정하고 그 결과를 웹기반에 데이터화하여 모니터링 할 수 있는 IoT 기반 상시모니터링 구축을 통해 방지시설의 운전 상태 및 흡착제의 성능 저하, 교체주기 산정에 효율적으로 활용하고, 소규모 방지시설의 운전 상태 파악, 흡착제 교체주기 및 유지관리 필요 시점을 예측하고 대응할 수 있다.

정책적 개선을 위한 방안으로는 ①도료 보관 및 도장 전처리에서 VOCs 비산 대책과 ②방지시설 설계 및 유지관리 기준 마련 ③활성탄 흡착능 기준 설정 및 평가가 필요하다. 또한 ④현장 환경관리 지도 지침, 관련 규정의 개선과 ⑤방지시설 설계·설치 유지관리를 위한 IoT 기술 도입과 관련 지침서 마련 ⑥정부 및 지자체의 VOCs 방지효율 유지 및 향상을 위한 활성탄 교체 지원 혹은 인센티브제도 마련 등을 통한 실효성 있는 지원 사업 추진되어야 한다.

서울과학기술대학교
Seoul National University of Science and Technology

목차

목차

01 연구 개요

1. 연구 배경 및 목표 2
   1-1. 연구 배경 및 필요성 2
   1-2. 연구 목표 4

2. 연구 내용 및 절차 4
   2-1. 연구 내용 4
   2-2. 연구 추진 방법 5

02 국내외 소규모 도장시설 관리 현황

1. 국내외 휘발성유기화합물(VOCs) 관리제도 8
   1-1. 휘발성유기화합물(VOCs)의 개요 8
   1-2. 국내 VOCs 규제 및 관리 정책 9
   1-3. 국외 VOCs 규제 및 관리 정책 21

2. 국내외 소규모 도장시설 대기 배출시설 관련 규정 25
   2-1. 국내 소규모 도장시설 관련 규정 25
   2-2. 국외 소규모 도장시설 관련 규정 32
   2-3. 국내외 소규모 사업장 관리 사례 39

03 서울시 소규모 도장시설 현황 및 특징

1. 소규모 도장시설 대기 배출 현황 42
   1-1. 국내 VOCs 배출량 현황 42
   1-2. 유기용제 사용 부문 VOCs 배출량 현황 43
   1-3. 유기용제 사용 부문의 중분류 VOCs 배출 현황 44
   1-4. 지역별 도장시설에 따른 VOCs 배출량 현황 45
   1-5. 지역별 자동차 수리에 따른 VOCs 배출량 현황 46

2. 서울시 소규모 도장시설 배출원 파악 47
   2-1. 전국 대기오염 배출시설 현황 47

2-2. 서울시 소규모 도장시설 현황 48
2-3. 전국 자동차 수리업체 현황 49
2-4. 서울시 자동차 수리 도장시설 및 VOCs 배출 현황 51

04 서울시 소규모 도장시설 배출 VOCs 특성

1. 도장 공정별 VOCs 배출 특성 조사 54
1-1. 자동차 도장 공정 54
1-2. 도료의 종류 및 용도 58
1-3. 자동차 도료 MSDS 63

2. 도장시설 배출 VOCs 측정 지점 및 방법 65
2-1. 측정 지점 선정 방법과 기준 65
2-2. THC 측정 방법과 기준 66
2-3. THC 측정 방법 제안 67
2-4. 도장시설 THC와 VOCs 성능 분석 방법 72

3. 도장시설 배출 VOCs 배출 특성 분석 77
3-1. 도장시설 배출 THC 현장 농도 77
3-2. 도장시설 배출 VOCs 현장 농도 82
3-3. 기존 및 신규 방지시설 제거 효율 111

05 소규모 도장시설 방지기술 분석

1. 소규모 도장시설 적용 방지시설 현황 114
1-1. 국내 도장시설 적용 방지기술 현황 114
1-2. 서울시 적용 4, 5종 사업장 방지기술 현황 116
1-3. 서울시 자동차 수리 도장시설 현황 116
1-4. 대기오염 방지기술 현황 118

2. 소규모 도장시설 방지시설 분석 및 현장 실태 124
2-1. 활성탄 흡착탑 저감 원리 124
2-2. 활성탄 종류 및 적용 126
2-3. 흡착탑 적용 현장조사 및 관리 실태 128

3. 소규모 도장시설 배출 VOCs 처리 문제점 분석 142
3-1. 적용 도료 사용량, 분무량 및 운전시간 설정 문제 142
3-2. 설계치에 적용한 대표 VOCs 선정 문제점 143
3-3. 흡착제 흡착능을 고려하지 않은 획일적 반영 문제 143
3-4. 열풍 건조 시 열탈착에 따른 배출 145

06 소규모 도장시설 배출 VOCs 저감 및 관리 방안

1. 도장시설 VOCs 배출 저감 방안 148
   1-1. 도료 VOCs 배출 저감 방안 148
   1-2. 방지기술 효율 향상 방안 153
   1-3. 방지시설 선정 시 고려사항 155

2. 소규모 도장시설 배출 VOCs 관리를 위한 개선 방안 제안 158
   2-1. 기술적 개선 방안 158
   2-2. 정책적 개선 방안 160
   2-3. 결론 163

참고문헌 167

부록 169

Abstract 179

표 목차

[표 1-1] 세부 연구내용 4

[표 2-1] 휘발성유기화합물 규제제품 및 물질명 9
[표 2-2] 휘발성유기화합물을 배출하는 시설의 종류 및 규모(제2조 관련) 10
[표 2-3] 휘발성유기화합물 배출억제·방지시설 설치 등에 관한 기준(제3조 관련) 11
[표 2-4] 특정대기유해물질 규제제품 및 물질명 12
[표 2-5] 설치 허가 대상 특정대기유해물질 적용 기준 12
[표 2-6] 지정악취물질 배출허용기준(악취방지법 시행규칙 별표 3) 13
[표 2-7] 대기환경규제지역 지정 현황 15
[표 2-8] VOCs 배출규제 추가 지역 15
[표 2-9] 2024년 목표 삭감량 16
[표 2-10] 국내 배출 감축 추진과제 17
[표 2-11] 권역별 대기질 개선 목표(PM2.5) 및 오염물질별 배출량 삭감률 18
[표 2-12] 2차 수도권 대기환경관리 기본계획 추진과제 18
[표 2-13] 2차 수도권 대기환경관리 기본계획 대기 개선 목표 19
[표 2-14] 미세먼지 시즌제 9대 핵심 대책 19
[표 2-15] 미세먼지 시즌제 7대 지원대책 20
[표 2-16] 주요 분야 및 과제 내용 20
[표 2-17] 주요 VOCs 배출원별 규제량 22
[표 2-18] 스웨덴 도료의 VOC 규제 기준 24
[표 2-19] 스웨덴 자동차 수리 및 도장 시 VOC 규제 기준 25
[표 2-20] 소규모 도장시설 대기오염배출시설 기준 26
[표 2-21] 국내 도장시설 배출허용 기준 26

[표 2-22] 서울시 도장시설 배출 VOCs 기준 27
[표 2-23] 자동차 수리용 도료의 VOCs 함유 기준 29
[표 2-24] 자동차 보수용 도료 환경표지 대상 인증 기준 31
[표 2-25] 자동차 및 초경량 트럭의 표면코팅의 VOCs 배출허용 기준 33
[표 2-26] 광화학 반응성이 작은 VOCs 목록 34
[표 2-27] 페인트 및 바니시의 VOCs 배출한계량 기준 36
[표 2-28] 자동차 도료제품의 VOCs 배출한계량 기준 37
[표 2-29] 일본의 VOCs 배출허용 기준 39

[표 3-1] 국내 유기용제 사용 부문 VOCs 배출원 중·소분류 44
[표 3-2] 국내 4, 5종 사업장 및 배출시설 현황 47
[표 3-3] 전국 자동차 수리업체 현황 50

[표 4-1] 도료의 종류와 VOC 함량 58
[표 4-2] 유성 페인트와 수성페인트의 비교 58
[표 4-3] 수성·유성 도료 재료비 비교 60
[표 4-4] 전처리용 도료 종류별 특징 60
[표 4-5] 하도 및 중도 도료의 종류별 특징(1) 61
[표 4-6] 하도 및 중도 도료의 종류별 특징(2) 61
[표 4-7] 상도 도료 종류별 특징(1) 62
[표 4-8] 상도 도료 종류별 특징(2) 62
[표 4-9] 퍼티 제품 63
[표 4-10] 프라이머 제품 63
[표 4-11] 서페이서 제품 64
[표 4-12] 유색 도료 제품 64
[표 4-13] 대기오염공정시험 방법(ES 01114. a 배출가스 중 굴뚝 배출 시료채취방법) 65
[표 4-14] 대기오염공정시험 방법(ES 01507. 1a 배출가스 중 총탄화수소) 66
[표 4-15] 방지시설 성능 평가를 진행한 업체 구분표 72
[표 4-16] VOCs 분석을 위한 자동열탈착 장치 및 GC/MS 운전조건 74
[표 4-17] 분석 대상 VOCs 74

[표 4-18] AA 사업장 기존방지시설 수성 도료 77
[표 4-19] BB 사업장 신규방지시설 유성도료 79
[표 4-20] CC 사업장 신규방지시설 수성도료 80
[표 4-21] AA 사업장(수성도료) 도장시설 VOCs 기기 분석 결과 82
[표 4-22] AA 사업장 프라이머·서페이서 공정의 상위 VOCs 물질농도 85
[표 4-23] AA 사업장 상도-베이스 공정의 상위 VOCs 물질농도 86
[표 4-24] AA 사업장 상도-톱 공정의 상위 VOCs 물질농도 87
[표 4-25] AA 사업장 열건조 공정의 상위 VOCs 물질농도 88
[표 4-26] BB 사업장(유성도료) 도장시설 VOCs 기기분석 결과 92
[표 4-27] BB 사업장 상도-베이스 공정의 상위 VOCs 물질농도 95
[표 4-28] BB 사업장 상도-톱 공정의 상위 VOCs 물질농도 96
[표 4-29] BB 사업장 열건조 공정의 상위 VOCs 물질농도 97
[표 4-30] CC 사업장(수성도료) 도장시설 VOCs 기기분석 결과 100
[표 4-31] CC 사업장 프라이머 공정의 상위 VOCs 물질 농도 103
[표 4-32] CC 사업장 실러 공정의 상위 VOCs 물질 농도 104
[표 4-33] CC 사업장 상도-베이스 공정의 상위 VOCs 물질 농도 105
[표 4-34] CC 사업장 상도-톱 공정의 상위 VOCs 물질 농도 106
[표 4-35] CC 사업장 열 건조 공정의 상위 VOCs 물질 농도 107
[표 4-36] 방지시설 설치 업체의 주요 설계인자와 본 연구 측정 결과 111

[표 5-1] 국내 4, 5종 사업장 및 방지시설 현황 114
[표 5-2] 대기오염방지시설 종류 118
[표 5-3] 대기오염물질 저감기술 설치 현황(4, 5종 사업장) 119
[표 5-4] 가스상 물질 방지시설 저감기술(질소산화물) 120
[표 5-5] 가스상 물질 방지시설 저감기술(황산화물, 염화수소, 불화수소 등) 121
[표 5-6] 가스상 물질 방지시설 저감기술(휘발성유기화합물 및 중금속[가스상]) 121
[표 5-7] 입자상 물질 방지시설 저감기술 123
[표 5-8] 각종 흡착제의 성상 및 용도 125
[표 5-9] 흡착제의 종류 및 물리적 특성 126
[표 5-10] 탄소질 재료에 따른 활성탄 분류 126

[표 5-11] 활성탄의 형상에 따른 특징 127
[표 5-12] 활성탄의 제조 재료 127
[표 5-13] 형상에 따른 활성탄의 특징 128
[표 5-14] AA 사업장 자동차 정비 도장시설 현황 129
[표 5-15] BB 사업장 자동차 정비 도장시설 현황 133
[표 5-16] CC 사업장 자동차 정비 도장시설 현황 137
[표 5-17] 본 연구 현장 조사 대상 업체별 방지시설 현황 및 측정 결과(1) 141
[표 5-18] 본 연구 현장 조사 대상 업체별 방지시설 현황 및 측정 결과(2) 141
[표 5-19] 입상활성탄 공업규격(KSM 1421) 144
[표 5-20] 분말 활성탄 공업규격(KSM 1413) 144

[표 6-1] 활성탄 설계 인자 참고 사항 156
[표 6-2] 서울시 환경기준 조례(2004) 162
[표 6-3] 대기오염물질 배출허용기준(서울특별시 환경기본 조례 15조 관련, 별표 2) 163

[부록 표 1] AA 사업장 공정별 알데히드류 물질 농도 167
[부록 표 2] BB 사업장 공정별 알데히드류 물질 농도 169
[부록 표 3] CC 사업장 공정별 알데히드류 물질 농도 171
[부록 표 4] 국제암연구소(IARC) 발암 발생 등급 분류표 173

그림 목차

[그림 1-1] 서울시 VOCs 배출원별 배출 비율 3

[그림 1-2] 서울시 유기용제 사용 부문 VOCs 비율 3

[그림 3-1] 2017년 전국 배출원 대분류별 VOCs 배출량 42

[그림 3-2] 유기용제 사용에 의한 연도별 VOCs 배출량 43

[그림 3-3] 2017년 지역별 유기용제 사용 VOCs 배출량 44

[그림 3-4] 국내 유기용제 사용 부문 VOCs 배출원 중분류 45

[그림 3-5] 지역별 도장시설 VOCs 배출량 45

[그림 3-6] 지역별 자동차 수리에 따른 VOCs 배출량 46

[그림 3-7] 국내 4, 5종 사업장 배출시설 현황 47

[그림 3-8] 국내 4, 5종 사업장 오염물질 발생시설 현황 48

[그림 3-9] 서울시 도장시설 지역구별 현황 49

[그림 3-10] 서울시 지역구별 도장시설 VOCs 배출량 49

[그림 3-11] 전국 자동차 수리업체 현황 50

[그림 3-12] 서울시 지역구별 자동차 수리 도장시설 현황 51

[그림 3-13] 서울시 지역구별 자동차 수리의 VOCs 배출량 52

[그림 4-1] 일반적인 자동차 수리 도장 전체 공정 55

[그림 4-2] 자동차 수리 도장 공정 중 전처리 공정 55

[그림 4-3] 자동차 수리 도장 공정 중 하도 및 중도 공정 56

[그림 4-4] 자동차 수리 도장 공정 중 조색 공정 56

[그림 4-5] 자동차 수리 도장 공정 중 상도(유성, 수성) 공정 57

[그림 4-6] 국내 자동차 보수용 도료시장 현황 59

[그림 4-7] THC 농도 측정 결과 설명 예시 66

[그림 4-8] 방지시설 전후 측정공의 위치 67
[그림 4-9] 자동차 도장부스 배출(방지시설 유입) 농도, 방지시설 배출 농도 측정 지점 68
[그림 4-10] 자동차 정비 도장시설 THC 측정 방법 예시(1) 69
[그림 4-11] 자동차 정비 도장시설 THC 측정 방법 예시(2) 70
[그림 4-12] 자동차 정비 도장시설 THC 측정 방법 예시(3) 71
[그림 4-13] THC 측정기기 73
[그림 4-14] VOCs 분석기기 - GC/MS/TD 74
[그림 4-15] VOC 표준시료 GC/MS 크로마토그램 76
[그림 4-16] AA 사업장 도장부스 현장 측정 전경 78
[그림 4-17] AA 사업장(수성도료) 도장시설 THC 측정 결과 78
[그림 4-18] BB 사업장 도장부스 현장 측정 전경 79
[그림 4-19] BB 사업장(유성도료) 도장시설 THC 측정 결과 80
[그림 4-20] CC 사업장 도장부스 현장 측정 전경 81
[그림 4-21] CC 업체(수성도료) 도장시설 THC 측정 결과 81
[그림 4-22] AA 사업장(수성도료) 도장시설의 공정별 VOCs 기기분석 결과 89
[그림 4-23] AA 사업장(수성도료) 도장시설의 공정별 상위 VOCs 물질 농도 90
[그림 4-24] BB 사업장(유성도료) 도장시설의 공정별 VOCs 기기분석 결과 98
[그림 4-25] BB 사업장(유성도료) 도장시설의 공정별 상위 VOCs 물질 농도 99
[그림 4-26] CC 업체(수성도료) 도장시설의 공정별 VOCs 기기분석 결과 108
[그림 4-27] CC 업체(수성도료) 도장시설의 공정별 상위 VOCs 물질 농도 109

[그림 5-1] 국내 4, 5종 사업장 방지시설 적용 현황 114
[그림 5-2] 국내 4, 5종 사업장 방지시설 유형 분포 115
[그림 5-3] 국내 도장시설 방지시설 유형 분포 115
[그림 5-4] 서울시 4, 5종 사업장 방지시설 현황 116
[그림 5-5] 서울시 자동차 수리 도장시설 규모별 분류 117
[그림 5-6] 서울시 자동차 수리 도장시설 적용 방지시설 유형 분포 117
[그림 5-7] 가스상 오염물질 제거를 위한 시설에 따른 세부 분류 119
[그림 5-8] 가스상 물질 방지시설 종류 120
[그림 5-9] 입자상 오염물질 제거를 위한 시설에 따른 세부 분류 122

[그림 5-10] 입자상 물질 방지시설 종류 123
[그림 5-11] 흡착탑 작동 원리 124
[그림 5-12] AA 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(1) 130
[그림 5-13] AA 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(2) 131
[그림 5-14] AA 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(3) 132
[그림 5-15] BB 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(1) 134
[그림 5-16] BB 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(2) 135
[그림 5-17] BB 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(3) 136
[그림 5-18] CC 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(1) 138
[그림 5-19] CC 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(2) 139
[그림 5-20] CC 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(3) 140

[그림 6-1] 자동차 수리 도장시설의 조색 및 도료 배합 장소 148
[그림 6-2] 도료 보관 및 혼합기가 설치되어 있는 도료 보관실 149
[그림 6-3] 도료 보관실이 없는 업체의 도료 보관 149
[그림 6-4] 덮개가 있는 도료 계량컵 150
[그림 6-5] 도료 보관 및 조색실에 설치된 후드 150
[그림 6-6] 도장용 스프레이건의 밀폐형 세척함 151
[그림 6-7] 자동차 수리 도장업에 적합 방지기술 설치 시 고려사항 154
[그림 6-8] 자동차 수리 도장시설 대기오염물질 배출 특성 155
[그림 6-9] 자동차 수리 도장시설 VOCs 처리용 활성탄 흡착탑 성능 관련 고려사항 155
[그림 6-10] 흡착탑 설계 관련 흡착 영역(MTZ)과 파과곡선 157

[부록 그림 1] AA 업체(수성도료) 도장시설의 공정별 알데히드류 기기분석 결과 168
[부록 그림 2] BB 업체(유성도료) 도장시설의 공정별 알데히드류 기기분석 결과 170
[부록 그림 3] CC 업체(수성도료) 도장시설의 공정별 알데히드류 기기분석 결과 172

서울과학기술대학교
Seoul National University of Science and Technology

01 연구 개요

1. 연구 배경 및 목표
2. 연구 내용 및 절차

01. 연구 개요

1. 연구 배경 및 목표

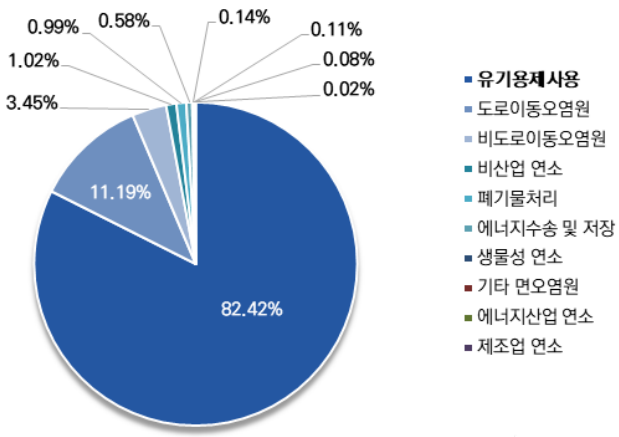
1-1. 연구 배경 및 필요성

휘발성유기화합물(VOCs)은 생활 주변에서 지속적으로 배출되는 유해물질이며, 초미세먼지(PM2.5)와 오존(O_3) 생성에 관여하는 물질로 알려져 있다. 특히 대기 중에서 다양한 화학반응을 거치며 입자 형태의 PM2.5를 생성하고, 태양광선에 의해 광화학적 산화반응을 일으켜 지표면의 O_3 농도를 증가시킨다.

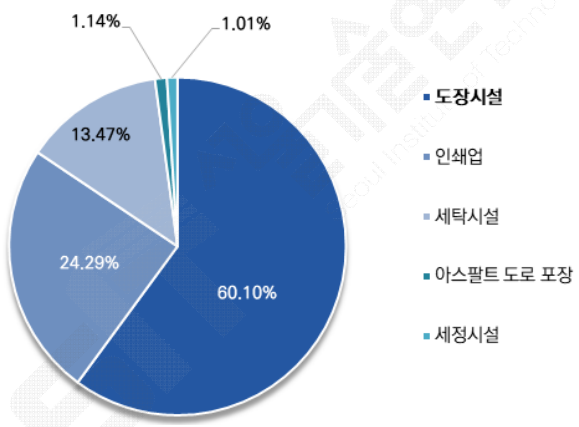
PM2.5 및 O_3 저감을 위해 VOCs 대형 배출시설은 일부 관리되고 있으나, 도심 내 생활 주변의 소규모 배출시설 관리는 미흡한 실정이다. 전국 대기배출사업장 5만 6,584개소 중 소규모 사업장이 92%(5만 2,221개소)를 차지하나 대부분 영세하여 방지시설 개선 및 대기배출 관리에 어려움을 겪고 있다. 소규모 배출시설 사업장 대부분은 4, 5종 사업장으로 분류되어 VOCs 처리 및 관리의 실효성이 매우 낮은 실정이다.

2017년 기준,[1] 서울시 대기오염물질 배출량을 살펴보면 NOx(질소산화물) 7만 7,096톤, VOCs(휘발성유기화합물) 6만 6,948톤, CO(일산화탄소) 5만 6,994톤 등 NOx 〉 VOCs 〉 CO 〉 TSP(총먼지) 〉 PM10(미세먼지) 〉 NH_3(암모니아) 〉 SOx(황산화물) 〉 PM2.5 순으로 나타났다. 우리나라의 경우 배출원별 VOCs의 배출량은 생산시설, 세정시설, 도장시설 등이 있으나, 그중 도장시설은 전체 VOCs 배출량의 약 40%를 차지한다. 서울시의 경우 배출원별 VOCs 배출량은 유기용제 사용 부문에서 약 82%로 가장 높은 비율을 차지(그림 1-1 참조)하고 있다. 가정용 사용을 제외한 유기용제 사용 부문은 세탁시설, 인쇄업, 도장시설 등에서 대부분을 차지하는데 특히 도장시설은 전체 VOCs 배출량의 약 60%를 차지하는 주요 오염원이다.

1) Clean Air Policy Support System, 2017



[그림 1-1] 서울시 VOCs 배출원별 배출 비율



[그림 1-2] 서울시 유기용제 사용 부문 VOCs 비율

따라서 미세먼지 저감대책과 연계해 전구물질인 VOCs의 도심 내 대표 배출원인 도장시설의 배출 현황 파악 및 조사가 필요하다. 특히 도심 내 대표 VOCs 배출원인 도장시설의 방지기술을 분석하여 VOCs 배출을 최소화할 수 있는 관리 방안 마련이 시급한 실정이다. 한편 환경부에서는 2020년 1월 1일부터 국내 유기용제 사용 부문 VOCs 관리 배출허용 기준 강화(비연속식 도장시설/탄화수소 THC 200ppm → 110ppm 이하)하였고, 서울시는 시민에게 피해를 가중시키는 '생활권 미세먼지 그물망 대책'을 수립(대기정책과-7682)하여 점오염원의 촘촘한 관리를 위해 도장업체에 해당하는 자동차 수리 정비업소 관리를 통한 배출가스 관리(소규모 정비업체 매연포집시설 설치 의무화)를 추진 중이다.

하지만 지금까지 대형 사업장 중심의 대기오염 배출 저감을 위한 원천기술에 집중되어 소규모 사업장 대상의 적정 기술이 부재하고 관리 방안도 미흡하다. 특히 소규모 사업장은 영세성, 비전문성과 인식 부족 등으로 자체 대기오염물질 관리가 부실하고, 전문 환경기술인 인력 배치 면제 및 인력 확보가 어려워 자발적인 방지시설 설치 및 사용 조작과 유지관리 기술 등 사업장의 환경관리 역량을 높이기 위한 대응 능력이 미흡한 실정이다. 따라서 VOCs, PM2.5, O_3 등 대기오염물질의 사각지대 관리를 위해 소규모 대기배출 사업장 방지기술의 중요성과 관리 방안이 대두된다.

1-2. 연구 목표

본 연구는 시민 생활공간과 가까이 있는 소규모 대기오염 배출 발생원의 체계적 관리를 위한 선제적 대응으로 국내외 소규모 도장시설 관리 사례, 도장시설 배출 VOCs 특성 파악, VOCs 저감 방지기술 분석 등을 통하여 소규모 도장시설 배출 VOCs 관리 방안 마련과 기술적·정책적 제안을 최종 목표로 한다.

2. 연구 내용 및 절차

2-1. 연구 내용

본 연구의 최종 목표는 소규모 도장시설의 배출 VOCs를 관리하는 방안을 마련하는 것이며, 연구 내용은 국내외 소규모 도장시설 관련 규정 및 관리 사례 조사, 서울시 소규모 도장시설 사업장의 배출 특성 조사, 소규모 도장시설의 방지기술 분석, 소규모 도장시설의 배출 VOCs 저감 및 관리 방안으로 세부 연구 내용은 표 1-1과 같다.

[표 1-1] 세부 연구내용

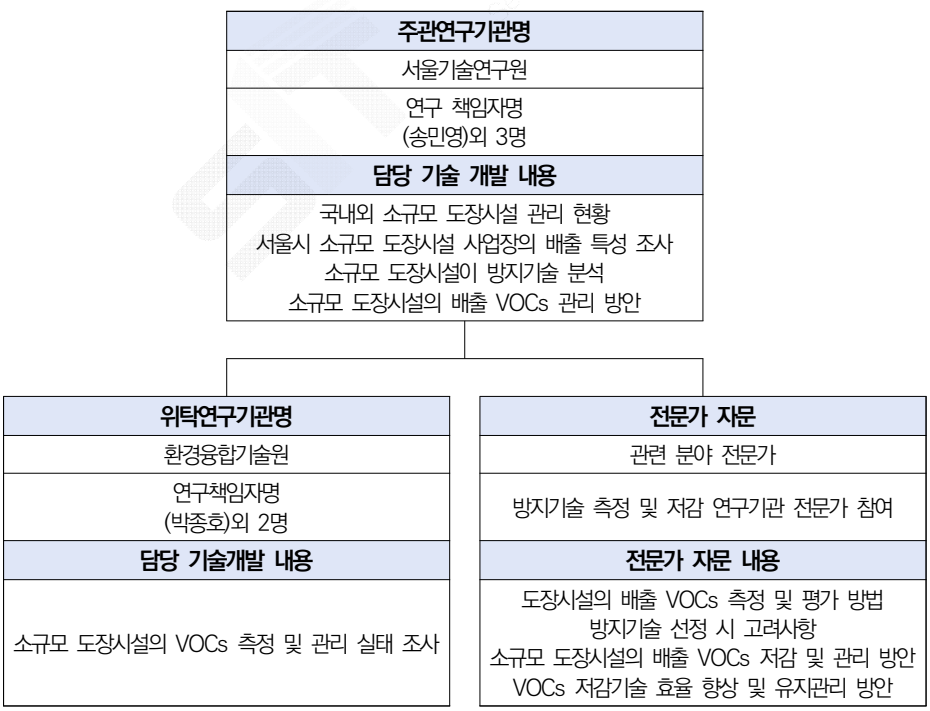
구분	연구 내용	세부 연구 내용
1	국내외 소규모 도장시설 관리 현황	국내외 휘발성유기화합물(VOCs) 관리제도
		국내외 소규모 도장시설의 대기 배출시설 관련 규정
2	서울시 소규모 도장시설 사업장의 배출 특성 조사	서울시 소규모 도장시설의 배출원 현황 조사
		도장시설의 VOCs 배출 특성 조사 및 분석
		소규모 도장시설의 운영 및 관리 현황

[표 1-1] 세부 연구내용(계속)

구분	연구 내용	세부 연구 내용
3	소규모 도장시설의 방지기술 분석	소규모 도장시설 적용 방지기술 현황
		VOCs 방지기술 저감 효율 파악
		기존 운영 방지기술 문제점 분석
		방지기술 선정 시 고려사항
4	소규모 도장시설의 배출 VOCs 저감 및 관리 방안	VOCs 저감기술 효율 향상 및 관리 방안
		방지시설의 유지관리 방안
		소규모 도장시설의 대기오염물질 배출 관리를 위한 향후 개선 방안

2-2. 연구 추진 방법

본 연구를 수행하기 위하여 소규모 도장시설의 배출 특성 및 실태 조사를 환경융합기술원(EICT)에서 현장 측정과 조사를 진행하였으며, 최종 목표인 도장시설의 배출 VOCs 저감 및 관리 방안을 마련하기 위해 도장시설의 배출원 파악, 도장시설의 VOCs 처리 문제점 분석, VOCs 저감 효율 향상 및 관리 방안, 도장시설의 배출 VOCs 개선 방안 등은 관련 전문가의 기술 공유 및 의견 수렴 등을 바탕으로 결론을 도출한다.



서울과학기술대학교
Seoul National University of Science and Technology

02 국내외 소규모 도장시설 관리 현황

1. 국내외 휘발성유기화합물(VOCs) 관리제도
2. 국내외 소규모 도장시설 대기 배출시설 관련 규정

02. 국내외 소규모 도장시설 관리 현황

1. 국내외 휘발성유기화합물(VOCs) 관리제도

1-1. 휘발성유기화합물(VOCs)의 개요

대기환경보전법에 따르면 VOCs란 탄화수소(THC)류 중 석유화학제품, 유기용제, 그 밖의 물질로서 환경부장관이 고시한 물질을 말한다. 일반적으로 VOCs란 상온, 상압에서 가스 형태로 대기 중에 배출되는 탄소(C)와 수소(H)로 이루어진 물질을 말한다.

비점(끓는 점)이 낮아서 대기 중으로 쉽게 증발되는 액체 또는 기체상 유기화합물의 총칭으로서 VOC라고도 하는데, 산업체에서 많이 사용하는 용매에서 화학 및 제약공장이나 플라스틱 건조공정에서 배출되는 유기가스에 이르기까지 매우 다양하며 끓는 점이 낮은 액체연료, 파라핀, 올레핀, 방향족화합물 등 생활 주변에서 흔히 사용하는 대부분의 탄화수소류가 이에 해당한다.

VOCs는 벤젠, 톨루엔같이 발암성 물질로 사람과 생태계에 유해한 영향을 주는 물질, 포름알데히드, 스틸렌같이 특유의 냄새를 발생시키는 물질이기도 하며, 대기 중에서 질소산화물(NOx)과 함께 광화학반응으로 오존을 생성시키는 전구물질로 광화학스모그를 유발하는 등 환경상 많은 영향을 끼치는 물질이다. 특히 최근에는 미세먼지 생성 전구물질로 주목받고 있다.

주요 배출원으로는 유기용제사용시설, 도장시설, 세탁소, 저유소, 주유소, 각종 운송수단의 배기가스 같은 인위적 배출원과 나무와 같은 자연적 배출원이 있다.

1-2. 국내 VOCs 규제 및 관리 정책

[국내 VOCs 관리제도 현황]

휘발성유기화합물: 국내에서 관리되고 있는 VOCs는 총 37종(표 2-1 참조)으로 주요 VOCs 종류는 지정되어 있으나, 물질별 배출·허용 기준은 제시되어 있지 않다. 또한 상당수 유해대기오염물질과 특정대기오염물질(HAPs)로 지정돼 별도로 규제되고 있으며, 일부 톨루엔, 아세트알데히드, 메틸에틸케톤 등 VOCs 물질은 악취 물질로도 관리된다.

[표 2-1] 휘발성유기화합물 규제제품 및 물질명

연번	휘발성유기화합물 규제제품 및 물질명	연번	휘발성유기화합물 규제제품 및 물질명
1	아세트알데히드*	20	메탄올
2	아세틸렌**	21	메틸에틸케톤
3	아세틸렌 디클로라이드	22	메틸렌클로라이드
4	아크롤레인	23	엠티비이(MTBE)
5	아크릴로니트릴*	24	프로필렌**
6	벤젠*,**	25	프로펠린옥사이드*
7	1,3-부타디엔*	26	1,1,1-트리클로로에탄
8	부탄**	27	트리클로로에틸렌*
9	1-부탄, 2-부텐**	28	휘발유
10	사염화탄소*	29	납사
11	클로로포름*	30	원유
12	사이클로헥산**	31	아세트산(초산)
13	1,2-디클로로에탄*	32	에틸벤젠*,**
14	디에틸아민	33	니트로벤젠
15	디메틸아민	34	톨루엔**
16	에틸렌**	35	테트라클로로에틸렌*
17	포름알데히드*	36	자일렌(o-,m-,p 포함)**
18	n-헥산	37	스틸렌*
19	이소프로필 알코올		

*특정유해물질: 사람의 건강, 재산이나 동식물의 생육에 직접 또는 간접으로 피해를 줄 우려가 있는 대기오염물질(대기환경보전법시행규칙 제4조, 별표 2).
**오존전구물질: 대기 중에서 오존을 생성시킬 수 있는 물질.

대기환경보전법에는 VOCs를 배출하는 시설의 종류 및 규모(표 2-2 참조)와 배출억제·방지시설 설치 등에 관한 기준(표 2-3 참조) 등에 관한 규정이 설정되어 있으며 2016년 1월 1일을 기준으로 매 3년이 되는 시점(매 3년째의 12월 31일까지를 말한다)에 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 취해야 한다.

[표 2-2] 휘발성유기화합물을 배출하는 시설의 종류 및 규모(제2조 관련)

구분(업종)	배출시설	
	시설명	규모
석유정제 및 석유화학제품제조업	원유정제 등 제조시설	모든 시설
	저장시설	저장용량 40m^3 이상
	출하시설	모든 시설
저유소	저장시설	저장용량 20m^3 이상
	출하시설	모든 시설
주유소	저장시설	저장용량 20m^3 이상
	주유시설	저장시설의 저장용량 20m^3 이상
세탁시설	세탁시설	처리용량 30kg 이상(합계)
유기용제 및 페인트 제조업	반응시설	용적 3m^3 이상
	혼합시설	용적 3m^3 이상
	희석시너 제조시설	용적 5m^3 이상 또는 동력 50마력 이상
	유기용제, 유기용제 함유물질 유류저장시설	저장용량 10m^3 이상
	페인트저장시설	저장용량 50m^3 이상
선박 및 대형철구조물 제조업 (10×10m 이상인 대형 구조물에 한함)	세정시설(탈지시설 포함)	용적 1m^3 이상
	도장시설(건조시설 포함)	용적 5m^3 이상 혹은 동력 3마력 이상
	유기용제, 유기용제 함유물질 저장시설	저장용량 10m^3 이상
	유류저장시설	저장용량 10m^3 이상
자동차 제조업	유류, 유기용제 및 유기용제 함유 물질 저장시설	저장용량 10m^3 이상
기타 제조업	세정시설(탈지시설 포함)	용적 1m^3 이상
	유류, 유기용제 및 유기용제 함유 물질 저장시설	저장용량 10m^3 이상
폐기물 보관·처리시설 (폐기물관리법시행령 제3조 별표 1에 의한 폐유, 폐유기용제 및 폐농약)	보관시설	저장용량 10m^3 이상(합계)
	파쇄·분쇄·절단시설	동력 20마력 이상
	소각시설	1일처 리능력 10톤 이상
	고온열분해시설	1일 처리능력 5톤 이상
	건류시설	1일 처리능력 5톤 이상
	용융시설	동력 10마력 이상
	증발·농축·반응시설	1일 처리능력 5톤 이상
	정제시설	1일 20kL 이상(고온열분해 또는 감압증류는 1일 24시간 기준으로, 기타의 경우에는 1일 8시간 기준으로 산정)
	유수분리시설	1일 처리능력 5톤 이상
	응집·침전시설	1일 처리능력 5톤 이상
	건조시설	시간당 처리능력 0.15m^3 이상

주: 1. 제4호 세탁시설 중 물세탁기기 등 VOC 배출이 없는 기기는 합계에서 제외한다.
2. 제8호 기타제조업은 한국표준산업분류에 따른 중분류 16, 20(화약 및 불꽃 제품 제조업만 해당), 24, 25, 26, 27, 28(가정용 기기제조업, 그 외 기타 전기장비 제조업만 해당), 29, 32, 31(항공기, 우주선 및 보조장치 제조업, 전투용 차량 제조업만 해당), 33에 해당하는 제조업을 말한다.

[표 2-3] 휘발성유기화합물 배출억제·방지시설 설치 등에 관한 기준(제3조 관련)

구분(업종)	배출시설	기준
유기용제 및 페인트 제조업	제조시설	(1) 국소배기장치 및 휘발성유기화합물 방지시설을 설치하여야 한다. (2) 펌프, 밸브, 배관에 대하여는 육안으로 누출 여부를 확인하고 누출 시에는 15일 이내에 이를 수리하여야 한다. (3) 혼합시설과 이동식 저장시설 상부에는 덮개를 설치하여 외부공기와 접촉을 최소화해야 한다.
	저장시설	(1) 저장시설은 밀폐구조여야 하며, 환기구를 통해 배출되는 휘발성유기화합물은 방지시설을 설치, 처리하여야 한다. (2) 충전 시 배출되는 휘발성유기화합물은 전량 운송차량으로 회수해야 한다.
선박 및 대형 철구조물 제조업	세정시설	유기용제 사용시설은 밀폐구조이어야 하며 국소배기장치 및 휘발성유기화합물 방지시설을 설치하여 대기로 방출되는 것을 방지해야 한다.
	도장시설	(1) 대기환경보전법 제43조, 같은 법 시행령 제44조 및 같은 법 시행규칙 제58조의 규정에 의거 신고된 야외도장시설에 대하여는 다음과 같다. 페인트 사용량이 최소화될 수 있도록 작업 방법 등의 개선조치를 취해야 한다. (2) 그 외 도장시설은 국소배기장치 및 휘발성유기화합물 배출을 억제할 수 있는 방지시설을 설치하여 대기로 방출되는 것을 방지해야 한다.
	저장시설	유기용제 및 페인트제조업 중 나. 저장시설의 기준에 준한다.
자동차제조업	저장시설	유기용제 및 페인트 제조업 중 나. 저장시설의 기준에 준한다.
기타 제조업	세정시설	유기용제 사용시설은 밀폐구조여야 하며 국소배기장치 및 휘발성유기화합물 방지시설을 설치해야 한다.
	저장시설	유기용제 및 페인트 제조업 중 나. 저장시설의 기준에 준한다.
폐기물보관처리시설 (폐기물관리법시행령 제3조 별표 1에 의한 폐유, 폐유기용제 및 폐농약)	보관시설	(1) 저장시설은 밀폐구조여야 하며, 환기구를 통해 배출되는 휘발성유기화합물은 방지시설을 설치, 처리하여 대기로 방출되는 것을 방지해야 한다. (2) 충전 시 배출되는 휘발성유기화합물은 전량 운송차량으로 회수해야 한다.
	파쇄·분쇄·절단시설	파쇄·분쇄·절단 시 휘발성유기화합물 배출을 막기 위하여 밀폐 혹은 밀폐와 동등한 효과의 시설설치 또는 조치를 취해야 한다.
	소각시설, 고온열분해시설, 건류시설	시설 투입구 및 배출구는 휘발성유기화합물 방지시설을 설치하여 대기로 배출되는 것을 방지해야 한다.
	용융시설, 증발·농축반응시설, 정제시설, 유수분리시설, 응집침전시설	시설은 밀폐구조여야 하며, 환기구를 통해 배출되는 휘발성유기화합물은 방지시설을 설치, 처리해 대기로 배출되는 것을 방지해야 한다.
	건조시설	국소배기장치 및 휘발성유기화합물 방지시설을 설치하여 대기로 배출되는 것을 방지하여야 한다.

주: 도장, 세정 등 유기용제 사용시설에서 가능한 한 유기용제 사용을 억제하고, 사용 도료 내 유기용제 함유량을 단계적으로 줄이도록 권장한다.

특정대기유해물질: 독성을 띤 VOCs 물질 중 상당수는 특정대기유해물질(HAPs)로 지정돼 별도의 규제를 받고 있으며 현행 관리 대상 VOCs 37종 중 15종이 특정대기유해물질로 지정되어 있다. 대기 중 VOCs는 오존의 전구물질과 그 자체의 위해성 때문에 국내외적으로 관리가 필요한 주요 물질이다. 따라서 국내 VOCs 규제는 1995년 12월에 개정된 대기환경보전법에 대기환경규제지역에서의 규제근거 법령 제정을 근간으로 많은 부분이 보완되어 현재에 이르고 있다.

[표 2-4] 특정대기유해물질 규제제품 및 물질명

연번	특정대기유해물질 규제제품 및 물질명	연번	특정대기유해물질 규제제품 및 물질명
1	카드뮴 및 그 화합물	19	이황화메틸
2	시안화수소	20	아닐린
3	납 및 그 화합물	21	클로로포롬
4	폴리염화비메닐	22	포름알데히드
5	크롬 및 그 화합물	23	아세트알데히드
6	비소 및 그 화합물	24	벤지딘
7	수은 및 그 화합물	25	1, 3-부타디엔
8	프로필렌옥사이드	26	다환 방향족 탄화수소류
9	염소 및 염화수소	27	에틸렌옥사이드
10	불소화물	28	디클로로메탄
11	석면	29	스틸렌
12	니켈 및 그 화합물	30	테트라클로로에틸렌
13	염화비닐	31	1, 2-디클로로에탄
14	다이옥신	32	에틸벤젠
15	페놀 및 그 화합물	33	트리플로로에틸렌
16	베릴륨 및 그 화합물	34	아크릴로니트릴
17	벤젠	35	히드라진
18	사염화탄소		

[표 2-5] 설치 허가 대상 특정대기유해물질 적용 기준

물질명	기준 농도
염소 및 염화수소	0.4ppm
불소화물	0.05ppm
시안화수소	0.05ppm
염화비닐	0.1ppm
페놀 및 그 화합물	0.2ppm
벤젠	0.1ppm
사염화탄소	0.1ppm
클로로포름	0.1ppm

[표 2-5] 설치 허가 대상 특정대기유해물질 적용 기준(계속)

물질명	기준 농도
포름알데히드	0.08ppm
아세트알데히드	0.01ppm
1, 3-부타디엔	0.03ppm
에틸렌옥사이드	0.05ppm
디클로로메탄	0.5ppm
트리클로로에틸렌	0.3ppm
히드라진	0.45ppm
카드뮴 및 그 화합물	0.01mg/m^3
납 및 그 화합물	0.05mg/m^3
크롬 및 그 화합물	0.1mg/m^3
비소 및 그 화합물	0.03ppm
수은 및 그 화합물	0.0005mg/m^3
니켈 및 그 화합물	0.01mg/m^3
베릴륨 및 그 화합물	0.05mg/m^3
폴리염화비페닐	1pg/m^3
다이옥신	0.001ng-TEQ/m^3
다환 방향족 탄화수소류	10ng/m^3
이황화메틸	0.1ppb
총 VOCs (아닐린, 스틸렌, 테트라클로로에틸렌, 1, 2-디클로로에탄, 에틸벤젠, 아크릴로니트릴)	0.4mg/m^3

지정악취물질 배출허용 기준: VOCs는 지정악취물질에도 포함되어 있으며 악취방지법 시행규칙에 따라 일반 배출허용 기준과 엄격한 배출허용 기준의 범위로 공업, 기타 지역으로 구분하여 기준을 제시하고 있다. 다이메틸설파이드 등 총 3종이 VOCs, 특정대기유해물질, 지정악취물질 등 3개 기준에 공통으로 포함되어 있다.

[표 2-6] 지정악취물질 배출허용기준(악취방지법 시행규칙 별표 3) (단위: ppm)

악취물질	배출허용 기준		엄격한 배출허용 기준의 범위
	공업지역	기타지역	공업지역
암모니아	2 이하	1 이하	1~2
메틸메르캅탄	0.004 이하	0.002 이하	0.002~0.004
황화수소	0.06 이하	0.02 이하	0.02~0.06
다이메틸설파이드	0.05 이하	0.01 이하	0.01~0.05
다이메틸다이설파이드	0.03 이하	0.009 이하	0.009~0.03
트라이메틸아민	0.02 이하	0.005 이하	0.005~0.02

[표 2-6] 지정악취물질 배출허용기준(악취방지법 시행규칙 별표 3)(계속) (단위: ppm)

악취물질	배출허용 기준		엄격한 배출허용 기준의 범위
	공업지역	기타지역	공업지역
아세트알데하이드	0.1 이하	0.05 이하	0.05~0.1
스타이렌	0.8 이하	0.4 이하	0.4~0.8
프로피온알데하이드	0.1 이하	0.05 이하	0.05~0.1
뷰틸알데하이드	0.1 이하	0.029 이하	0.029~0.1
n-발레르알데하이드	0.02 이하	0.009 이하	0.009~0.02
i-발레르알데하이드	0.006 이하	0.003 이하	0.003~0.006
톨루엔	30 이하	10 이하	10~30
자일렌	2 이하	1 이하	1~2
메틸에틸케톤	35 이하	13 이하	13~35
메틸아이소뷰틸케톤	3 이하	1 이하	1~3
뷰틸아세테이트	4 이하	1 이하	1~4
프로피온산	0.07 이하	0.03 이하	0.03~0.07
n-뷰틸산	0.002 이하	0.001 이하	0.001~0.002
n-발레르산	0.002 이하	0.0009 이하	0.0009~0.002
i-발레르산	0.004 이하	0.001 이하	0.001~0.004
i-뷰틸알코올	4.0 이하	0.9 이하	0.9~4.0

[국내 VOCs 배출규제]

다음의 사항에 해당하는 지역에서 VOCs를 배출하는 시설로서 규제 대상 시설을 설치하려는 자는 시도지사 또는 대도시 시장에게 신고해야 한다.

① 특별대책지역

② 규제「대기환경보전법」제18조 제1항에 따른 대기환경규제지역(「대기환경보전법」제19조 제2항에 따라 실천계획이 고시된 경우만 해당함. 이하 '대기환경규제지역')

③ 위의 ①과 ② 지역 외에 VOCs 배출에 따른 대기오염을 개선할 필요가 있다고 인정되는 지역으로 환경부장관이 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 지정·고시하는 지역(이하 'VOCs 배출규제 추가지역')

※ 대기보전특별대책지역(규제「환경정책기본법」제38조 및「대기보전특별대책지역 지정 및 동지역 내 대기오염 저감을 위한 종합대책」)

- 울산광역시 울산·미포 및 온산국가산업단지
- 전라남도 여수시 여천국가산업단지 및 확장단지

※ 대기관리권역은 다음 지역을 포함하여 대통령령으로 정하는 지역임(「대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법」)

① 대기오염이 심각하다고 인정되는 지역

② 해당 지역에서 배출되는 대기오염물질이 위의 ①지역 대기오염에 크게 영향을 미친다고 인정되는 지역

[표 2-7] 대기환경규제지역 지정 현황

규제지역	지정 범위	대상 오염물질	관련 고시
서울특별시	전역	오존(휘발성유기화합물질, 악취 포함), 이산화질소, 총먼지(TSP), 미세먼지(PM10)	환경부 고시 제1997-51호
인천광역시	강화군, 옹진군은 제외(옹진군 영흥면 포함)		
경기도	수원시, 부천시, 고양시, 의정부시, 안양시, 군포시, 의왕시, 시흥시, 안산시, 과천시, 구리시, 남양주시, 성남시, 광명시, 하남시		
부산권역	부산광역시(기장군 제외), 김해시(진영읍, 장유면, 주촌면, 진례면, 한림면, 생림면, 상동면, 대동면 제외)	오존, 이산화질소	환경부 고시 제1999-191호
대구권역	대구광역시(달성군 제외)		
광양만권역	경상남도 하동군 하동화력발전소 부지 전라남도 광양시(복강·옥룡·진상·다압면 제외) 순천시(승주읍, 주암·송광·외서·낙안·별량·상사·황전·월등면 제외) 여수시(돌산읍, 화양·남·화정·삼산면 제외)	오존	

[표 2-8] VOCs 배출규제 추가 지역

구분	지정 지역	지정 범위
경기	용인시	591.32km^2
	화성시	688km^2
충북	청주시	967.63km^2
충남	천안시	636.25km^2
전북	전주시	206.22km^2
경북	포항시	1127.92km^2
경남	창원시	743.77km^2
광주광역시		501.19km^2

VOCs 배출 억제·방지시설 설치 기준은 대기환경규제지역과 특별대책지역에서 함께 적용되는 공통 기준과 공통 기준에 정해지지 않아 지역별로 개별 적용되는 지역별 개발 기준으로 나눌 수 있고 국내에서 VOCs를 규제하고 있는 지역은 특별대책 지역과 대기 환경규제지역으로 구분하고 있다.

하나의 대기배출 사업장이 VOCs를 배출하면서 각종 대기오염물질을 함께 배출할 수 있으나, VOCs 배출시설과 대기 배출시설이 각각 다른 법적 의무는 대기환경보전법상 다른 의무로 준수해야 한다. 다만 신고절차에서 중복 서류 제출 등의 불편함을 덜기 위하여 VOCs 배출시설 신고서의 제출을 대기오염물질 배출시설 설치허가신고서 제출로 갈음할 수 있다.

[미세먼지관리 종합대책계획(2020~2024년)]

2016년 기준, 국내 배출량은 연간 초미세먼지 10만 톤, 질소산화물(NOx) 125만 톤, 황산화물(SOx) 36만 톤, 휘발성유기화합물(VOCs) 102만 톤, 암모니아(NH_3) 30만 톤이며 초미세먼지(PM2.5)와 황산화물(SOx)은 산업 부문(각 42.1%, 56.1%), 질소산화물(NOx)은 수송 부문(61.1%)에서 주로 배출되고 휘발성유기화합물(VOCs)과 암모니아(NH_3)는 생활 부문(유기용제, 농업 등)에서 주로 배출된다.

미세먼지 관리 종합대책에 따르면 국내 배출량 감출 목표를 2024년 연평균 초미세먼지 농도 개선 목표 달성을 위해 2024년까지 PM2.5(직접) 19%, SOx 42%, NOx 64%, VOCs 32%, NH_3 25% 이상 감축을 추진한다.

[표 2-9] 2024년 목표 삭감량

구분	PM2.5	SOx	NOx	VOCs	NH_3
배출량	1,002	3,590	12,483	10,240	3,013
삭감량	191	1,513	7,933	3,276	754
삭감률	19%	42%	64%	32%	25%

이를 달성하기 위해 4대 대기관리권역을 설정하여 권역별 관리와 총량제 시행, 사업장 배출허용 기준 강화, 꼼꼼한 허가체계 구축, 자가측정 전면 개편, 오염물질 측정값 조사 방지 및 데이터 공개 사업장 배출관리 실태 및 단속 강화 등이 시행된다.

특히 도심 속 미세먼지 발생원 저감을 위한 다양한 대책이 마련되었는데 소규모 배출원 관리 등 사각지대 관리와 함께 생활 주변 소규모 배출원에서 배출되는 오염물질을 대상으로 배출 행위 제한 및 방지시설 설치 명령이 가능하도록 강화하는 등의 제도가 마련되었고 소규모 영세사업장의 방지시설 설치 지원을 확대하는 등의 사업이 추진된다.

[표 2-10] 국내 배출 감축 추진과제

구분	추진과제
산업 부문	- 드론 등 첨단 장비 활용 사업장 감시 - 대기관리권역 확대, 권역 내 사업장 대상의 총량관리제 도입 - 소규모 영세사업장의 방지시설 설치 지원 확대
수송 부문	- 노후 경유차 감축 강화 및 저공해차 보급 확대 - 강화된 선박연료유 품질기준 시행 - 건설·농업기계 배출 기준 강화
발전 부문	- 노후석탄 발전소 폐지 일정 재조정(2022~2024년) - 고농도 시기(12~3월) 가동 중단 대폭 확대
농업·생활 부문	- 화학비료 사용량 절감, 축사 환경규제 강화 - 가정용 노후보일러의 친환경보일러 교체 지원

[대기관리권역법 시행]

환경부는 미세먼지를 포함한 대기오염원을 체계적이고 광역적으로 관리함으로써 대기오염으로부터 주민의 건강을 보호하기 위해 대기관리권역의 대기환경 개선에 관한 특별법 제9조를 수립하여 관계부처 및 관련 지자체의 의견을 들어 5년(2020~2024년)마다 대기관리권역의 대기오염물질을 줄이기 위한 기본계획을 수립한다.

기존 대기환경 기본계획을 수립했던 수도권 외 중부권, 남부권, 동남권(4개 권역 8개 특별·광역시와 69개 시군)을 대기관리권역으로 추가 지정했다. 대기관리권역의 가장 큰 특징은 권역 특성을 고려한 체계적인 관리를 시행하는 것으로 항만·선박, 공항, 생활 주변 배출원 등 사각지대 관리가 강화된다.

대기관리권역 내 시도는 생활 주변의 대기오염 배출을 줄이기 위해 소규모 배출원 대상 방지시설 설치 명령 조치 등을 취할 수 있다. 특히 가정용 보일러는 한국환경산업기술원의 인증[1종(콘덴싱 보일러)과 2종(그 외 보일러)]을 받아야 하는데 이는 생활 주변 오염물질의 감축을 위해 권역 내에서 제조·공급·판매하는 가정용 보일러를 대상으로 한다. 인증 기준은 NOx, CO, 열효율 등 3가지 기준을 충족해야 하는 등 생활 배출원 저감을 위한 기준 강화 및 지원을 강화한다.

인구 밀집 권역으로 차량이 집중된 수도권의 경우 특성을 고려해 ①노후 경유차 조기폐차, 운행 제한 등 도로이동오염원 관리대책 ②발전소 및 사업장 대상 총량관리제 ③친환경 가정용 보일러, 주유소 유증기 회수설비 설치 등 생활 주변 오염원 관리대책을 중점 추진한다.

[표 2-11] 권역별 대기질 개선 목표(PM2.5) 및 오염물질별 배출량 삭감률 (단위: $\mu g/m^3$)

권역	2016년 농도 (기준 연도)	2024년 농도 (BAU, 모델링)	2024년 목표농도 (삭감대책 모델링)	배출량 삭감률 (2024년 전망 배출량 대비)
수도권	27	27	17(37%↓)	7~31%
중부권	26	26	17(35%↓)	10~51%
남부권	24	24	16(33%↓)	14~44%
동남권	26	26	17(35%↓)	10~41%

[수도권 대기환경 기본계획]

환경부는 서울, 인천, 경기를 포함한 수도권 전역의 대기환경 개선을 위한 수도권 대기환경관리 기본계획을 수립하여 기초 사업장 대상의 대기오염물질 총량관리, 자동차 배출가스 억제 대책 등을 마련하였다. 2차 수도권 대기환경관리 기본계획의 대상 기간은 2015~2024년이며, 1차 대책에서 제외되었던 7개 시군(포천시, 광주시, 안성시, 여주시, 연천군, 양평군, 가평군)을 대기관리권역으로 포함하였다. 관리 대상 오염물질 또한 인체 위해성 중심의 대기관리를 위하여 1차 계획에서는 PM10, NOx, SOx, VOCs를 관리 대상 오염물질로 지정했지만 2차 계획에서는 PM2.5, O_3도 관리 대상 물질로 포함하였다.

분야별 주요 추진과제는 표 2-12와 같다. 세부과제를 통하여 고농도(Hot-spot) 노출 인구 건강 보호 등 인체 위해성 관리에 중점을 두었으며, 2024년까지 20%를 친환경 자동차를 보급해 사업장 총량제 강화 등 예방 관리 정책을 강화하였다. 도장시설, 세탁소, 주유소, 인쇄소, 생활소비재 등 생활 주변 VOCs 배출원 관리대책 마련을 통하여 생활 주변 오염원을 관리한다.

[표 2-12] 2차 수도권 대기환경관리 기본계획 추진과제

분야	추진과제
자동차 관리	- 친환경자동차 보급 확대 - 제작차 배출허용 기준 및 사후관리 강화 - 노후차 저공해화 및 LEZ 제도 장착 - 비도로 이동오염원의 체계적인 관리체계 구축 - 교통수요 관리 강화
배출시설 관리	- 대기오염물질 총량관리 강화 - 총량 사업장 외 배출시설 관리
생활오염원 관리	- 생활 주변 VOCs, NOx 배출원 관리 - 생물성 연소시설 등 PM2.5, PM10 대책 마련
과학적 관리기반 구축 및 홍보 강화	- 수도권 대기환경관리 시스템 구축 - 대기측정망 확충 및 중장기 정책 R&D 확대 - 미세먼지 예·경보제 시행 및 국제협력 강화

수도권의 PM10, PM2.5, NOx, O_3 배출량과 오염도 전망, 대책 시행에 따른 삭감량을 모델링하여 대기 개선 목표를 설정하였다.

[표 2-13] 2차 수도권 대기환경관리 기본계획 대기 개선 목표

구분	PM10($\mu g/m^3$)	PM2.5($\mu g/m^3$)	NO_2(ppb)	O_3(ppb)
서울시	30	20	21	60
인천시	36	20	20	60
경기도	37	20	20	70

[미세먼지 시즌제(계절관리제)]

고농도 미세먼지 발생을 예방하기 위하여 서울시에서는 2019년 12월부터 2020년 3월 말까지 1차 연도 미세먼지 시즌제(계절관리제)를 시행했다. 고농도 미세먼지가 자주 발생하는 겨울인 12월에서 3월 사이에 평상시보다 강력한 저감 대책을 시행하여 고농도 미세먼지 발생 빈도와 강도를 사전에 줄이고자 하였다. 미세먼지 배출 기여도가 높은 분야를 중점으로 수송, 난방, 사업장, 노출 저감 등 4개 분야의 9대 핵심 대책과 7대 상시 지원 대책을 마련하여 시행하였다.

[표 2-14] 미세먼지 시즌제 9대 핵심 대책

분야	주요 내용
수송(3)	- 자동차 배출가스 5등급 차량 운행 제한 - 행정·공공기관 차량 2부제 - 시영주차장 주차요금 할증·인상
난방(2)	- 에코마일리지 특별포인트 도입 - 대형건물 겨울철 적정 난방온도 집중 관리
사업장(2)	- 대기오염물질 배출사업장 집중 관리 - 노후 건설기계 사용 제한 확대
노출 저감(2)	- 미세먼지 중점관리도로 지정 · 청소 강화 - 건강 취약계층 및 다중이용시설 실내공기질 특별 점검

지원대책 중 소규모 대기배출사업장의 경우 대기오염물질 배출허용 기준 강화에 따른 소규모 사업장 방지시설 개선을 위하여 맞춤형 방지시설 설치를 지원하고, 노후된 도금, 도장업체에 방지시설 지원을 계획하였다.

[표 2-15] 미세먼지 시즌제 7대 지원대책

분야	주요 내용
사업장	- 소규모 대기배출사업장 맞춤형 방지시설 설치 지원 - 음식점 악취·미세먼지 저감시설 설치 확대
난방	- 미세먼지 저감을 위한 친환경보일러 집중 보급
노출 저감	- 미세먼지 집중관리구역 지정 및 관리 강화 - 간이측정망을 활용한 시민이 체감하는 미세먼지 정보 제공
국제협력 신기술	- 동아시아 지역의 국제협력 강화 - 미세먼지 저감 신기술 발굴

[서울시 생활권 미세먼지 그물망 대책]

초미세먼지의 연평균 농도는 일부 개선되었으나, 환경 기준에는 만족하지 못하는 수준이다. 미세먼지 배출은 지역별 배출량의 편차가 존재하고, 부문별한 지역 비중도 발생하는 등 시도별 연평균 농도 편차가 존재하여 지역별 특성에 따른 맞춤형 정책 수립의 필요성이 대두됨에 따라 지역 자체적인 미세먼지 저감 대책 수립을 유도하고 있으며 현재 추진 중이다. 서울시는 2019년 4월 선도적 미세먼지 정책 추진을 마련하기 위해 시민 생활공간과 가까이에 있는 생활권 오염원의 관리 강화 필요성을 인지하고 시민 피해를 가중시키는 생활권 오염원의 그물망 관리 대책을 추진하였다. 도심 지역 내 생활 주변 오염원 관리를 위해 IoT 기반 간이측정기를 활용해 생활권 오염원의 상시 관리, 대기배출시설 밀집지역 중 취약계층 이용시설 집중 관리, 저감시설 지원 및 배출원 규제 동시 추진, 소규모 정비업체 매연포집시설 설치 의무화 등을 추진한다.

[표 2-16] 주요 분야 및 과제 내용

분야	과제명	주요 사업 내용
생활도로 자동차 저공해화	전기이륜차 전환 및 이륜차 배출가스 규제 강화	- 2025년까지 배달용 이륜차 10만 대를 전기이륜차로 전량 전환 - 중·소형 이륜차 대상의 정기검사 등 배출규제 강화 건의
	경유 마을버스를 친환경 전기버스로 전량 교체	- 마을버스 1,581대 중 경유버스 444대를 전기버스로 교체 - 「경유 마을버스 제로」, 2020년부터 본격 교체
	어린이 통학차량 친환경차 전환 지원사업 확대	- 매년 40대씩 '22년까지 1,400대 LPG, 전기차로 전환 지원 - 경유차 사용 제한(2023년) 적극 홍보, 위해성 및 조기 시행 건의
가정 및 대형건물 미세먼지 관리	가정용 친환경콘덴싱보일러 설치의무화에 따른 확대 보급	- 가정용 친환경보일러 설치의무 제도화: 2020년 3월 시행 - 보조사업과 공익협력사업 병행 추진으로 보급 대폭 확대
	영업용 저녹스버너 확대 교체 보급	- 영업용 버너의 배출허용 기준 강화 - 2020년까지 0.3톤 이상 보일러 저녹스버너 교체 완료
	공동주택 미세먼지 정화장치 (공조기) 공동관리 시행	- 서울시 준칙 개정 통해 공동주택의 환기장치 공동관리 추진 - 공동주택 환기장치 활용 안내 및 필터 교체 필요성 홍보

[표 2-16] 주요 분야 및 과제 내용(계속)

분야	과제명	주요 사업 내용
점오염원 촘촘한 관리	미세먼지 집중관리구역 지정·운영	- 대기배출시설 밀집지역 중 취약계층 이용시설 집중구역 선정 - 저감시설 지원 및 배출원 규제 동시 추진
	IoT 기반 간이측정기 활용, 생활권 오염원 상시 관리	- 간이측정기 정확도 평가 후 배출원 주변 시범 설치 운영(2019년 상반기) - 도시데이터 복합센서 활용, 상시 모니터링(2019년 하반기)
	도심경찰버스 친환경차 도입 및 공회전 방지대책 추진	- 경찰버스 친환경차 도입으로 경유 경찰버스 퇴출 추진 - 친환경차 도입 전 공회전 방지용 분전함 설치
	자동차 정비업소·검사소 관리를 통한 배출가스 관리	- 자동차 정비업체 무단 공회전 및 민간검사소의 부정검사 단속 - 소규모 정비업체 매연포집시설 설치의무화 추진

1-3. 국외 VOCs 규제 및 관리 정책

[중국]

중국 생태환경부는 2019년 석유 화학 제품, 화학 물질, 산업용 코팅제, 포장 및 인쇄, 저유소 및 운송과 관련된 산업 등 주요 산업시설 내 VOCs의 배출 감소를 위한 3개년 계획안을 발표하였다. 주요 목표는 ①VOCs의 함유가 높은 원자재 대체 방안 촉진 ② 기존 표준의 업데이트 및 원자재 내 VOCs의 신규 표준 마련 ③VOCs 규제 단속 시행 및 관리·감독 개선 ④VOCs 제어기술 업데이트로 VOCs 함유가 낮은 코팅 제품을 발표하고 목재, 차량 등에 사용되는 VOCs의 제한 수치 개정, 잉크의 새로운 VOCs 표준과 접착제와 세척제 내 VOCs의 의무 표준도 도입할 예정이며, 살충제, 자동차 코팅제, 용기 제조, 포장 및 인쇄, 가구제조, 전자 산업의 대기오염 물질 배출 기준을 도입하는 것을 목표로 하고 있다.[2)]

[독일]

독일의 VOCs 정의는 EU규정에 따르고 있으며, 연방배출방지법 31번 시행령 2조 11항에 293.15켈빈(K: 섭씨 20도에서 증기압이 0.01킬로파스칼(kPa) 또는 그 이상의 압력 또는 각각의 사용 조건)하인 경우 휘발성을 띠는 유기화합물로 정의하고 있다. 독일에서는 연방배출방지법(BImSchG: Bundes-Immissionsschutzgesetz)을 법령으로 관리하고 있으며 이와 관련해 시행령 및 시행규칙이 제정되어 있다. 특히 VOC와 관련해서 별도의 시행령 및 시행규칙이 제정되어 있고 주요 관리 기준의 내용은 대기오염방지기술지침(dietechnische, TA Luft)에 규정되어 있다.

2) 국제환경규제종합정보망(www.compass.or.kr), 2020. 8. 10. 방문

독일에서는 크게 산업공정, 제조업, 가정 및 소규모 소비자 운수업, 군사 및 소규모 배출원, 연료배출, 탈루성 배출, 에너지 분야 등 7개 분야, 19개 시설로 구분하고 있다. 주요 VOCs 배출원별 규제량을 설정했으며, 주요 배출원별 규제량은 표 2-17과 같다.[3)]

[표 2-17] 주요 VOCs 배출원별 규제량

설비분류		배출규제(톤/년)
인쇄	오프셋 인쇄설비	15
	그라비어 인쇄설비	25
	기타 인쇄설비	15
재료 및 제품표면 청소	표면 세척설비	1
드라이클리닝	드라이클리닝 설비	0
운송수단코팅	자동차 코팅 설비	0
	택시 코팅 설비	0
	상업용 차량 코팅 설비	0
	버스 코팅 설비	0
	기차 코팅 설비	5
차량 도장수리	차량 도장수리 설비	0
판금속 코팅	판금속 코팅 설비	10
금속선 코팅	페놀 크레솔 실레놀 포함 금속선 코팅 설비	0
	기타 금속선 코팅 설비	5
금속 및 플라스틱 표면 코팅	목재 또는 목질 재료 코팅	5
목재 또는 목질재료 코팅	유기용매 사용량 연간 15톤 이하 목질 재료 코팅 설비	5
	유기용매 사용량 연간 15톤 이상 목질 재료 코팅 설비	15
섬유 직물 필름 및 종이 표면 코팅	섬유 및 직물 표면 코팅 설비	5
	가죽 코팅 설비	5
가죽 코팅	가죽 코팅 설비	10
나무 합침	유성 목재 방부재 사용 나무 함침 설비	10
	크레오스테 사용 나무 함침 설비	0
나무 또는 플라스틱 적층	나무 또는 플라스틱 적층 설비	5
접착 코팅	접착 코팅 설비	5
신발 생산	페인트 코팅재료 건물방부재 목재방부재 접착재 잉크생산	5
페인트 코팅재료 건물 방부재 목재방부재 접착제 잉크 생산	페인트 또는 코팅재료 생산설비	100
	건물 및 목재 방부재 생산설비	100
	접착제 생산설비	100
	잉크 생산설비	100
고무 변환	고무 변환설비	10
식물성 및 동물성 기름 추출 또는 식물성 기름 정제	식물성 및 동물성 기름 추출 또는 식물성 기름 정제설비	10
약제 제조	약제 제조 설비	50

3) 국토환경정보센터(www.neins.go.kr), 2020. 8. 10. 방문

[미국]

미국 뉴욕주는 2019년 4월 건축 및 산업용 유지보수(AIM)[4] 코팅제 내 VOCs의 함량 기준 개정안[5]을 WTO에 제출하였다. 주로 페인트로 불리는 건축 및 산업용 유지보수 코팅제는 VOCs를 대기 중으로 배출하고 있으며, 현재 52종의 VOCs 코팅제를 규제하고 있다.

주요 개정 내용은 기존 15종(안테나 코팅제, 방오 코팅제, 투명 브러시 라커, 라커, 샌딩 실러, 바니시, 투명 난연성 코팅제, 불투명 난연성 코팅제, 플로 코팅제, 속건성 애나멜, 속건성 프라이머 실러 및 언더코팅기, 수영장 유지보수 코팅제, 온도 표시기 코팅제, 방수제, 방수 콘크리트·석조 실러) 코팅제의 VOCs 기준을 삭제하고 12종 코팅제의 신규 VOCs(알루미늄 지붕, 지하 특수 코팅제, 콘크리트·석조 실러, 공액 오일 바니시, 도로용 실러, 반사형 침투성 발수제, 반사형 침투성 탄산 석재 실러, 석재 강화제, 옥조 및 타일 보수용 코팅제, 도박 방수제, 목재 코팅제, 아연 프라이머) 기준을 도입하였다. 플레트, 비틀레트 코팅제 등 12종 VOCs 물질의 기준을 강화하는 등 코팅제 내 VOCs 함량 기준의 개정을 도입하여 뉴욕주에서 사용하는 건축용 코팅제를 공급, 판매, 매매 제의 또는 제조하는 자에게 적용되는 개정안을 통보하였다.[6] 미국 콜로라도주 보건환경부(Department of Pubic & Environment)에서는 특정 소비재, 건축재 및 산업용 제품에서 VOCs의 사용 기준을 강화하는 규제[7]를 도입하였다. 이 규제는 2020년 5월 1일부터 시행되었으며 접착제 제거제, 접착제, 방향제, 발한 억제제, 정전기 방지제, 자동차용 왁스, 광택제 및 밀폐제 등이 해당한다.[8] 미국의 경우 산업용 유지보수뿐 아니라 특정 소비재 건축재 등 생활 주변에서 사용 가능한 VOCs의 사용 규제 및 기준 강화를 점차 확대하고 있다.

[스웨덴]

스웨덴의 국가 VOCs 배출의 약 50% 정도는 용제 사용으로 발생한 것이고, 약 43%는 교통 부문(도로 및 가정의 벽난로 사용)을 포함한 에너지 부문에서 배출된다. 국가의 지역별 VOCs 배출량을 살펴보면 인구밀도가 높은 대도시 지역의 배출량이 많은 부분을 차지하는데 이는 교통 및 용제 사용, 중공업의 산업기계 사용이 대도시에서 주로 이루어지기 때문이다.

4) Architectural and Industrial Maintenance
5) Volatile Organic Compounds(VOCs) in Architectural and Industrial Maintenance(AIM) Coatings
6) 국제환경규제종합정보망(www.compass.or.kr), 2020. 8. 11. 방문
7) Air Quality Control Commission Regulation 21 Control of Volatile Organic Compounds from Consumer Products and Architectural and Industrial Maintenance Coating
8) 국제환경규제종합정보망(www.compass.or.kr), 2020. 8. 11. 방문

유럽연합(EU)이 1994년 VOC 배출 제어에 관한 EU 법률을 통과시키며 유럽 전체의 VOCs 배출량을 감축하기 위해 노력하자 스웨덴도 아래와 같이 국내법에 VOCs 규제를 포함시켰다.

- 스웨덴 환경법(SFS 1988:808, SFS 1998:808)
- 화학제품과 생명공학 유기체 관련 법령(Forordning[2008:245] om kemiska produkter och biotekniska organismer)
- 유기용제 사용에 관한 법령(Forordning[2013:254] om anvndning av organiska lsningsmedel)
- 주유소의 VOCs 배출 제한에 관한 환경청 규정(SNFS 1996:14)
- 스웨덴 교통청의 주유소 규정(SNFS 1996:14)
- 환경유해산업과 보건에 관한 법령(SFS 1998:899)

스웨덴은 VOCs 배출을 제품 종류별로 규제하고 있으며 도장(채색) 작업 시 VOCs 배출량 제한 기준은 표 2-18과 같다.[9)]

[표 2-18] 스웨덴 도료의 VOC 규제 기준

제품 종류	VOC 규제치(g/L)
실내 벽과 천장 무광 도색(광택도 〈25 with 60°)	3,030
실내 벽과 천장 유광 도색(광택도 〉25 with 60°)	100,100
실외 광물 재질 표면 도색	40,430
실내외 목재, 금속 혹은 플라스틱 도색	130,300
실내외 목재, 금속 혹은 플라스틱 투명 도색	130,400
실내외 사용을 위한 얇은 층의 유약, 기름칠	130,700
절연 프라이머	30,350
바인딩 프라이머	30,750
단일코팅	140,500
바닥과 같이 이중 코팅	140,500
다양한 색상	100,100
장식 효과 채색	200,200

자료: 스웨덴 화학감독청(http://www.kemi.se)

9) 국토환경정보센터(www.neins.go.kr)

[표 2-19] 스웨덴 자동차 수리 및 도장 시 VOC 규제 기준

제품 종류	타입	VOC 규제치(g/L)
준비 및 청소	준비재료	850
	세제	200
충전재	모든 타입	250
기본 채색	필러 및 일반 프라이머(금속) 밑바탕색	540,780
마감칠	모든 타입	420
특수마감	모든 타입	840

자료: 스웨덴 화학감독청(www.kemi.se)

2. 국내외 소규모 도장시설 대기 배출시설 관련 규정

2-1. 국내 소규모 도장시설 관련 규정

[대기오염 배출시설 기준]

국내에서 VOCs를 규제하고 있는 지역은 특별대책지역과 대기환경규제지역으로 구분하고 있다. 대기환경보전법의 시행에 맞추어 수도권을 중심으로 하는 대기환경규제지역 내에서 규제 대상으로 하고 있는 석유정제 및 석유화학제품제조업, 유기용제 및 페인트 제조업, 선박 대형 철구조물제조업, 자동차 제조업 및 기타 제조업 등 5개 제조업과 저유소, 주유소, 세탁시설, 폐기물 보관·처리시설 및 자동차정비업 등 5개 비제조업을 포함한 10개 VOCs 발생 업종의 세부 관리 기준을 설정한다.

VOCs 규제 대상 배출시설 규모는 특별대책지역과 대기환경규제지역이 상이하며 특별대책지역이 대기환경규제지역보다 더 강화된 기준을 적용하고 있다. 특별대책지역은 현저한 환경오염의 우려가 있는 대규모 산단지역을 대상으로 한 특별한 배출허용 기준이나 시설설치 제한 등의 정책수단을 통해 규제를 시행한다. 대기환경규제지역은 주로 환경기준 초과 등이 우려되는 수도권의 점, 선, 이동오염원 등 배출원의 대기오염물질 저감 정책과 지역실정에 맞는 정책개발을 수단으로 지방자치단체에서 대책을 수립하고 시행한다. 현재 국내 대기오염물질 배출시설은 총 37종으로 분류되며, 도장시설은 용적이 5m^3 이상이거나 동력이 2.25kW 이상인 도장시설(분무·분체·침지도장시설, 건조시설 포함)을 말한다(표 2-20 참조).

[표 2-20] 소규모 도장시설 대기오염배출시설 기준

배출시설	대상 배출시설
도장시설	용적이 5m^3 이상이거나 동력이 2.25kW 이상인 도장시설 (분무·분체·침지도장시설, 건조시설 포함)

국내 도장시설에서 배출되는 대기오염물질은 대기환경보전법 시행규칙 제15조 관련 별표 8의 대기오염물질 배출허용 기준에 따라 규제되고 있다. 이는 2020년 1월 1일 적용되어 이전보다 강화된 배출허용 기준이 마련되었다. 표 2-21과 같이 도장시설에서 배출되는 THC는 연속식의 경우 40ppm 이하, 비연속식의 경우 110ppm 이하로 규제되고 있다.

[표 2-21] 국내 도장시설 배출허용 기준 (단위: ppm)

대기오염물질	배출시설시설	배출허용 기준
탄화수소 (ppm)	연속식 도장시설(건조시설과 분무·분체·침지도장시설 포함)	40 이하
	비연속식 도장시설(건조시설과 분무·분체·침지도장시설 포함)	110 이하
먼지 (mg/Sm^3)	도장시설(분무·분체·침지도장시설, 도장의 경우 동력을 이용한 연마시설 포함) 및 부속 건조시설	30 이하

주: 탄화수소(THC)의 1)의 '연속식 도장시설'이란 1일 8시간 이상 연속하여 가동하는 시설이며, 2)의 '비연속식 도장시설'이란 연속식 도장시설 외의 시설을 말한다.
탄화수소(THC)의 도장시설(건조시설 포함) 중 자동차 제작자의 도장시설(건조시설을 포함하며, 유기용제 사용량이 연 15톤 이상인 시설만 해당)의 배출허용 기준은 따로 적용한다.

또 대기환경보전법 제33조에 따라 환경부장관 또는 시도지사는 일정 기간에 오염물질의 정도가 배출허용 기준 이하로 내려가도록 필요한 조치를 취할 것을 명할 수 있고(이하 '개선명령') 제34조에 따라 ①환경부장관 또는 시도지사는 제33조에 따라 개선명령을 받은 자가 개선명령을 이행하지 아니하거나 기간 내에 이행은 하였으나 검사 결과 제16조 또는 제29조 제3항에 따른 배출허용 기준을 계속 초과하면 해당 배출시설의 전부 또는 일부의 조업정지를 명할 수 있다. ②환경부장관 또는 시도지사는 대기오염으로 주민의 건강상·환경상의 피해가 급박하다고 인정하면 환경부령으로 정하는 바에 따라 즉시 그 배출시설의 조업시간 제한이나 조업 정지, 그 밖에 필요한 조치를 명할 수 있다.

서울시에서는 2003년 4월 도장시설 배출 VOCs 기준을 조례에 규정(서울특별시공고 제2003-401호)하였다. 2007년 5월 29일을 기준으로 도장시설의 구분을 배출가스량 10,000m^2/시간 이상, 미만에서 연속식, 비연속식 도장시설로 변경하였다. 2007년 5월 29일 이후 변경한 도장시설 분류 기준은 대기환경보전법에서 제시하는 분류와 동일하다. 단, 대기환경보전법에 비해 서울시에서 제시한 THC 배출 농도 규정이 엄격하다.

[표 2-22] 서울시 도장시설 배출 VOCs 기준 (단위: ppm)

대기오염물질	배출시설	배출허용 기준 (2007.5.29이전)	배출허용 기준 (2007.5.29이후)
탄화수소 (THC)	가. 도장시설(건조시설 포함) (1) 배출가스양이 10,000m^2/시간 이상인 시설 (2) 배출가스양이 10,000m^2/시간 미만인 시설	50 이하 100 이하	
	가. 도장시설(건조시설 포함) (1) 연속식 (2) 비연속식		40 이하 100 이하

또 VOCs를 배출하는 시설 중 자동차 정비 도장시설의 방지시설 종류와 제거효율 등의 설치 기준을 다음과 같이 정한 바 있다.

업종	배출시설	설치 기준
자동차 정비시설	가. 용적 5m^3 이상 또는 3마력 이상의 도장시설 (건조시설 포함)	방지시설은 다음과 같은 시설을 설치한다. ① 활성탄 등에 의한 흡착시설 단, 흡착재의 휘발성유기화합물 흡착 성능이 한계에 도달하면 흡착된 고농도의 휘발성유기화합물을 탈착 회수하여 처리하는 흡착재 재생시설을 설치하여야 한다. ② 생물학적 처리시설 ③ 열 또는 촉매 산화반응시설 ④ 저온응축 또는 흡수시설 ⑤ ① 또는 ④와 동등하거나 그 이상의 방지효율을 지닌 시설 2. 방지시설의 제거효율은 다음과 같다. - 처리효율(VOCs 제거율) 배출가스양 10,000m^3/시간 이상: 70% 이상 배출가스양 10,000m^3/시간 이하: 85% 이상

하지만 「서울특별시 환경기준조례」, 「서울특별시 대기오염물질 배출허용기준 등에 관한 조례」는 조례 내용이 「서울특별시 환경기본조례」에서 지정하는 것으로, 조문도 2~3개로 내용이 간단하게 구성되어 있어, 이러한 조례를 개별적으로 유지하기보다는 이를 폐지하고, 그 내용을 「서울특별시 환경기본조례」에 통합해 운영하는 것이 바람직하다, 환경기본조례의 일부 미비한 조항의 정비를 이유로 조례가 삭제되었다.

[환경친화형 도료 관련 정책]

자동차 보수용 도료 부분에서 배출되는 VOCs 저감 관리 정책으로 환경친화형 도료 보급 정책을 시행하고 있다. 이 정책은 2005년부터 용도별, 지역별 단계적으로 VOCs

함유 기준을 강화하고 적용 지역을 확대하였다. 강화한 VOCs 함유 기준을 초과한 도료는 공급 및 판매를 금지하고 있다.

(환경친화형 도료 보급 정책 단계적 시행)

환경친화형 도료 보급 정책 단계적 시행
수도권 지역부터 도료의 VOCs 함유 기준 규제 시행(2005) - 적용 대상: 건축용·자동차수리용·도료표지용 도료
⇩
도료 VOCs 함유 기준을 단계적으로 강화(2007. 1.~2010. 1.)
⇩
도료 VOCs 함유기준 적용 지역을 전국으로 확대 시행(2013. 5.)
⇩
2015년 이후 적용될 기존 도료(건축용·자동차수리용·도료표지용)의 VOCs 함유 기준안 및 공업용(선박용·강교용) 도료의 신규 기준안 제정(2013. 5.)

(도료의 VOCs 함유 기준)

도료의 휘발성유기화합물 함유 기준 등
제44조의 2(도료의 휘발성유기화합물 함유 기준 등) ① 도료에 대한 휘발성유기화합물의 함유 기준(이하 '휘발성유기화합물 함유 기준'이라 한다)은 환경부령으로 정한다. 이 경우 환경부장관은 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여야 한다. ② 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자는 휘발성유기화합물 함유 기준을 초과하는 도료를 공급하거나 판매하여서는 아니된다. 〈개정 2015. 1. 20.〉 1. 도료를 제조하거나 수입하여 공급하거나 판매하는 자 2. 제1호 외에 도료를 공급하거나 판매하는 자 ③ 환경부장관은 제2항 제1호에 해당하는 자가 휘발성유기화합물 함유 기준을 초과하는 도료를 공급하거나 판매하는 경우에는 대통령령으로 정하는 바에 따라 그 도료의 공급 · 판매 중지 또는 회수 등 필요한 조치를 명할 수 있다. 〈신설 2015. 1. 20.〉 ④ 환경부장관은 제2항 제2호에 해당하는 자가 휘발성유기화합물 함유 기준을 초과하는 도료를 공급하거나 판매하는 경우에는 대통령령으로 정하는 바에 따라 그 도료의 공급 · 판매 중지를 명할 수 있다. 〈신설 2015. 1. 20.〉
대기환경보전법 시행규칙
제61조의 2(환경친화형도료의 기준) 법 제44조의 2 제1항에 따른 도료에 대한 휘발성유기화합물의 함유기준은 별표 16의 2와 같다.

(자동차 수리용 환경친화형 VOCs 함유 기준)

대기환경보전법 시행규칙에서는 도료의 VOCs 함유 기준을 용도별로 구분하여 제시하고 있다. 도료는 크게 건축용 도료, 자동차 수리용 도료, 도로표지용 도료, 공업용 도료로

구분하고, 각각 세부 용도별로 구분되며 함유 기준이 상이하다. 표 2-23은 자동차 수리용 도료의 VOCs 함유 기준이며, 2010년, 2015년, 2019년 개정안을 같이 제시하였다.

2010년과 2015년 개정안을 비교해 보면 워시프라이머를 제외한 나머지 도료의 함유 기준이 40~50g/L 낮아진 것을 알 수 있다. 2020년 1월 1일부터 적용되는 2019년도 개정안을 보면 기존의 함유 기준과 현저하게 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이는 친환경 도료 사용 확대에 따른 영향으로 판단된다. 또한 기존에는 없던 사) 기타 항목의 함유 기준이 추가되었다.

[표 2-23] 자동차 수리용 도료의 VOCs 함유 기준

용도 분류	휘발성유기화합물 함유 기준(g/L)		
	2014.12.31.까지 (2010년 개정)	2019.12.31.까지 (2015년 개정)	2020.01.01.부터 (2019년 7월 개정)
가) 워시프라이머	780 이하	780 이하	660 이하
나) 프라이머/서페이서	580 이하	540 이하	420 이하
다) 상도-싱글	500 이하	450 이하	420 이하
라) 상도-베이스 코트	500 이하	450 이하	200 이하*
마) 상도-톱 코트	500 이하	450 이하	420 이하
바) 특수기능도료	840 이하	800 이하	680 이하
사) 기타	-	-	250 이하

주: 상도-베이스 코트(base coat)의 휘발성유기화합물 함유 기준은 유성의 경우에는 2020년 12월 31일까지 450g/L 이하로 적용한다.

(자동차 수리용 환경친화형 도료 VOCs 함유량 산정 방법)

국립환경과학원에서는 표 2-23의 도료 생산 업체에서 판매하는 도료의 VOCs 함유 기준 확인을 위하여 도료의 VOCs 함유량 산정 방법을 '도료 중 휘발성유기화합물의 함유량 산정 방법, 용기 표시사항 등에 관한 고시'를 통해 고시하고 있다. 아래 식과 설명은 해당 내용을 정리한 것이다.

$$VOC\text{함유량}(g/L) = \frac{[(100 - NV - Mw - \sum Es) \times \rho s \times 10 + \text{최대희석비} \times \frac{100 - Mst - \sum Est}{100} \times \rho s \times 10]}{(100 + \text{최대희석비})/100}$$

• NV: 불휘발분 함량(W%), 이때 NV는 KSM ISO 3251에 따라 시험한다.

주 1: 도료제품 제조사와 판매자(수입업체 포함)는 제품 내 250°C 이상 물질이 불휘발분 함량에 영향을 줄 수 있을 경우 이를 확인할 수 있도록 관련자료(물질안전보건자료 등)를 관계기관에 제출하여야 한다.

주 2: 이 경우, 분석기관에서는 최소비등점 250°C 이상 물질의 함유 여부를 최소비등점 250±3°C의 순수한 물질(예: 비극성시스템의 경우 테트라데칸[최소비등점 252.6°C], 극성시스템의 경우 디에틸아디페이트[최소비등점 251°C])로 확인할 수 있다.

- Mw: 수분 함량(W%)
- Mwt: 희석용제의 수분 함량(W%), 이때 Mw와 Mwt는 KS M 5000(시험방법 2261) 또는 KS M 0034의 칼피셔 적정법에 따라 시험
- ∑Es: 도료 함유 VOC 면제물질 총량(W%)
- ∑Est: 희석용제 중 VOC 면제물질 총량(W%), 이때 ∑Es와 ∑Est는 KS M ISO 11890-2에 따라 시험
- ρs: 23℃에서의 도료 밀도(g/mL)
- ρd: 23℃에서의 희석용 용제 밀도(g/mL), 이때 ρs 및 ρd는 KSM ISO 2811에 따라 시험

(자동차 수리용 환경친화형 도료 용기 표시사항[국립환경과학원 고시])

도료 용기에는 기존 표시사항 이외에 다음의 사항을 표시하여야 한다.

- 시행규칙 제39조 별표 9에 의한 도료제품별 용도 분류 및 함유 기준
- 도료 내 휘발성유기화합물 함유량
- 희석 용제의 종류 및 최대 희석비
- 제조 또는 수입 일자
- 위의 4개항의 표시사항 기재 시, 주변 다른 표시사항 글자 크기를 2포인트 확대 또는 기존 글자체 대비 굵게 표시하여야 한다.

(도료 기준 준수 여부 관리 규정)

대기환경보전법 시행령

제45조의 2(도료의 휘발성유기화합물 함유 기준 초과 시 조치명령 등)

① 환경부장관은 법 제44조의 2 제3항 또는 제4항에 따라 조치명령을 하는 경우에는 조치명령의 내용 및 10일 이내의 이행 기간 등을 적은 서면으로 하여야 한다.

② 법 제44조의 2 제3항에 따른 조치명령을 받은 자는 그 이행 기간 이내에 다음 각 호의 사항을 구체적으로 밝힌 이행완료보고서를 환경부령으로 정하는 바에 따라 환경부장관에게 제출하여야 한다.

1. 해당 도료의 공급·판매 기간과 공급량 또는 판매량
2. 해당 도료의 회수처리량, 회수처리 방법 및 기간
3. 그 밖에 공급·판매 중지 또는 회수 사실을 증명할 수 있는 자료에 관한 사항

③ 법 제44조의 2 제4항에 따른 조치명령을 받은 자는 그 이행 기간 이내에 다음 각 호의 사항을 구체적으로 밝힌 이행완료보고서를 환경부령으로 정하는 바에 따라 환경부장관에게 제출하여야 한다.

1. 해당 도료의 공급·판매 기간과 공급량 또는 판매량
2. 해당 도료의 보유량 및 공급·판매 중지 사실을 증명할 수 있는 자료에 관한 사항

(자동차 보수용 환경친화형 도료 VOCs 함유량 기준 초과 시 규정)

- 제조(수입)자
  - 휘발성유기화합물(VOCs) 함유 기준에 부적합한 도료(건축용, 자동차보수용, 도로 표지용, 공업용)의 공급 금지
  - 법적기준에 적합하지 않은 제품의 공급 시 대기환경보전법 제90조의 2의 규정에 의하여 1년 이하의 징역 또는 1,000만 원 이하의 벌금 부과

• 판매자
- 휘발성유기화합물(VOCs) 함유 기준에 부적합한 도료(건축용, 자동차보수용, 도로 표지용, 공업용)의 판매 금지
- 도료 공급자(제조·수입자)로부터 제품 공급을 받을 시 휘발성유기화합물 함유 기준의 적합 여부 및 용기표시사항의 적정 표기 여부를 먼저 확인하고 제품 인수
- 법적 기준에 적합하지 않은 제품의 판매 시 대기환경보전법 제90조의 2의 규정에 의하여 1년 이하의 징역 또는 1,000만 원 이하의 벌금 부과

[환경표지 인증제도]

환경표지제도는 「환경기술 및 환경산업 지원법」 제17조(환경표지의 인증)에 근거해 국가(환경부)가 시행하는 인증제도로서 친환경 제품의 개발, 생산, 소비를 유도하는 제도로 인증제품에는 산업제품뿐 아니라 접착제, 세정제, 방향제 등 일반 가정 및 상업시설에서 사용하는 저VOC 함유 소비제품도 포함하고 있다.

자동차 보수용 도료 환경표지 제품 인증 기준을 정하고, 이를 만족하는 도료에는 환경부에서 발행하는 환경표지 제품 인증 마크를 부착하도록 하는 정책이다.

(자동차 보수용 도료 환경표지 대상 제품 및 인증 기준 제시)

[표 2-24] 자동차 보수용 도료 환경표지 대상 인증 기준

용도분류		휘발성유기화합물 함유 기준(g/L)
가) 상도		420 이하
나) 프라이머	서페이서	540 이하
	메탈프라이머	540 이하
	워시프라이머	780 이하
다) 퍼티		250 이하
라) 특수기능도료		840 이하

(환경표지 인증 제도 관련 규정)

환경기술 및 환경산업 지원법

제17조(환경표지의 인증)
① 환경부장관은 같은 용도의 다른 제품(기기, 자재 및 환경에 영향을 미치는 서비스를 포함한다. 이하 같다)에 비하여 제품의 환경성을 개선한 경우 그 제품에 대하여 환경표지의 인증을 할 수 있다. 〈개정 2014. 3. 24.〉
② 제1항에 따른 인증을 받으려는 자는 대통령령으로 정하는 바에 따라 환경부장관에게 신청하여야 한다.
③ 제1항에 따른 환경표지의 인증을 위한 대상 제품의 선정 · 폐지에 필요한 사항은 대통령령으로 정하며, 대상 제품별 인증 기준은 환경부장관이 정하여 고시한다.

(환경표지 인증 신청, 대상 제품의 선정 및 폐지 관련 규정)

환경기술 및 환경산업 지원법 시행령
제23조(환경표지 인증의 신청) ① 법 제17조 제2항에 따라 환경표지의 인증을 받으려는 자는 환경표지 인증신청서에 다음 각 호의 자료를 첨부하여 환경부장관에게 제출하여야 한다. 1. 해당 제품의 환경성 관련 자료 2. 해당 제품의 품질 관련 자료 3. 삭제 〈2014. 1. 14.〉 ② 환경부장관은 환경표지의 인증을 하였을 때에는 인증 사유를 분명하게 밝혀 신청인에게 환경표지 인증서를 발급하여야 한다.
제24조(환경표지 대상 제품의 선정) ① 법 제17조에 따른 환경표지의 인증을 위한 대상 제품(이하 '환경표지 대상 제품'이라 한다)의 선정을 제안하려는 자는 선정 제안서를 환경부장관에게 제출하여야 한다. ② 「식품위생법」에 따른 식품, 「약사법」에 따른 의약품 및 의약외품, 「농약관리법」에 따른 농약과 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」에 따른 임산물(같은 법 시행령 제2조 제5항 제6호에 따른 임산물은 제외한다)로 지정된 목제품(木製品)은 환경표지 대상 제품으로 선정할 수 없다. 〈개정 2011. 10. 28.〉 ③ 환경부장관은 환경표지 대상 제품을 선정하였을 때에는 대상 제품별로 환경표지 인증 기준을 정하여 고시하여야 한다.
제25조(환경표지 대상 제품의 선정 폐지) ① 환경부장관은 법 제17조 제3항에 따라 환경표지 대상 제품 중에서 환경표지를 인증할 필요성이 없어진 제품은 환경표지 대상 제품의 선정을 폐지할 수 있다. ② 환경부장관은 제1항에 따라 환경표지 대상 제품의 선정을 폐지하였을 때에는 그 사실을 고시하여야 한다.

(환경표지 대상 제품의 선정절차 관련)

환경기술 및 환경산업 지원법 시행규칙
제35조(환경표지 대상 제품의 선정 절차) ① 영 제24조에 따라 환경표지의 인증을 위한 대상 제품(이하 '환경표지 대상 제품'이라 한다)의 선정을 제안하려는 자는 별지 제25호 서식의 환경표지 대상 제품 선정 제안서에 환경표지 대상 제품의 선정을 위한 설명서를 첨부하여 한국환경산업기술원에 제출하여야 한다. ② 한국환경산업기술원은 제1항에 따라 제안받은 제품을 환경표지 대상 제품으로 선정하였을 때에는 인증 기준을 마련하여 환경부장관에게 보고하고, 제안자에게 이를 통보하여야 한다.

2-2. 국외 소규모 도장시설 관련 규정

[미국]

미국의 VOCs 규제는 연방법(CFR: Code of Federal Regulation)을 통해 이루어지고 있다. CFR → Title 40 → Chapter I → Subchapter C → Part 60[10]을 통해 분류별 규제 내용을 확인할 수 있다(2020년 10월 2일 기준). Title 40은 환경보호(Protection

10) e-CFR(Electronic Code of Federal Regulations, https://www.ecfr.gov/cgi-bin/)

of Environment)에 관한 내용을 다루고 있으며 그중 Part 60은 신규 고정오염원의 성능 기준(Standards of Performance for New Stationary Sources)을 규정하고 있다.

금속 가구 표면 코팅(Standards of Performance for Surface Coating of Metal Furniture), 테이프와 라벨 표면 코팅(Standards of Performance for Pressure Sensitive Tape and Label Surface Coating Operations), 금속 코일 표면 코팅(Standards of Performance for Metal Coil Surface Coating) 등 다양한 작업 시 발생하는 VOCs와 관련한 규제 내용이 있다.

자동차 및 초경량 트럭의 표면코팅에 관한 배출허용 기준(Standards of Performance for Automobile and Light Duty Truck Surface Coating Operations)에서는 자동차 도장 작업 시 주로 발생하는 VOCs 기준을 확인할 수 있다. 이 기준은 자동차 또는 소형 트럭 조립공장(assembly plant)에 적용된다. 자동차는 12명 이하의 승객을 태울 수 있는 차량을 의미하며, 경량 트럭은 총 차량 중량이 3,850kg 이하인 차량을 의미한다.

도료를 사용한 코팅 방법의 종류와 도료 사용 비율인 RT(Solids Turnover Ratio) 값에 따라 배출 VOCs의 무게(kg-VOC/L-coating solid)가 정해진다(표 2-25 참조). 전착(EDP) 방법은 자동차나 경량 트럭 차체를 코팅제로 채워진 탱크에 담그고 전기장을 사용하여 차체에 코팅제를 증착시키는 프라임 코트를 적용하는 방법이다. 전착 방법 외에 정전기 스프레이 도포 방법이 있는데, 전위(Electrical potential)를 사용하여 코팅 고체의 전달 효율을 높이는 스프레이 도포 방법을 의미한다. 정전 스프레이 도포는 프라임 코트, 가이드 코트 또는 톱 코트 작업에 사용할 수 있다.

[표 2-25] 자동차 및 초경량 트럭의 표면코팅의 VOCs 배출허용 기준

구분	Solids Turnover Ratio**	kg-VOC/L-coating solid
EDP방법*	0.16 이상	0.17
	0.040 이상~0.160 미만	0.17×350(0.160-RT***)
	0.040 미만	제한 없음
EDP방법 이외*	each prime coat operation(프라임 코트 작업)	0.17
	each guide coat operation(가이드 코트 작업)	1.40
	each top coat operation(톱 코트 작업)	1.47

주: *전착방법(EDP: Electrodeposition): 차체를 도장용액이 담겨 있는 탱크에 담그면서 도장을 하는 과정에서 전기장을 걸어 도료가 차체에 쉽게 도착되도록 하는 상도 방법
**비전착방법-정전기 스프레이 도포 방법(Electrostatic spray application): 전위(electrical potential)를 사용하여 코팅 고체의 전달 효율을 높이는 스프레이 도포 방법으로 프라임 코트, 가이드 코트 또는 톱 코트 작업에 사용
***RT(Solids Turnover Ratio): 도료 사용 비율을 의미하는데 한 달 동안 EDP 시스템에 주입된 도료 총 부피/EDP시스템의 설계 부피(예: 한 달 동안 EDP 시스템에 첨가된 코팅 총량이 17, EDP 시스템의 총 설계용적이 100일 경우, 17/100 0.17)

미국은 VOCs 중 대기 중 광화학 반응성이 약해 오존 생성 기여도가 낮다고 판단되는 VOCs 목록을 따로 지정하고 있으며[11] 목록은 표 2-26과 같다.

[표 2-26] 광화학 반응성이 작은 VOCs 목록

광화학 반응성이 작은 VOCs 목록	
- Methane - ethane - methylene chloride (dichloromethane) - 1,1,1-trichloroethane (methyl chloroform) - 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoroethane (CFC-113) - trichlorofluoromethane (CFC-11) - dichlorodifluoromethane (CFC-12) - chlorodifluoromethane (HCFC-22) - trifluoromethane (HFC-23) - 1,2-dichloro 1,1,2,2-tetrafluoroethane (CFC-114) - chloropentafluoroethane (CFC-115) - 1,1,1-trifluoro 2,2-dichloroethane (HCFC-123) - 1,1,1,2-tetrafluoroethane (HFC-134a) - 1,1-dichloro 1-fluoroethane (HCFC-141b) - 1-chloro 1,1-difluoroethane (HCFC-142b) - 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoroethane (HCFC-124) - pentafluoroethane (HFC-125) - 1,1,2,2-tetrafluoroethane (HFC-134) - 1,1,1-trifluoroethane (HFC-143a) - 1,1-difluoroethane (HFC-152a) - parachlorobenzotrifluoride (PCBTF) - cyclic, branched, or linear completely methylated siloxanes - acetone - perchloroethylene (tetrachloroethylene) - 3,3-dichloro-1,1,1,2,2-pentafluoropropane (HCFC-225ca) - 1,3-dichloro-1,1,2,2,3-pentafluoropropane (HCFC-225cb) - 1,1,1,2,3,4,4,5,5,5-decafluoropentane (HFC 43-10mee) - difluoromethane (HFC-32) - ethylfluoride (HFC-161) - 1,1,1,3,3,3-hexafluoropropane (HFC-236fa) - 1,1,2,2,3-pentafluoropropane (HFC-245ca) - 1,1,2,3,3-pentafluoropropane (HFC-245ea) - 1,1,1,2,3-pentafluoropropane (HFC-245eb) - 1,1,1,3,3-pentafluoropropane (HFC-245fa) - 1,1,1,2,3,3-hexafluoropropane (HFC-236ea) - 1,1,1,3,3-pentafluorobutane (HFC-365mfc) - chlorofluoromethane (HCFC-31)	- 1,1,1,2,2,3,3,4,4-nonafluoro-4-methoxy-butane ($C_4F_9OCH_3$ or HFE-7100) - 2-(difluoromethoxymethyl)-1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane ($(CF_3)_2CFCF_2OCH_3$) - 1-ethoxy-1,1,2,2,3,3,4,4,4-nonafluorobutane ($C_4F_9OC_2H_5$ or HFE-7200) - 2-(ethoxydifluoromethyl)-1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane ($(CF_3)_2CFCF_2OC_2H_5$) - methyl acetate - 1,1,1,2,2,3,3-heptafluoro-3-methoxy-propane ($n-C_3F_7OCH_3$, HFE-7000) - 3-ethoxy-1,1,1,2,3,4,4,5,5,6,6,6-dodecafluoro-2-(trifluoromethyl) hexane (HFE-7500) - 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane (HFC 227ea) - methyl formate ($HCOOCH_3$) - 1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-decafluoro-3-methoxy-4-trifluoromethyl-pentane (HFE-7300) - propylene carbonate; dimethyl carbonate - trans-1,3,3,3-tetrafluoropropene - HCF_2OCF_2H (HFE-134) - $HCF_2OCF_2OCF_2H$ (HFE-236cal2) - $HCF_2OCF_2CF_2OCF_2H$ (HFE-338pcc13) - $HCF_2OCF_2OCF_2CF_2OCF_2H$ (H-Galden 1040x or H-Galden ZT 130 (or 150 or 180)) - trans 1-chloro-3,3,3-trifluoroprop-1-ene - 2,3,3,3-tetrafluoropropene - 2-amino-2-methyl-1-propanol - t-butyl acetate; 1,1,2,2- Tetrafluoro -1-(2,2,2-trifluoroethoxy) ethane - cis-1,1,1,4,4,4-hexafluorobut-2-ene (HFO-1336mzz-Z) - and perfluorocarbon compounds which fall into these classes - (i) Cyclic, branched, or linear, completely fluorinated alkanes - (ii) Cyclic, branched, or linear, completely fluorinated ethers with no unsaturations - (iii) Cyclic, branched, or linear, completely fluorinated tertiary amines with no unsaturations and - (iv) Sulfur containing perfluorocarbons with no unsaturations and with sulfur bonds only to carbon and fluorine.

11) EPA(https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/what-definition-voc)

[유럽]

유럽은 VOCs를 규제하기 위하여 유럽의회 및 이사회 지침(Directive 2004/42/CE)[12]을 정하고, 회원국도 이 지침의 조항을 따르게 하고 있다. 회원국마다 오염물질 배출 한계량의 세부 기준은 다를 수 있지만, 오존 형성에 기여하는 VOCs를 포함한 오염물질 저감을 위하여 이 지침을 준수할 것을 권장한다.

회원국은 이 지침에서 규정하고 있는 VOCs 함량을 준수하는 제품만 시장에 출시하도록 보장해야 하며, 제품이 시장에 출시될 때 라벨을 부착하도록 해야 한다. 라벨에는 ①지침에 언급된 VOCs 한계값(g/L) ②즉시 사용 가능한 상태일 때 제품의 VOCs 최대 함량(g/L) 정보를 포함해야 한다.

도료(건축용 12종, 자동차보수용 5종)사용에 따라 발생 가능한 VOCs를 규제하는 지침으로 페인트 및 바니시, 차량재 마감 제품 등 도료에 포함된 VOCs 함유량을 제한한다.

건축용 도료에서 VOCs 배출한계량은 표 2-27과 같이 제한되며, 2007년에 비해 2010년에 배출한계량 기준이 더욱 엄격해진 것을 확인할 수 있다.

코팅 제품의 세부 범주에 따른 의미는 다음과 같다.

1) '내벽 및 천장용 무광택 코팅'은 광택도가 ≤25-60°인 실내 벽 및 천장에 적용하도록 설계된 코팅을 의미한다.

2) '내벽 및 천장용 광택 코팅'은 광택도가 〉25-60°인 실내 벽 및 천장에 적용하도록 설계된 코팅을 의미한다.

3) '미네랄 재질의 외벽용 코팅'은 벽돌, 벽돌 또는 치장 벽토의 실외 벽에 적용하도록 설계된 코팅을 의미한다.

4) '목재, 금속 또는 플라스틱 용 내외부 트림 및 클래딩 페인트'는 불투명한 필름을 생성하는 트림 및 클래딩에 적용하도록 설계된 코팅을 의미한다. 이 코팅은 목재, 금속 또는 플라스틱 기판용으로 설계되었으며, 하위 범주에는 언더코팅과 중간코팅이 포함된다.

5) '내외부 트림 바니시 및 우드 스테인'은 나무, 금속 및 플라스틱의 장식 및 보호를 위해 투명 또는 반투명 필름을 생성하는 트림 적용을 위해 설계된 코팅을 의미한다. 하위 카테고리에는 불투명 목재 얼룩이 포함된다. 불투명 우드 스테인이란 풍화에 대비해 목재 장식 및 보호를 위한 불투명 필름을 생성하는 코팅을 의미한다.

12) EUR-Lex(https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32004L0042)

6) '내외부 최소 두께의 빌드 우드 스테인'이란 EN 927-1: 1996에 따라 ISO 2808: 1997, 방법 5A에 따라 테스트했을 때 평균 두께가 5μm 미만인 우드 스테인을 의미한다.

7) '프라이머'는 목재 또는 벽, 천장에 사용하도록 설계된 밀봉, 차단 특성을 띤 코팅을 의미한다.

8) '바인딩 프라이머'는 느슨한 기질 입자를 안정화하거나 소수성 특성을 부여하고 푸른 얼룩으로부터 목재를 보호하도록 설계된 코팅을 의미한다.

9) '원팩 성능 코팅'은 필름 형성 재료를 기반으로 한 성능 코팅을 의미한다. 플라스틱용 프라이머 및 톱 코트, 철 기재 용 프라이머 코팅, 아연 및 알루미늄과 같은 반응성 금속용 프라이머 코팅, 부식 방지 마감, 목재 및 시멘트 바닥용을 포함한 바닥 코팅, 낙서 저항 같은 특수 성능이 필요한 응용 분야를 위해 설계된 것을 의미한다.

10) '투팩 성능 코팅'은 단일 성능 코팅과 동일한 용도로 사용되지만 적용 전에 2차 성분(예: 3차 아민)이 추가된 코팅을 의미한다.

11) '다색 코팅'이란 1차 적용에서 직접 투톤 또는 다중 색상 효과를 제공하도록 설계된 코팅을 의미한다.

12) '장식 코팅'은 특별히 준비된 사전 도장된 기판 또는 베이스 코팅에 특별한 미적 효과를 부여하고 건조 기간 다양한 도구로 처리되도록 설계된 코팅을 의미한다.

[표 2-27] 페인트 및 바니시의 VOCs 배출한계량 기준

	제품 세부 범주	유형	Phase1 VOC(g/l) (2007.1.1부터)	Phase2 VOC(g/l) (2010.1.1부터)
1	내벽 및 천장용 무광택 코팅 (광택도<25-60°)	수성도료* 용제도료**	75 400	30 30
2	내벽 및 천장도 광택 코팅 (광택도>25-60°)	수성도료 용제도료	150 400	100 100
3	미네랄 재질의 외벽 코팅	수성도료 용제도료	75 450	40 430
4	목재, 금속 또는 플라스틱용 내외부 트림 및 클래딩 페인트	수성도료 용제도료	150 400	130 300
5	내외부 트림 바니시 및 우드 스테인	수성도료 용제도료	150 500	130 400
6	내외부 최소 두께의 빌드 우드 스테인	수성도료 용제도료	150 700	130 700
7	프라이머	수성도료 용제도료	50 450	30 350

[표 2-27] 페인트 및 바니시의 VOCs 배출한계량 기준(계속)

	제품 세부 범주	유형	Phase1 VOC(g/l) (2007.1.1부터)	Phase2 VOC(g/l) (2010.1.1부터)
8	바인딩 프라이머	수성도료 용제도료	50 750	30 750
9	원팩 성능 코팅	수성도료 용제도료	140 600	140 500
10	투팩 성능 코팅	수성도료 용제도료	140 550	140 500
11	다색 코팅	수성도료 용제도료	150 400	100 100
12	장식 코팅	수성도료 용제도료	300 500	200 200

주: *수성도료(WB: Water-borne coatings): 물을 사용하여 점도를 조절한 도료
**용제도료(SB: Solvent-borne coatings): 유기용제를 사용하여 점도를 조절한 도료

자동차 도료제품 사용에 따른 VOCs 배출한계량 기준은 표 2-28에서 확인할 수 있으며, 제품 세부 범주에 따른 의미는 다음과 같다.

[표 2-28] 자동차 도료제품의 VOCs 배출한계량 기준

	제품 세부 범주	유형	VOCs(g/l) (2007.1.1부터)
1	준비 및 클리닝	준비제품 프리 클리너	850 200
2	바디필러·스토퍼	모두	250
3	프라이머	서페이서, 필러, 일반금속 프라이머 워시 프라이머	540 780
4	톱 코트	모두	420
5	특수마감재	모두	840

(1) '준비 및 청소 제품'은 기계적 또는 화학적으로 오래된 코팅과 녹을 제거하거나 새로운 코팅을 위해 설계된 제품을 의미한다.

- 준비 제품에는 gunwash(스프레이건 및 기타 장비를 청소하기 위해 설계된 제품), 페인트 스트리퍼, 탈지제(플라스틱 용 정전기 방지 유형 포함) 및 실리콘 제거제가 포함된다.
- '프리 클리너'는 코팅 재료를 도포하기 위한 준비 과정 및 도포 이전에 표면 오염을 제거하도록 설계된 세척 제품을 의미한다.

(2) '바디 필러·스토퍼'는 서페이서·필러를 적용하기 전에 깊은 표면 결함을 채우기 위해 적용되도록 설계된 무거운 보디의 화합물을 의미한다.

(3) '프라이머'는 프라이머 표면 처리제를 적용하기 전에 부식 방지를 제공하기 위해 베어 메탈 또는 기존 마감재에 적용하도록 설계된 코팅을 의미한다.

- '표면 처리제·충전제 프라이머'는 내식성을 위해, 톱 코트의 접착을 보장하고, 작은 표면을 채워 균일한 표면 마감 형성을 촉진하기 위해 톱 코트 도포 직전에 도포하도록 설계된 코팅을 의미한다.
- '일반 금속 프라이머'는 접착 촉진제, 실러, 서페이서, 언더코트, 플라스틱 프라이머, 습식, 비모래 필러 및 스프레이 필러 같은 프라이머로 적용하기 위해 설계된 코팅을 의미한다.
- '워시 프라이머'는 내식성 및 접착성을 제공하기 위해 베어 메탈 표면에 직접 도포하도록 설계된 0.5중량/% 이상의 인산을 함유하는 코팅을 의미한다.

(4) '톱 코트'는 광택과 내구성을 제공하기 위해 단일층 또는 다층 베이스로 적용되도록 설계된 모든 착색 코팅을 의미한다.

(5) '특수 마감재'는 금속 또는 펄 효과와 같은 특성이 필요한 톱 코트로 단일층, 고성능 단색 및 투명 코팅(예: 스크래치 방지 및 불소 투명 코팅)으로 적용하도록 설계된 코팅을 의미한다.

[일본]

일본은 대기오염방지법에서 VOCs를 규제하기 위하여 도장시설과 도장 건조시설을 포함한 배출 기준을 시설 및 규모에 따라 다양하게 설정하여 관리하고 있다.

자동차 제조와 관련된 도장시설의 배출 기준은 2006년 4월 1일 이후 설치된 도장시설의 경우는 수성화 등 대책기술의 도입이 가능하므로 400ppmC이고(탄화수소가 1의 휘발성유기화합물의 용량으로 환산한 용량비 100만분인 것을 의미), 기시설의 도장시설인 경우에는 수성화 등 대상 기술의 도입이 곤란하기 때문에 다른 종류의 도장시설과 같은 방법으로 700ppmC로 한다.

[표 2-29] 일본의 VOCs 배출허용 기준

	휘발성유기화합물 배출시설	규모 요건	배출 기준	
1	휘발성유기화합물을 용제로서 사용하는 화학제품 제조용으로 제공하는 건조시설	송풍기의 송풍능력(송풍기가 설치되어 있지 않은 시설을 대상으로는 배풍기의 배풍능력)이 시간당 3,000m^3 이상	600ppmC	
2	도장시설(분무도장시설에 한함)	배풍기의 배풍능력이 시간당 100,000m^3 이상	자동차제조용	기존700ppmC
			기타	신설400ppmC
3	도장공정이 사용되는 건조시설(취부도장 및 전착도장시설 제외)	송풍기의 송풍 능력이 시간당 10,000m^3 이상	목재품제조	1,000ppmC
			기타	600ppmC
4	인쇄회로용 구리박판, 점착테이프 및 점착시트, 박리지 및 포장재료(합성수지를 적층으로 한 것에 한함)의 제조에 관련된 접착용으로 사용되는 건조시설	송풍기의 송풍 능력이 시간당 5,000m^3 이상	1,400ppmC	
5	접착용으로 사용되는 건조시설(전항에 든 것 및 목재 혹은 목제품[가구 포함]의 제조용에 사용되는 것은 제외)	송풍기의 송풍 능력이 시간당 15,000m^3 이상	1,400ppmC	
6	인쇄용으로 사용되는 건조시설(오프셋 윤전인쇄에 관련된 것에 한함)	송풍기의 송풍 능력이 시간당 7,000m^3 이상	400ppmC	
7	인쇄용으로 사용되는 건조시설(그라비아 인쇄에 관련된 것에 한함)	송풍기의 송풍 능력이 시간당 27,000m^3 이상	700ppmC	
8	공업용으로 사용되는 VOC에 의한 세정시설(해당 세정시설에서 세정용으로 사용되는 VOC를 증발시키기 위한 건조시설을 포함함)	세정시설에서 VOC가 공기에 접하는 면의 면적이 5m^2 이상	400ppmC	
9	휘발유, 원유, 나프타 기타 온도 37.8℃에서의 증기압이 20kPa를 넘는 VOC의 저장탱크(밀폐식 및 부상지붕식[내부 부상식을 포함]인 것은 제외)	용량이 1,000kL 이상의 것	60,000ppmC	

*ppmC는 배출 농도를 표시하는 단위로, 탄소환산용량비 백분율을 의미
자료: 휘발성유기화합물 시설관리기준 개선 방안 마련을 위한 로드맵 수립, 2014. 서울시립대학교 산학협력단

2-3. 국내외 소규모 사업장 관리 사례

[소규모 사업장 방지시설 설치 지원 사업]

2019년부터 환경부 대기관리과에서 「대기환경보전법」 제81조의 규정에 따라 '미세먼지' 등 대기환경 개선을 위하여 「소규모 사업장 방지시설 설치지원」 사업을 추진하였다.

「대기환경보전법」제81조(재정·기술적 지원)

◇ (제1항) 국가 또는 지방자치단체는 대기환경 개선을 위하여 다음 각 호의 사업을 추진하는 지방자치단체나 사업자 등에게 필요한 재정적·기술적 지원을 할 수 있다.
1. 제32조 제1항 및 제4항에 따른 측정기기 부착 및 운영·관리
2. 그 밖에 대기환경을 개선하기 위하여 환경부장관이 필요하다고 인정하는 사업

이를 통해 후드, 덕트, 송풍기 및 각종 펌프 등 방지시설에 딸린 기계 및 기구류를 포함한 노후 대기방지시설을 교체하여 사업장에서 발생하는 대기오염물질 배출을 저감할 수 있다.

사업 지원 대상은 「중소기업기본법」 시행령 제3조 제1항에 따른 중·소기업, 「대기환경보전법」시행령 제13조에 따른 1~5종 사업장이 해당한다. 사업장당 1개 배출구에 연결된 방지시설 설치 지원을 원칙으로 하며 미세먼지 발생 및 원인물질(먼지, SOx, NOx), 특정대기유해물질 배출 사업장, 10년 이상 노후 방지시설 운영 사업장, 주거지 등 인근에 위치한 민원 유발 사업장, 산업단지 등 사업장 밀집지역에 소재한 사업장, 공동 방지시설을 설치하는 사업장, 2020년 배출허용 기준 강화에 따라 방지시설 개선이 필요한 사업장, 「환경오염시설의 통합관리에 관한 법률」에 따라 강화된 허가배출기준을 적용받아 이를 준수하기 위해 방지시설 개선이 필요한 사업장 등은 우선지원 대상이다.

부산: 2019년 부산에서는 소규모 사업장 방지시설 설치 지원 사업으로 국·시비 31억 5,000만 원(부산시 최대)을 확보하고 중소기업 36개소를 대상으로 지원 사업을 완료하면서 미세먼지 주된 원인물질인 먼지, 황산화물, 질소산화물의 배출 농도를 60~70% 감소시키는 성과를 거두었다고 보고하였다.

부산 지역에서는 사하구, 사상구, 강서구, 기장군으로 4개 구·군에 사업이 이뤄졌으며 사하구에서는 배출업장 신고업소 427개소 가운데 60개소의 신청을 받아 부산녹색환경지원센터의 현장조사를 거쳐 최종적으로 36개소에 여과집진시설, 흡착시설, 세정집진시설 등이 설치되었다.[13]

광주: 2019년 광주시가 광주녹색환경지원센터와 함께 방지시설을 설치한 39곳의 효과를 확인하기 위해 측정대행업체에 의뢰해 3월부터 12월까지 방지시설 교체 전후 대기오염도를 검사한 결과, 39곳의 평균 배출 농도가 교체 전 먼지 7.59mg/Sm^3, 총탄화수소 65.75ppm에서 교체 후 먼지 3.32mg/Sm^3, 총탄화수소 24.39ppm로 먼지는 56%, 총탄화수소는 63%의 저감 효과가 있는 것으로 나타났다고 보고하였다.[14]

13) 부산일보(http://www.busan.com/view/busan/view.php?code=2020020614532615740)
14) 파이낸셜 뉴스(https://www.fnnews.com/news/202010021005251242)

03 서울시 소규모 도장시설 현황 및 특징

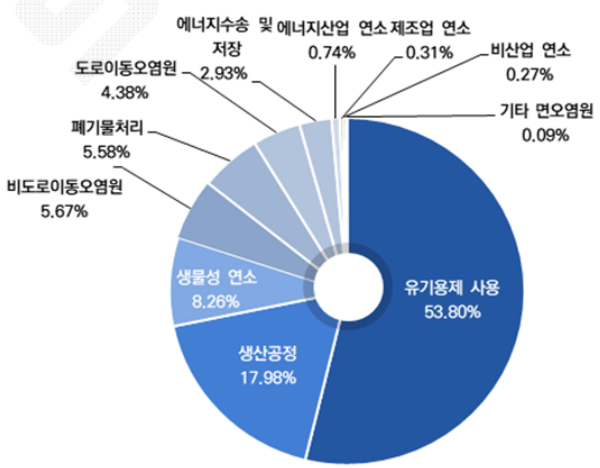
1. 소규모 도장시설 대기 배출 현황
2. 서울시 소규모 도장시설 배출원 파악

03. 서울시 소규모 도장시설 현황 및 특징

1. 소규모 도장시설 대기 배출 현황

1-1. 국내 VOCs 배출량 현황

국내 대기오염물질 배출량은 대기오염물질 배출목록에 근거한 대기정책지원시스템(CAPSS: Clean Air Policy Support System)을 활용하여 추정한다. CAPSS 배출원 분류체계는 유럽 CORINAIR 배출원 분류체계(SNAP 97)를 기초로 하고 있으며, 2007년부터 배출원 분류체계를 국내 현실에 맞추어 변경해 기존 11개 대분류에서 13개 대분류로 변경하였다. VOCs 배출량 추정을 위한 대분류는 연료 연소 배출원(에너지산업, 비산업, 제조업 연소), 생산공정, 에너지 수성 및 저장(주유소 및 저유소의 휘발유 증발), 유기용제(페인트 등의 사용에 따른 VOCs 배출), 생물성연소, 에너지산업 연소, 이동오염원, 기타면오염원, 폐기물처리 등으로 구분할 수 있다.



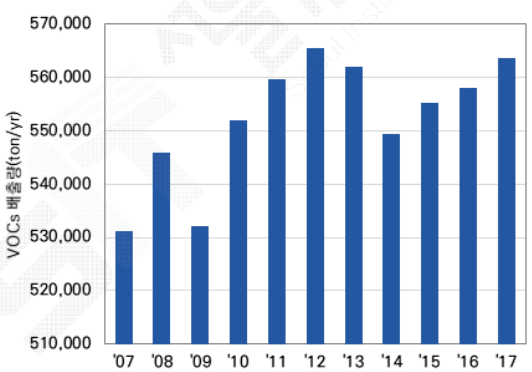
[그림 3-1] 2017년 전국 배출원 대분류별 VOCs 배출량
자료: Clean Air Policy Support System, 2017

그림 3-1은 배출원 대분류별 전국 VOCs 배출량을 2017년 CAPSS 자료에 근거해 비교하였다. 대분류별 VOCs 배출량은 유기용제 사용에 따른 배출량이 53.8%로 가장 많고 생산공정, 생물성연소 순으로 많았다. 특히 유기용제 사용 부문은 생산공정 부문의 VOCs 배출량의 3배에 달하는 매우 큰 비중을 차지하고 있어 국내 VOCs 배출량을 억제하기 위해서는 유기용제 사용 부문의 배출량을 저감하는 것이 매우 중요함을 시사한다.

1-2. 유기용제 사용 부문 VOCs 배출량 현황

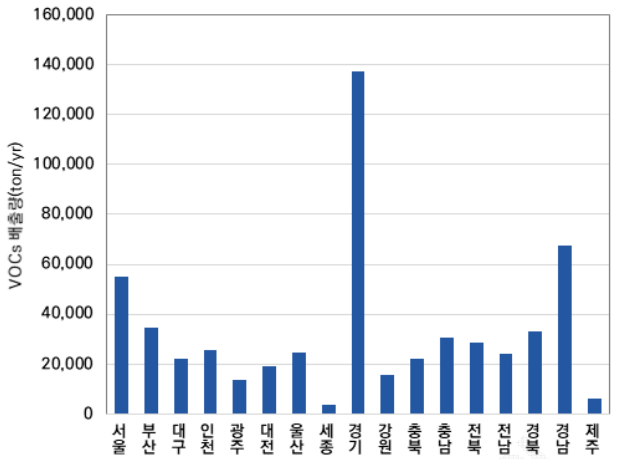
국내 VOCs 배출원 대분류 중 배출량이 특히 많은 유기용제 사용 부문의 연도별 변화 추이를 분석하였고 국내 지역별 배출량 현황 비교를 통하여 서울시의 유기용제 사용 부문별 VOCs 배출량을 비교 분석하였다.

그림 3-2는 2007년부터 2017년까지 11년간 전국 유기용제 사용 부문의 VOCs 배출량 추이를 나타내고 있다. 유기용제 사용 부문별 VOCs 배출량은 최근 11년간 다소 증감은 있으나 완만하게 증가하는 추세를 보이고 있다.



[그림 3-2] 유기용제 사용에 의한 연도별 VOCs 배출량
자료: Clean Air Policy Support System, 2017

그림 3-3은 2017년 유기용제 사용 부문의 연간 지역별 VOCs 배출량을 비교한 것이다. 지역별 VOCs 배출량은 경기, 경남, 서울 순으로 많았고 특히 경기 약 13만 7,650톤/년, 서울 5만 5,180톤/년으로 조사되었으며, 동일 생활권인 서울, 경기 등 수도권의 유기용제 사용 부문의 VOCs 배출량은 19만 2,830톤/년으로 전국 배출량의 34.2%를 차지하는 매우 높은 비중을 차지하는 것으로 조사되었다.



[그림 3-3] 2017년 지역별 유기용제 사용 VOCs 배출량
자료: Clean Air Policy Support System, 2017

1-3. 유기용제 사용 부문의 중분류 VOCs 배출 현황

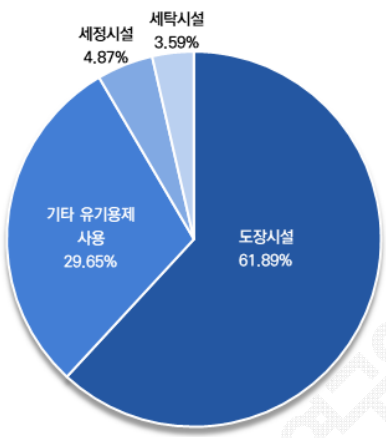
CAPSS 대분류 중 유기용제 사용 부문은 도장시설, 세정시설, 세탁시설, 기타 유기용제 사용의 4개의 중분류로 나뉜다. 표 3-1은 국내 유기용제 사용 부문의 중분류와 소분류 배출원 목록을 정리한 것이다. 중분류는 4개로 구분하며, 소분류는 15개의 배출원 목록으로 구분된다.

[표 3-1] 국내 유기용제 사용 부문 VOCs 배출원 중·소분류

중분류(4)	소분류(15)	
도장시설	자동차 제조, 자동차 수리 건축 및 건물 가정(나무, 가구제조 제외) 코일코팅, 선박제조, 나무, 가구제조 기타 산업용 도장공정, 기타 비산업용 도장공정	
세정시설	금속 세정 공정, 전자부품제조, 기타산업용 세정공정	
세탁시설	세탁(드라이클리닝)	
기타 유기용제 사용	가정 및 상업용 유기용제 사용, 아스팔트 도로포장	
	인쇄업	마스터인쇄, 오프셋인쇄, 스크린인쇄, 그라비아인쇄

그림 3-4는 2017년 유기용제 사용 부문 중분류별 VOCs 배출량을 나타낸 것이다. 도장시설이 61.9%로 배출량 비중이 가장 높았고, 가정 및 상업용 유기용제, 인쇄업 등을 포함한 기타 유기용제 사용의 VOCs 배출량 비중이 29.7%로 높았다. 도장시설과 기타

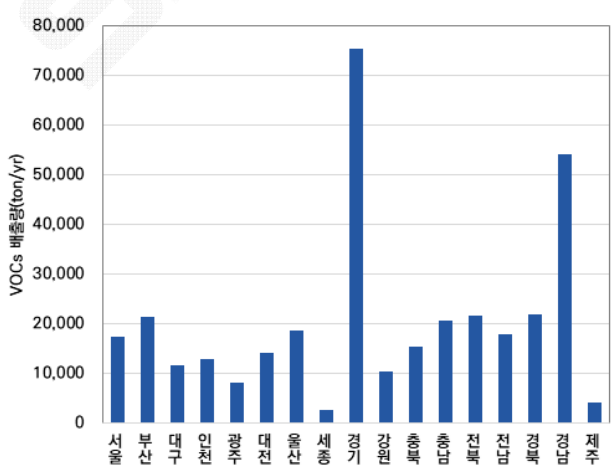
유기용제 사용에 따른 VOCs 배출량은 유기용제 사용 부문 전체 VOCs 배출량의 91.6%로 대부분의 VOCs가 2가지 중분류 항목에서 배출되고 있다.



[그림 3-4] 국내 유기용제 사용 부문 VOCs 배출원 중분류
자료: Clean Air Policy Support System, 2017

1-4. 지역별 도장시설에 따른 VOCs 배출량 현황

지역별 도장시설의 VOCs 배출량을 정리해 그림 3-5에 제시하였다. 경기 지역 도장시설의 VOCs 배출량은 7만 5,314톤/년으로 전체 배출량의 약 21.6%, 경남 지역 도장



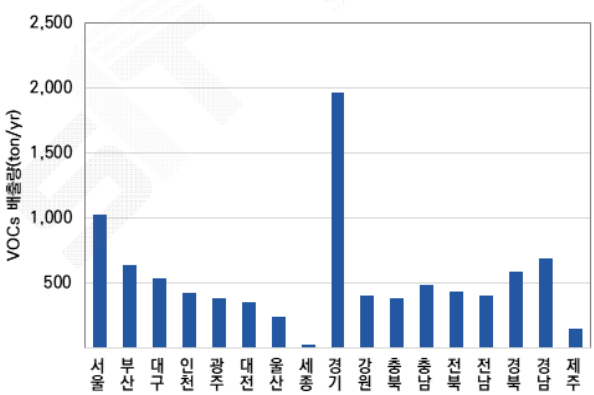
[그림 3-5] 지역별 도장시설 VOCs 배출량
자료: Clean Air Policy Support System, 2017

시설의 VOCs 배출량은 5만 4,050톤/년으로 전체의 15.5%로 나타났다. 경남의 경우는 도장시설 소분류 중 선박 제조에 따른 배출량이 많았기 때문에 배출량 비중이 높은 것으로 판단된다. 서울 소재 도장시설의 VOCs 배출량은 1만 7,523톤/년으로 전국 도장시설 VOCs 배출량의 약 5.0% 수준이었으나 인구 밀집도가 높은 서울 도심지 특성상 도장시설에서 배출되는 VOCs에 노출이 취약한 실정이다.

1-5. 지역별 자동차 수리에 따른 VOCs 배출량 현황

지역별로 자동차 수리 부문의 VOCs 배출량을 정리해 그림 3-6에 제시하였다. 서울, 경기의 자동차 수리 부문의 VOCs 배출량은 각각 1,028톤/년, 1,968톤/년으로 전국 자동차 수리 부문의 VOCs 배출량 9,093톤/년의 32.9%로 매우 높은 비중을 차지하는 것으로 조사되었다.

그림 3-5와 그림 3-6을 비교하면 서울 지역은 도장시설 VOCs 배출량이 전국의 약 5.0% 수준이었으나, 도장시설 중 자동차 수리에 따른 VOCs 배출량에서는 17개 지자체중 2위로 11.3%의 매우 높은 비중을 차지하는 것으로 조사되었다. 따라서 서울시의 경우, 자동차 보수 도장시설의 VOCs 관리가 매우 중요한 것으로 보인다.



[그림 3-6] 지역별 자동차 수리에 따른 VOCs 배출량
자료: Clean Air Policy Support System, 2017

2. 서울시 소규모 도장시설 배출원 파악

2-1. 전국 대기오염 배출시설 현황

2017년 기준 국립환경과학원의 「소규모 대기배출사업장(4, 5종) 배출원 조사」[15] 보고서 내용을 바탕으로 전국 및 서울시 4, 5종 사업장 현황을 정리하였다.

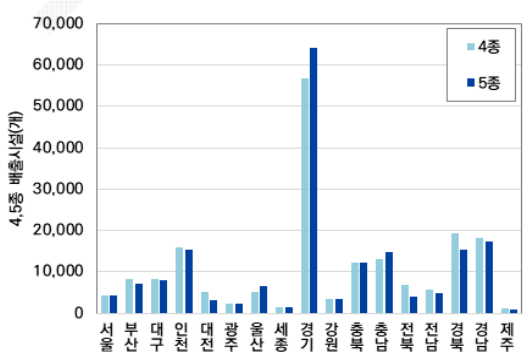
조사 대상은 2017년도 기준으로 미가동, 휴업, 폐업, 중복, 시도 및 시군구 인허가 부서와 안내센터 운영을 통해 미가동, 휴폐업, 중복 사업장, 인허가 취소 등 4,767개 사업장을 제외한 총 4만 7,219개의 4, 5종 사업장이 조사 대상으로 선정되었다.

표 3-2와 같이 4, 5종 대기배출원조사 대상 사업장의 배출시설은 4종 사업장이 총 18만 8,387곳, 5종 사업장이 18만 5,919곳으로 총 약 37만 4,000곳이었다.

[표 3-2] 국내 4, 5종 사업장 및 배출시설 현황

종별	사업장(개소)	배출시설(개)	배출구(개)		
			합계	자가측정	방지시설면제
합계	47,219	374,306	108,261	100,148	8,113
4	17,186	188,387	55,680	54,310	1,370
5	30,033	185,919	52,581	45,838	6,743

4, 5종 사업장 배출시설은 경기도가 12만 867개로 약 32%를 차지하여 가장 높은 비율을 나타냈고, 경상북도와 경상남도가 각각 9%, 인천 지역이 8%를 차지했다.



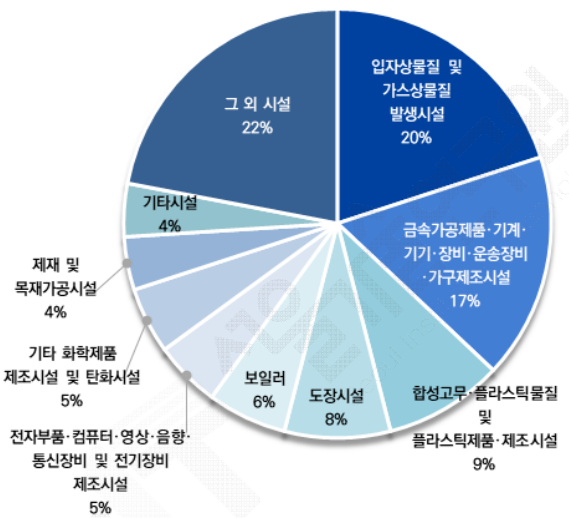
[그림 3-7] 국내 4, 5종 사업장 배출시설 현황

자료: 소규모 대기배출사업장(4, 5종) 배출원 조사, 국립환경과학원, 2017

15) 국립환경과학원, 소규모 대기배출사업장(4, 5종) 배출원 조사, 2017

우리나라 산업분류체계인 한국표준산업분류로 배출시설을 분류한 결과 입자상물질 및 가스상물질 발생시설(20%), 금속가공제품·기계·기기·장비·운송장비·가구제조시설(17%), 합성고무·플라스틱물질 및 플라스틱제품·제조시설(9%), 도장시설(8%), 보일러(6%), 전자부품·컴퓨터·영상·음향·통신장비 및 전기장비 제조시설(5%), 제재 및 목재가공시설(4%) 등인 것으로 분석되었다.

주요 배출시설 중 하나인 도장시설은 8%를 차지하였으며 4종 사업장이 1만 5,644곳, 5종 사업장이 1만 5,004곳으로 총 3만 648곳으로 분석되었다.

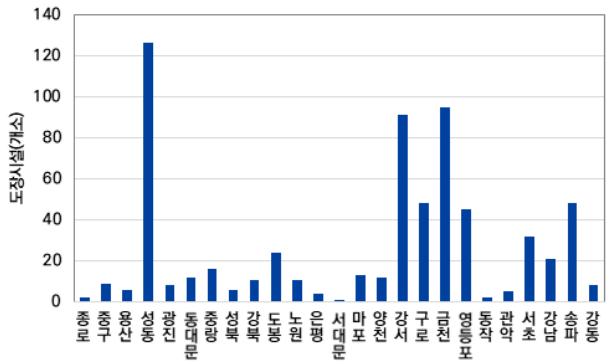


[그림 3-8] 국내 4, 5종 사업장 오염물질 발생시설 현황
자료: 국립환경과학원, 「소규모 대기배출사업장(4, 5종) 배출원 조사」, 2017

2-2. 서울시 소규모 도장시설 현황

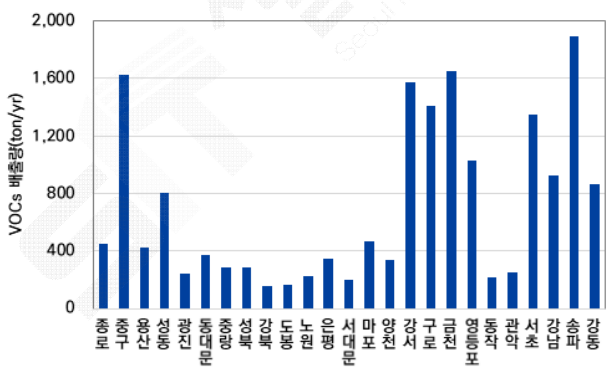
서울시 대기배출 사업장 현황을 조사해 정리하였다. 서울시 관내 대기배출 사업장은 총 2,012곳으로 보일러, 도금, 발전 도장시설이 있으며, 그중 보일러 시설은 1,110곳으로 55%, 도장시설은 656곳으로 33%를 차지했다.

그림 3-9는 서울의 지역구별 도장시설 업체의 분포를 정리한 것으로, 지역구 중 성동구의 도장시설 업체가 120개소를 초과하여 가장 많은 분포를 차지했고, 다음으로 금천구, 강서구에 도장시설 업체가 80개소 이상으로 많이 분포되어 있었다. 구로구, 영등포구, 송파구도 다른 지역구에 비하면 다소 많은 편이며 3개 지역구의 도장시설 업체 수는 40개소 이상으로 비슷한 수준이다.



[그림 3-9] 서울시 도장시설 지역구별 현황
자료: 서울시 대기정책과, 2020

그림 3-10은 서울시 지역구별 도장시설에서 배출되는 VOCs 배출량을 정리한 결과이다. 송파구의 경우 연간 배출량이 약 1,900톤으로 가장 높은 배출량을 보였으며, 금천구, 중구, 강서구에서 차례대로 높은 VOCs 배출량을 나타냈다.



[그림 3-10] 서울시 지역구별 도장시설 VOCs 배출량
자료: Clean Air Policy Support System, 2017

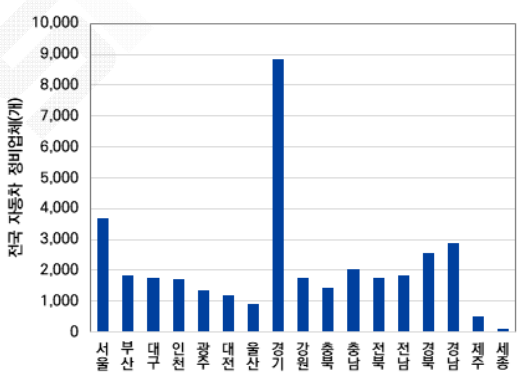
2-3. 전국 자동차 수리업체 현황

전국의 자동차 관련 업체의 업종(자동차 정비업 및 기타 관련 업종)별, 지역별 현황을 조사하였다. 2018년 12월 기준 국토교통부 자료에 등록되어 있는 자동차 관련 업체 수를 표 3-3과 그림 3-11에 제시하였다.

[표 3-3] 전국 자동차 수리업체 현황

업종 / 시도	정비업					매매업	폐차업	성능 점검업	지정 정비
	종합	소형	전문	원동기	소계				
합계	4,220	2,106	29,539	239	36,104	5,811	522	337	1,807
서울	204	317	3,144	5	3,670	469	0	30	58
부산	159	175	1,485	8	1,827	339	9	26	76
대구	157	113	1,469	11	1,750	607	12	28	77
인천	257	116	1,324	5	1,702	350	7	16	70
광주	199	66	1,060	9	1,334	236	8	11	51
대전	129	40	1,004	8	1,181	221	6	9	37
울산	111	58	736	7	912	133	9	6	40
경기	1,077	573	7,131	63	8,844	1,298	128	72	388
강원	216	112	1,438	7	1,773	228	37	17	81
충북	201	49	1,164	12	1,426	234	34	13	92
충남	282	75	1,652	19	2,028	294	46	26	142
전북	269	42	1,445	9	1,765	298	46	10	124
전남	239	85	1,514	6	1,844	216	49	23	156
경북	303	125	2,080	45	2,553	376	62	26	191
경남	333	144	2,382	18	2,877	435	52	21	169
제주	69	11	417	7	504	74	12	3	48
세종	15	5	94	0	114	3	5	0	7

자료: 국토교통부 통계누리, 2018



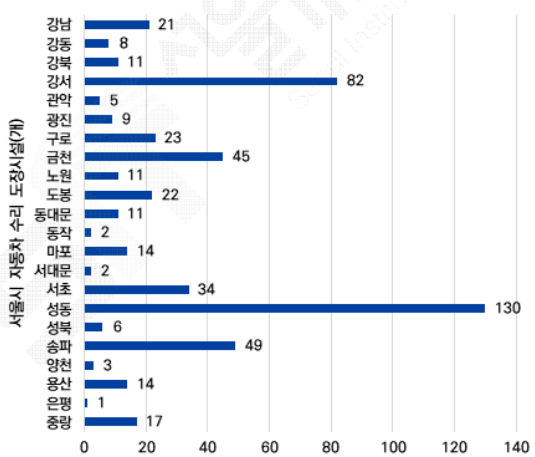
[그림 3-11] 전국 자동차 수리업체 현황

자료: 국토교통부 통계누리, 2018

자동차 정비업종이 36,104개 업소로 기타 자동차 관련 업소 수에 비해 압도적으로 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 그 가운데 전문 정비업소 수가 약 2만 9,600여 개 업소로 대부분을 차지했으며, 종합 및 소형 정비업소 수는 약 6,300여 개 업소로 나타났다. 지역별로는 경기 지역이 가장 많았으며, 서울이 그다음 많은 것으로 나타나 주로 수도권에서 자동차 관련 업종이 밀집해 있는 것으로 나타났다.

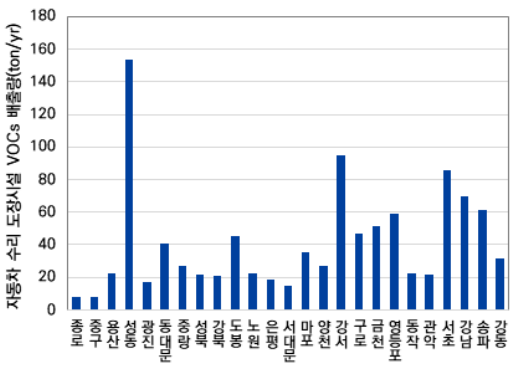
2-4. 서울시 자동차 수리 도장시설 및 VOCs 배출 현황

서울시 22개구에 소재한 총 529개 업체의 자료를 확보하였고, 서울시 자동차 수리 도장시설 현장 조사 자료를 지역구별, 배출시설 규모별로 분포 현황을 정리하였다. 그림 3-12는 지역구별로 수리업체 분포를 정리한 것으로, 서울시에서 성동구에 독보적으로 자동차 수리업체가 많았고, 그 다음으로 강서구에 수리업체가 많이 분포되어 있다. 송파구, 금천구, 서초구는 다른 지역구에 비하면 다소 많은 편이며 3개 지역구의 자동차 수리업체 수가 유사한 수준이다.



[그림 3-12] 서울시 지역구별 자동차 수리 도장시설 현황

그림 3-13은 서울시 지역구별 자동차 수리에서 배출되는 VOCs 배출량을 정리한 결과이다. 자동차 수리업체가 밀집해 있는 성동구의 경우 매우 높은 배출량을 보였으며, 강서구, 서초구, 송파구에서도 업체 수와 비례하여 높은 VOCs 배출량을 나타냈다.



[그림 3-13] 서울시 지역구별 자동차 수리의 VOCs 배출량
자료: Clean Air Policy Support System, 2017

04 서울시 소규모 도장시설 배출 VOCs 특성

1. 도장 공정별 VOCs 배출 특성 조사
2. 도장시설 배출 VOCs 측정 지점 및 방법
3. 도장시설 배출 VOCs 배출 특성 분석

04. 서울시 소규모 도장시설 배출 VOCs 특성

1. 도장 공정별 VOCs 배출 특성 조사

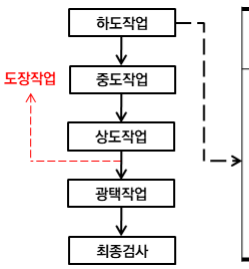
1-1. 자동차 도장 공정

자동차 수리용 도장 공정은 기본적으로 전처리 작업, 하도 도장(퍼티), 중도 도장, 상도 도장(조색작업·투명코팅) 순으로 진행된다. 전처리 작업은 자동차 도장 작업의 기초가 되는 과정으로 금속 표면에 부착 또는 생성된 이물질을 제거하여 도장 작업을 위한 금속 표면의 내식성 및 밀착성을 강화하는 작업이다. 전처리 작업은 구(舊)도막 판별 작업과 차체 표면 검사 작업, 오염물질 제거 작업, 단 낮추기 작업 등으로 크게 나눌 수 있다.

하도 도장(퍼티)은 주로 파인 부분이나 굴곡의 원형을 재생시키고 상도 도료의 부착성을 좋게 하는 목적으로 사용되며 그 보조적 역할로 녹 발생을 방지하기 위해 사용한다. 퍼티는 그 종류도 많고 호칭도 제작사에 따라 상이하다. 일반적인 퍼티의 구분은 10~30mm까지 두꺼운 도막을 형성하는 판금 퍼티, 체질 안료의 일부에 세라믹 구슬을 넣어 무게를 가볍게 하고 연마성을 높여 판금 퍼티의 단점을 보완한 경량 판금 퍼티, 3mm 이하의 두께를 형성하는 폴리 퍼티, 서페이스의 기공 및 작은 상처와 요철 제거 등을 최종적으로 수정하는 래커계의 래커 퍼티 등이 있다.

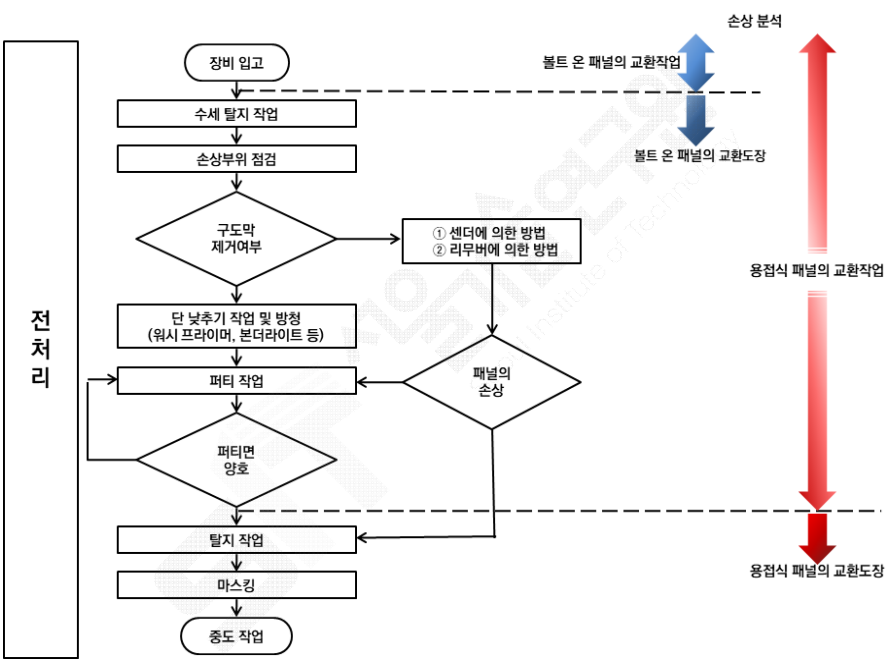
중도 도장은 마무리 도장작업을 위하여 도장면을 평활하게 하는 것을 목적으로 바탕 마름질과 같이 도장 작업 전의 마무리 준비라고 할 수 있다. 즉, 중도 도장은 상도 도장의 마무리 외관을 좋게 하기 위해서 수행하며, 트럭 등에는 사용하지 않는다.

상도 도장의 작업 공정은 중도 도장이 끝난 후에 시행하며, 자동차 보수용 도장 공정에서 가장 중요한 작업이다. 상도 공정은 유색 상도와 투명 상도로 구분되며. 상도 도장의 작업순서는 다음과 같다. ①중도 도장 표면을 물이나 시너로 표면 세척 ②유색 상도 도장 작업 ③유색 상도 도료 자연 건조 ④투명 상도 도료 도장 ⑤자연 건조 순으로 작업한다.

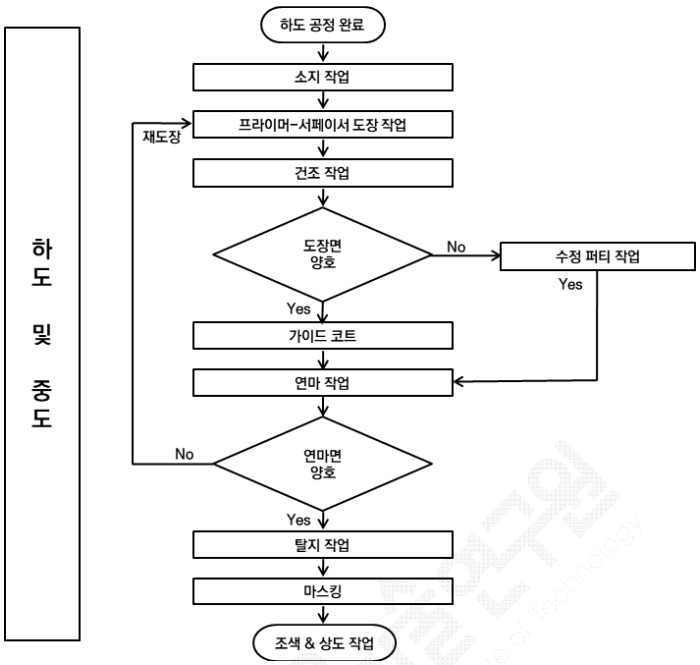


구분	교환 패널	손상 패널	도막의 흠집	플라스틱(범퍼) 패널손상
하도작업	프레임 수정	패널정형작업	단 낮추기작업	플라스틱보수작업
	내부 패널 교환	구도막 제거 &단 낮추기작업		
	내부 패널 도장 (방청•무광)	퍼티 작업	워시 프라이머작업	프라이머도장(PP)
	외부 패널 교환	워시 프라이머작업		

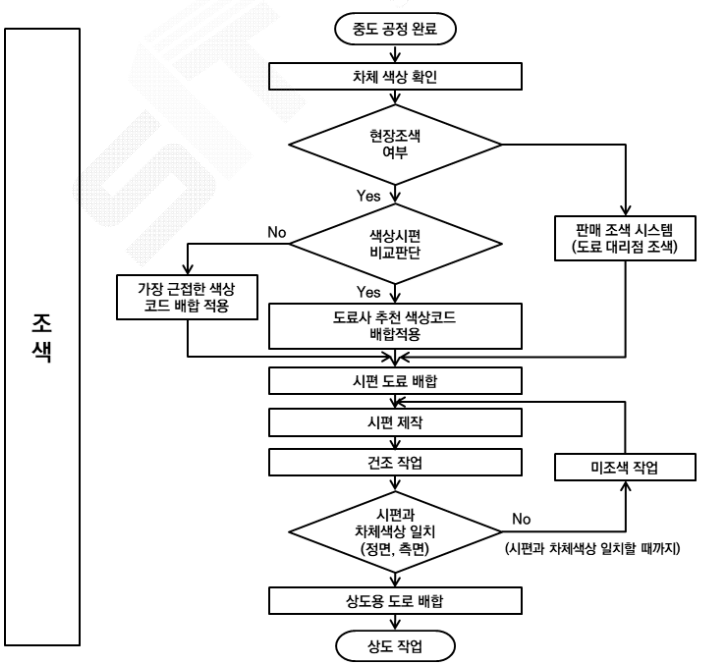
[그림 4-1] 일반적인 자동차 수리 도장 전체 공정



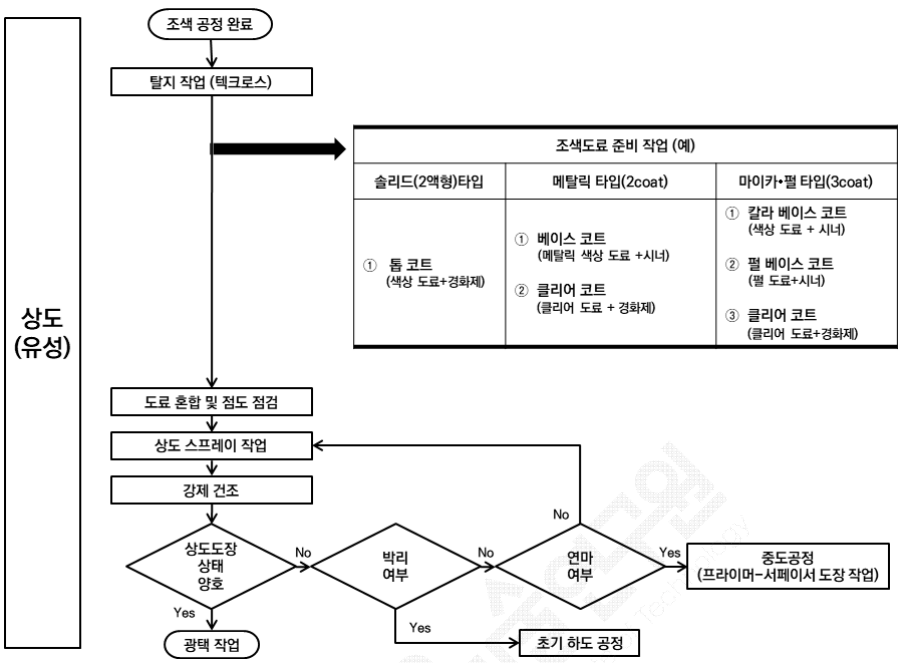
[그림 4-2] 자동차 수리 도장 공정 중 전처리 공정



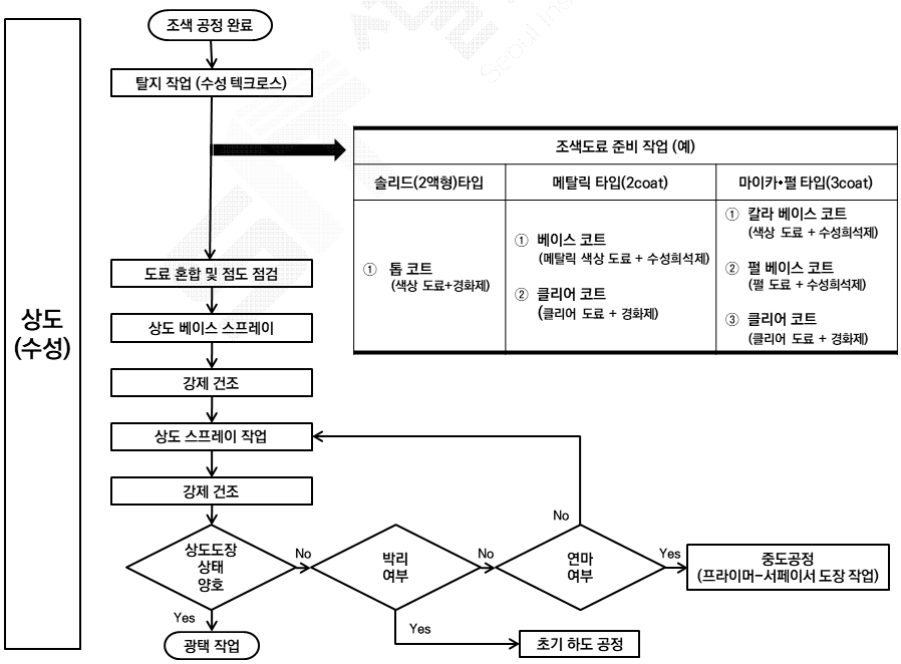
[그림 4-3] 자동차 수리 도장 공정 중 하도 및 중도 공정



[그림 4-4] 자동차 수리 도장 공정 중 조색 공정



(a) 자동차 수리 도장 공정 중 상도(유성) 공정



(b) 자동차 수리 도장 공정 중 상도(수성) 공정

[그림 4-5] 자동차 수리 도장 공정 중 상도(유성, 수성) 공정

1-2. 도료의 종류 및 용도

도료의 종류는 분체계, 수용성계, Nonsol계, 하이솔리드계, 용제계 등이 있으며, 사용하는 도료에 따라 VOC 배출량이 다르다.

[표 4-1] 도료의 종류와 VOC 함량

도료의 종류	VOC 함유율	VOC 조성	도장 시 희석률	도장 방법
분체계	0.5% 이하	열경화 시의 비반응성물질	0%	정전
수용성계	7% 이하	알코올계 외	0%	붓, 롤러, 분무 정전, 전착
Nonsol계	1% 이하	불순물로서의 저분자량	0%	코테, 헤라, 렉 외
하이솔리드계	30% 이하	탄화수소계 외	5% 이하	분무, 정전
용제계	30~60%	탄화수소계 외	8~46%	붓, 롤러, 분무, 정전

[수성·유성 도료]

도료는 크게 수성도료와 유성도료로 나뉠 수 있으며, 이를 비교해 보면 가장 큰 차이점은 사용 희석제의 종류이다. 유성도료의 경우 오일 성분의 안료를 넣어 만든 페인트로 내수성과 내구성이 뛰어나고 발색이 선명하다는 장점이 있다. 하지만 휘발성 용제가 들어 있어 냄새가 강한 것이 단점이고, 건조 시간이 오래 걸리며 인화성 물질이 포함되어 있어 화기에 유의해야 한다.

수성도료의 경우 오일 대신 물 성분이 함유되어 있어 냄새가 거의 없고 건조가 빠르며 발림성이 탁월하다. 그러나 내수성과 내구성이 유성페인트보다 약하고 표면 접착력이 떨어진다. 물이 섞여 있기 때문에 온도에 민감하여 보관에도 주의해야 한다.

[표 4-2] 유성 페인트와 수성페인트의 비교

	유성페인트	수성페인트
희석제	휘발성 용제(시너)	물
장점	물에 강하고 수명이 긺	냄새가 적고 건조가 빠름
단점	냄새가 강하고 건조가 느림	내구성과 접착력이 약함
표면 처리	매끈한 광택	무광택

[수성·유성 도료 사용 비율]

자동차도료 사용 관련 기사[16]에 따르면 자동차 보수용 도료 시장에서 수용성 제품이 차지하는 비중은 2018년 25%가량으로 추정된다. 수입차 증가가 수용성 도료 비중 증가에 영향을 미친 것으로 보이는데 그 이유는 수입차의 경우 도색 수리 시 100% 수용성 도료를 쓰는 것이 그 이유이기 때문이다.

한국수입자동차협회에 따르면 2018년 수입차 판매량은 26만 705대였으며, 국내에서 팔린 자동차의 16.7%가 수입차였던 셈이다.

수용성 도료 대부분을 소비하는 수입차 직영 수리센터에서는 엑솔타, 바스프, PPG 등 외국산 제품을 쓴다. KCC나 노루페인트 제품이 일부 사용되는 경우도 있지만, 수입 완성차 브랜드에서 지정한 도료를 쓰는 것이 일반적인 것으로 조사되었다.

도료업계의 한 관계자는 수용성 도료의 시장점유율을 따져보면 수입 업체가 90% 이상을 점유하고 있다고 했으며 일반 국내 공업사에서는 KCC나 노루페인트, 제비스코 등 국산 제품을 쓰는데 아직 유성 비중이 높다고 했다.

한편 국내 자동차 보수용 도료 시장은 연간 1600억~1700억 원대로 추정된다. 2018년 기준 업체별 시장점유율은 KCC와 노루페인트가 각각 30%대, 강남제비스코와 삼화페인트는 9~10%대다. KCC가 30% 중반대 점유율로 시장 1위를 지키고 있으며, 매출은 500억 원 중반대이다.

[그림 4-6] 국내 자동차 보수용 도료시장 현황
자료: 아시아투데이(www.asiatoday.co.kr/view.php?key=20190122010013856)

16) 아시아투데이(https://www.asiatoday.co.kr/view.php?key=20190122010013856)

[수성·유성 도료 비용 비교]

자동차 도료 종류에 따른 재료비 관련 기사[17]에 따르면 자동차 도료는 베이스 코트와 클리어, 기타 물질로 구성되는데 수용성 도료의 베이스 코트가 유성 도료보다 재료비가 20% 정도 높은 것으로 추정했다.

[표 4-3] 수성·유성 도료 재료비 비교

구분		유성 베이스 코트		수용성 베이스 코트	
		원액 1.0L	1.0L 사용 준비	원액 1.0L	1.0L 사용 준비
White	금액(원)	49,774	35,453	60,254	42,783
	%	100	100	121	122
Silver	금액(원)	26,217	19,480	46,613	33,689
	%	100	100	178	173
Black metalic	금액(원)	30,300	22,202	40,910	29,887
	%	100	100	135	135
평균금액		-	25,622	-	35,453
%		-	100	-	138

주: 1. 위 표는 일부 색상에 대한 샘플임.
2. 메이커별 수리 차량의 색상에 따라 재료비가 다를 수 있음.
자료: 이데일리(www.edaily.co.kr/news/public/pop_print.asp?newsid=01820406579981432)

[자동차 보수용 도료]

자동차 보수용 도료는 용도에 따라서 워시프라이머, 퍼티 같은 전처리용, 하도 및 중도, 상도로 구분된다. 이들 도료는 용도에 따라서 점도 등을 조정하기 위해 일정 비율에 맞게 희석제를 혼합해서 사용하며, 각 도료 업체에서 제품에 맞는 추천 희석 비율을 제공한다. 그 외에도 공정, 소재에 따라서 박리제, 경화촉진제 같은 보조 재료가 쓰이는 경우도 있으며, 이러한 보조 재료도 희석제와 마찬가지로 각 도료 제조업체에서 투입 비율 및 적용 가능 범위의 정보를 제공하고 있다.

[표 4-4] 전처리용 도료 종류별 특징

하도 도료 종류	특징
에칭프라이머 (위시프라이머)	- 비닐부티랄 수지, 징크크로메이트(방청안료)와 첨가제(인산)를 사용한 2액형 도료로 철판을 부식(신차의 전처리와 동일한 방법)시켜 부착력을 우수하게 한다. - 최근에는 친환경 도료로 중금속이 없는 1액형 에칭프라이머가 개발되어 있다. - 구도막에 도포되거나 후막(10㎛ 이상) 도장하면 부착력이 저하된다.

17) 이데일리(https://www.edaily.co.kr/news/public/pop_print.asp?newsid=01820406579981432)

[표 4-4] 전처리용 도료 종류별 특징(계속)

하도 도료 종류	특징
에폭시 프라이머	- 2액형 도료로 에폭시 수지와 아민 경화제를 사용하는 제품 - 건조는 느리지만 부착력, 방청력, 내화학적 물성이 우수하다.
PP 프라이머	- 클로리네이트 폴리올레핀계 수지를 주성분으로 한 1액형 도료 - 폴리프로필렌(PP) 소재에 부착력 향상을 위해 도장하는 프라이머 - 추천 건조도막 두께: 3~15㎛으로 제품마다 차이가 있으므로 회사별 기술자료(TDS)를 확인해야 한다.
폴리에스테르계 퍼티	- 불포화 폴리에스테르 수지와 유기 과산화물을 경화제로 한 2액형 페이스트상의 도료 - 판금용(판금 퍼티·아연 퍼티) → 30mm까지 도포 가능 - 일반용(포리솔 퍼티 → 2mm 이하)
에폭시 퍼티	- 에폭시 수지와 아민계 물질을 경화제로 한 2액형 도료 - 방청력, 각종 금속에 부착력이 우수하며 용접 부위에도 적합하다. - 건조성, 연마성 불량-추천 건조도막 두께 2~5mm
라커 퍼티	- 초화면과 알키드 수지를 주성분으로 한 1액형 라커계 페이스트상 도료 - 추천 건조도막 두께 0.2mm 이하로 주로 프라이머 서페이서 도장 후 작은 기포연마자국 제거 등에 사용하며, 부품 부착 불량, 균열 등이 발생할 수 있으므로 가능한 한 적게 사용해야 한다.

[표 4-5] 하도 및 중도 도료의 종류별 특징(1)

중도 도료 종류	특징
아크릴라커계 프라이머 서페이서	- 1액형 도료로 주성분이 초화면(NC), 아크릴, 알키드 수지이며, 스프레이 작업성, 연마성, 건조성(20℃, 1시간)이 우수
우레탄계 프라이머 서페이서	- 2액형 도료로 폴리에스테르, 아크릴 수지, 폴리이소시아네이트(경화제)가 주성분이며, 내용제성, 눈메움성이 우수하다. - 일반용, 도막외관이 우수한 샌딩프리, 컬러빌드, 수용성 등이 있다.
알키드계 프라이머 서페이서	- 1액형 도료로 산화중합형 알키드 수지가 주성분으로 건조가 느리고, 내용제성이 약하다. - 알키드에나멜 서페이서(대형 구조물 CV차량 등)

[표 4-6] 하도 및 중도 도료의 종류별 특징(2)

희석제 종류	주요 성분
라커용	- 톨루엔, 에틸아세테이트, 이소프로필알코올, 메틸에틸케톤, 뷰틸-β-하이드록시에틸에테르 등
아크릴우레탄용	- 자일렌, 톨루엔, 에틸아세테이트, 2-에톡시에틸 아세테이트, 뷰틸아세테이트 등
열경화아크릴용	- 자일렌, 톨루엔, 에틸아세테이트, 뷰틸알코올, 뷰틸-β-하이드록시에틸에테르, 2-에톡시에탄올 등
에코시너 (green solvent)	- 친환경도료 적용 이후 자일렌, 톨루엔 사용이 금지된 이후 적용 - 다이메틸카보네이트, 뷰틸아세테이트, 자일렌, 솔벤트 나프타 등
수용성	- 물, 이소프로필알코올 등

[표 4-7] 상도 도료 종류별 특징(1)

상도 도료 종류	특징
NC번성 아크릴 라커	- 1액형으로 하이솔리드화(아크릴 라커계)한 도료로 트럭, 상용차, 버스, 기차, 중고차 등에 적용되었으나 우레탄 도료의 사용으로 감소하고 있다. - 도막 성능 향상을 위해 우레탄 경화제를 사용하여 2액형 아크릴 라커로 사용하지만 재도장 시 주름 발생 등의 불만으로 거의 사용하지 않는다.
폴리에스테 변성CAB계 (1액형 우레탄)	- 1액형 폴리에스테르, CAB, 멜라민 수지계 도료(베이스 코트) - 투명성이 우수하여 메탈릭, 펄 색상의 전용 도료 - 용도: 내후성이 우수하여 신차, 중고차, 모든 차량에 사용하며 필히 투명도장하고 광내기 작업을 해야 한다.
수용성계	- 수용성 에멀젼, AUD, PUD계로 친환경 제품 - 지질오염 방지를 위한 폐수처리설비, 온·습도 조절 설비 필요 - 색도료로 컬러 매칭성, 광택, 도막외관 우수, 가격 상승과 작업성 부족
속건아크릴 우레탄	- 2액형, 주성분은 아크릴 수지, 폴리이소시아네이트(경화제) - 초기 건조가 빠름, 신차 보수, 도장 관련 설비 불충분한 곳에서 사용 → 전체 도장 시 오렌지 필, 광택 부족 발생이 쉽다. - 초속건형(10:1), 속건형(5:1)로 솔리드, 메탈릭 겸용이다.
우레탄계	- 2액형, 아크릴 수지와 폴리이소시아네이트(경화제)가 주성분 - 건조가 늦으므로 부스 및 건조 설비가 필요하다. - 부분, 전체 보수도장용으로 솔리드 색상의 최고급형인 친환경 제품(주제: 경화제=2:1), 고급형(3:1), 하이솔리드화 투명류가 있다. - 친환경 수용성 투명 - 육지감, 살오름성, 초고광택 우수

[표 4-8] 상도 도료 종류별 특징(2)

보조 재료 종류	특징
도막 박리제	- 염소화 탄화수소가 주성분으로 산, 알칼리, 파라핀 함유 - 박리 후 수세처리 → 탈지 → 하도 도장 - 용기 내 상태: 액상과 젤리상 두 가지이며, 강산으로 피부에 화상 등 위험하므로 사용 시 주의해야 한다.
탈지제	- 공정마다 탈지 시 꼭 필요한 제품: 탈지제(실리콘오프)로 적당한 용해력과 증발속도로 설계된 제품으로서 자동차 보수도장 공정별과 소재 탈지 시 필수품이며 플라스틱 소재에는 대전 방지 효과도 있다.
콤파운드	- 연마, 광내기 작업의 필수품으로 실리콘이 함유된 것은 사용하지 말 것 (크레터링의 원인이 됨) - 1000, 2000, 3000번 등 용도별로 구분하여 사용해야 한다.
경화촉진제	- 우레탄 도료에 소량(도료 100Gr에 0.01~1.0Gr) 첨가해서 도막의 경화건조 시간을 단축시키는 주석 화합물로 우레탄 도료의 특성에 따라 차이가 있으므로 사전 시험 또는 페인트회사의 기술자료(TDS)를 참조하여 사용해야 한다.
도마유연제	- 고무 성분의 톤모노머를 주성분으로 한 유연제로 도료에 5~15% 사용한다. 우레탄 도료의 경우는 첨가한 양에 비례해서 50~100% 경화제를 추가해야 정상적인 도막을 얻을 수 있다.

1-3. 자동차 도료 MSDS

페인트 회사에서 판매 중인 자동차 도료에 함유된 물질의 구성 성분 및 함유량 정보는 다음과 같다.

[표 4-9] 퍼티 제품

Chemical Name	Trade names and Synonyms	CAS No.	Content(%)
Tale	Talcum	14807-96-6	40~50
Vinylbenzene	Styrene, Ethenylbenzene	100-42-5	10~20
Barium sulfate, natural	Sulfuric acid, barium salt(1:1)	7727-43-7	1~10
Titanium dioxide	Titanium oxide	13464-67-7	1~10
Silicon dioxide	Silica, amorphous, fumed, crystalline free	112945-52-5	1~10
Xylene	Dimethylbenzene	1330-20-7	0~1
Secret	Secreet	-	20~30

[표 4-10] 프라이머 제품

Chemical Name	Trade names and Synonyms	CAS No.	Content(%)
Toluene	Methylbenzene	108-88-3	55~55.5
Dimethyl carbonate	Carbonic acid, dimethyl ester	646-38-6	16
Titanium dioxide	Titanium oxide	13463-67-7	13~13.5
Chlorinated polypropylene	1-Propene homopolymer, chlorinated	68442-33-1	5~7
Xylene	Dimethylbenzene	1330-20-7	1~4.9
Ethylbenzene	Benzene, ethyl-	100-41-4	0~0.8
Aluminium oxide	Alumina	1344-28-1	0~0.5
Secret	Secret	-	1~3

[표 4-11] 서페이서 제품

Chemical Name	Trade names and Synonyms	CAS No.	Content(%)
Titanium dioxide	Titanium oxide	13463-67-7	10~20
Barium sulfate, natural	Sulfric acid, barium salt(1:1)	7727-43-7	10~20
Thermosetting acrylic resin	-	-	10~20
Talc, non-asbestos form	Talcum	14807-96-6	10~20
Toluene	Methylbenzene	108-88-3	1~10
Zinc	Zinc powder	7440-66-6	1~10
Thermosetting acrylic resin	-	-	1~10
Xylene	Dimethylbenzene	1330-20-7	1~10
n-Butyl acetate	Acetic acid, butyl ester	123-86-4	1~10
Acetic acid ethyl ester	Ethyl acetate	141-78-6	1~10
Ethylbenzene	Benzene, ethyl	100-41-4	1~10
Secret	Secret	-	10~20

[표 4-12] 유색 도료 제품

Chemical Name	Trade names and Synonyms	CAS No.	Content(%)
Thermosetting acrylic resin	-	-	20~30
n-Butyl acetate	Acetic acid, butyl ester	123-86-4	20~23.2
Titanium dioxide	Titanium oxide	13463-67-7	10~18.8
Xylene	Dimethylbenzene	1330-20-7	1~9
Toluene	Methylbenzene	108-88-3	1~7.1
Thermosetting acrylic resin	-	-	1~10
Ethylbenzene	Benzene, ethyl-	100-41-4	1~2.1
m-xylene	1,3-Dimethylbenzene	108-38-3	1~1.3
Propylene glycol methyl ether acetate	Propylene glycol monomethyl ether acetate	108-65-6	1~10
Secret	Secret	-	1~10

2. 도장시설 배출 VOCs 측정 지점 및 방법

2-1. 측정 지점 선정 방법과 기준

[국내 배출구 측정 지점 선정 기준]

자동차 도장 부스의 방지시설 성능 평가를 위한 방지시설 유입, 유출 부분 측정 위치는 대기오염공정시험 방법 ES0114a '배출가스 중 굴뚝 배출 시료 채취 방법'을 참고하여 선정할 수 있다.

[표 4-13] 대기오염공정시험 방법(ES 01114. a 배출가스 중 굴뚝 배출 시료채취방법)

- 측정위치는 원칙적으로 굴뚝의 굴곡부분이나 단면모양이 급격히 변하는 부분을 피하여 배출가스 흐름이 안정되고 측정 작업이 쉽고 안전한 곳을 선정
- 수직굴뚝 하부 끝단으로부터 위를 향하여 그곳의 굴뚝 내경의 8 배 이상이 되고, 상부 끝단으로부터 아래를 향하여 그곳의 굴뚝내경의 2 배 이상이 되는 지점에 측정공 위치를 선정하는 것을 원칙으로 함
- 위의 기준에 적합한 측정공 설치가 곤란하거나 측정 작업의 불편, 측정자의 안전성 등이 문제될 때에는 하부 내경의 2배 이상과 상부 내경의 1/2배 이상 되는 지점에 측정공 위치를 선정할 수 있음
- 단, 수직굴뚝에 측정공을 설치하기가 곤란하여 부득이 수평 굴뚝에 측정공이 설치되어 있는 경우는 수평굴뚝에서도 측정할 수 있음
- 측정공의 위치가 수직굴뚝의 측정위치 선정기준에 준하여 선정된 곳이어야 함
- 수평굴뚝에서 배출가스 시료채취를 하는 경우에 외부공기가 새어들지 않고 굴뚝에 요철 부분이 없는 곳으로서 굴뚝의 방향이 바뀌는 지점으로부터 굴뚝 내경의 2배 이상 떨어진 곳을 측정 위치로 선정할 수 있음

굴뚝 상하 직경은 수직굴뚝의 배출가스가 흐트러짐이 시작되는 위치의 내경을 기준으로 한다.

- 굴뚝단면이 사각형인 경우(상하 동일 단면적의 정사각형 또는 직사각형)

$$\text{환산직경} = 2\times\left(\frac{A\times B}{A+B}\right) = 2\times\left(\frac{\text{가로}\times\text{세로}}{\text{가로}+\text{세로}}\right)$$

A: 굴뚝내부 단면 가로치수
B: 굴뚝내부 단면 세로치수

- 굴뚝단면이 원형인 경우

측정공 위치를 대략적으로 선정하고 다음에 의거하여 굴뚝직경을 산출하여, 선정된 측정공 위치가 환산 하부직경의 2배 이상과 환산 상부직경의 1/2배 이상이면 측정공 위치로 채택한다.

$$\text{환산하부직경} = \frac{\text{하부직경} + \text{선정된 측정공위치의 직경}}{2}$$

$$\text{환산상부직경} = \frac{\text{상부직경} + \text{선정된측정공위치의 직경}}{2}$$

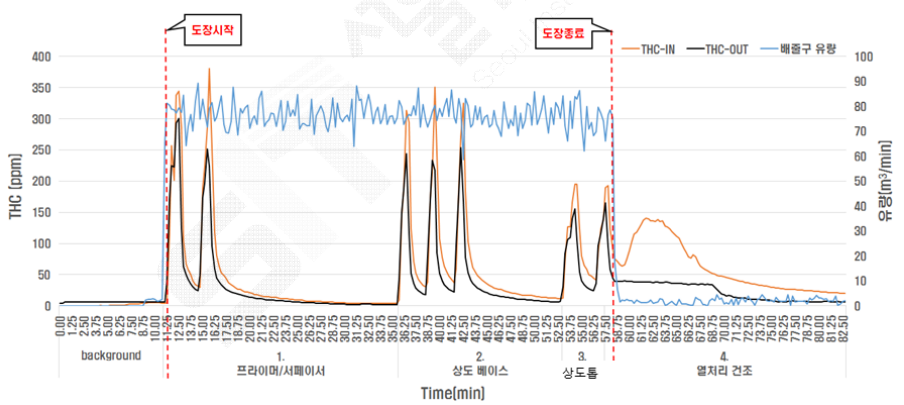
2-2. THC 측정 방법과 기준

[국내 THC 배출구 측정 방법 기준]

[표 4-14] 대기오염공정시험 방법(ES 01507. 1a 배출가스 중 총탄화수소)

- 시멘트 소성로, 소각로, 연소시설, 도장시설 등에서 배출되는 배출가스 중 총탄화수소(THC)를 분석하는 방법
- 프로판 또는 탄소등가농도로 환산하여 표시한다.
- 총탄화수소의 측정은 공정이 정상 상태에서 30분 동안 연속측정
- 공정이나 작업 주기가 30분 이하인 경우에는 작업시간 동안 측정
- 측정시간 동안 15초 이하의 간격으로 측정 결과를 저장하여 평균 측정 결과로 나타냄
- 측정하는 동안에 필요한 사항과 공정 중단이나 운전주기 등을 기록

현재 대기오염공정시험 방법에는 도장 공정과 건조 공정 구분 없이 측정시간을 명시하고 있다. 실제 도장 공정과 건조 공정은 작업시간, 유량 같은 조건이 크게 차이가 나므로 방지시설 유출 농도 측정 시 공정 시간의 정확한 정의 및 구분을 명시할 필요가 있다.



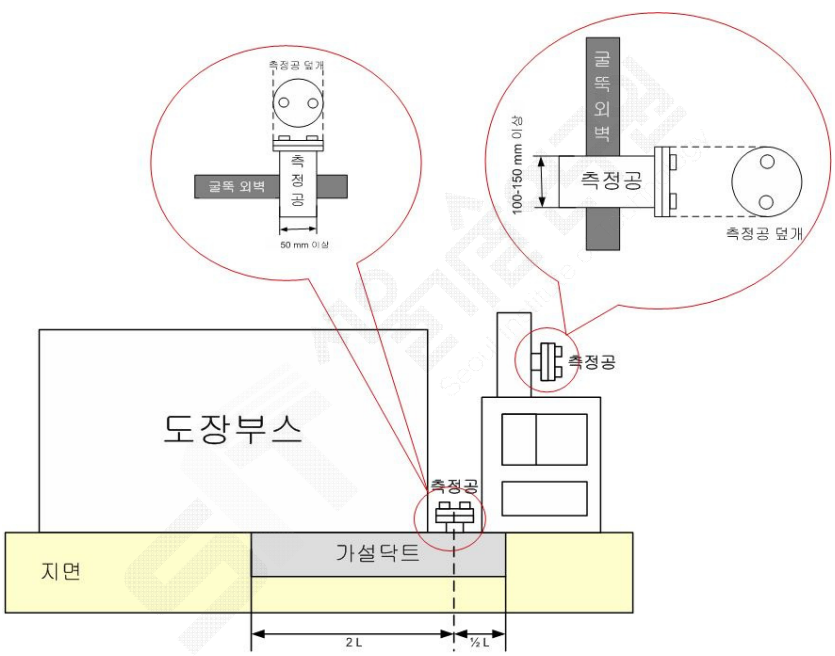
[그림 4-7] THC 농도 측정 결과 설명 예시

자동차 정비 도장시설의 방지장치 배출구에서 VOC 측정법은 대기오염공정시험 방법 ES 01507.a에서 제시하는 방법과 ES 01114. a의 굴뚝 직경 환산법에 따라 시료 채취항에 준하여 농도 측정을 시행하여야 한다. THC 미터의 기기 보정은 대기오염공정시험 방법에 명시된 방법으로 시행하며, 제로(Zero) 가스로는 고순도 공기를 이용하고, 스팬(span) 가스는 고순도 메탄을 사용하여 보정토록 규정하고 있다.

2-3. THC 측정 방법 제안

[방지시설 전단 및 배출구 측정지점 제안]

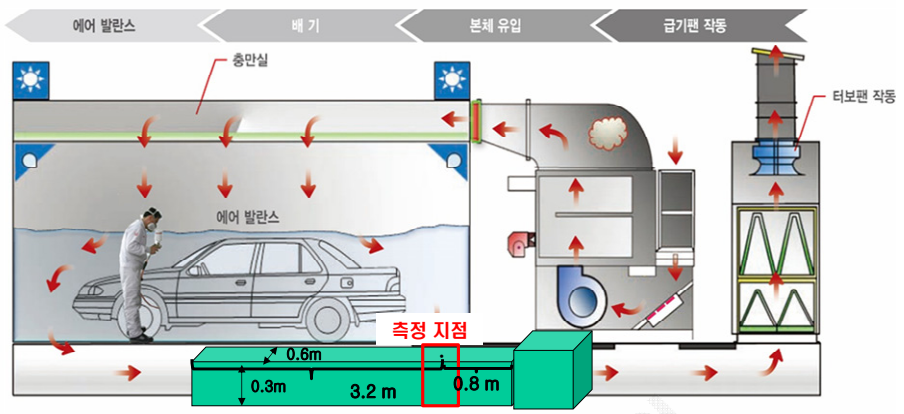
그림 4-8은 대기오염공정시험 방법 내용을 참고하여 방지시설 전후단 측정공의 위치를 제안한 것이다. 방지시설 유입부에는 가설 덕트 등을 설치하여 측정공을 설치하고 방지시설 유출 부분은 굴뚝 길이를 기준으로 측정공을 설치하여 측정 위치로 선정하고자 한다.



[그림 4-8] 방지시설 전후 측정공의 위치

측정공은 그림 4-8과 같이 방지시설의 전단부와 후단부에 설치하며, 방지시설 전단부의 측정공은 굴뚝 외벽에 내경 50mm 정도로 설치하고, 방지시설 후단부의 측정공은 먼지의 측정도 이루어져야 하므로 100~150mm의 내경으로 설치되도록 한다. 또한 측정공은 측정공 덮개를 설치하여 측정을 하지 않을 때에는 밀폐하고 측정 시에도 흡입관 삽입 이외의 공간은 공기가 새지 않도록 해야 한다.

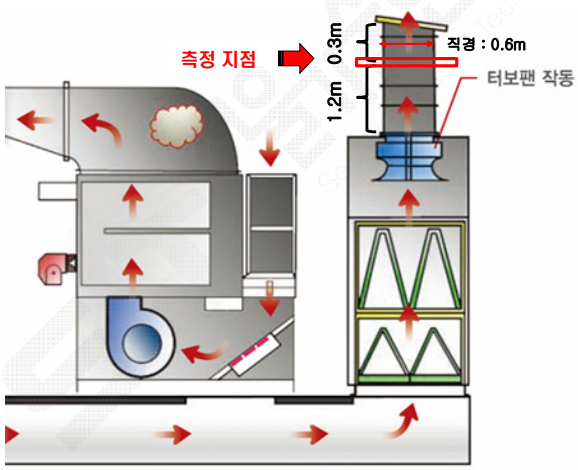
외부규격(mm) : 4,500(W)x7,300(L)x3,450(H), 내부규격(mm) : 4,350(W)x7,150(L)x2,740(H)



환산직경 $0.4\,m = 2 \times \frac{(0.6 \times 0.3)}{(0.6 + 0.3)}$

측정지점 0.4 × 8 = 3.2m (입구 방향)
0.4 × 2 = 0.8m (출구 방향)

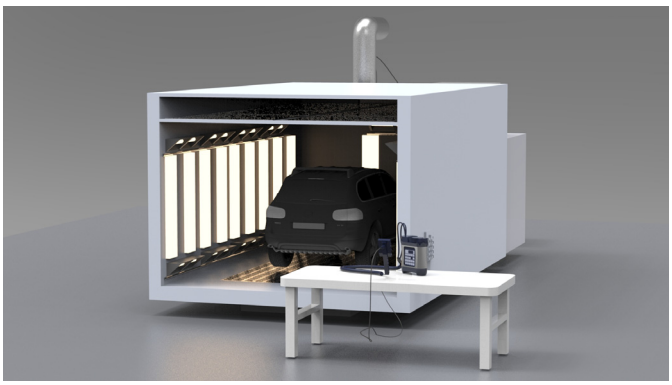
(a) 자동차 도장부스 배출(방지시설 유입) 농도 측정 지점



측정지점 0.6m × 2 = 1.2m (입구 방향)
0.6m × 0.5 = 0.3m (출구 방향)

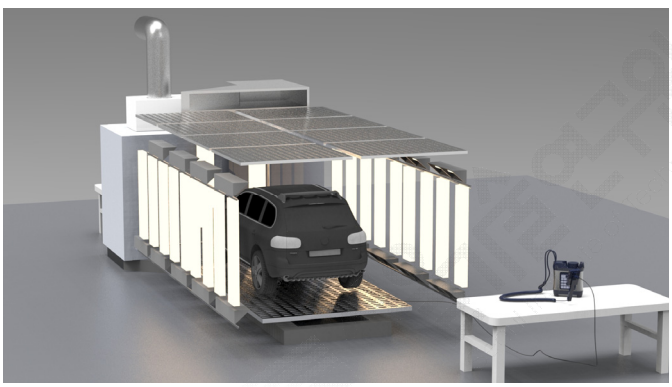
(b) 자동차 도장 방지시설 배출 농도 측정 지점

[그림 4-9] 자동차 도장부스 배출(방지시설 유입) 농도, 방지시설 배출 농도 측정 지점



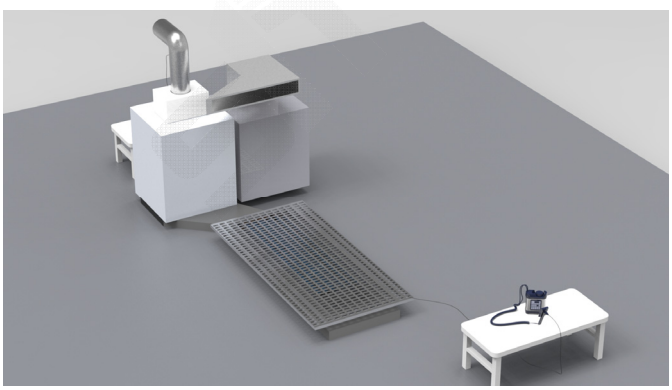
자동차 정비
도장부스
THC 측정 예시

- 전면도



자동차 정비
도장부스
THC 측정 예시

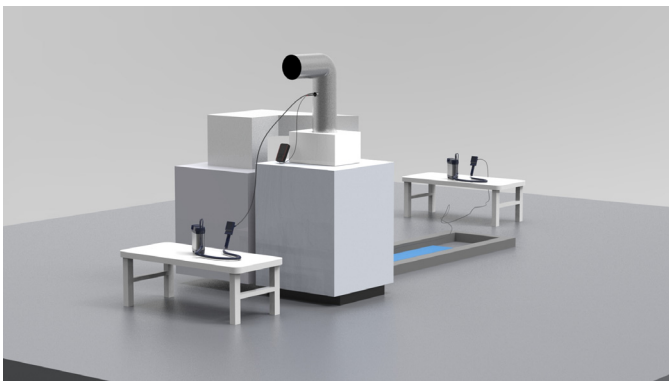
- 열처리시설
- 급기천장필터
- 그레이팅 위치



자동차 정비
도장부스
THC 측정 예시

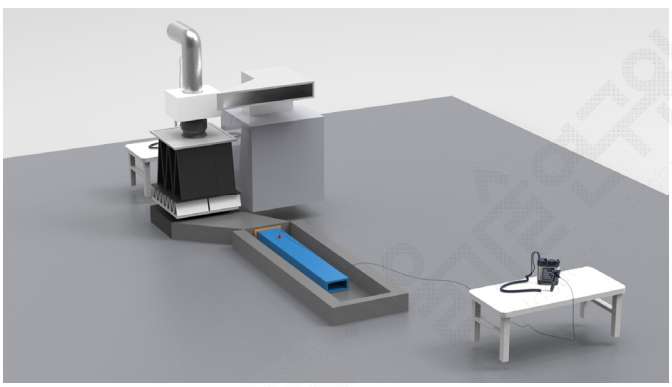
- 그레이팅 위치

[그림 4-10] 자동차 정비 도장시설 THC 측정 방법 예시(1)



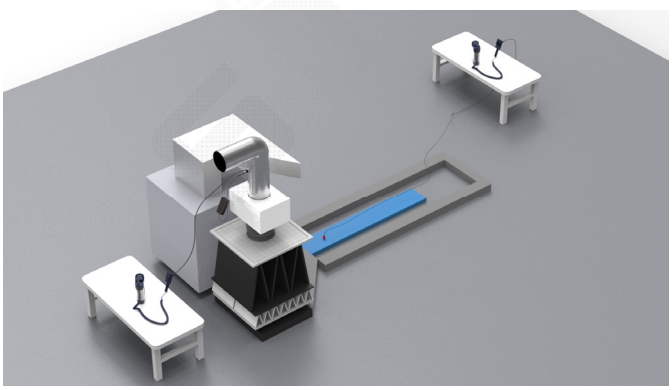
자동차 정비
도장부스
THC 측정 예시

- 방지시설 전후단 측정
- THC 측정
- 배출가스 유속
- 배출가스 온도



자동차 정비
도장부스
THC 측정 예시

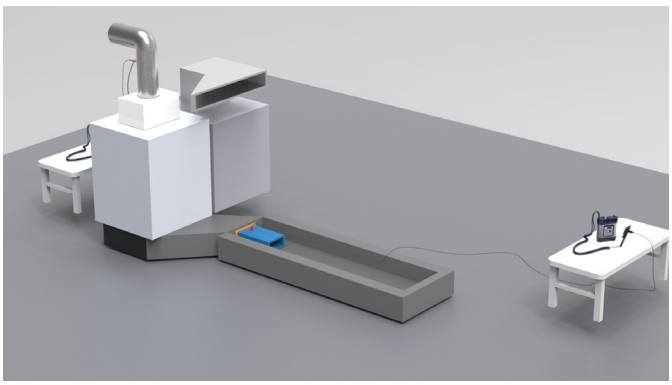
- 방지시설 전단
- 가상덕트 설치
- 하부 내경의 8배,
- 상부 내경의 2배



자동차 정비
도장부스
THC 측정 예시

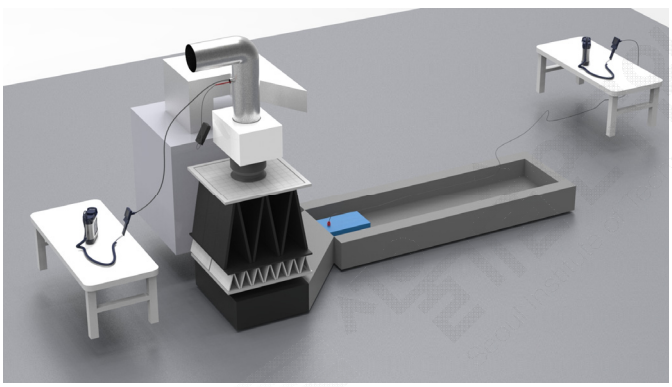
- 방지시설 후단
- 가상덕트 설치
- 하부 내경의 8배,
- 상부 내경의 2배

[그림 4-11] 자동차 정비 도장시설 THC 측정 방법 예시(2)



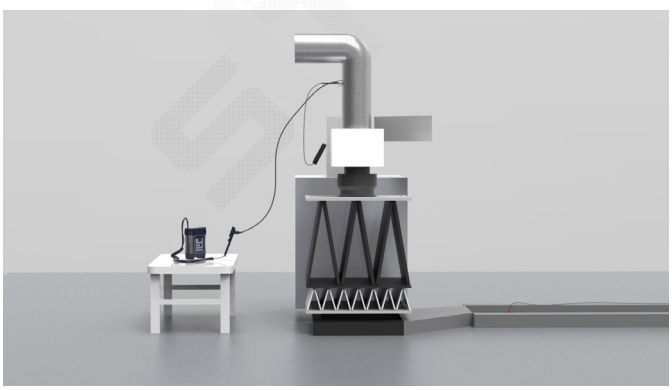
자동차 정비
도장부스
THC 측정 예시

- 방지시설 전단
- 가상덕트 설치
- 하부 내경의 2배,
- 상부 내경의 1/2배



자동차 정비
도장부스
THC 측정 예시

- 방지시설 전후단
- 가상덕트 설치
- 하부 내경의 2배,
- 상부 내경의 1/2배



자동차 정비
도장부스
THC 측정 예시

- 방지시설 내부 구조
- 프리필터
- 활성탄필터
- 가상덕트 설치
- 하부 내경의 8배,
- 상부 내경의 2배

[그림 4-12] 자동차 정비 도장시설 THC 측정 방법 예시(3)

[방지시설 전단 및 배출구 측정 지점 제안]

현재 방지시설의 배출 농도에만 규제가 있는 실정이며, 방지시설 처리 효율에서는 아무런 기준이 없다. 그러나 자동차 수리업 방지시설의 처리효율을 위해서는 방지시설 후단과 전단의 THC 측정이 함께 진행되어야 한다. 이에 본 연구에서는 방지시설 전단 및 배출구 THC 측정 방법을 아래와 같이 제안하고자 한다.

- 측정 기기: 기존 대기오염공정시험방법에서 제시하는 것과 동일하게 FID 방식의 THC 측정이 가능한 기기를 이용한다.
- 측정 시간: 본 연구에서 현장 조사를 진행한 결과, 일반적으로 현장에서 도장 공정을 진행할 때 실제 도색 공정은 30분 이내에 이루어진다. 이에 THC 측정 시간은 도장 공정 중에서도 건조 공정을 제외한 도색 공정을 기준으로 하며, 최대 시간 30분간 측정한다. 단, 30분 이내에 도색 작업이 마무리될 경우 도색 공정 시간을 기준으로 측정한다.

2-4. 도장시설 THC와 VOCs 성능 분석 방법

소규모 자동차 수리 업체에 설치되어 있는 도장시설에서 배출되는 THC, VOCs와 방지시설의 성능 평가를 수행하고자 기존 방지시설 설치 업체 1개소(수성도료 공정 1개소)와 최근 신규로 방지시설을 설치한 업체 2개소(유성도료 공정 1개소, 수성도료 공정 1개소)를 선정하였다. 본 연구에서 신규 방지시설 설치 업체는 소규모 방지시설 지원사업(정부와 지자체의 예산 지원)으로 방지시설을 설치한 업체를 의미한다. 표 4-15는 본 연구에서 현장 측정을 진행한 업체를 도장 공정과 기존·신규 방지시설별로 구분한 것이다.

[표 4-15] 방지시설 성능 평가를 진행한 업체 구분표

도장공정	기존 방지시설 설치 업체	신규 방지시설 설치 업체
유성 공정		BB 사업장
수성 공정	AA 사업장	CC 사업장

도장 작업 시의 도장부스 실내와 배출구의 VOCs 농도는 휴대용 THC 측정기기를 이용하여 도장 공정 시작부터 끝날 때까지 연속으로 측정하였다. 본 연구에서 사용된 휴대용 측정기기는 Thermo Scientific TVA 2020 Vapor Analyzer로서 FID(불꽃 이온화 검출기) 검출기가 장착된 기기이다. 측정 농도 범위는 1~10,000ppm이며, 정확도는 측정값의 ±10%나 ±1.0ppm, 재현성은 ±2%(at 500ppm of methane)이었다.

[그림 4-13] THC 측정기기

도장 작업 현장의 개별 VOCs는 Tenax-TA(Supelco, USA) 흡착튜브를 이용한 고체 흡착법으로 채취하였다. Tenax-TA 흡착튜브는 측정 전 TC-20(Markes, USA)을 이용하여 300℃에서 6시간 동안 컨디셔닝을 시행하였다. 도장 작업에서 배출되는 VOCs 시료는 Tanax-TA가 충전된 흡착관에 유량 100mL/min로 도색 및 건조 공정 동안 5분간 채취하였다. 시료 채취용 펌프는 시료 채취 전 고체흡착관을 장착하고 비누막유량계를 이용하여 유량 변화를 교정하였다. 시료 채취를 완료한 Tenax-TA 흡착튜브는 4℃ 이하에서 냉장 보관 후 GC/MSD(Agilent HP-6890, USA)로 분석하였다. 분석 대상 VOC의 표준물질로 CHEM(악취물질) 10종과 오존전구물질 50종, TO-14(독성 VOCs) 42종의 물질이 들어 있는 SUPELCO사의 TO-14용 VOCs 표준혼합시료(공칭 1ppm)를 사용하였다.

GC/MS의 분석조건은 열탈착 장치로부터 2차 열탈착되어 시료가 주입되는 순간부터 5분 동안 solvent delay를 하여 초기 저분자 물질의 분석을 최소화했으며, 50℃에서 10분간 유지하고, 5℃/min의 온도 증가 속도로 220℃까지 온도를 서서히 올려주었다. 220℃에서 10분 동안 유지한 후 post run 5분을 설정하여 측정 대상 물질이 아닌 고분자의 유입으로 발생하는 기기의 오염을 줄였다. 시료당 분석 시간은 54분 정도 소요되었다. VOCs의 선형성 평가는 100μg/mL 농도의 액상 표준물질(Supelco, USA)을 흡착관 가열장치인 ATIS(Adsorbent Tube Injector System, Supelco, USA)를 이용하여 3개의 Tenax-TA 흡착튜브에 각각 100ng, 300ng, 500ng으로 소량 첨가한 다음, ATD(Ultra-xr, Markes, USA)를 이용하여 열탈착한 후 VOCs의 검정곡선을 작성하였다. 검정곡선의 선형성 평가 결과 결정계수(R^2)는 0.99 이상, 분석의 재현성을 나타내는 상대표준편차(RSD: Relative Standard Deviation)를 7회 반복 분석한 결과 0.52~4.32% 수준으로 평가되었다.

[그림 4-14] VOCs 분석기기 - GC/MS/TD

[표 4-16] VOCs 분석을 위한 자동열탈착 장치 및 GC/MS 운전조건

MAKERS Unity-xr/Ultra-xr/AirServer-xr		GC/MSD (HP6890/5973, Hewlett Packard, USA)	
Flow path temperature	120℃	GC column	DB-1(0.32mm, 60m, 3μm)
Prepurge time	1.0min	Initial temp.	50℃(10min)
Desob temp.	300℃	Oven ramp rate	5℃/min
Desob time	10min	Final temp.	220℃(10min)
Trap flow	50mL/min	Post run	250℃(5min)
Trap purge time	1min	Column flow	1.2mL/min
Trap purge flow	30mL/min	Detector type	Quadropole
Trap low temperature	-20℃	Q-pole temp.	150℃
Trap high temperature	300℃	MS Source temp.	230℃
Trap desorb time	4min	Mass range	35~350amu
Split flow	15mL/min	Electron energy	70eV

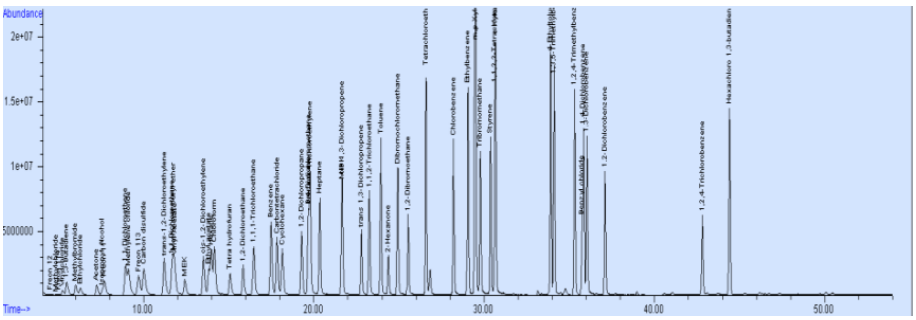
[표 4-17] 분석 대상 VOCs

TO-14		오존전구물질		CHEM	
No.	물질	No.	물질	No.	물질
1	Freon 12	1	Isobutane	1	Methyl ethyl ketone
2	Methylchloride	2	1-Butene	2	Isobutyl alcohol
3	Freon 114	3	Butane	3	Benzene
4	Vinylchloride	4	trans-2-Butene	4	Methyl isobutyl ketone
5	1,3-Butadiene	5	cis-2-Butene	5	Toluene
6	Methylbromide	6	Isopentane	6	Butyl Acetate
7	Ethylchloride	7	1-Pentene	7	Ethylbenzene
8	Freon 11	8	Pentane	8	m,p-Xylene
9	Acrylonitrile	9	Isoprene	9	Styrene
10	1,1-Dichloroethene	10	trans-2-Pentene	10	o-Xylene

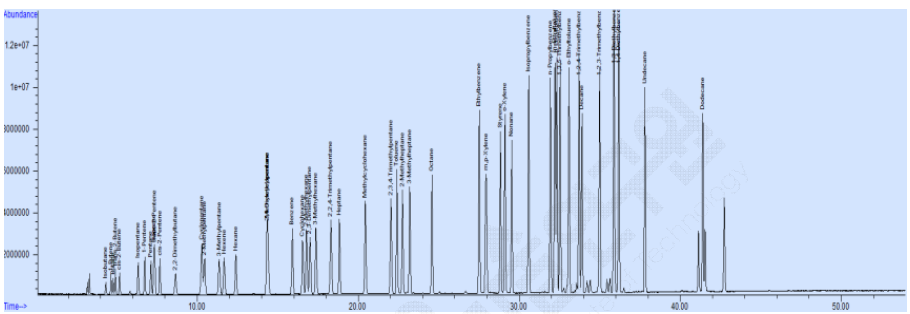
[표 4-17] 분석 대상 VOCs(계속)

TO-14		오존전구물질		CHEM	
No.	물질	No.	물질	No.	물질
11	Dichloromethane	11	cis-2-Pentene		
12	3-Chloropropylene	12	2,2-Dimethylbutane		
13	Freon 113	13	Cyclopentane		
14	1,1-Dichloroethane	14	2-Methylpentane		
15	cis-1,2-Dichloroethylene	15	3-Methylpentane		
16	Chloroform	16	1-Hexene		
17	1,2-Dichloroethane	17	2-Hexane		
18	Methyl chloroform	18	Methylcyclopentane		
19	Benzene	19	2,4-Dimethylpentane		
20	Carbontetrachloride	20	Benzene		
21	1,2-Dichloropropane	21	Cyclohexane		
22	Trichloroethylene	22	2-Methylhexane		
23	cis 1,3-Dichloropropene	23	2,3-Dimethylpentane		
24	trans 1,3-Dichloropropene	24	3-Methylhexane		
25	1,1,2-Trichloroethane	25	2,2,4-Trimethylpentane		
26	Toluene	26	Heptane		
27	1,2-Dibromoethane	27	Methylcyclohexane		
28	Tetrachloroethylene	28	2,3,4-Trimethylpentane		
29	Chlorobenzene	29	Toluene		
30	Ethylbenzene	30	2-Methylheptane		
31	m,p-Xylene	31	3-Methylheptane		
32	Styrene	32	Octane		
33	1,1,2,2-Tetrachloroethane	33	Ethylbenzene		
34	o-Xylene	34	m,p-Xylene		
35	1-Ethyl-4-methylbenzene	35	Styrene		
36	1,3,5-Trimethylbenzene	36	o-Xylene		
37	1,2,4-Trimethylbenzene	37	Nonane		
38	m-Dichlorobenzene	38	Isopropylbenzene		
39	p-Dichlorobenzene	39	n-Propylbenzene		
40	o-Dichlorobenzene	40	m-Ethyltoluene		
41	1,2,4-Trichlorobenzene	41	p-Ethyltoluene		
42	Hexachloro 1,3-butadiene	42	1,3,5-Trimethylbenzene		
		43	o-Ethyltoluene		
		44	1,2,4-Trimethylbenzene		
		45	Decane		
		46	1,2,3-Trimethylbenzene		
		47	m-Diethylbenzene		
		48	p-Diethylbenzene		
		49	n-Undecane		
		50	n-Dodecane		

※ 음영: 중복 물질



(a) VOCs(TO-14) standard chromatogram



(b) Ozone precursors standard chromatogram

[그림 4-15] VOC 표준시료 GC/MS 크로마토그램

방지시설 VOCs 제거 효율은 방지시설 유입 평균농도와 방지시설 유출 평균농도를 이용해 계산하였다. 방지시설 유입, 유출 평균농도는 도장 및 건조 공정 시 측정된 VOCs 농도에 각 공정의 유량을 곱한 뒤 총 유량으로 나누었다.

$$\text{방지시설유입평균농도} = \frac{(\Sigma QC)_{\text{도장}} + (\Sigma QC)_{\text{건조}}}{\Sigma Q}$$

$$\text{방지시설 유출평균농도} = \frac{(\Sigma QC)_{\text{도장}} + (\Sigma QC)_{\text{건조}}}{\Sigma Q}$$

$$\text{공정 별 } VOCs \text{ 제거효율} = \frac{\text{방지시설 유출평균농도}}{\text{방지시설 유입평균농도}}$$

3. 도장시설 배출 VOCs 배출 특성 분석

3-1. 도장시설 배출 THC 현장 농도

[기존 방지시설 설치 대상 사업장]

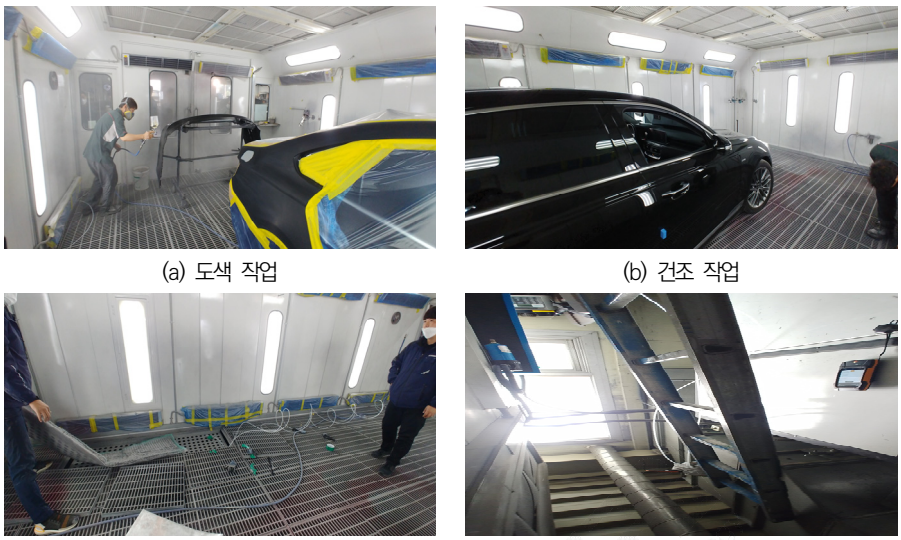
(AA 사업장)

기존 방지시설 설치 업체인 AA사업장에서는 중형차의 후단 범퍼에 수성도료 도장 작업을 하였으며, 표 4-18은 프라이머·서페이서, 상도-베이스 코트, 상도-톱 코트, 건조 등 각 공정에서 사용된 도료와 경화제 및 희석제의 혼합 비율과 사용량, 작업시간 등을 정리해서 나타냈다. 표 4-18에서와 같이 공정별 희석도료의 사용량은 프라이머·서페이서에서 131g, 상도-베이스 코트에서 304g, 상도-톱 코트에서 544g을 사용하였다. 총 작업시간은 건조공정을 포함한 61분으로 해당 시간 방지시설 전단인 도장부스 내 방지시설 유입구와 방지시설 후단인 방지시설 배출구에서 THC 측정과 공정별로 VOC 시료를 채취하였다.

[표 4-18] AA 사업장 기존방지시설 수성 도료

용도 구분		혼합 비율	사용량	공정시간	
프라·서페	도료	-	131g	2분	61분
상도-베이스 코트	도료	8	243.2g	16분	
	희석제	2	60.8g		
상도-톱 코트	도료	3	408g	10분	
	경화제	1	136g		
건조 공정	-	-		33분	

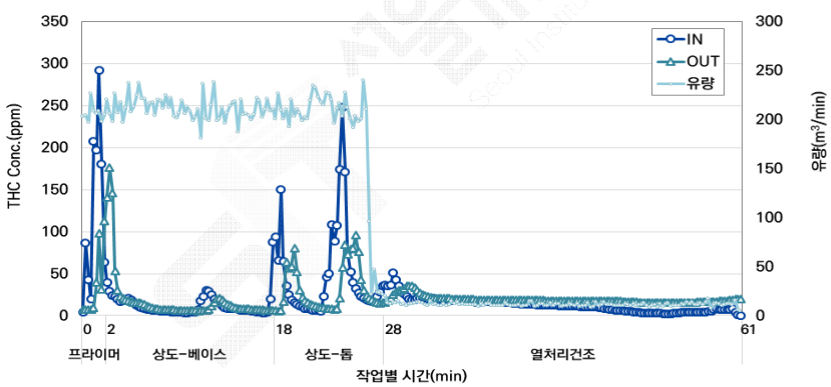
다음 그림은 AA 사업장의 수성도료를 사용했을 때 공정별로 유입구와 배출구에서 연속적으로 THC를 측정한 결과이다. 초기 프라이머 도장 공정에서 방지시설 유입 농도가 가장 높았으며, 상도-베이스 공정에서는 유입구 농도가 매우 낮았다. 상도-톱 공정에서는 유입된 VOCs와 유사한 농도가 일정 시간이 지난 후 방지시설 후단에서도 배출되는 것을 확인하였다.



(a) 도색 작업 (b) 건조 작업

(c) 유입구 측정 (d) 배출구 측정

[그림 4-16] AA 사업장 도장부스 현장 측정 전경



[그림 4-17] AA 사업장(수성도료) 도장시설 THC 측정 결과

[신규 방지시설 설치 대상 사업장]

(BB 사업장)

신규 방지시설 설치 업체인 BB 사업장에서는 대형차 앞 범퍼에 유성도료를 사용해서 도장 작업을 진행했다. 표 4-19는 도장 공정과 건조 공정에서 사용된 도료와 경화제 및 희석제의 혼합 비율과 사용량, 작업시간 등을 정리해서 나타냈다. 상도-베이스 코트용 희석도료 사용량은 209g이었으며, 상도-톱 코트에서 314g을 사용했다. 26분간 빠

르게 도장 작업을 진행했으며, 건조 공정을 포함한 전체 작업시간은 56분으로 해당 시간에 방지시설 전단인 도장부스 내 방지시설 유입구와 방지시설 후단인 방지시설 배출구에서 THC 측정과 공정별로 VOC 시료를 채취하였다.

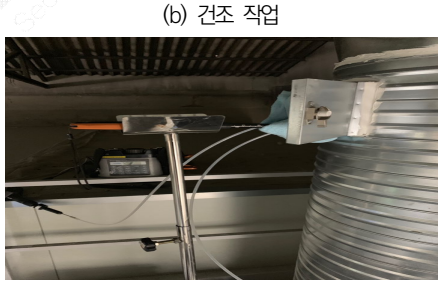
[표 4-19] BB 사업장 신규방지시설 유성도료

용도 구분		혼합 비율	사용량	공정시간	
상도-베이스 코트	도료	4	167.2g	22분	56분
	희석제	1	41.8g		
상도-톱 코트	도료	2	209g	4분	
	경화제	1	105g		
건조 공정	-	-		30분	

(a) 도장 작업

(b) 건조 작업

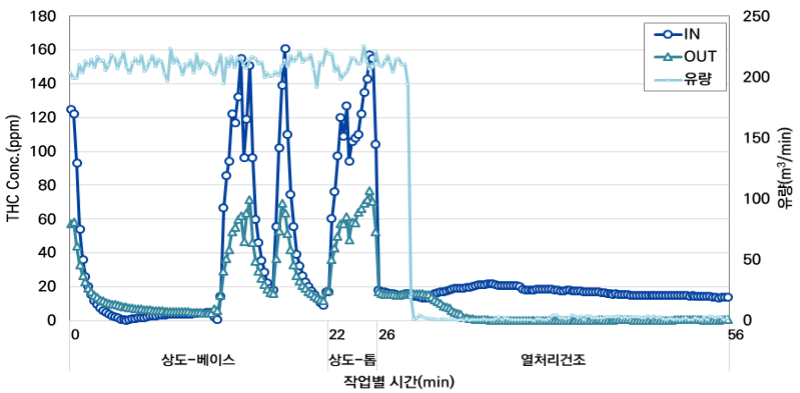
(c) 유입구 측정



(d) 배출구 측정

[그림 4-18] BB 사업장 도장부스 현장 측정 전경

그림 4-19는 BB 사업장에서 유성도료를 사용했을 때 공정별로 유입구와 배출구에서 연속적으로 THC를 측정한 결과이다. 배기시스템 가동에 따라 높은 농도가 검출되는 경향을 보였으며, 유입구와 배출구의 패턴이 비슷하게 나타났다. 상도-베이스 공정에서 농도가 점차 증가하여 18분경 유입구의 농도가 161ppm으로 가장 높았을 때 배출구의 농도는 64ppm으로 나타났으며 이후 농도가 감소하는 경향을 보였다. 상도-톱공정 시작 직후 다시 농도가 증가하여 유입구의 농도 157ppm, 배출구의 농도 77ppm을 나타냈다. 전반적으로 유입구의 농도에 비해 방지시설을 거친 배출구의 농도가 낮게 나타나는 경향을 보였다.



[그림 4-19] BB 사업장(유성도료) 도장시설 THC 측정 결과

(CC 사업장)

신규 방지시설 설치 업체인 CC 사업장에서는 중형차 후단 범퍼 상단, 하단을 대상으로 수성도료를 사용해서 도장 작업을 실시했다. 표 4-20은 프라이머, 실러, 상도-베이스 코트, 상도-톱 코트, 건조 등 각 공정에서 사용된 도료와 경화제 및 희석제의 혼합 비율과 사용량, 작업시간 등을 정리해서 나타냈다. 공정별 희석도료의 사용량은 프라이머 및 실러에서 각각 60g, 상도-베이스 코트에서 161g, 상도-톱 코트에서 483g을 사용했다. 총 작업시간은 건조공정을 포함한 60분으로 해당 시간 방지시설 전단인 도장부스 내 방지시설 유입구와 방지시설 후단인 방지시설 배출구에서 THC 측정과 공정별로 VOC 시료를 채취하였다.

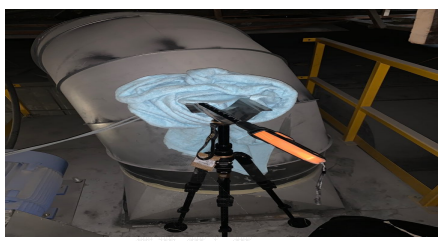
[표 4-20] CC 사업장 신규방지시설 수성도료

용도 구분		혼합 비율	사용량	공정시간	
프라이머	도료	-	60g	4분	60분
실러	도료	3	45g	6분	
	경화제	1	15g		
상도-베이스 코트	도료	1	101g	14분	
	희석제	0.6	60g		
상도-톱 코트	도료	3	362g	6분	
	경화제	1	121g		
건조 공정	-	-		30분	

(a) 도색 작업

(b) 건조 작업

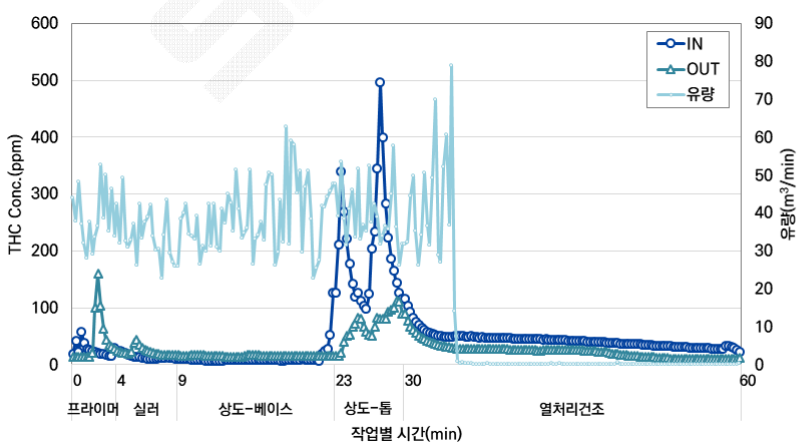
(c) 유입구 측정



(d) 배출구 측정

[그림 4-20] CC 사업장 도장부스 현장 측정 전경

그림 4-21은 CC 사업장의 공정별로 유입구와 배출구에서 연속적으로 THC를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 공정 초기 프라이머 및 실러 작업 시와 톱 코트 공정 시에 유입 농도가 매우 높았으며, 특히 톱 코트 후반에서 496ppm으로 가장 높았다. 배출구의 농도는 가장 높은 농도가 유입되었을 때 113ppm이었고 그 외 구간에서는 100ppm 이하로 배출되었다.



[그림 4-21] CC 업체(수성도료) 도장시설 THC 측정 결과

3-2. 도장시설 배출 VOCs 현장 농도

[기존 방지시설 설치 대상 사업장]

(AA 사업장)

표 4-21은 AA 도장시설의 수성도료 작업 시에 공정별로 도장부스의 유입구와 배출구에서 VOC를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 전체 VOCs 물질 중 상도-톱 공정의 유입구에서 Butyl Acetate가 3.26ppm으로 가장 높은 농도를 보였다. 총 VOCs 물질 합계로는 상도-베이스 공정, 상도-톱 공정에서는 배출구보다 유입구에서 높은 농도로 나타났지만 나머지 프라이머, 열처리 건조 두 공정에서는 유입구보다 배출구에서 더 높은 농도를 보여 방지시설의 역할을 제대로 못하는 것으로 판단된다.

[표 4-21] AA 사업장(수성도료) 도장시설 VOCs 기기 분석 결과 (단위: ppm)

No.	Compouds	프라이머		상도 베이스		상도 톱		열건조		비고
		IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	
1	Methyl ethyl ketone	0.00	0.78	2.47	5.61	2.55	1.22	0.00	0.74	
2	Isobutyl alcohol	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.34	0.00	0.00	
3	Methyl isobutyl ketone	0.00	0.00	1.38	0.81	1.08	0.00	1.26	2.73	
4	Butyl Acetate	28.34	368.97	192.94	363.91	3255.69	622.01	1256.22	2464.78	
5	Isopropyl alcohol	0.00	0.00	50.85	59.93	0.00	17.97	0.00	24.59	
6	Freon 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.79	0.00	
7	Methyl chloride	43.46	53.37	48.54	0.00	0.00	22.80	25.02	0.00	
8	Freon 114	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	Vinyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10	1,3-Butadiene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.30	0.00	
11	Methyl bromide	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
12	Ethylchloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
13	Freon 11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.10	0.00	
14	Acrylonitrile	0.00	347.12	158.37	0.00	0.00	0.00	22.98	0.00	
15	1,1-Dichloroethene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	TO-14
16	Dichloromethane	11.99	0.00	0.00	13.48	0.00	11.30	17.24	14.51	
17	3-Chloropropylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
18	Freon 113	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
19	1,1-Dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
20	cis-1,2-Dichloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
21	Chloroform	11.90	13.59	0.00	14.15	0.00	15.70	11.76	11.87	
22	1,2-Dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
23	Methyl chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
24	Carbontetrachloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
25	1,2-Dichloropropane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

[표 4-21] AA 사업장(수성도료) 도장시설 VOCs 기기 분석 결과(계속) (단위: ppm)

No.	Compouds	프라이머		상도 베이스		상도 톱		열건조		비고
		IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	
26	Trichloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
27	cis 1,3-Dichloropropene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
28	trans 1,3-Dichloropropene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
29	1,1,2-Trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
30	1,2-Dibromoethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
31	Tetrachloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
32	Chlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
33	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
34	m-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.40	0.00	
35	p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
36	o-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
37	1,2,4-Trichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
38	Hexachloro 1,3-butadiene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
39	Isobutane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
40	1-Butene	14.94	14.51	0.00	14.93	55.66	49.22	24.68	17.43	
41	Butane	17.61	20.95	0.00	18.97	17.33	17.82	17.00	15.15	
42	trans-2-Butene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
43	cis-2-Butene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
44	Isopentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
45	1-Pentene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
46	Pentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
47	Isoprene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
48	trans-2-Pentene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
49	cis-2-Pentene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
50	2,2-Dimethylbutane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
51	Cyclopentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
52	2-Methylpentane	0.00	0.00	0.00	4.59	0.00	0.00	0.00	0.00	오존 전구 물질
53	3-Methylpentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
54	Hexene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
55	Hexane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
56	Methylcyclopentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
57	2,4-Dimethylpentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
58	Benzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.65	3.87	
59	Cyclohexane	170.07	161.74	10.24	9.22	0.96	5.61	0.85	1.13	
60	2-Methylhexane	2.91	4.40	2.95	3.23	2.09	2.07	1.87	2.99	
61	2,3-Dimethylpentane	1.06	1.54	1.12	1.09	0.77	0.82	0.81	1.06	
62	3-Methylhexane	3.53	5.30	4.87	6.18	2.76	2.60	2.96	4.19	
63	2,2,4-Trimethylpentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
64	Heptane	5.60	9.96	4.43	5.30	3.25	3.65	3.73	7.35	
65	Methylcyclohexane	3.69	5.47	3.71	3.84	2.59	2.77	2.78	3.87	
66	2,3,4-Trimethylpentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

[표 4-21] AA 사업장(수성도료) 도장시설 VOCs 기기 분석 결과(계속) (단위: ppm)

No.	Compouds	프라이머		상도 베이스		상도 톱		열건조		비고
		IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	
67	Toluene	1307.28	1394.30	544.29	435.76	118.57	294.33	143.30	201.21	
68	2-Methylheptane	4.28	4.99	3.72	4.16	0.00	0.00	3.48	4.96	
69	3-Methylheptane	2.91	3.39	2.82	3.04	0.00	0.00	2.90	3.44	
70	Octane	33.83	399.41	215.24	36.66	8.76	0.00	5.59	14.98	
71	Ethylbenzene	347.09	477.42	295.88	247.21	160.37	134.41	72.54	135.27	
72	m,p-Xylene	93.97	150.67	126.84	122.67	389.07	85.52	136.09	225.96	
73	Styrene	4.89	5.28	12.54	12.32	5.27	13.35	5.68	6.96	
74	o-Xylene	19.80	36.83	39.93	41.21	143.56	32.25	69.81	98.64	
75	Nonane	6.21	6.44	9.14	9.19	8.65	6.12	8.17	11.38	
76	Isopropylbenzene	6.27	7.08	7.07	7.50	14.24	7.35	10.64	12.11	
77	n-Propylbenzene	7.47	9.29	12.72	15.47	70.85	10.35	50.35	62.38	
78	m-Ethyltoluene	3.06	7.07	17.94	25.62	209.90	10.45	159.24	187.36	
79	p-Ethyltoluene	7.78	9.48	12.84	15.12	69.28	10.43	59.45	64.32	
80	1,3,5-Trimethylbenzene	5.95	8.11	13.29	16.90	94.45	9.56	84.86	92.06	
81	o-Ethyltoluene	8.80	10.41	0.00	16.72	70.92	11.37	66.45	71.30	
82	1,2,3-Trimethylbenzene	12.20	16.25	41.67	50.26	244.87	37.94	279.95	289.86	
83	Decane	11.39	12.24	18.49	14.98	12.11	12.34	21.28	17.15	
84	1,2,4-Trimethylbenzene	1.48	2.47	16.03	18.42	80.77	27.68	106.05	101.12	
85	m-Diethylbenzene	0.00	0.00	4.08	4.13	8.17	0.00	9.65	48.56	
86	p-Diethylbenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	14.86	8.30	10.39	12.46	
87	n-Undecane	0.00	0.00	5.08	5.22	0.00	0.00	6.48	6.68	
88	n-Dodecane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
총 VOCs 합계		**2,200**	**3,569**	**1,882**	**1,628**	**5,069**	**1,492**	**2,772**	**4,244**	

표 4-22에서 표 4-25까지는 도장시설의 수성도료 작업 시 공정별로 유입구와 배출구의 VOCs 농도를 나타낸 것이다. 검출 성분 수는 29~40종 수준으로 나타났고, 열처리 건조 공정에서만 유입구보다 배출구에서 검출된 성분의 수가 적게 나타났다. 프라이머·서페이서 및 상도-베이스 공정에서는 Toluene이 가장 높은 농도를 보인 반면에 나머지 공정에서는 Butyl acetate가 가장 높은 농도를 보였다.

[표 4-22] AA 사업장 프라이머·서페이서 공정의 상위 VOCs 물질농도 (단위: ppb)

Compounds	IN	OUT
Toluene	1,307.28	1,394.30
Ethylbenzene	347.09	477.42
Cyclohexane	170.07	161.74
m,p-Xylene	93.97	150.67
Methyl chloride	43.46	53.37
Octane	33.83	399.41
Butyl Acetate	28.34	368.97
o-Xylene	19.80	36.83
Butane	17.61	20.95
1-Butene	14.94	14.51
1,2,3-Trimethylbenzene	12.20	16.25
Dichloromethane	11.99	0.00
Chloroform	11.90	13.59
Decane	11.39	12.24
o-Ethyltoluene	8.80	10.41
p-Ethyltoluene	7.78	9.48
n-Propylbenzene	7.47	9.29
Isopropylbenzene	6.27	7.08
Nonane	6.21	6.44
1,3,5-Trimethylbenzene	5.95	8.11
Heptane	5.60	9.96
Styrene	4.89	5.28
2-Methylheptane	4.28	4.99
Methylcyclohexane	3.69	5.47
3-Methylhexane	3.53	5.30
m-Ethyltoluene	3.06	7.07
2-Methylhexane	2.91	4.40
3-Methylheptane	2.91	3.39
1,2,4-Trimethylbenzene	1.48	2.47
2,3-Dimethylpentane	1.06	1.54

[표 4-23] AA 사업장 상도-베이스 공정의 상위 VOCs 물질농도 (단위: ppb)

Compounds	IN	OUT
Toluene	544.29	435.76
Ethylbenzene	295.88	247.21
Octane	215.24	36.66
Butyl Acetate	192.94	363.91
Acrylonitrile	158.37	0.00
m,p-Xylene	126.84	122.67
Isopropyl alcohol	50.85	59.93
Methyl chloride	48.54	0.00
1,2,3-Trimethylbenzene	41.67	50.26
o-Xylene	39.93	41.21
Decane	18.49	14.98
m-Ethyltoluene	17.94	25.62
1,2,4-Trimethylbenzene	16.03	18.42
1,3,5-Trimethylbenzene	13.29	16.90
p-Ethyltoluene	12.84	15.12
n-Propylbenzene	12.72	15.47
Styrene	12.54	12.32
Cyclohexane	10.24	9.22
Nonane	9.14	9.19
Isopropylbenzene	7.07	7.50
n-Undecane	5.08	5.22
3-Methylhexane	4.87	6.18
Heptane	4.43	5.30
m-Diethylbenzene	4.08	4.13
2-Methylheptane	3.72	4.16
Methylcyclohexane	3.71	3.84
2-Methylhexane	2.95	3.23
3-Methylheptane	2.82	3.04
Methyl ethyl ketone	2.47	5.61
Methyl isobutyl ketone	1.38	0.81
2,3-Dimethylpentane	1.12	1.09

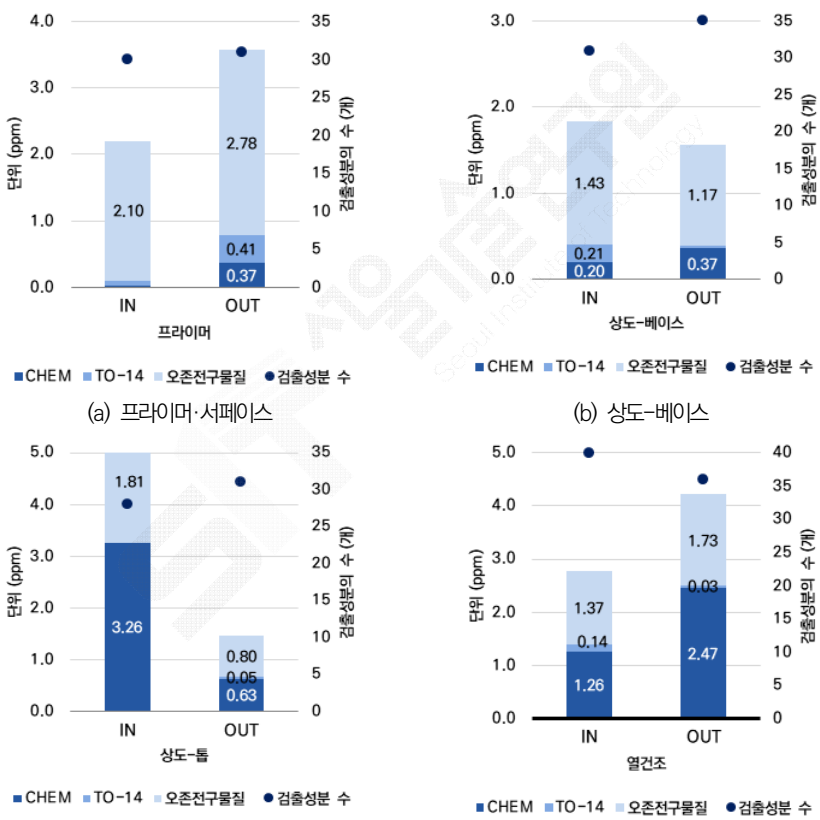
[표 4-24] AA 사업장 상도-톱 공정의 상위 VOCs 물질농도 (단위: ppb)

Compounds	IN	OUT
Butyl Acetate	3,255.69	622.01
m,p-Xylene	389.07	85.52
1,2,3-Trimethylbenzene	244.87	37.94
m-Ethyltoluene	209.90	10.45
Ethylbenzene	160.37	134.41
o-Xylene	143.56	32.25
Toluene	118.57	294.33
1,3,5-Trimethylbenzene	94.45	9.56
1,2,4-Trimethylbenzene	80.77	27.68
o-Ethyltoluene	70.92	11.37
n-Propylbenzene	70.85	10.35
p-Ethyltoluene	69.28	10.43
1-Butene	55.66	49.22
Butane	17.33	17.82
p-Diethylbenzene	14.86	8.30
Isopropylbenzene	14.24	7.35
Decane	12.11	12.34
Octane	8.76	0.00
Nonane	8.65	6.12
m-Diethylbenzene	8.17	0.00
Styrene	5.27	13.35
Heptane	3.25	3.65
3-Methylhexane	2.76	2.60
Methylcyclohexane	2.59	2.77
Methyl ethyl ketone	2.55	1.22
2-Methylhexane	2.09	2.07
Methyl isobutyl ketone	1.08	0.00

[표 4-25] AA 사업장 열건조 공정의 상위 VOCs 물질농도 (단위: ppb)

Compounds	IN	OUT
Butyl Acetate	1,256.22	2,464.78
1,2,3-Trimethylbenzene	279.95	289.86
m-Ethyltoluene	159.24	187.36
Toluene	143.30	201.21
m,p-Xylene	136.09	225.96
1,2,4-Trimethylbenzene	106.05	101.12
1,3,5-Trimethylbenzene	84.86	92.06
Ethylbenzene	72.54	135.27
o-Xylene	69.81	98.64
o-Ethyltoluene	66.45	71.30
p-Ethyltoluene	59.45	64.32
n-Propylbenzene	50.35	62.38
Freon 11	32.10	0.00
Methyl chloride	25.02	0.00
1-Butene	24.68	17.43
Acrylonitrile	22.98	0.00
Decane	21.28	17.15
Dichloromethane	17.24	14.51
Butane	17.00	15.15
1,3-Butadiene	14.30	0.00
Freon 12	11.79	0.00
Chloroform	11.76	11.87
Isopropylbenzene	10.64	12.11
p-Diethylbenzene	10.39	12.46
m-Diethylbenzene	9.65	48.56
Nonane	8.17	11.38
m-Dichlorobenzene	7.40	0.00
n-Undecane	6.48	6.68
Styrene	5.68	6.96
Octane	5.59	14.98
Benzene	4.65	3.87
Heptane	3.73	7.35
2-Methylheptane	3.48	4.96
3-Methylhexane	2.96	4.19
3-Methylheptane	2.90	3.44
Methylcyclohexane	2.78	3.87
2-Methylhexane	1.87	2.99
Methyl isobytyl ketone	1.26	2.73

그림 4-22는 AA 사업장 도장시설의 수성도료 작업 시 공정별로 유입구와 배출구의 TO-14용 VOCs 합계농도, 오존전구물질의 합계농도, CHEM의 합계농도, VOCs 물질의 검출 성분 수를 나타낸 것이다. CHEM의 경우 상도-톱 공정을 제외한 모든 공정에서 유입구보다 배출구의 농도가 높았으며, 오존전구물질의 경우 상도-베이스, 상도-톱 공정에서는 유입구의 농도가 더 높았으나, 프라이머 및 열처리 건조 공정의 경우는 배출구의 농도가 더 높았다. 전체 공정을 대상으로 총 검출 성분 수는 40~42종, 각 작업 공정 대상으로는 29~40종 수준으로 나타났고, 열처리 건조 공정을 제외한 다른 공정에서는 유입구와 비교하여 배출구에서 검출 성분 수가 늘어난 것으로 나타났다.



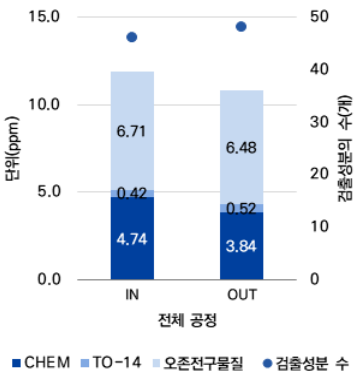
(a) 프라이머·서페이스

(b) 상도-베이스

(c) 상도-톱

(d) 열건조

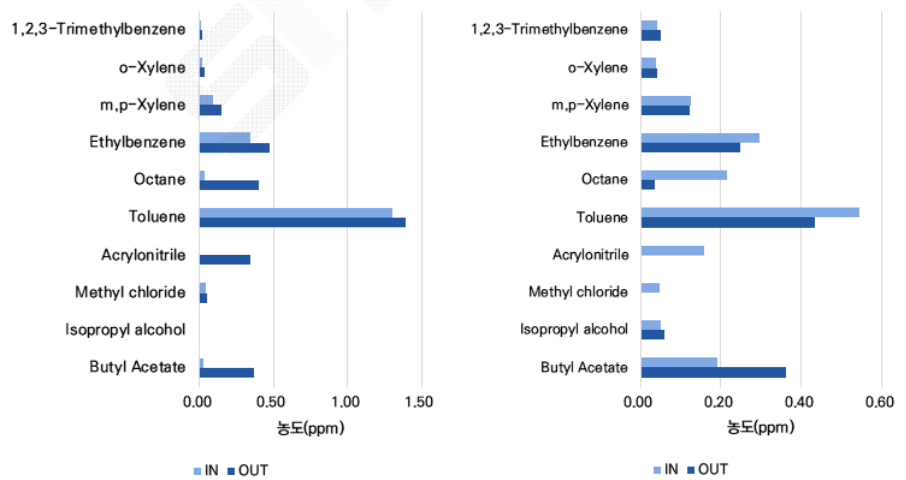
[그림 4-22] AA 사업장(수성도료) 도장시설의 공정별 VOCs 기기분석 결과



(e) 전체 공정

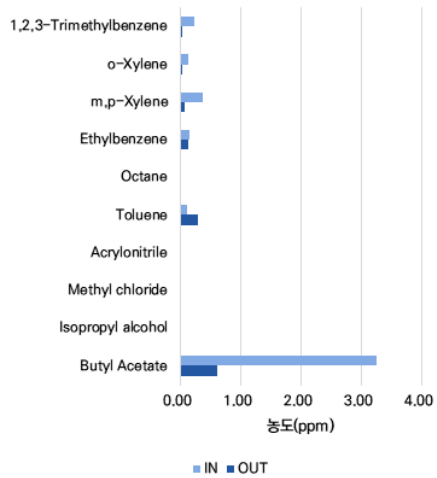
[그림 4-22] AA 사업장(수성도료) 도장시설의 공정별 VOCs 기기분석 결과(계속)

그림 4-23은 AA 사업장 도장시설의 수성도료 작업 시 상도-톱 공정의 유입구 농도를 기준으로 상위 10순위까지의 VOCs 물질을 공정별 유입구와 배출구 농도를 비교한 것이다. 프라이머·서페이서 공정, 상도-베이스 공정에서는 Toluene이 가장 높은 농도를 보였고, 나머지 상도-톱 공정, 열처리 건조 공정에서는 Butyl acetate가 가장 높은 농도를 보였다. 일부 물질의 농도가 배출구에서 더 낮게 나타나 양(+)의 제거율을 보였으나 일부는 열건조 공정의 Butyl Acetate와 같이 배출구에서 더 높은 농도를 나타냈다.

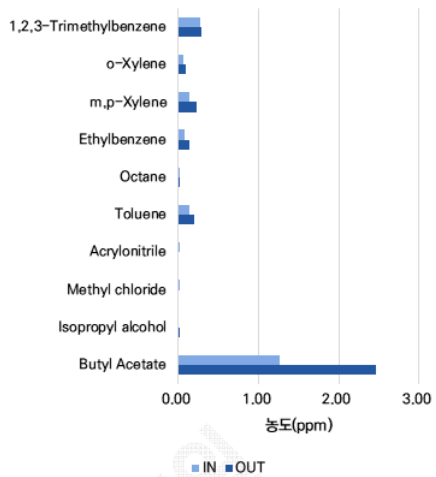


(a) 프라이머·서페이스 (b) 상도-베이스

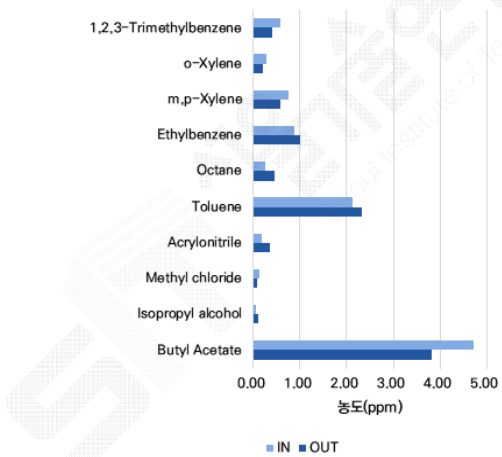
[그림 4-23] AA 사업장(수성도료) 도장시설의 공정별 상위 VOCs 물질 농도



(c) 상도-톱



(d) 열건조



(e) 전체 공정

[그림 4-23] AA 사업장(수성도료) 도장시설의 공정별 상위 VOCs 물질 농도(계속)

[신규 방지시설 설치 대상 사업장]

(BB 사업장)

표 4-26은 BB 사업장 도장시설의 유성도료 작업 시에 공정별로 도장부스의 유입구와 배출구에서 VOC를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 전체 VOCs 물질 중 상도-베이스 공정의 유입구에서 Butyl Acetate가 3.30ppm으로 가장 높은 농도를 보였다. 총 VOCs 물질 합계는 모든 공정에서 배출구보다 유입구에서 더 높은 농도를 보였다.

[표 4-26] BB 사업장(유성도료) 도장시설 VOCs 기기분석 결과 (단위: ppm)

No.	Compouds	상도 베이스		상도 톱		열건조		비고
		IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	
1	Methyl ethyl ketone	332.58	250.70	34.29	38.78	24.31	10.61	
2	Isobutyl alcohol	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
3	Methyl isobutyl ketone	412.85	219.82	35.12	43.86	28.54	17.39	
4	Butyl Acetate	3297.17	1293.88	2449.29	2168.70	1255.75	902.18	
5	Isopropyl alcohol	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	Freon 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	TO-14
7	Methyl chloride	42.63	7.14	117.57	14.38	78.50	52.31	
8	Freon 114	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	Vinyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10	1,3-Butadiene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
11	Methyl bromide	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
12	Ethylchloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
13	Freon 11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
14	Acrylonitrile	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
15	1,1-Dichloroethene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
16	Dichloromethane	12.24	10.60	0.00	8.55	15.00	12.69	
17	3-Chloropropylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
18	Freon 113	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
19	1,1-Dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
20	cis-1,2-Dichloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
21	Chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	10.87	9.74	
22	1,2-Dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
23	Methyl chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
24	Carbontetrachloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
25	1,2-Dichloropropane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
26	Trichloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
27	cis 1,3-Dichloropropene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
28	trans 1,3-Dichloropropene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
29	1,1,2-Trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
30	1,2-Dibromoethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
31	Tetrachloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
32	Chlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
33	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
34	m-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
35	p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
36	o-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

[표 4-26] BB 사업장(유성도료) 도장시설 VOCs 기기분석 결과(계속) (단위: ppm)

No.	Compouds	상도 베이스		상도 톱		열건조		비고
		IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	
37	1,2,4-Trichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
38	Hexachloro 1,3-butadiene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
39	Isobutane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
40	1-Butene	0.00	0.00	60.42	6.57	0.00	0.00	
41	Butane	8.15	7.53	0.00	14.96	9.19	7.33	
42	trans-2-Butene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
43	cis-2-Butene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
44	Isopentane	0.00	0.00	0.00	8.27	0.00	0.00	
45	1-Pentene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
46	Pentane	0.00	0.00	0.00	6.55	0.00	0.00	
47	Isoprene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
48	trans-2-Pentene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
49	cis-2-Pentene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
50	2,2-Dimethylbutane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
51	Cyclopentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
52	2-Methylpentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
53	3-Methylpentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
54	Hexene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
55	Hexane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	오존 전구 물질
56	Methylcyclopentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
57	2,4-Dimethylpentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
58	Benzene	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	
59	Cyclohexane	0.43	0.35	0.00	0.00	0.42	0.35	
60	2-Methylhexane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
61	2,3-Dimethylpentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
62	3-Methylhexane	1.37	1.38	0.00	1.44	1.53	0.00	
63	2,2,4-Trimethylpentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
64	Heptane	1.93	2.01	8.25	5.73	2.47	1.67	
65	Methylcyclohexane	1.39	1.33	0.00	1.33	0.00	0.00	
66	2,3,4-Trimethylpentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
67	Toluene	1154.67	820.87	192.62	200.19	204.60	116.82	
68	2-Methylheptane	0.00	0.00	0.00	0.00	2.48	0.00	
69	3-Methylheptane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
70	Octane	0.00	0.00	4.76	4.23	0.00	0.00	
71	Ethylbenzene	613.95	340.75	597.91	388.93	158.23	94.64	
72	m,p-Xylene	1711.39	1318.86	1788.96	1531.23	740.03	374.38	

[표 4-26] BB 사업장(유성도료) 도장시설 VOCs 기기분석 결과(계속) (단위: ppm)

No.	Compouds	상도 베이스		상도 톱		열건조		비고
		IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	
73	Styrene	7.60	8.54	27.77	18.76	12.60	6.62	
74	o-Xylene	949.89	520.46	986.40	644.96	283.58	156.67	
75	Nonane	9.41	8.69	7.51	8.31	6.94	5.66	
76	Isopropylbenzene	28.38	18.21	38.02	24.77	14.90	9.94	
77	n-Propylbenzene	57.92	37.29	123.19	73.91	40.40	21.13	
78	m-Ethyltoluene	146.20	96.77	316.31	186.63	110.01	60.00	
79	p-Ethyltoluene	78.52	51.85	163.95	98.11	54.96	27.85	
80	1,3,5-Trimethylbenzene	90.94	57.31	190.44	112.47	69.57	31.36	
81	o-Ethyltoluene	67.55	43.11	138.42	83.13	52.37	25.75	
82	1,2,3-Trimethylbenzene	239.81	157.91	514.18	310.37	208.97	96.23	
83	Decane	11.40	11.66	0.00	10.32	11.00	10.90	
84	1,2,4-Trimethylbenzene	138.06	82.14	239.29	150.10	112.54	42.80	
85	m-Diethylbenzene	5.31	4.42	5.88	4.99	5.09	3.82	
86	p-Diethylbenzene	9.08	8.75	12.40	10.58	10.73	8.58	
87	n-Undecane	4.75	5.12	4.66	5.25	5.53	4.68	
88	n-Dodecane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
총 VOCs 합계		**9,435.57**	**5,387.47**	**8,057.63**	**6,186.63**	**3,531.10**	**2,112.10**	

표 4-27에서 표 4-29까지는 BB 사업장 도장시설의 유성도료 작업 시 공정별로 유입구와 배출구의 VOCs 농도를 나타낸 것이다. 검출 성분 수는 24~32종 수준이었으며, 열처리 건조 공정에서만 유입구보다 배출구에서 검출된 성분의 수가 적게 나타났다. 모든 공정에서 Butyl acetate가 가장 높은 농도를 보였고, VOCs 물질은 대부분 배출구 농도보다 유입구 농도가 높게 나타났다.

[표 4-27] BB 사업장 상도-베이스 공정의 상위 VOCs 물질농도 (단위: ppb)

Compounds	IN	OUT
Butyl Acetate	3,297.17	1,293.88
m,p-Xylene	1,711.39	1,318.86
Toluene	1,154.67	820.87
o-Xylene	949.89	520.46
Ethylbenzene	613.95	340.75
Methyl isobutyl ketone	412.85	219.82
Methyl ethyl ketone	332.58	250.70
1,2,3-Trimethylbenzene	239.81	157.91
m-Ethyltoluene	146.20	96.77
1,2,4-Trimethylbenzene	138.06	82.14
1,3,5-Trimethylbenzene	90.94	57.31
p-Ethyltoluene	78.52	51.85
o-Ethyltoluene	67.55	43.11
n-Propylbenzene	57.92	37.29
Methyl chloride	42.63	7.14
Isopropylbenzene	28.38	18.21
Dichloromethane	12.24	10.60
Decane	11.40	11.66
Nonane	9.41	8.69
p-Diethylbenzene	9.08	8.75
Butane	8.15	7.53
Styrene	7.60	8.54
m-Diethylbenzene	5.31	4.42
n-Undecane	4.75	5.12
Heptane	1.93	2.01
Methylcyclohexane	1.39	1.33
3-Methylhexane	1.37	1.38

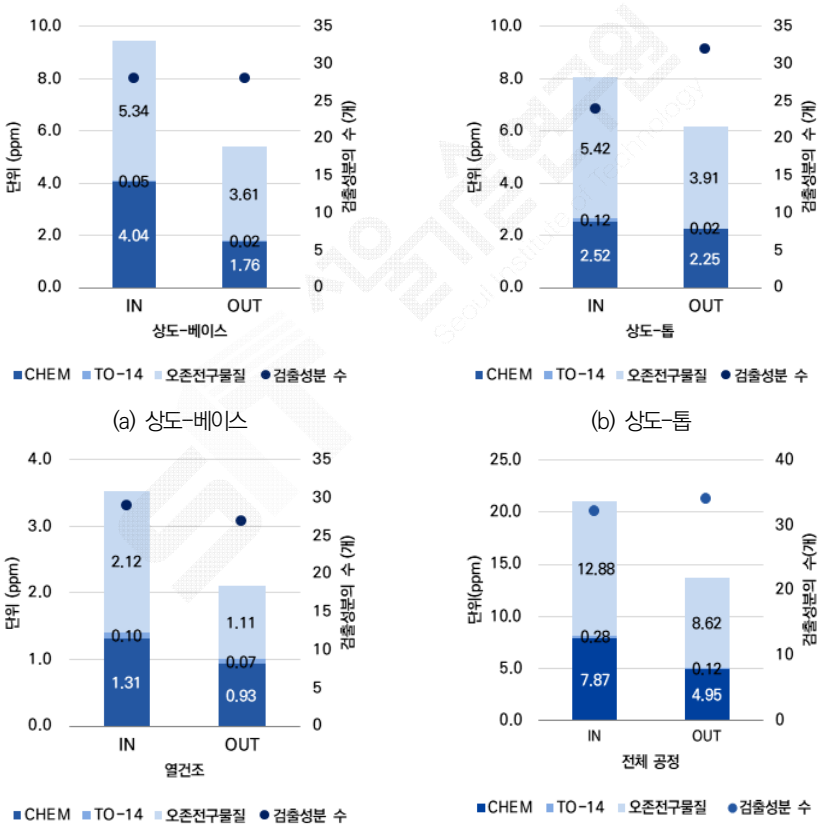
[표 4-28] BB 사업장 상도-톱 공정의 상위 VOCs 물질농도 (단위: ppb)

Compounds	IN	OUT
Butyl Acetate	2,449.29	2,168.70
m,p-Xylene	1,788.96	1,531.23
o-Xylene	986.40	644.96
Ethylbenzene	597.91	388.93
1,2,3-Trimethylbenzene	514.18	310.37
m-Ethyltoluene	316.31	186.63
1,2,4-Trimethylbenzene	239.29	150.10
Toluene	192.62	200.19
1,3,5-Trimethylbenzene	190.44	112.47
p-Ethyltoluene	163.95	98.11
o-Ethyltoluene	138.42	83.13
n-Propylbenzene	123.19	73.91
Methyl chloride	117.57	14.38
1-Butene	60.42	6.57
Isopropylbenzene	38.02	24.77
Methyl isobutyl ketone	35.12	43.86
Methyl ethyl ketone	34.29	38.78
Styrene	27.77	18.76
p-Diethylbenzene	12.40	10.58
Heptane	8.25	5.73
Nonane	7.51	8.31
m-Diethylbenzene	5.88	4.99
Octane	4.76	4.23
n-Undecane	4.66	5.25

[표 4-29] BB 사업장 열건조 공정의 상위 VOCs 물질농도 (단위: ppb)

Compounds	IN	OUT
Butyl Acetate	1,255.75	902.18
m,p-Xylene	740.03	374.38
o-Xylene	283.58	156.67
1,2,3-Trimethylbenzene	208.97	96.23
Toluene	204.60	116.82
Ethylbenzene	158.23	94.64
1,2,4-Trimethylbenzene	112.54	42.80
m-Ethyltoluene	110.01	60.00
Methyl chloride	78.50	52.31
1,3,5-Trimethylbenzene	69.57	31.36
p-Ethyltoluene	54.96	27.85
o-Ethyltoluene	52.37	25.75
n-Propylbenzene	40.40	21.13
Methyl isobutyl ketone	28.54	17.39
Methyl ethyl ketone	24.31	10.61
Dichloromethane	15.00	12.69
Isopropylbenzene	14.90	9.94
Styrene	12.60	6.62
Decane	11.00	10.90
Chloroform	10.87	9.74
p-Diethylbenzene	10.73	8.58
Butane	9.19	7.33
Nonane	6.94	5.66
n-Undecane	5.53	4.68
m-Diethylbenzene	5.09	3.82
2-Methylheptane	2.48	0.00
Heptane	2.47	1.67
3-Methylhexane	1.53	0.00

그림 4-24는 BB사업장 도장시설의 유성도료 작업 시 공정별로 유입구와 배출구의 TO-14용 VOCs 합계농도, 오존전구물질의 합계농도, CHEM의 합계농도, VOCs 물질의 검출 성분 수를 나타낸 것이다. 모든 공정의 유입구와 배출구에서 CHEM의 합계농도보다 오존전구물질의 VOCs 물질 합계농도가 더 높게 나타났다. 오존전구물질 합계농도는 모든 공정에서 배출구보다 유입구에서 높은 농도를 보였고, CHEM의 합계농도도 마찬가지로 모든 공정에서 배출구보다 유입구에서 높은 농도를 보였다. 전체 공정을 대상으로 유입구의 총 검출 성분 수는 24~29종, 배출구의 총 검출 성분 수는 27~32종 수준이었으며, 상도-톱 공정에서는 유입구와 비교하여 배출구에서 검출 성분 수가 늘어난 것으로 나타났다.

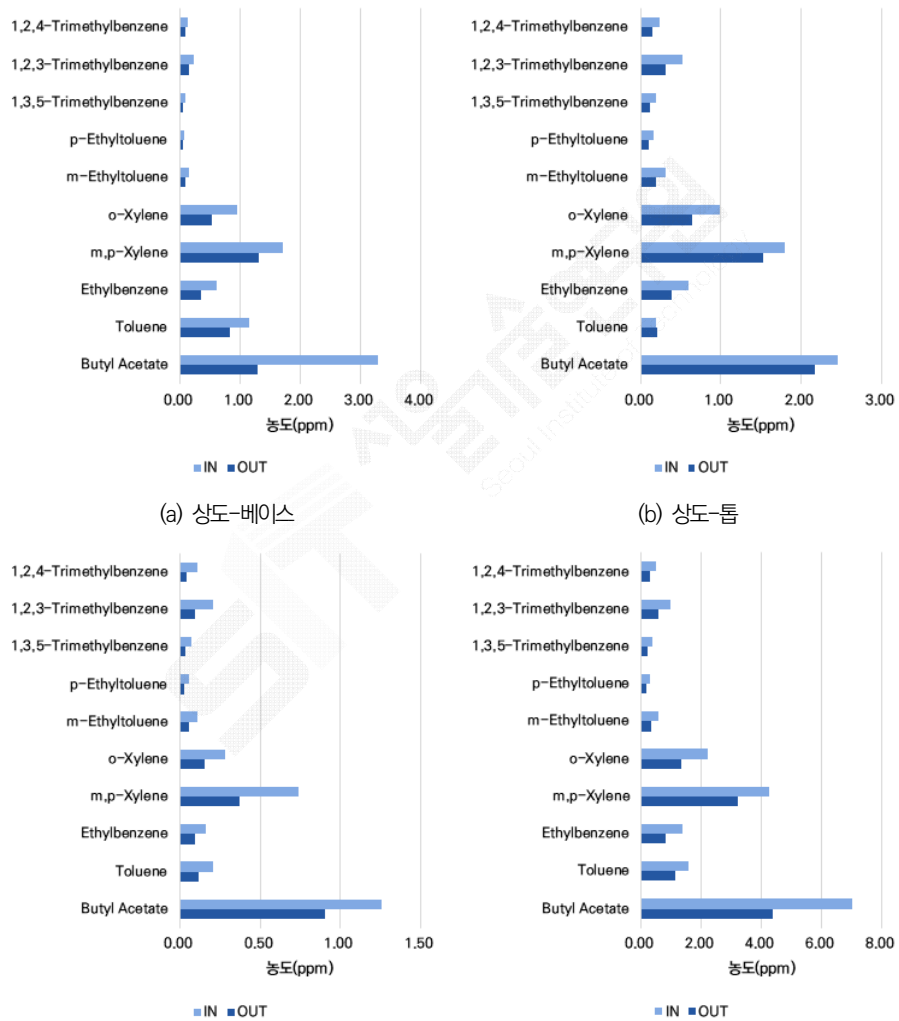


(a) 상도-베이스 (b) 상도-톱

(c) 열건조 (d) 전체 공정

[그림 4-24] BB 사업장(유성도료) 도장시설의 공정별 VOCs 기기분석 결과

그림 4-25는 BB 사업장 도장시설의 유성도료 작업 시 상도-톱 공정의 유입구 농도를 기준으로 상위 10순위까지의 VOCs 물질을 공정별 유입구와 배출구 농도를 비교한 것이다. 모든 공정에서 Butyl acetate가 가장 높은 농도를 보였다. 일부 물질의 농도가 배출구에서 더 낮게 나타나 양(+)의 제거율을 보였으나 일부는 상도-톱 공정의 Toluene과 같이 배출구에서 더 높은 농도를 나타냈다.



[그림 4-25] BB 사업장(유성도료) 도장시설의 공정별 상위 VOCs 물질 농도

(CC 사업장)

표 4-30은 CC 사업장 도장시설의 수성도료 작업 시 공정별로 도장부스의 유입구와 배출구에서 VOC를 측정한 결과이다. 전체 VOCs 물질 중 상도-톱 공정의 유입구에서 Butyl Acetate가 4.45ppm으로 가장 높은 농도를 보였다. 총 VOCs 물질 합계는 상도-톱 공정, 열처리 건조 공정에서는 배출구보다 유입구에서 높은 농도로 나타났지만 나머지 프라이머, 실러, 상도-베이스 세 공정에서는 유입구보다 배출구에서 더 높은 농도를 보여 방지시설의 역할을 제대로 하지 못하는 것으로 판단된다.

[표 4-30] CC 사업장(수성도료) 도장시설 VOCs 기기분석 결과 (단위: ppb)

No.	Compounds	프라이머		실러		상도 베이스		상도 톱		열건조		비고
		IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	
1	Methyl ethyl ketone	0.00	0.00	0.00	0.45	30.62	28.57	29.47	16.39	8.19	5.12	
2	Isobutyl alcohol	1.21	3.22	0.00	2.88	0.00	4.44	277.56	103.11	56.63	26.19	
3	Methyl isobutyl ketone	5.94	35.04	22.09	45.09	29.09	60.80	72.04	79.38	78.90	50.71	
4	Butyl Acetate	766.28	1035.91	1316.61	1016.84	434.49	1083.23	4451.38	3417.34	2997.49	2338.12	
5	Isopropyl alcohol	17.15	0.00	18.42	21.01	27.65	25.68	62.31	40.89	29.56	38.00	
6	Freon 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	TO-14
7	Methyl chloride	42.30	73.41	0.00	0.00	0.00	0.00	580.79	76.56	0.00	0.00	
8	Freon 114	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	Vinyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10	1,3-Butadiene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
11	Methyl bromide	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
12	Ethylchloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
13	Freon 11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
14	Acrylonitrile	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
15	1,1-Dichloroethene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
16	Dichloromethane	21.99	14.53	14.87	14.18	12.59	11.80	22.89	11.37	0.00	13.87	
17	3-Chloropropylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
18	Freon 113	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
19	1,1-Dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
20	cis-1,2-Dichloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
21	Chloroform	10.14	11.73	9.95	10.85	9.81	0.00	11.49	9.87	11.92	10.55	
22	1,2-Dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
23	Methyl chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
24	Carbontetrachloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
25	1,2-Dichloropropane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
26	Trichloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
27	cis 1,3-Dichloropropene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
28	trans 1,3-Dichloropropene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
29	1,1,2-Trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
30	1,2-Dibromoethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
31	Tetrachloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

[표 4-30] CC 사업장(수성도료) 도장시설 VOCs 기기분석 결과(계속) (단위: ppb)

No.	Compounds	프라이머		실러		상도 베이스		상도 톱		열건조		비고
		IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	
32	Chlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
33	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0.00	35.32	0.00	0.00	35.31	35.42	36.70	35.84	39.17	35.35	
34	m-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
35	p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
36	o-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
37	1,2,4-Trichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
38	Hexachloro 1,3-butadiene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
39	Isobutane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
40	1-Butene	9.74	3.00	0.00	21.44	0.46	1.83	648.31	260.26	53.30	12.15	
41	Butane	12.27	12.18	0.00	12.42	10.34	10.39	0.00	10.00	9.81	0.00	
42	trans-2-Butene	0.00	0.00	0.00	0.00	8.37	8.12	0.00	0.00	0.00	0.00	
43	cis-2-Butene	0.00	0.00	0.00	0.00	6.06	7.95	0.00	0.00	0.00	0.00	
44	Isopentane	0.99	1.60	2.32	3.85	1.25	0.32	0.00	0.00	0.26	0.00	
45	1-Pentene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
46	Pentane	0.90	1.00	2.01	1.07	0.82	0.78	8.74	0.00	2.57	0.00	
47	Isoprene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
48	trans-2-Pentene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
49	cis-2-Pentene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
50	2,2-Dimethylbutane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
51	Cyclopentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
52	2-Methylpentane	2.30	4.22	3.47	3.15	2.82	3.85	1.18	0.00	1.56	0.00	
53	3-Methylpentane	1.27	1.62	1.39	1.26	11.16	12.75	3.15	2.07	3.71	1.83	
54	Hexene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
55	Hexane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
56	Methylcyclopentane	2.27	2.84	2.31	1.14	3.28	3.52	1.94	0.00	2.44	0.00	오존 전구 물질
57	2,4-Dimethylpentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
58	Benzene	0.00	0.55	0.00	0.00	0.23	0.65	16.81	8.87	15.61	12.73	
59	Cyclohexane	1.93	2.11	0.00	1.95	2.64	1.17	3.62	1.36	2.99	1.88	
60	2-Methylhexane	2.77	2.97	2.44	2.44	2.76	2.83	2.82	3.79	3.03	1.63	
61	2,3-Dimethylpentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07	0.00	
62	3-Methylhexane	1.57	3.20	2.55	2.46	2.78	3.10	3.19	3.01	3.89	2.30	
63	2,2,4-Trimethylpentane	0.00	0.00	1.09	0.00	0.84	0.93	4.30	1.67	1.08	0.81	
64	Heptane	6.81	9.37	6.34	5.81	6.27	7.59	34.84	12.57	9.07	5.96	
65	Methylcyclohexane	7.77	10.66	6.52	6.28	7.84	8.23	8.63	5.59	9.03	5.87	
66	2,3,4-Trimethylpentane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
67	Toluene	1224.96	1711.19	830.49	975.18	596.27	811.95	1322.08	1095.26	1428.39	1150.71	
68	2-Methylheptane	4.06	0.00	3.89	3.84	4.25	4.52	4.97	4.40	0.00	4.25	
69	3-Methylheptane	2.94	0.00	2.84	2.79	3.02	3.17	4.82	3.48	0.00	3.33	
70	Octane	8.13	13.32	8.75	8.06	6.70	7.07	34.14	20.72	14.65	10.13	
71	Ethylbenzene	87.11	145.15	277.57	339.75	98.02	160.06	1189.04	800.67	589.16	349.60	
72	m,p-Xylene	111.40	288.49	198.32	247.83	105.03	193.02	1352.00	712.29	587.32	351.22	
73	Styrene	28.03	30.24	32.60	27.65	28.62	33.56	273.30	133.61	155.61	77.03	
74	o-Xylene	57.37	113.58	80.36	97.17	55.80	87.16	423.14	240.04	206.26	133.15	

[표 4-30] CC 사업장(수성도료) 도장시설 VOCs 기기분석 결과(계속) (단위: ppb)

No.	Compounds	프라이머		실러		상도 베이스		상도 톱		열건조		비고
		IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	
75	Nonane	5.49	6.86	5.73	6.01	5.40	6.34	12.59	9.90	9.83	6.60	
76	Isopropylbenzene	9.49	9.91	12.48	10.60	8.15	10.40	106.90	47.20	36.61	20.80	
77	n-Propylbenzene	16.85	18.56	22.68	12.68	14.04	20.06	195.87	100.96	94.57	44.68	
78	m-Ethyltoluene	52.63	56.66	62.67	59.57	47.47	59.79	443.61	231.93	242.56	113.27	
79	p-Ethyltoluene	28.72	32.81	37.10	35.19	23.06	33.65	367.16	193.02	211.07	85.95	
80	1,3,5-Trimethylbenzene	21.78	27.10	30.17	29.40	17.55	29.61	292.60	160.41	175.88	73.37	
81	o-Ethyltoluene	18.89	20.89	23.97	22.17	15.81	22.26	187.97	103.00	111.62	49.17	
82	1,2,3-Trimethylbenzene	88.16	102.01	106.67	106.16	72.17	109.46	905.07	616.18	830.92	288.00	
83	Decane	11.18	10.97	10.84	10.45	10.80	11.24	0.00	10.22	0.00	10.55	
84	1,2,4-Trimethylbenzene	57.13	63.39	64.90	62.96	48.42	65.53	442.14	290.75	453.49	155.53	
85	m-Diethylbenzene	4.38	4.60	4.81	4.84	10.50	16.03	16.23	12.12	17.80	8.13	
86	p-Diethylbenzene	8.10	8.94	10.05	8.68	13.71	9.21	14.09	16.16	33.42	11.57	
87	n-Undecane	4.65	0.00	4.09	0.00	4.76	4.88	0.00	0.00	0.00	0.00	
88	n-Dodecane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
총 VOCs 합계		**2,767.1**	**3,929.1**	**3,243.3**	**3,245.6**	**1,837.0**	**3,022.9**	**13,869.9**	**8,902.3**	**8,540.4**	**5,510.2**	

표 4-31에서 표 4-35까지는 CC 사업장 도장시설의 수성도료 작업 시 공정별로 유입구와 배출구의 VOCs 농도를 나타낸 것이다. 검출 성분 수는 36~44종 수준이었으며, 실러 공정에서만 유입구보다 배출구에서 검출된 성분의 수가 많게 나타났다. 실러, 상도-베이스 배출구, 상도-톱 공정, 열처리 건조 공정에서는 Butyl acetate가 가장 높은 농도를 보였으며 프라이머 공정, 상도-베이스 유입구에서는 Toluene이 가장 높은 농도를 보였다.

[표 4-31] CC 사업장 프라이머 공정의 상위 VOCs 물질 농도 (단위: ppb)

Compounds	IN	OUT
Toluene	1,224.96	1,711.19
Butyl Acetate	766.28	1,035.91
m,p-Xylene	111.40	288.49
1,2,3-Trimethylbenzene	88.16	102.01
Ethylbenzene	87.11	145.15
o-Xylene	57.37	113.58
1,2,4-Trimethylbenzene	57.13	63.39
m-Ethyltoluene	52.63	56.66
Methyl chloride	42.30	73.41
p-Ethyltoluene	28.72	32.81
Styrene	28.03	30.24
Dichloromethane	21.99	14.53
1,3,5-Trimethylbenzene	21.78	27.10
o-Ethyltoluene	18.89	20.89
Isopropyl alcohol	17.15	0.00
n-Propylbenzene	16.85	18.56
Butane	12.27	12.18
Decane	11.18	10.97
Chloroform	10.14	11.73
1-Butene	9.74	3.00
Isopropylbenzene	9.49	9.91
Octane	8.13	13.32
p-Diethylbenzene	8.10	8.94
Methylcyclohexane	7.77	10.66
Heptane	6.81	9.37
Methyl isobutyl ketone	5.94	35.04
Nonane	5.49	6.86
n-Undecane	4.65	0.00
m-Diethylbenzene	4.38	4.60
2-Methylheptane	4.06	0.00
3-Methylheptane	2.94	0.00
2-Methylhexane	2.77	2.97
2-Methylpentane	2.30	4.22
Methylcyclopentane	2.27	2.84
Cyclohexane	1.93	2.11
3-Methylhexane	1.57	3.20
3-Methylpentane	1.27	1.62
Isobutyl alcohol	1.21	3.22

[표 4-32] CC 사업장 실러 공정의 상위 VOCs 물질 농도 (단위: ppb)

Compounds	IN	OUT
Butyl Acetate	1,316.61	1,016.84
Toluene	830.49	975.18
Ethylbenzene	277.57	339.75
m,p-Xylene	198.32	247.83
1,2,3-Trimethylbenzene	106.67	106.16
o-Xylene	80.36	97.17
1,2,4-Trimethylbenzene	64.90	62.96
m-Ethyltoluene	62.67	59.57
p-Ethyltoluene	37.10	35.19
Styrene	32.60	27.65
1,3,5-Trimethylbenzene	30.17	29.40
o-Ethyltoluene	23.97	22.17
n-Propylbenzene	22.68	12.68
Methyl isobutyl ketone	22.09	45.09
Isopropyl alcohol	18.42	21.01
Dichloromethane	14.87	14.18
Isopropylbenzene	12.48	10.60
Decane	10.84	10.45
p-Diethylbenzene	10.05	8.68
Chloroform	9.95	10.85
Octane	8.75	8.06
Methylcyclohexane	6.52	6.28
Heptane	6.34	5.81
Nonane	5.73	6.01
m-Diethylbenzene	4.81	4.84
n-Undecane	4.09	0.00
2-Methylheptane	3.89	3.84
2-Methylpentane	3.47	3.15
3-Methylheptane	2.84	2.79
3-Methylhexane	2.55	2.46
2-Methylhexane	2.44	2.44
Isopentane	2.32	3.85
Methylcyclopentane	2.31	1.14
Pentane	2.01	1.07
3-Methylpentane	1.39	1.26
2,2,4-Trimethylpentane	1.09	0.00

[표 4-33] CC 사업장 상도-베이스 공정의 상위 VOCs 물질 농도 (단위: ppb)

Compounds	IN	OUT
Toluene	596.27	811.95
Butyl Acetate	434.49	1,083.23
m,p-Xylene	105.03	193.02
Ethylbenzene	98.02	160.06
1,2,3-Trimethylbenzene	72.17	109.46
o-Xylene	55.80	87.16
1,2,4-Trimethylbenzene	48.42	65.53
m-Ethyltoluene	47.47	59.79
1,1,2,2-Tetrachloroethane	35.31	35.42
Methyl ethyl ketone	30.62	28.57
Methyl isobutyl ketone	29.09	60.80
Styrene	28.62	33.56
Isopropyl alcohol	27.65	25.68
p-Ethyltoluene	23.06	33.65
1,3,5-Trimethylbenzene	17.55	29.61
o-Ethyltoluene	15.81	22.26
n-Propylbenzene	14.04	20.06
p-Diethylbenzene	13.71	9.21
Dichloromethane	12.59	11.80
3-Methylpentane	11.16	12.75
Decane	10.80	11.24
m-Diethylbenzene	10.50	16.03
Butane	10.34	10.39
Chloroform	9.81	0.00
trans-2-Butene	8.37	8.12
Isopropylbenzene	8.15	10.40
Methylcyclohexane	7.84	8.23
Octane	6.70	7.07
Heptane	6.27	7.59
cis-2-Butene	6.06	7.95
Nonane	5.40	6.34
n-Undecane	4.76	4.88
2-Methylheptane	4.25	4.52
Methylcyclopentane	3.28	3.52
3-Methylheptane	3.02	3.17
2-Methylpentane	2.82	3.85
3-Methylhexane	2.78	3.10
2-Methylhexane	2.76	2.83
Cyclohexane	2.64	1.17
Isopentane	1.25	0.32

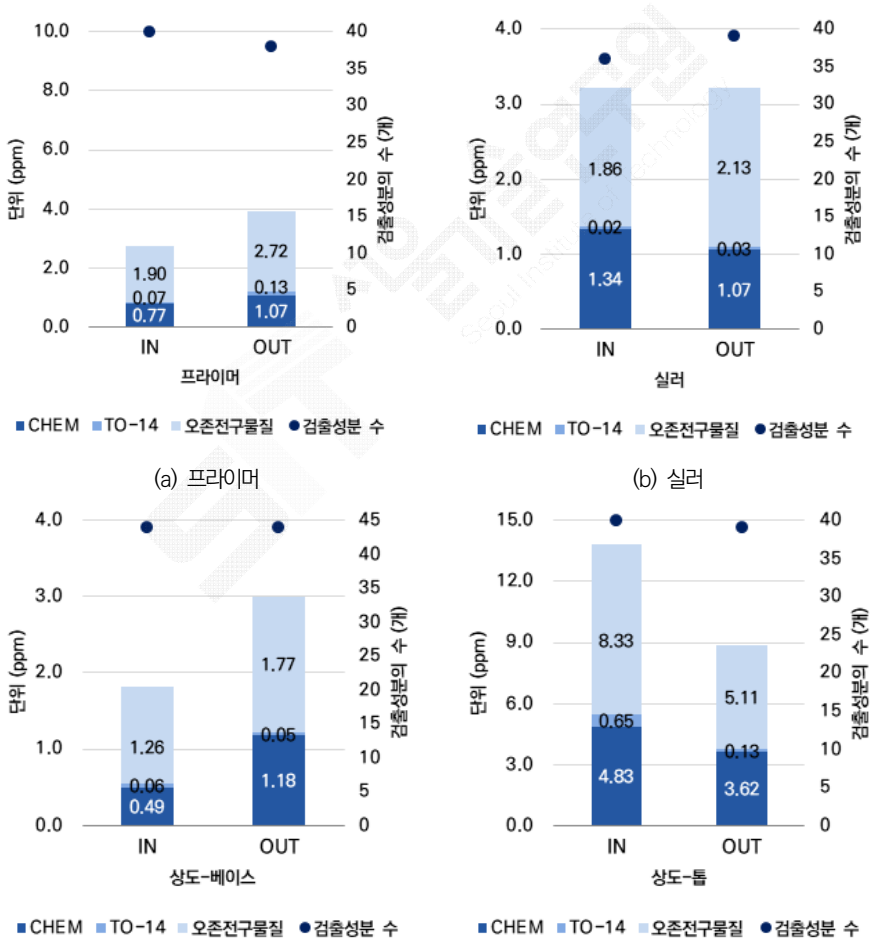
[표 4-34] CC 사업장 상도-톱 공정의 상위 VOCs 물질 농도 (단위: ppb)

Compounds	IN	OUT
Butyl Acetate	4,451.38	3,417.34
m,p-Xylene	1,352.00	712.29
Toluene	1,322.08	1,095.26
Ethylbenzene	1,189.04	800.67
1,2,3-Trimethylbenzene	905.07	616.18
1-Butene	648.31	260.26
Methyl chloride	580.79	76.56
m-Ethyltoluene	443.61	231.93
1,2,4-Trimethylbenzene	442.14	290.75
o-Xylene	423.14	240.04
p-Ethyltoluene	367.16	193.02
1,3,5-Trimethylbenzene	292.60	160.41
Isobutyl alcohol	277.56	103.11
Styrene	273.30	133.61
n-Propylbenzene	195.87	100.96
o-Ethyltoluene	187.97	103.00
Isopropylbenzene	106.90	47.20
Methyl isobutyl ketone	72.04	79.38
Isopropyl alcohol	62.31	40.89
1,1,2,2-Tetrachloroethane	36.70	35.84
Heptane	34.84	12.57
Octane	34.14	20.72
Methyl ethyl ketone	29.47	16.39
Dichloromethane	22.89	11.37
Benzene	16.81	8.87
m-Diethylbenzene	16.23	12.12
p-Diethylbenzene	14.09	16.16
Nonane	12.59	9.90
Chloroform	11.49	9.87
Pentane	8.74	0.00
Methylcyclohexane	8.63	5.59
2-Methylheptane	4.97	4.40
3-Methylheptane	4.82	3.48
2,2,4-Trimethylpentane	4.30	1.67
Cyclohexane	3.62	1.36
3-Methylhexane	3.19	3.01
3-Methylpentane	3.15	2.07
2-Methylhexane	2.82	3.79
Methylcyclopentane	1.94	0.00
2-Methylpentane	1.18	0.00

[표 4-35] CC 사업장 열 건조 공정의 상위 VOCs 물질 농도 (단위: ppb)

Compounds	IN	OUT
Butyl Acetate	2,997.49	2,338.12
Toluene	1,428.39	1,150.71
1,2,3-Trimethylbenzene	830.92	288.00
Ethylbenzene	589.16	349.60
m,p-Xylene	587.32	351.22
1,2,4-Trimethylbenzene	453.49	155.53
m-Ethyltoluene	242.56	113.27
p-Ethyltoluene	211.07	85.95
o-Xylene	206.26	133.15
1,3,5-Trimethylbenzene	175.88	73.37
Styrene	155.61	77.03
o-Ethyltoluene	111.62	49.17
n-Propylbenzene	94.57	44.68
Methyl isobutyl ketone	78.90	50.71
Isobutyl alcohol	56.63	26.19
1-Butene	53.30	12.15
1,1,2,2-Tetrachloroethane	39.17	35.35
Isopropylbenzene	36.61	20.80
p-Diethylbenzene	33.42	11.57
Isopropyl alcohol	29.56	38.00
m-Diethylbenzene	17.80	8.13
Benzene	15.61	12.73
Octane	14.65	10.13
Chloroform	11.92	10.55
Nonane	9.83	6.60
Butane	9.81	0.00
Heptane	9.07	5.96
Methylcyclohexane	9.03	5.87
Methyl ethyl ketone	8.19	5.12
3-Methylhexane	3.89	2.30
3-Methylpentane	3.71	1.83
2-Methylhexane	3.03	1.63
Cyclohexane	2.99	1.88
Pentane	2.57	0.00
Methylcyclopentane	2.44	0.00
2-Methylpentane	1.56	0.00
2,2,4-Trimethylpentane	1.08	0.81
2,3-Dimethylpentane	1.07	0.00

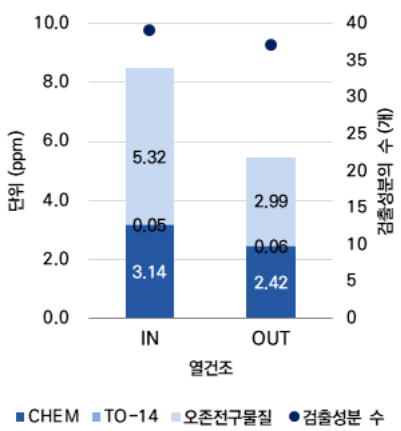
그림 4-26은 CC 사업장 도장시설의 수성도료 작업 시 공정별로 유입구와 배출구의 TO-14용 VOCs 합계농도, 오존전구물질의 합계농도, CHEM의 합계농도, VOCs 물질의 검출 성분 수를 나타낸 것이다. 모든 공정의 유입구와 배출구에서 CHEM의 합계농도보다 오존전구물질의 VOCs 물질 합계농도가 더 높게 나타났다. 오존전구물질 합계농도는 프라이머, 실러, 상도-베이스 공정에서 유입구보다 배출구에서 높은 농도를 보였고, CHEM의 합계농도는 프라이머, 상도-베이스 공정에서 유입구보다 배출구에서 높은 농도를 보였다. 유입구의 총 검출 성분 수는 36~44종, 배출구의 총 검출 성분 수는 37~44종, 총 검출 성분 수는 46~47종 수준이었으며, 실러 공정에서는 유입구와 비교하여 배출구에서 더 많은 성분이 검출되었다.



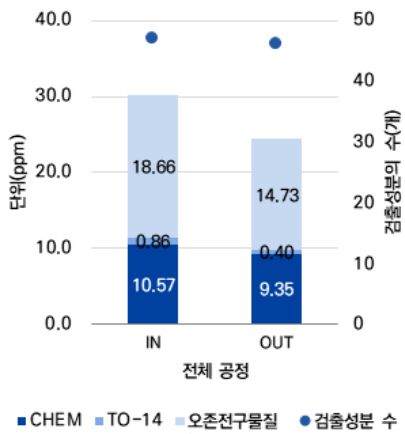
(a) 프라이머 (b) 실러

(c) 상도-베이스 (d) 상도-톱

[그림 4-26] CC 업체(수성도료) 도장시설의 공정별 VOCs 기기분석 결과



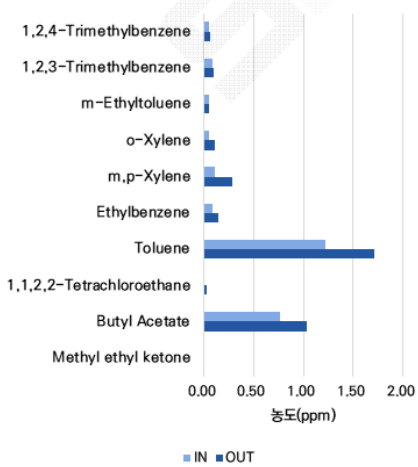
(e) 열건조



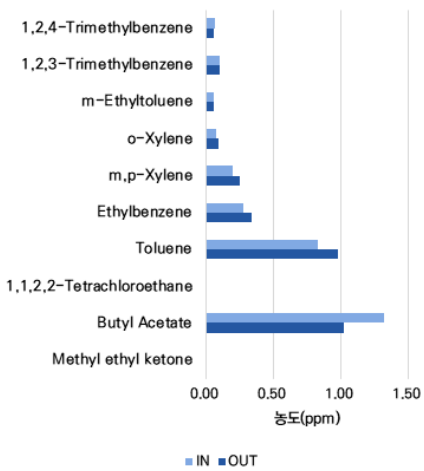
(f) 전체 공정

[그림 4-26] CC 업체(수성도료) 도장시설의 공정별 VOCs 기기분석 결과(계속)

그림 4-27은 CC 사업장 도장시설의 수성도료 작업 시 상도-톱공정의 유입구 농도를 기준으로 상위 10순위까지의 VOCs 물질을 공정별 유입구와 배출구 농도를 비교한 것이다. 주요 물질인 Butyl acetate의 경우 프라이머, 상도-베이스 공정에서 유입구보다 배출구의 농도가 더 높았고, Toluene의 경우 프라이머, 실러, 상도-베이스 공정에서 유입구보다 배출구의 농도가 더 높은 것으로 나타났다. 일부 물질의 농도가 배출구에서 더 낮게 나타나 양(+)의 제거율을 보였으나 일부는 프라이머 공정의 Toluene, Butyl Acetate와 같이 배출구에서 더 높게 나타났다.

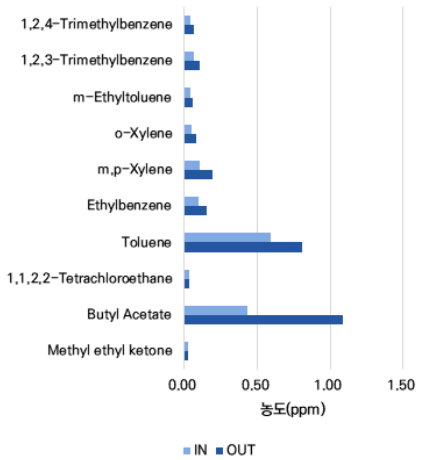


(a) 프라이머

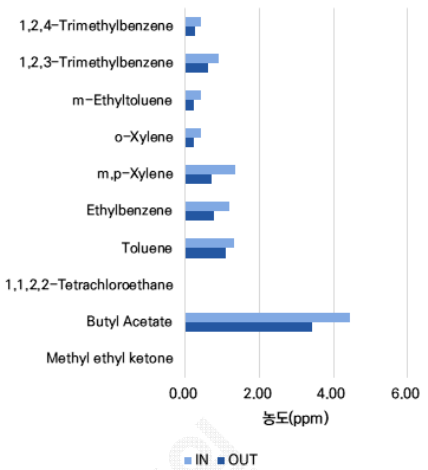


(b) 실러

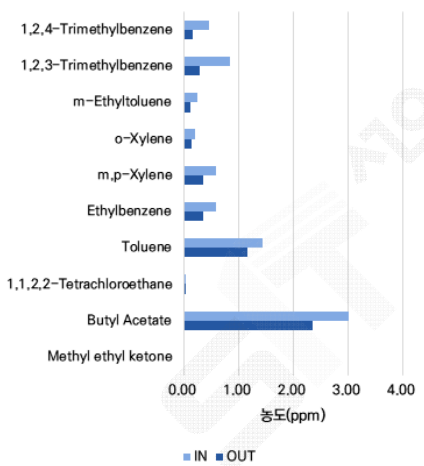
[그림 4-27] CC 업체(수성도료) 도장시설의 공정별 상위 VOCs 물질 농도



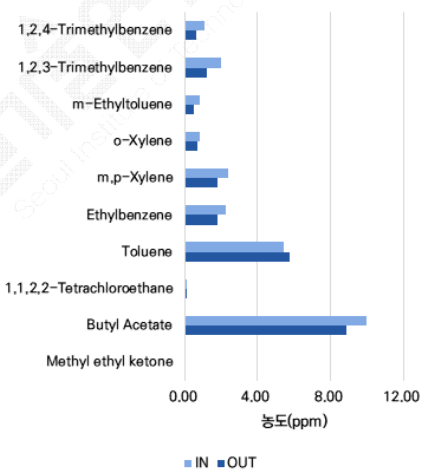
(c) 상도-베이스



(d) 상도-톱



(e) 열건조



(f) 전체 공정

[그림 4-27] CC 업체(수성도료) 도장시설의 공정별 상위 VOCs 물질 농도(계속)

3-3. 기존 및 신규 방지시설 제거 효율

표 4-36은 본 연구에서 측정한 기존 및 신규 방지시설 설치 업체의 방지시설 제거효율과 주요 설계인자를 정리한 것이다. 기존 방지시설 설치 업체와 신규 방지시설 설치 업체는 전반적으로 설계 풍량이 실측 풍량의 11~60%로 크게 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 도색 공정과 도색 공정에 건조 공정까지 포함한 경우의 방지시설 제거효율을 각각 제시하였다. 그 결과 도색 공정 기간의 방지시설 제거효율 대비 건조 공정을 포함한 경우의 제거효율이 크게 차이가 없었다. 건조 공정의 경우 현장에서 운영하는 건조 방식 등에 큰 차이가 있기 때문에 실제 현장에 설치된 방지시설 제거효율 검토를 위해서는 도색 공정 기간만을 측정 대상으로 해도 될 것으로 판단된다.

기존 방지시설 설치 업체 AA 사업장은 방지시설 제거효율이 27.1% 로 매우 낮은 결과가 나왔다. 이는 업체에서 유성과 수성 도장을 함께 하고 있으며 동일한 도장부스와 방지시설을 사용하기 때문에 본 연구의 측정 이전 작업 과정에서 방지시설의 흡착제에 유입되었던 물질이 본 연구에서 측정할 때 함께 탈착되어 나왔기 때문인 것으로 추정된다.

신규 방지시설 설치 업체에서는 일반적으로 제거효율이 BB 사업장 41.0%, CC 사업장의 경우 40.5%로 나타났다. CC 사업장의 경우 설계 인자에 비해 실측 풍량이 현저하게 낮아서 방지시설 외에 도장부스 외부로 비산 배출되거나 도장부스 내부에 잔여 물질이 상당히 많을 것으로 예상된다. 이러한 결과로 보면 신규 방시시설 설치 및 운영 시 설계 풍량과 실측 풍량의 검토가 필요하다.

[표 4-36] 방지시설 설치 업체의 주요 설계인자와 본 연구 측정 결과

업체	설계 인자			연구진 측정 결과					
				풍량 (m^3/min)	작업 내용		VOCs 발생량 (g-CTHC/kg-혼합도료)	방지시설 제거효율 (%, THC 기준)	
	풍량 (m^3/min)	활성탄 두께 (mm)	활성탄 충전량 (kg)		도료 사용량 (g)	도색+건조 시간 (min)		도색 공정	전공정 (도색+건조)
AA 사업장	380	50	120	225	979	61	63	29.0%	27.1%
BB 사업장	380	90	340	212	523	56	304	42.2%	41.0%
CC 사업장	400	100	510	45	764	60	30	42.6%	40.5%

서울과학기술대학교
Seoul National University of Science and Technology

05 소규모 도장시설 방지기술 분석

1. 소규모 도장시설 적용 방지시설 현황
2. 소규모 도장시설 방지시설 분석 및 현장 실태
3. 소규모 도장시설 배출 VOCs 처리 문제점 분석

05. 소규모 도장시설 방지기술 분석

1. 소규모 도장시설 적용 방지시설 현황

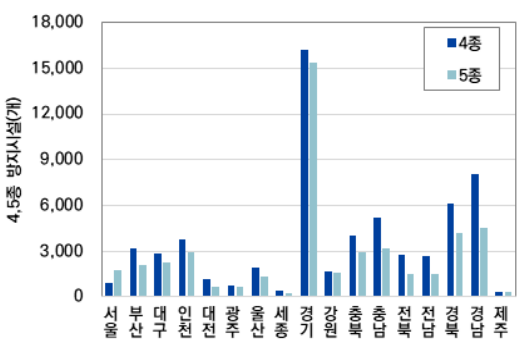
1-1. 국내 도장시설 적용 방지기술 현황

2017년 기준 국립환경과학원의 「소규모 대기배출사업장(4, 5종) 배출원 조사」[18] 보고서 내용을 바탕으로 표 5-1과 같이 4, 5종 대기배출원 조사 대상 사업장의 방지시설을 조사한 결과 4종이 총 6만 1,939곳, 5종 사업장이 4만 7,115곳으로 총 10만 9,000여 곳이었다.

[표 5-1] 국내 4, 5종 사업장 및 방지시설 현황

종별	사업장(개소)	방지시설(개)
합계	47,219	109,054
4	17,186	61,939
5	30,033	47,115

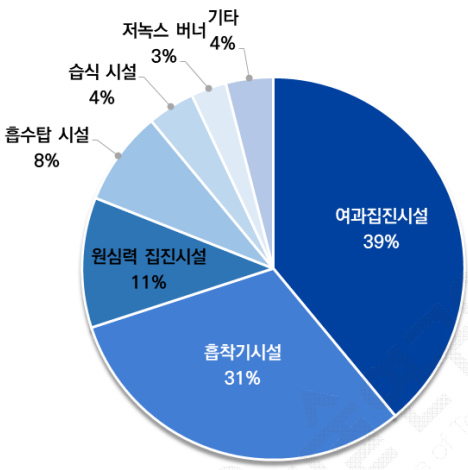
4, 5종 사업장 방지시설 적용 현황은 경기 지역에 총 3만 1,616곳으로 약 29%를 차지하여 가장 높은 비율을 나타냈고, 경상남도와 경상북도가 각각 12%, 9%를 차지했다.



[그림 5-1] 국내 4, 5종 사업장 방지시설 적용 현황

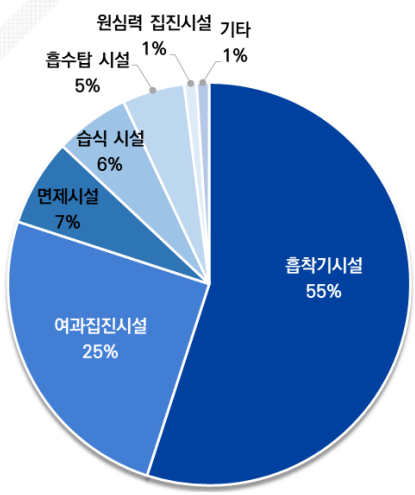
18) 국립환경과학원, 소규모 대기배출사업장(4, 5종) 배출원 조사, 2017

국내 방지시설 현황을 조사한 결과 4, 5종 대기배출원 조사 대상 사업장의 주요 방지시설은 여과집진시설(39%), 흡착기시설(31%), 원심력집진시설(11%), 흡수탑시설(8%), 습식(4%), 저녹스버너(3%) 등인 것으로 나타났다.



[그림 5-2] 국내 4, 5종 사업장 방지시설 유형 분포

그중 도장시설의 주요 방지시설은 흡착기시설(55%), 여과집진시설(25%), 면제시설(7%), 습식(6%), 흡수탑시설(5%), 원심력집진시설(1%), 기타시설(1%) 등으로 분석되었다.

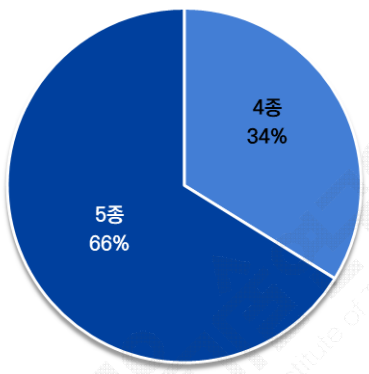


[그림 5-3] 국내 도장시설 방지시설 유형 분포

1-2. 서울시 적용 4, 5종 사업장 방지기술 현황

서울의 경우 4, 5종 사업장 총 1,942곳 중 4종 사업장에 방지시설이 894개, 5종 사업장에는 1,750개가 설치되어 있다.

서울을 제외한 다른 지역은 4종 사업장에 방지시설이 집중되어 있었지만, 서울의 경우에는 5종 사업장에 더 많이 설치되어 있는 것으로 나타났다.

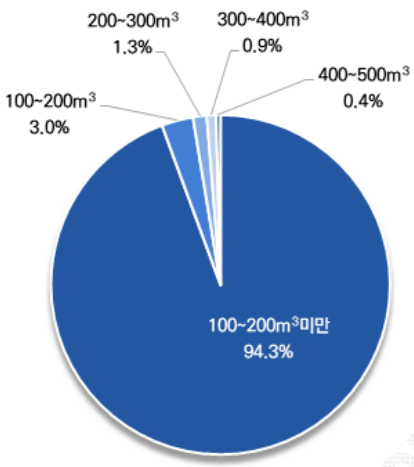


[그림 5-4] 서울시 4, 5종 사업장 방지시설 현황

1-3. 서울시 자동차 수리 도장시설 현황

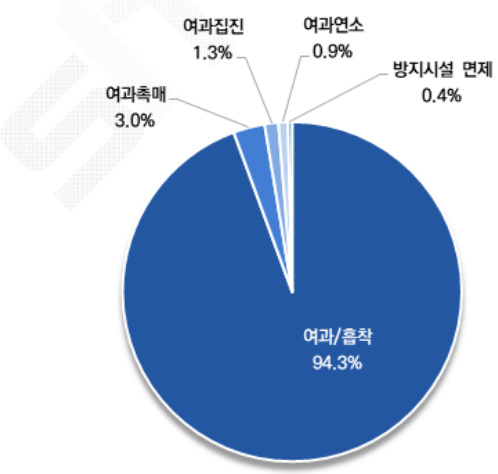
그림 5-5는 배출시설 규모별 분포 현황을 정리한 그래프이다. 자동차 수리업 규모는 배출시설 유량을 기준으로 100m^3 미만, 100~200m^3 미만, 200~300m^3 미만, 300~400m^3 미만, 400~500m^3 미만, 500m^3 이상 등 6개 항목으로 구분하였다. 전체 배출시설 중 유량 100m^3 미만의 설비가 94%로 서울시에 있는 대부분의 자동차 수리 도장업체가 도장부스 1개를 포함하는 소규모업체 형태로 운영하고 있는 것으로 보인다. 기존 연구보고서 「소규모 자동차 수리업체의 도장으로 인한 대기오염물질 관리 및 저감방안」[19]에 따르면 소규모 업체의 경우 자동차 부분도장 공정이나 자동차 광택 작업을 진행한다.

19) 대기환경학회, 소규모 자동차 수리업체의 도장으로 인한 대기배출물질 관리 및 저감 방안 연구, 2013



[그림 5-5] 서울시 자동차 수리 도장시설 규모별 분류

서울시 전 지역의 자동차 수리 정비업 중 대기오염 배출시설로 분류된 529개 업체의 방지시설 현황을 조사한 결과를 그림 5-6에 제시하였다. 여과·흡착 관련 시설 499개소(94.3%), 여과·촉매 관련 시설 16개소(3.0%)로 자동차 수리 도장업 방지시설의 VOCs 제거 기술은 거의 대부분 활성탄 흡착에 의존하고 있는 것으로 조사되었다.



[그림 5-6] 서울시 자동차 수리 도장시설 적용 방지시설 유형 분포

1-4. 대기오염 방지기술 현황

대기환경보전법 제2조 제12호에 따르면 '대기오염방지시설'이란 대기오염물질 배출시설에서 나오는 대기오염물질을 연소조절 방법 등으로 없애거나 줄이는 시설로서 환경부령으로 정하는 것을 말한다.

대기환경보전법 시행규칙 제6조 및 별표 4에 따라 대기오염방지시설은 표 5-2와 같이 정리할 수 있다.

환경부에서 2018년 배포한 「소규모사업장 방지시설 설치 지원사업 업무 매뉴얼」[20]에서 입자상 물질, 가스상 물질 저감기술의 원리 및 장단점을 확인할 수 있으며, 그 내용을 본 절에 정리하였다.

[표 5-2] 대기오염방지시설 종류

연번	대기오염방지시설 종류
1	중력집진시설
2	관성력집진시설
3	원심력집진시설
4	세정집진시설
5	여과집진시설
6	전기집진시설
7	음파집진시설
8	흡수에 의한 시설
9	흡착에 의한 시설
10	직접연소에 의한 시설
11	촉매반응을 이용하는 시설
12	응축에 의한 시설
13	산화·환원에 의한 시설
14	미생물을 이용한 처리시설
15	연소조절에 의한 시설
16	위 제1호부터 제15호까지의 시설과 같은 방지효율 또는 그 이상의 방지효율을 지닌 시설로서 환경부장관이 인정하는 시설

주: 방지시설에는 대기오염물질을 포집하기 위한 장치(후드), 오염물질이 통과하는 관로(덕트), 오염물질을 이송하기 위한 송풍기 및 각종 펌프 등 방지시설에 딸린 기계·기구류(예비용 포함) 등을 포함한다.

20) 환경부, 소규모사업장 방지시설 설치 지원사업 업무 매뉴얼, 2018

[대기오염물질 저감기술 설치 현황(4, 5종 사업장)]

전국 4, 5종 사업장에 설치된 대기오염물질 방지시설은 여과집진시설 39.6%, 흡착시설 30.2%, 원심력집진시설 12.2%, 흡수시설 9.2%, 세정집진시설 4.1% 순이다.

[표 5-3] 대기오염물질 저감기술 설치 현황(4, 5종 사업장)

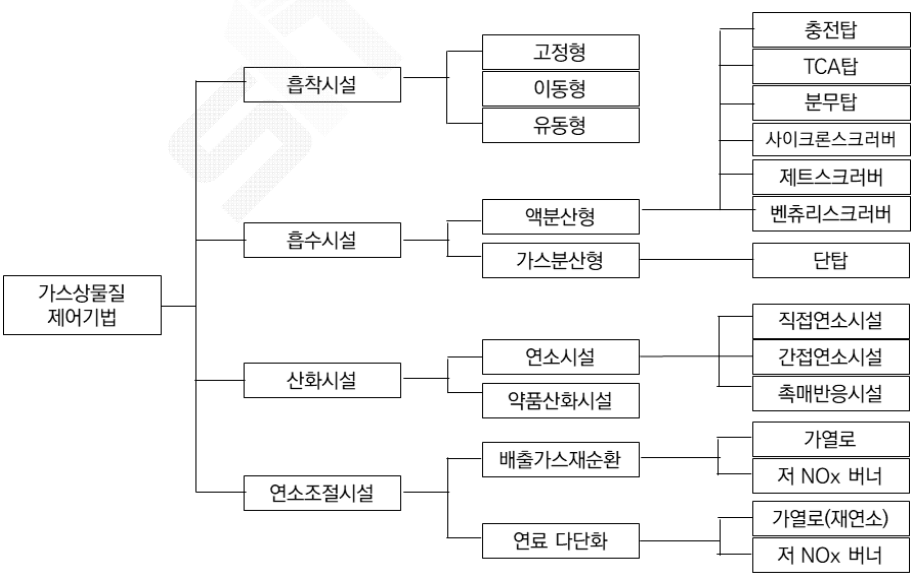
구분	계	여과시설	흡착시설	원심력시설	흡수시설	세정시설	기타*
개수	84,165	33,336	25,417	10,273	7,720	3,453	3,966
비율	100%	39.6%	30.2%	12.2%	9.2%	4.1%	4.7%

*기타: 축열식산화장치(RTO), SCR, SNCR, 전기집진시설, 미생물에 의한 시설 등

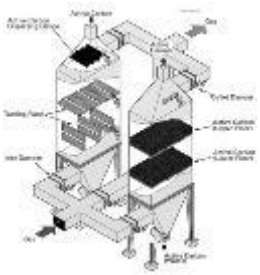
[가스상 물질 저감기술의 종류]

(가스상 물질 방지시설 종류)

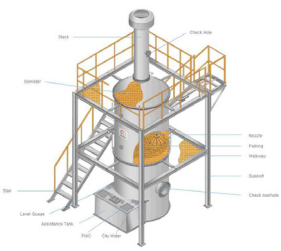
배출가스에서 가스상 물질을 제거하기 위한 방지시설로는 선택적 촉매 환원시설(SCR), 선택적 비촉매 환원시설(SNCR), 흡수에 의한 시설 등이 있으며 시설에 따른 세부 분류는 그림 5-7과 같다.



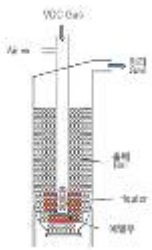
[그림 5-7] 가스상 오염물질 제거를 위한 시설에 따른 세부 분류



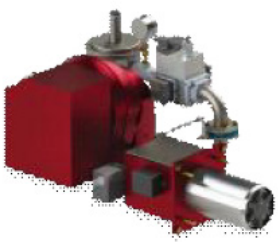
(a) 흡착시설



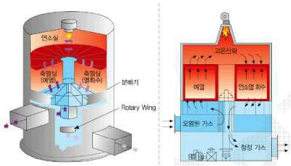
(b) 흡수시설



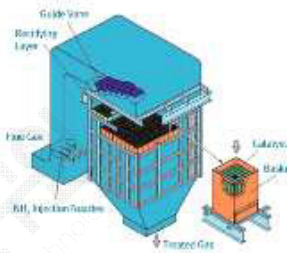
(c) 산화시설



(d) 연소조절시설



(e) 직접연소시설



(f) 촉매반응시설

[그림 5-8] 가스상 물질 방지시설 종류

(가스상 물질 방지시설 저감기술)

가) 질소산화물

질소산화물을 저감하기 위한 시설로는 연소조절시설, 촉매반응시설이 있다. 연소조절시설의 경우 설치비용이 저렴하고 관리가 용이한 장점이 있지만, 불완전 연소로 일산화탄소가 발생한다는 단점이 있다. 촉매반응시설의 경우 반응 후 잔여 물질이 없다는 장점이 있지만 유지비용이 비싸고 암모니아 취급 시 주의해야 한다는 단점이 있다.

[표 5-4] 가스상 물질 방지시설 저감기술(질소산화물)

구분	원리	장점	단점	제거효율
연소조절시설	연소영역 내 불꽃의 온도 억제를 통한 Thermal NOx의 발생 억제	- 설치비용이 상대적으로 저렴하며 관리가 용이함 - 질소산화물 저감효율 양호	- 불완전 연소로 일산화탄소 발생	저과잉공기 5~35% 다단연소 10~70% 재연소 50~60% LNB 50~70%
촉매반응시설	촉매(TiO_2, V_2O_5)와 암모니아, 요소를 통해 질소로 환원하여 제거	- 촉매반응 시 질소산화물의 제거효율 높음 - 반응 후 잔여 물질 없음	- 유지비용 많이 소요 - 암모니아 취급 시 주의 - 암모니아 슬립으로 백연현상 발생	SCR 90% 이상 SNCR 30~50%

자료: 환경오염방지 및 통합관리를 위한 최적가용기법 기준서, 환경부(2016~2017)

나) 황산화물, 염화수소, 불화수소 등

황화수소, 염화수소, 불화수소를 저감하기 위한 시설로는 흡수에 의한 시설, 흡착시설이 있다. 흡수에 의한 시설은 배출가스에 수용액을 분사하여 오염물질을 제거하는 기술로 폐수가 발생하여 부가적으로 폐수를 처리하는 설비, 비용 발생의 문제가 있다. 흡착시설은 활성탄 같은 흡착제의 반응을 이용하여 오염물질을 제거하는 기술로 제거효율을 유지하기 위해서는 흡착제를 자주 교체해야 한다는 단점이 있다.

[표 5-5] 가스상 물질 방지시설 저감기술(황산화물, 염화수소, 불화수소 등)

구분	원리	장점	단점	제거효율
흡수에 의한 시설	용해도가 높은 오염물질을 포함한 배출가스에 수용액을 분사하여 제거	- 설치면적·비용 적게 소요 - 제거효율 양호	- 폐수 발생에 따른 설비 필요 - 운영비용 많이 소요	석회세정 92~99% 해수세정 85~98% 건식세정 85~98%
흡착 시설	배출가스 중 산소 및 물과 반응하여 만들어진 물질이 흡착제와 반응하여 제거	- 설치면적·비용 많이 소요 - 제거효율 양호	- 흡착제의 잦은 교체로 운영비용 많이 소요 - 먼지가 있을 경우 막힘 현상 발생	활성탄 98%

자료: 환경오염방지 및 통합관리를 위한 최적가용기법 기준서, 환경부(2016~2017)

다) 휘발성유기화합물 및 중금속(가스상)

휘발성유기화합물 및 중금속의 경우에 직접연소시설, 흡착시설, 흡수시설을 통하여 오염물질을 제거한다. 흡수시설, 흡착시설의 경우 위의 황산화물, 염화수소, 불화수소 등에서의 시설과 동일한 장단점이 있다. 직접연소시설의 경우 가연성 배출가스를 연소분해하여 휘발성유기화합물을 제거하는 시설로 효율이 양호하고 관리가 편리하며 압력손실이 적다는 장점이 있지만, 불완전연소로 일산화탄소가 발생할 수 있고, 농도가 낮은 배출가스에는 적용이 어렵다는 단점이 있다.

[표 5-6] 가스상 물질 방지시설 저감기술(휘발성유기화합물 및 중금속[가스상])

구분	원리	장점	단점	제거효율
직접 연소 시설	가연성 배출가스를 연소분해하여 휘발성유기화합물 제거	- 효율이 양호 - 관리가 편리 - 압력손실이 적음 - 배출가스양에 상관없이 적용 가능 - RTO의 경우, 축열재를 통해 연소열을 재이용하므로 연료절감 효과	- 불완전연소로 일산화탄소 발생 우려 - 설치·운영비용 많이 소요 - 휘발성유기화합물 농도가 낮은 배출가스 적용 어려움	98% 이상

[표 5-6] 가스상 물질 방지시설 저감기술(휘발성유기화합물 및 중금속[가스상])(계속)

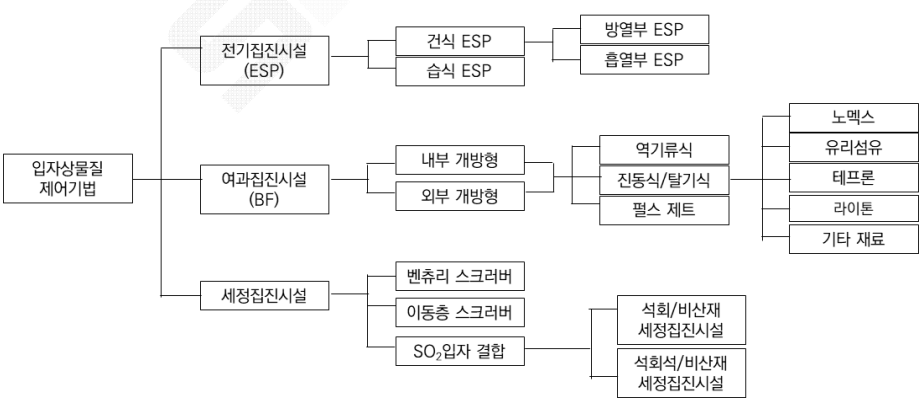
구분	원리	장점	단점	제거효율
흡수 시설	용해도가 높은 휘발성유기화합물, 가스상 중금속류를 포함한 배출가스에 중화제, 산화환원제 등을 포함한 수용액 또는 흡수성 물질을 분사하여 제거	- 설치면적·비용 적게 소요 - 제거효율 양호	- 폐수 발생에 따른 설비 필요 - 운영비용 많이 소요	90% 이상
흡착 시설	배출가스 중 산소 및 물과 반응하여 만들어진 물질이 흡착제와 반응하여 제거	- 설치면적·비용 많이 소요 - 운전조작이 용이	- 흡착제의 잦은 교체로 운영비용 많이 소요 - 휘발성유기화합물 농도가 높을 경우 폭발 우려 - 먼지가 있을 경우 막힘 현상 발생	95% 이상

자료: 환경오염방지 및 통합관리를 위한 최적가용기법 기준서, 환경부(2016~2017)

[입자상 물질 저감기술의 종류]

(입자상 물질 방지시설 종류)

배출가스에서 입자상 물질을 제거하기 위한 방지시설로는 전기집진시설, 여과집진시설, 세정집진시설 등으로 다양한 기술이 적용되고 있으며 시설에 따른 세부 분류는 그림 5-9와 같다.



[그림 5-9] 입자상 오염물질 제거를 위한 시설에 따른 세부 분류

(a) 전기집진시설 (b) 여과집진시설 (c) 세정집진시설

[그림 5-10] 입자상 물질 방지시설 종류

(입자상 물질 방지시설 저감기술)

시설 원리 및 장점, 단점과 제거효율은 표 5-7과 같다.

[표 5-7] 입자상 물질 방지시설 저감기술

구분	원리	장점	단점	제거효율
전기 집진 시설	먼지입자 및 입자상 중금속을 전기장(Electric Field)에서 하전시켜 집진전극 표면에 분리·포집	- 입경 10~20㎛ 보다 작은 먼지 제거에 효과적 - 배출가스 수분함량에 상관없이 적용가능 - 압력 손실이 적어 송풍기 동력비 절감	- 30g/Nm^3 이상 고농도의 배출가스 적용 어려움 - 설치면적·비용 많이 소요 - 최초 설치 후 운전조건 변화에 따른 대응 유연성 낮음	- 먼지입경 1㎛↓ 96.50% 이상 - 먼지입경 1~10㎛ 96.50~99.95% - 먼지입경 10㎛↑ 99.95% 이상
여과 집진 시설	먼지입자 및 입자상 중금속을 다공성 직물이나 부직포에 통과시켜 제거	- 0.3㎛ 이상인 미세먼지 제거에 효과적 - 먼지 입경과 상관없이 처리 가능	- 유지비용 많이 소요 - 150~240℃ 이상의 배출가스 처리 어려움 - 수분함량이 높거나 가연성 배출가스 처리 어려움	- 먼지입경 1㎛↓ 99.60% 이상 - 먼지입경 1~10㎛ 99.60~99.95% - 먼지입경 10㎛↑ 99.95% 이상
세정 집진 시설	배출가스를 액적, 액막, 기포 등으로 세정하여 먼지입자 및 입자상 중금속에 부착시켜 입자 간 응집을 통해 제거	- 고온, 가연성, 부식성 배출가스 처리 가능	- 폐수 발생에 따른 설비 필요 - 운영비용 많이 소요 - 미세먼지 제거효율 낮음	- 먼지입경 1㎛↓ 96.50% 이상 - 먼지입경 1~10㎛ 96.50~99.90% - 먼지입경 10㎛↑ 99.90% 이상
원심력 집진 시설	배출가스 선회를 통해 먼지입자 및 입자상 중금속에 원심력과 관성력을 작용시켜 무거운 먼지입자를 분리·포집하여 제거	- 건조 상태의 모든 배출가스 처리 가능 - 구조가 간단하고 유지보수 비용 적게 소요 - 전기·여과집진 시설의 전처리 시설로서 하이브리드 집진시설로 구성	- 3㎛ 미만의 먼지 제거 어려움 - 배출가스 유속이 5m/s 미만이면 적용 어려움 - 전기·여과집진 시설에 비해 제거효율 낮음	- 먼지입경 5~10㎛ 85~90%

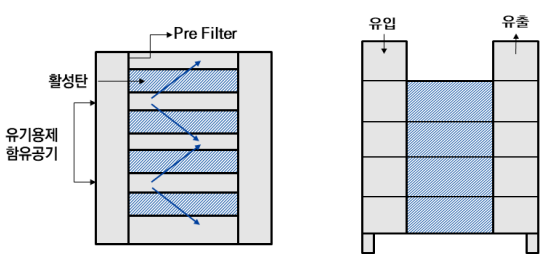
자료: 환경오염방지 및 통합관리를 위한 최적가용기법 기준서, 환경부(2016~2017)

2. 소규모 도장시설 방지시설 분석 및 현장 실태

대기오염 방지시설이란 대기오염물질 배출시설에서 나오는 입자상, 가스상 오염물질을 연소조절 방법 등으로 없애거나 줄이는 시설이다. 본 연구의 5장을 통해 국내 도장시설 및 서울시 자동차 수리업 적용 방지기술 현황을 살펴본 결과 여과 및 흡착 시설이 가장 높은 비중을 차지했다. 도장시설에서 발생되는 VOCs를 처리하기 위하여 일반적으로 활성탄 흡착법(Activated Carbon Adsorption)이 사용되고 있으며, 환경부 「대기오염물질 배출시설 인허가업무 가이드라인」[21] 및 「자동차 정비 도장시설 VOC 환경관리지침」[22], 국립환경과학원 「중소형 도장시설에 적합한 VOC 저감기술 개발 (Ⅰ)」[23]과 관련 도서 내용을 참고하여 가스상 오염물질 처리를 위한 활성탄 흡착탑의 저감 원리 및 활성탄의 종류 및 적용과 관련한 내용을 정리했다.

2-1. 활성탄 흡착탑 저감 원리

흡착탑은 가스상 오염물질을 흡착제에 흡착시켜 오염물질을 제거하는 방식이다. 오염가스가 흡착탑 내부로 통과할 때 오염물질이 제거된다. 물리적 흡착(physical adsorption)과 화학적 흡착(chemical adsorption)에 따라 오염물질이 제거되는데, 물리적 흡착은 분자인력(van der waals의 힘)으로 흡착이 이루어지고 가스분자가 고체(흡착제)에 약하게 결합되기 때문에 흡착열이 작고, 작은 외력으로도 흡착제로부터 쉽게 탈착된다. 화학적 흡착은 피흡착물 사이의 반응으로 흡착이 일어나기 때문에, 흡착열이 반응열과 같은 수준으로 높고 비가역적으로 일어난다. 흡착탑은 가스상 오염물질을 흡착제에 흡착시켜 오염물질을 제거하는 방식이다. 오염가스가 흡착탑 내부로 통과할 때 오염물질이 제거된다.



[그림 5-11] 흡착탑 작동 원리

21) 환경부, 대기오염물질 배출시설 인허가 업무 가이드라인, 2016
22) 환경부, 자동차 정비 도장시설 VOC 환경관리지침, 2004
23) 국립환경과학원, 중소형 도장시설에 적합한 VOC 저감기술 개발 (Ⅰ), 2008

(흡착제)

흡착탑에서 사용되는 흡착제는 활성탄, 제올라이드, 실리카겔, 알루미나 등이 있는데 그중 활성탄이 가장 많이 사용된다. 흡착 과정에서 흡착, 제거하고자 하는 물질에 따라 적절한 흡착제 선정이 중요하며, 흡착제와 오염물질을 함유한 가스와 접촉시키는 시간 결정이 흡착 효율에 중요한 영향을 미친다.

흡착제는 크게 친수성(극성)과 소수성(비극성)으로 나뉘는데, 친수성 흡착제가 활성백토, 실리카겔, 활성알루미나, 제올라이트 등으로 원료가 무기질인 반면에 소수성 흡착제는 목탄, 갈탄, 활성탄 등으로 원료가 유기질이다. 흡착제 중 가장 널리 사용되는 활성탄은 코코넛 껍질(야자각), 뼈, 나무, 석탄, 목질(리그닌), 갈탄 등으로 제조하며, 가스상 물질 흡착에는 코코넛 껍질이나 유연탄으로 제조된다.

활성탄은 비교적 분자량이 큰 포화화합물을 흡착하는 경향이 큰데 이는 활성탄이 무극성이어서 유기용제와 같은 무극성 또는 약한 극성 물질을 잘 흡착하고 실리카겔, 활성알루미나 등은 수분 같은 극성물질을 선택적으로 잘 흡착한다.

흡착제를 선정할 때는 ①흡착효율 및 재생률이 우수하며, 흡착제 수명이 긴 것 ②내산성·부식성이 없으며, 습분(물질이 지니는 수분)에 강한 것 ③압력 손실이 적고 장치 내에서 충분한 체류시간을 갖는 것 ④불순물 함유량이 적은 제품을 고려하여 선정해야 한다.

흡착제의 종류 및 물리적 특성은 표 5-8과 같다. 흡착제의 밀도 특성은 적을수록 유리하고, 공간율, 세공용적, 비표면적 등은 클수록 좋으며, 특히 활성탄이 다른 흡착제에 비해 비표면적이 크다.

[표 5-8] 각종 흡착제의 성상 및 용도

흡착제의 종류	표면적(m^2/g)	용도
활성탄(activated carbon)	500~1,500	용제회수, 악취 제거, 가스 정화
활성탄소섬유(ACF)	1,000~2,500	용제회수, 악취 제거, 가스 정화
알루미나(alumina)	200~300	가스, 공기 및 액체 건조
보크사이트(bauxite)	100	석유 중의 유분 제거, 가스 및 용액 건조
본 차(bone char)	100	설탕 탈색
Fuller's earth	60~700	윤활유, 지방, 왁스 정제
마그네시아(magnesia)	200	휘발유 및 용제 정제
실리카겔	320	용액 중 불순물 제거

자료: 천만영 외, 대기오염 방지공학, 2019

[표 5-9] 흡착제의 종류 및 물리적 특성

구분	활성탄		실리카겔	알루미나겔	합성 제오라이트	분자체
	입상	분말				
진밀도(g/cm^3)	0.2~2.2	0.9~2.2	2.2~2.3	0.3~3.3	2.0~2.5	1.9~2.0
겉보기밀도(g/cm^3)	0.6~1.0	-	0.8~1.3	0.9~1.9	0.9~1.3	0.9~1.1
충전밀도(g/cm^3)	0.35~0.6	0.15~0.6	0.5~0.85	0.5~1.0	0.6~0.75	0.55~0.65
공간율	0.33~0.45	0.45~0.75	0.4~0.45	0.4~0.45	0.32~0.4	0.35~0.42
세공용적(cm^3/g)	0.5~1.0	0.4~0.5	0.3~0.8	0.3~0.8	0.4~0.6	0.5~0.6
비표면적(m^2/g)	700~1500	700~1500	200~600	150~350	400~750	450~550
평균세공직경(Å)	12~30	15~30	20~120	40~150	-	10~15
열전도도(kcal/m·hr·℃)	0.1~0.2	-	0.1~0.15	0.1~0.15	-	-
비열(cal/g·℃)	0.2~0.25	-	0.2~0.25	0.2~0.3	-	-

2-2. 활성탄 종류 및 적용

활성탄은 탄소질 재료이며, 탄소질 재료는 무정형 탄소 그룹과 결정형 탄소로 구분된다. 활성탄의 분류는 탄소질 재료에 따른 분류, 물리적 형상에 따른 분류, 원료에 따른 분류, 흡착 성능에 따른 분류, 부활법에 따른 분류, 용도에 따른 분류, 일반 형상에 따른 분류로 구분하여 정리하였다.

(탄소질 재료에 따른 분류)

탄소질 재료에 따른 분류는 석탄, char, carbonblack, pure carbon으로 구분되며 종류는 표 5-10과 같다.

[표 5-10] 탄소질 재료에 따른 활성탄 분류

분류	형태	재료
석탄		흑탄, 아탄, 무연탄
char	미부활(未賦活)	코크스, 목탄, 골탄
	부활(賦活)	활성탄, 각종 유기물질(목탄, 석탄, 야자열매 껍질, 커피콩 등)
carbon black		람프, 아세틸렌 블랙 등
pure carbon	결정성	diamond, graphite, retortcarbon
	비결정성	유리상 carbon, cellulosecarbon 등

(물리적 형상에 따른 분류)

외형적인 모양에 따른 분류로 분말상, 파쇄상, 조립상, 섬유상으로 나뉜다. 최근에는 honey comb 형태도 제조되고 있다.

[표 5-11] 활성탄의 형상에 따른 특징

분류	특징
분말상	용도에 따라 분말도 및 입도분포를 규제한다.
파쇄상	입상이지만 형상 및 크기는 불규칙하다.
조립상(성형)	binder: tar류, plastic류, lignin 등 형상: 공모양, 기둥상, 마세크상으로 크기는 여러 가지이다.
섬유상(fiber)	cloth상, 특수형상, 액체상, paint상 등

(원료에 따른 분류)

활성탄 제조 재료에 따른 분류로서 활성탄은 식물질, 동물질, 광물질, 기타 폐기물로 만들어진다.

[표 5-12] 활성탄의 제조 재료

분류		재료
식물질		목재(톱밥), 목재건류물(목탄), 야자 껍질, 과일껍질(호두껍데기, 귤껍질), 목질부(lignin), 해조류, 왕겨, 곡물류, 농산물 찌꺼기, 커피콩 등
동물질		생선뼈, 동물뼈, 혈액
광물질	석탄	이탄(泥炭), 아탄(亞炭), 토탄, 갈탄, 역청탄, 무연탄, 석탄tar, 석탄pitch, 석탄cokes 등
	석유	oil shale, 석유tar, 석유pitch, 석유cokes, 황산 슬러지, oil carbon 등
기타		pulp폐액, 합성수지 폐재(PVC), 폐타이어, alcohol 폐액, 폐당밀, 피혁폐기물 등

(용도에 따른 분류)

기상 흡착용, 액상 흡착용으로 대별되며, 그 밖에 하·폐수 처리용, 가스흡착용, 의약용, 촉매용 등 용도별로 구분되기도 한다.

(형상에 따른 분류)

흔히 사용되는 활성탄을 형상에 따라 구분하면 입상활성탄, 분말활성탄, 생물활성탄으로 구분되며, 상수의 고도처리에서는 형상에 따른 분류를 기준으로 널리 이용된다.

[표 5-13] 형상에 따른 활성탄의 특징

분류	특징	용도
입상활성탄(GAC)	- 분말에 비해 흡착속도가 느리다. - 물과 분리가 쉽다. - 재생이 쉽다. - 흡착탑에 충전하든지 유동상에서 사용한다. - 취급이 용이하다.	- 유동층 및 이동층용 - 상수 및 기타 하·폐수처리
분말활성탄(PAC)	- 흡착속도가 빠르다. - 사용 시 복잡한 장치가 필요하지 않고 접촉여과로 흡착된다. - 분말의 비산이 있고 취급이 불편하다.	- 접촉여과용 - 하·폐수처리
생물활성탄(BAC)	- 용존성 유기물질 제거율이 높다. - 저온 시 제거율이 낮아 계절적인 고려가 있어야 한다. - 독일, 프랑스, 일본 등에 실용화되어 있다. - 재생 없이 수년간 사용이 가능하다. - 건설 및 운전비용이 절감된다. - 장기적으로 특정한 목적을 달성할 수 있다. - GAC공정의 변형공정으로 운전된다.	- 상수 및 하·폐수처리 - 정수장에서의 DOC, NH_3-N제거

2-3. 흡착탑 적용 현장조사 및 관리 실태

[기존 방지시설 설치 대상 사업장]

(AA 사업장)

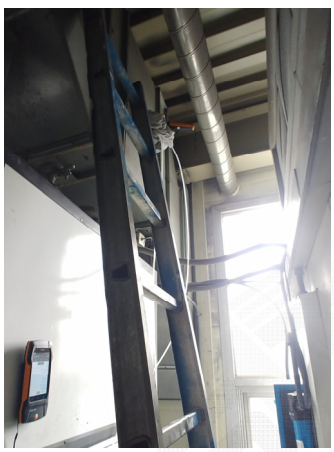
AA 사업장의 배출시설, 도장부스, 방지시설 현황 등을 정리하여 표 5-14와 그림 5-12~그림 5-14에 제시하였다. 해당 사업장은 유성과 수성 도장을 모두 사용하는 업체이다. 방지시설 설계 풍량은 380m^3/min였으나 자가 측정 풍량은 316m^3/min로 다른 사업장에 비해 비교적 설계 풍량 간 차이가 적었다. 해당 사업장에는 방지시설로 흡착탑과 활성탄 재생을 위한 촉매산화 시설이 설치되어 있다. 방지시설 내부에 설치된 부직포 필터는 3주에 1회, 활성탄 카트리지는 6개월에 1회 교체하고 있었다. 도장 부스 외부에 조색실과 혼합기가 설치되어 있어서 사용 전후 도료를 도장 내부에 비치하지 않고 조색실 및 도료보관실에 보관하고 있었다.

[표 5-14] AA 사업장 자동차 정비 도장시설 현황

구분	항목 및 내용			비고
배출시설 규모	5종(도장 및 건조시설 2대)			
배출시설	자동차 정비시설	배출시설명	도장시설 및 건조시설	
		배출시설 용량	82.1m^3	신고 증명서 기준
		방지시설 용량	- 380m^3/min(활성탄 흡착탑) - 19m^3/min(활성탄재생[촉매산화])	신고 증명서 기준
		배출항목	먼지, 탄화수소	
	자가측정 결과	배출 유량	316Sm^3/min	2020. 5. 20. 측정
		배출 속도	정보 없음	
		먼지 농도	19.5mg/m^3	
		THC 농도	38.4ppm	
		배출구 직경	0.75m	실측
도장부스 현황	도장부스 제원	내부 규격(mm)	4,400(W)x7,200(L)x2,600(H)	
		건조 열원	- 전기식 히터, 할로겐 전구 - 경유 열풍	
		제조사	오토기기	10년 전 설치
방지시설 현황	VOCs 방지시설 종류 및 용량	방지시설명	- 흡착시설 - 촉매산화(미사용)	신고 증명서 기준
		방지시설 용량	380m^3/min	신고 증명서 기준
	입자상오염물질 처리(먼지)	포켓방식 부직포 필터	800(W)x1,500(L)x10mm(H, 두께), 4장(2단계)	1회/3주 교체
			500(W)x1,500(L)x10mm(H, 두께), 2장(1단계)	
	기체상오염물질 처리(VOCs)	활성탄 흡착탑	800(W)x1,500(L)x50mm(H, 두께), 4장	1회/6개월
현장 상황	도장시설 운전	건조시간	60℃, 30분 건조	
	필터 관련	급기, 배기, 카본필터 교체	592,000원/회(부가세 별도)	활성탄 제외 공임포함
			1,592,000원/회(부가세 별도)	활성탄 교체비용
		천장필터(수입)	-	
	수성도료 관련	도료혼합기	-	800만~1000만 원
	신규 방지시설 설치 관련	정부지원사업	설치 검토 중	

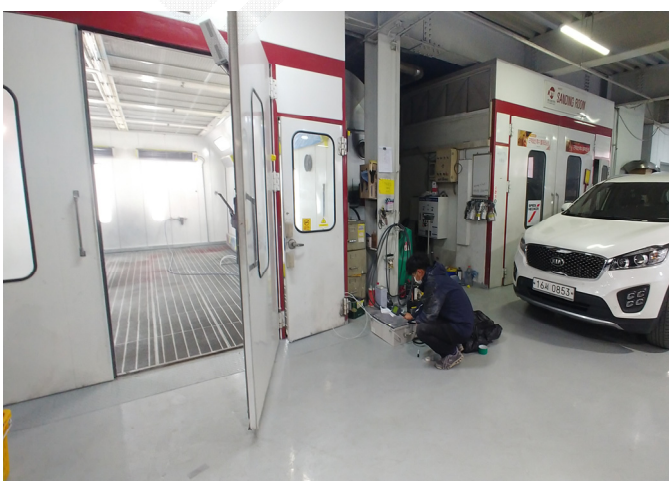
자동차 정비
도장부스 현장조사

- 전경 사진



자동차 정비
도장부스 현장조사

- 외부 배출구 사진
- 배출구 방지시설 및 측정공 위치



자동차 정비
도장부스 현장조사

- 현장 측정을 위한 가상덕트 설치

[그림 5-12] AA 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(1)

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 먼지 전처리 카트리지
- 사용 중인 부직포 필터
- 활성탄 카트리지 사용

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 사용 중인 수성 도료

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 조색실 및 혼합기
- Cromax 와산 제품 사용

[그림 5-13] AA 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(2)

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 현장 도색 작업을 위한 준비

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 도장부스 방지시설 전단 농도 측정 지점 선정
- 도장부스 측면에서 방지시설로 유입됨

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 자동차 부스 내부 사진
- 건조 방식은 열풍 방식임
- 사용 후 도료를 내부에 비치하지 않고 조색실 및 도료 보관실에서 관리함

[그림 5-14] AA 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(3)

[신규 방지시설 설치 대상 사업장]

(BB 사업장)

BB 사업장은 신규 방지시설이 설치되어 있는 유성도장 업체로 표 5-15와 그림 5-15~그림 5-17에 사업장의 배출시설, 도장부스, 방지시설 현황 등을 정리해 제시하였다. 해당 사업장은 유성 및 수성 도장 모두를 할 수 있는 업체이다. 방지시설 설계 풍량은 380m^3/min 였으나 자가 측정 풍량은 219m^3/min, 현장 측정 결과 212m^3/min로 설계 풍량에 비해 현장 풍량이 56% 수준으로 운전되고 있었다. 해당 사업장에는 방지시설로 부직포 필터와 활성탄 카트리지가 설치되어 있다. 부직포 필터는 월 1회, 활성탄 카트리지는 5개월에 1회 교체하는 것으로 되어 있다. 현장에는 도장부스 외부에 조색실과 세척실이 별로도 되어 있으나, 조색실과 세척실에는 국소배기장치가 없어서 방지시설과 연결되어 있지 않았다.

[표 5-15] BB 사업장 자동차 정비 도장시설 현황

구분	항목 및 내용			비고
배출시설 규모	5종(도장 및 건조시설 2대)			1대는 신규
배출시설	자동차 정비시설	배출시설명	도장시설 및 건조시설	
		배출시설 용량	75.24m^3	신고 증명서 기준
		방지시설 용량	380m^3/min(활성탄 흡착탑)	신고 증명서 기준
		배출항목	먼지, 탄화수소	
	자가측정 결과	배출 유량	219Sm^3/min	2020.05.02. 측정
		배출 속도	정보 없음	
		먼지 농도	12.1mg/m^3	
		THC 농도	52.8ppm	
		배출구 직경	0.60m	실측
도장부스 현황	도장부스 제원	내부 규격(mm)	4,500(W)x7,300(L)x2,800(H)	
		건조 열원	- 전기식 히터 - 할로겐 전구 방식 - LPG 열풍	
		제조사	한일	방지시설과 동일
방지시설 현황	VOCs 방지시설 종류 및 용량	방지시설명	여과 및 흡착에 의한 시설	신고 증명서 기준
		방지시설 용량	380m^3/min	신고 증명서 기준
	입자상오염물질 처리(먼지)	포켓방식 부직포 필터	200(W)x1,000(L)x10mm(H, 두께), 16장	1회/월 교체
	기체상오염물질 처리(VOCs)	활성탄흡착탑	900(W)x1,400(L)x90mm(H, 두께), 6장	카트리지 방식
현장 상황	도장시설 운전	건조시간	60℃, 30분 건조	
	필터 관련	급기, 배기, 카본필터 교체	1회/5개월	
		천장필터(수입)		
	수성도료 관련	도료혼합기	노루 워터큐시스템	
	신규 방지시설 설치 관련	정부지원사업	- 2019년 신규 - 도장부스와 방지시설 신규	총: 6,270만 원 자체: 2,940만 원

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 전경 사진

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 외부 배출구 사진
- 배출구 방지시설 및 측정공 위치

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 먼지 전처리 카트리지
- 사용 중인 부직포 필터
- 활성탄 카트리지 사용

[그림 5-15] BB 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(1)

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 유성 및 수성 페인트 조색실 및 세척실 운영
- 세척실 및 조색실 국소배기장치 없으며, 방지시설 미연결 및 미설치

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 조색실 및 혼합기
- 국산 제품 사용

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 현장 도색 작업을 위한 준비

[그림 5-16] BB 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(2)

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 도장부스 방지시설 전단 농도 측정지점 선정
- 도장부스 측면에서 방지시설로 유입됨

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 방지시설의 운전 현황을 확인하기 위한 모니터링 기기
- 차압, 온도, 전류 등 모니터링

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 도장부스의 유입 및 배출 유량의 평형을 확인하기 위한 마노미터 차압계

[그림 5-17] BB 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(3)

(CC 사업장)

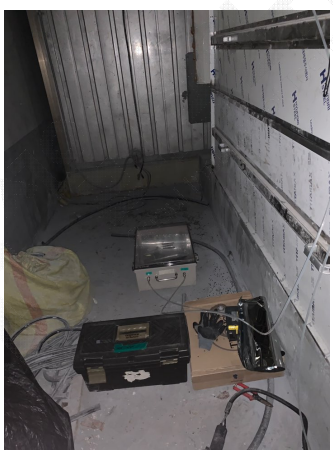
CC 사업장은 신규 방지시설이 설치되어 있는 수성도료 도장 업체로 표 5-16과 그림 5-18~그림 5-20에 사업장의 배출시설, 도장부스, 방지시설 현황 등을 정리해 제시하였다. 방지시설 설계 풍량은 400m^3/min였고 자가 측정 풍량은 300m^3/min였으나, 현장 측정 결과 45m^3/min로 설계 풍량에 비해 현장 풍량이 10분의 1 수준 이하로 운전되고 있었다. 해당 사업장에는 방지시설로 부직포 필터와 활성탄 카트리지가 설치되어 있었다. 현장 조사 시 부직포 필터는 3주 1회, 활성탄 필터는 6개월에 1회 교체하고 있는 것으로 확인되었다. 현장에 설치된 활성탄 카트리지는 4각 방식이었고, 차압 및 다공판 사이즈 차이에 의해 활성탄이 카트리지 외부로 유출되어 있었다.

[표 5-16] CC 사업장 자동차 정비 도장시설 현황

구분	항목 및 내용			비고
배출시설 규모	5종(도장 및 건조시설 2대)			
배출시설	자동차 정비시설	배출시설명	도장시설 및 건조시설	
		배출시설 용량	75.6m^3	신고 증명서 기준
		방지시설 용량	- 400m^3/min(활성탄 흡착탑) - 0.49m^3/min(활성탄재생[연소시설])	신고 증명서 기준
		배출항목	- 먼지 - 탄화수소	
	자가측정 결과	배출 유량	300Sm^3/min	2020. 3. 12. 측정
		배출 속도	정보 없음	
		먼지 농도	8.0mg/m^3	
		THC 농도	51.4ppm	
		배출구 직경	0.75m	실측
도장부스 현황	도장부스 제원	내부 규격(mm)	4,500(W)x7,000(L)x2,400(H)	
		건조 열원	- 전기식 히터 - 할로겐 전구 방식 - 경유 열풍	
		제조사	원방하이텍, 서초	
방지시설 현황	VOCs 방지시설 종류 및 용량	방지시설명	- 흡착에 의한 시설 - 촉매산화(미사용)	
		방지시설 용량	400m^3/min	신고 증명서 기준
	입자상오염물질 처리(먼지)	포켓 방식 부직포 필터	400(W)x1,600(L)x10mm(H, 두께), 20장	1회/3주 교체
	기체상오염물질 처리(VOCs)	활성탄 흡착탑	1,500(W)x1,700(L)x100mm (H, 두께), 4장	4면 카트리지 방식
현장 상황	도장시설 운전	건조시간	60℃, 30분 건조	
	필터 관련	급기, 배기, 카본필터 교체	1회/6월	
		바닥필터	1회/주	
	수성도료 관련	도료혼합기	와산(Cromax)	
	신규 방지시설 설치 관련	정부지원사업	2019년 9월 신규 지원받음	

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 전경 사진



자동차 정비
도장부스 현장조사

- 외부 배출구 사진
- 배출구 방지시설 및 측정공 위치
- 방지시설의 운전 현황을 확인하기 위한 모니터링 기기
- 차압, 온도, 전류 등 모니터링

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 먼지 전처리 카트리지
- 사용 중인 부직포 필터
- 활성탄 카트리지 사용

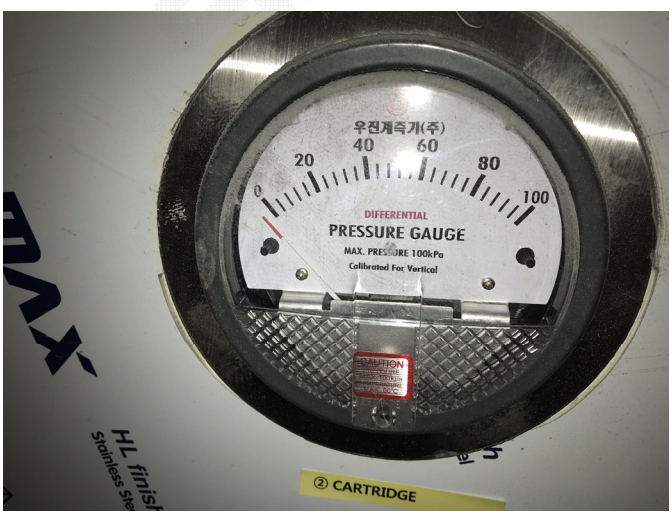
[그림 5-18] CC 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(1)

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 4각 방식의 활성탄 카트리지 사용
- 차압 및 다공판 사이즈 관련 활성탄 외부 유출

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 사용 중인 수성 도료



자동차 정비
도장부스 현장조사

- 프리필터 및 활성탄 카트리지 차압 발생 모니터링을 위한 차압계 설치됨

[그림 5-19] CC 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(2)

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 도장부스 방지시설 전단 농도 측정지점 선정
- 도장부스 측면에서 방지시설로 유입됨

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 자동차 부스 내부 사진
- 건조 방식은 열풍방식임
- 사용 후 도료를 내부에 비치하지 않고 조색실 및 도료 보관실에서 관리함

자동차 정비
도장부스 현장조사

- 방지시설 효율 측정을 위한 전단 농도 측정

[그림 5-20] CC 사업장 자동차 수리 도장시설 현장조사(3)

표 5-17은 본 연구에서 현장조사 대상으로 선정한 업체의 방지시설 설계 인자와 연구진이 측정한 풍량, 방지시설 효율을 정리한 것이다. 전반적으로 모든 업체가 설계 풍량과 비교하여 현저하게 낮은 풍량으로 운전되고 있었다. 기존 방지시설 설계 업체의 경우 활성탄 없이 카본 부직포 필터 혹은 일반 부직포 필터만 설치되어 있었고, 두께도 10mm 수준으로 매우 얇거나 활성탄 충전량이 120kg으로 적은 양이었다.

신규 방지시설의 경우 기존 방지시설에 비해 비교적 설계 풍량과 실측 풍량의 차이가 적었고, 1개 업체는 유량에서 크게 차이가 나타났다. 활성탄 두께는 90~100mm이고 활성탄 충전량도 340~510kg으로 기존 방지시설에 비해 현저하게 높았다. 다만 활성탄 충전량 대비 방지시설 제거 효율이 매우 낮은 곳도 있어서 활성탄 교체 등의 방지시설 유지관리가 제대로 수행되지 않은 것으로 판단된다.

[표 5-17] 본 연구 현장 조사 대상 업체별 방지시설 현황 및 측정 결과(1)

구분	연구진 측정결과		설계 풍량		활성탄 두께	활성탄 부피	활성탄 충전량	활성탄 교체 주기 (이론적 계산)
	방지시설 효율	풍량						
	%	Sm^3/min	m^3/min	m/s	mm	m^3	kg	day
AA 사업장	27.1%	225	380	6.3	50	0.24	120	7.4
BB 사업장	41.0%	212	380	6.7	90	0.68	340	20.9
CC 사업장	40.5%	45	400	6.7	100	1.02	510	31.4

[표 5-18] 본 연구 현장 조사 대상 업체별 방지시설 현황 및 측정 결과(2)

구분	활성탄 단면적			통과 속도	방지시설 규격 (W×L×H)	비고
	카트리지 개당 면적	개수	총면적			
	m^2	ea	m^2	m/s	m	
AA 사업장	1.20	4	4.8	1.32	2.0×1.6×2.8	-
BB 사업장	1.26	6	7.56	0.88	2.0×1.5×3.0	신규 지원설비
CC 사업장	2.55	4	10.2	0.65	2.0×2.0×2.6	신규 지원설비

3. 소규모 도장시설 배출 VOCs 처리 문제점 분석

3-1. 적용 도료 사용량, 분무량 및 운전시간 설정 문제

[도료 사용량 선정의 문제점]

일반적으로 대기배출시설 설치 시 원료 사용량은 신고자가 제시하도록 한다. 자동차 보수 도장시설의 경우 VOCs 배출량은 도료 및 희석제 사용량을 기준으로 하며, 이 사용량은 설계 시에 반영되는 매우 중요한 설계인자이다. 일부 입수된 방지시설의 도료 사용량을 15L/일로 산정했는데, 자동차 정비 도장시설의 특성상 부분적인 도색 작업이 대부분인 현실에서 과다한 사용량으로 보이며, 이와 같이 실제 작업량을 고려하지 않고 사용량을 산정하는 경우가 많은 실정이다. 따라서 도료 사용량 산정을 위한 명확한 계산방법 제공이 필요하다.

[유기용제 분무량 및 VOCs 발생량의 문제점]

도료 분무량은 혼합도료 사용 시 휘발분 발생량을 작업시간당 휘발분 발생량으로 정의하며, 이는 혼합도료 사용 시 휘발분 함량이 매우 중요하다. 그러나 휘발분 함량의 지표가 되는 도료 자체의 휘발분 함량이 불명확하고 희석액 사용량(혼합비율)이 작업자의 성향과 작업 특성에 따라 매우 다양하여 설계 시 계획과 현실 사용에서 매우 큰 차이를 보이고 있는 실정이다. 따라서 분무량으로부터 계산되는 VOCs 발생량 또한 설계값과 매우 큰 차이를 보인다고 할 수 있다. VOCs 발생량은 액상 분무 도장 작업에서 필연적으로 발생하는 과잉분무량 비율을 0.5로 산정하고 있다. 즉, 혼합도장액의 50%가 도장면에 부착되고 50%는 바로 배출되는 개념이다. 그러나 도장 현장에서는 도장면의 품질 유지를 위해 과량의 희석액을 사용하거나 혼합 도장액을 과량으로 제조하여 남는 경우 그대로 방치하는 경우가 많았다.

[운전시간 선정의 문제점]

운전시간은 도료 사용량과 함께 VOCs 배출량 산정에 매우 중요한 인자이다. 설계(예)에서는 VOC 발생량을 일일 8시간 작업으로 산정하였으나, 흡착제 교체주기에서는 3~6hr/일로 산정하여 교체주기를 과다 계산되는 결과를 보였다. 대부분 소규모 시설인 자동차 보수 도장시설에서 운전시간의 정확한 산출은 어려운 것이 현실이지만, 방지시설의 핵심인 활성탄 교체시기 결정 방법의 새로운 대안이 필요하다고 판단된다. 일례로 PID 센서를 이용한 감시장치 적용 등이 대안이 될 수 있다.

3-2. 설계치에 적용한 대표 VOCs 선정 문제점

실제 현장에서 사용되는 도료에 함유된 VOCs 종류는 최소 50종 이상으로, 모든 성분의 구성비와 농도를 반영하여 방지시설 설계를 하는 것은 불가능하다. 따라서 일반적으로는 대표 성분 2~5종을 선정하고 평균 분자량을 계산하여 VOCs 배출 농도를 결정한다.[24] 현재 일반적으로 통용되는 설계 계산은 수용성 도료의 성분을 기준으로 오염물질 발생농도를 산정한다. 대기환경보전법 시행령·시행규칙 개정으로 자동차 도료의 VOCs 함유 기준이 낮은 수용성 도료로 전환하는 정책이 단계적으로 추진되고 있으며, 따라서 설계에 반영되는 대표 VOCs 성분으로 2-뷰톡시에탄올($C_4H_9O_2$)과 트리에틸아민($N(CH_2CH_3)_3$)을 선정하였다. 그러나 실제 수성도료를 사용하는 현장 측정 결과를 보더라도 2-뷰톡시에탄올과 트리에틸아민이 주성분이 아니어서 대표 성분으로 선정한 의미가 없다. 실제 사용되는 도료의 주성분과 환경에 미치는 영향 등을 고려하여 보다 적절한 대표 VOCs 선정과, 이를 반영한 설계치 계산이 필요하다.

3-3. 흡착제 흡착능을 고려하지 않은 획일적 반영 문제

설계(예)에서와 같이 활성탄 중량당 피흡착물질(VOCs)의 흡착량으로 표현되는 활성탄 흡착능(kg-VOCs/kg-활성탄)을 0.29kg-VOCs/kg-활성탄같이 획일적으로 반영하고 있다. 일반적으로 자동차 보수 도장 공정에서는 약 3mm 크기의 펠릿 형태의 활성탄을 사용하며, 활성탄은 신품 및 재생 활성탄으로 분류할 수 있다. 신품 활성탄의 경우에도 흡량능은 원재료와 제조기술에 따라 그 차이가 상당하며 저질 신품인 경우 0.1kg-VOCs/kg-활성탄 수준도 많이 유통되고 있는 실정이다. 또한 신품 및 재생 활성탄은 확연한 흡착능의 차이를 발생하며, 활성탄 재생 시 고온 및 고압증기를 이용하여 재활성화하므로 마찰에 따른 부스러짐 및 기공 조직의 변화가 발생하여 흡착능이 낮아진 불량 활성탄으로 만들어져 유통되고 있는 것이 현실이다.

흡착능 과잉 산정의 문제점은 교체주기(6개월) 이전에도 오염물질의 배출 농도가 매우 높게 배출될 수 있으며 방지시설의 성능 확보에 매우 큰 문제를 야기한다. 실제로 본 용역 대상 도장시설의 대부분에서 방지시설 효율이 매우 낮거나, 일부 작업별 공정에서는 VOCs의 유입 농도보다 유출 농도가 높은 음(-)의 제거효율을 나타냈다. 또한 입상활성탄의 시험 방법은 KSM 1802(1985년)에, 분말활성탄 시험 방법은 KSM 1210(1986년)에 규정되어 있고, 입상활성탄 규격은 표 5-19와 같이 KSM 1421(1987년)에, 분말 활성탄 규격은 KSM 1413(1998년)에 각각 규정되었다(표 5-20 참조).

24) 대구지방환경청, 대기오염방지시설 설계실무편람, 1999

[표 5-19] 입상활성탄 공업규격(KSM 1421)

구분	1급	2급	3급
건조감량(%)	5.0 이하	5.0 이하	5.0 이하
경도(%)	90 이상	90 이상	90 이상
충전밀도(g/ml)	0.48 이하	0.52 이하	0.56 이하
요오드흡착력(mg/g)	1,100 이상	1,000 이상	900 이상
벤젠평형흡착성능(%)	35 이상	33 이상	30 이상
입도(%)	95 이상	90 이상	90 이상

[표 5-20] 분말 활성탄 공업규격(KSM 1413)

항목	종별											
	1종						2종					
	1급		2급		3급		1급		2급		3급	
	A형	B형	A형	B형	A형	B형	A형	B형	A형	B형	A형	B형
탈색성능	94% 이상	150 ml/g 이상	90% 이상	130 ml/g 이상	85% 이상	110 ml/g 이상	92% 이상	130 ml/g 이상	85% 이상	110 ml/g 이상	75% 이상	80 ml/g 이상
메틸렌블루 탈색력 (g/ml)	150 ml 이상		130 ml 이상		110 ml 이상		150 ml 이상		130 ml 이상		110 ml 이상	
건조감량 (%)	5.0 이하		10.0 이하		10.0 이하		10.0 이하		10.0 이하		15.0 이하	
철분(Fe) (%)	0.03 이하		0.015 이하		0.3 이하		-		-		-	
염화물(Cl) (%)	0.05 이하		0.13 이하		0.25 이하		-		-		-	
pH	5.0~8.0		5.0~8.0		5.0~8.0		5.0~8.0		5.0~8.0		5.0~8.0	

KSM 1421, 1413 규격은 '한국활성탄소공업협동조합은 활성탄소의 용도, 사용 목적, 사용 조건, 요구 품질이 다양화되어 단일한 탈색력이나 물성 분석으로 활성탄소 우열(優劣)을 총괄적으로 규정하는 일이 불합리하기 때문에 폐지 요청'을 이유로 2008년 10월 13일 폐지되었다.

3-4. 열풍 건조 시 열탈착에 따른 배출

자동차 보수 도장시설은 동일한 공간(도장부스)에서 도장 공정과 건조 공정이 비연속적으로 교대로 진행되는 시설이다. 그러나 도장공장은 실온(25℃), 건조 공정은 고온 60℃에서 진행되는 특징이 있으며, 도장 공정과 건조 공정 시 연속해서 300~400m^3/min로 급기와 배기가 진행된다. 위와 같이 급격한 온도 변화(실온 → 60℃) 및 연속적인 고유량 조건에서는 방지시설인 흡착탑의 성능이 유지되기가 매우 어렵다고 단언할 수 있다. 이론적으로도 실온 도장 작업에서 흡착되었던 VOCs가 고온, 고유량 조건에서 열탈착되어 오히려 배출가스에 오염물질의 농도가 더 높게 배출될 수 있다.

실제로 도장시설 건조 공정 중에 방지시설의 유입보다 유출 농도가 높은 열탈착에 따른 유출 농도 역전 현상이 빈번히 관찰되고 있으며 따라서 건조 공정 중 열탈착 방지를 위한 대책 마련과 방지시설 개선이 필요하다고 판단된다.

서울과학기술대학교
Seoul National University of Science and Technology

06 소규모 도장시설 배출 VOCs 저감 및 관리 방안

1. 도장시설 VOCs 배출 저감 방안
2. 소규모 도장시설 배출 VOCs 관리를 위한 개선 방안 제안

06. 소규모 도장시설 배출 VOCs 저감 및 관리 방안

1. 도장시설 VOCs 배출 저감 방안

1-1. 도료 VOCs 배출 저감 방안

자동차 수리 도장시설의 도장 과정이 진행되는 동안 배출되는 VOCs 배출량을 저감하기 위하여 아래와 같은 저감 및 관리 방안을 제시한다.

[도료 보관 및 관리 방법 개선을 통한 VOCs 배출 저감 및 관리 방안]

자동차 정비 도장시설의 도료 보관실은 도색을 준비하는 조색실의 기능을 겸하는 경우가 대부분이다. 그림 6-1에서 보이는 장소는 일반적으로 업체에서 주재와 희석제를 배합하는 조색실의 기능을 하는 곳이다. 이곳은 도색을 하기 전 배합된 도료를 보관하거나 도색 후 남은 도료를 보관하는 곳이어서 VOCs 배출이 예상된다.

[그림 6-1] 자동차 수리 도장시설의 조색 및 도료 배합 장소

그림 6-2는 주로 조색 작업에 필요한 외국산 도료와 수성도료를 보관하는 보관실이다. 설치된 도료보관 시스템에서 도색 작업을 할 때 필요한 일정량의 안료와 도료를 꺼내어 배합 후 사용한다. 도료통마다 VOCs가 휘발되지 않도록 밀폐가 잘되어 있어, 그림 6-3의 일반적인 도장업체들의 도료 보관 방법보다 도료를 오래 보관할 수 있으며, 도료통의 VOCs가 휘발되지 않는다.

[그림 6-2] 도료 보관 및 혼합기가 설치되어 있는 도료 보관실

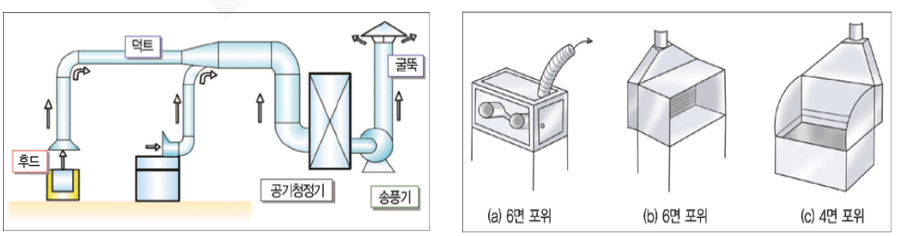
[그림 6-3] 도료 보관실이 없는 업체의 도료 보관

2004년 환경부 연구에서 위의 두 곳(도료보관 시스템이 설치된 곳과 설치되지 않은 곳)을 THC meter로 이용해 측정해 본 결과, 도료보관 시스템이 설치되어 있는 곳은 7ppm, 혼합기가 설치되어 있지 않은 곳은 30~50ppm 이상의 농도를 보였다. 이런 결과의 의미는 사용 후 보관되고 있는 도료통의 밀폐가 잘되지 않아, 희석제와 혼합된 도료의 VOCs 물질이 배출된다는 것을 추정할 수 있다. 따라서 도료 보관 중 발생하는 VOCs가 상당량 대기 중으로 배출되고 있어, 이를 저감하는 방안이 요구된다.

도료 보관 장소에서 VOCs 물질을 줄이기 위해서 그림 6-4와 같이 덮개가 있는 도료 계량컵을 사용하여 조색한 후, 도색하고 남은 도료는 이 용기에 보관하면 보관 중에 발생하는 VOCs의 양을 줄일 수 있다. 덮개가 없어 도색 후 남은 도료의 장기 보관이 어렵고 보관 중 희석제가 휘발되어 도료가 굳는 현상이 일어난다.

[그림 6-4] 덮개가 있는 도료 계량컵

따라서 그림 6-5와 같이 도료 보관 장소와 도료의 조색실에 작업 시 발생하는 VOCs 물질을 발생원 근처에서 포집하여 제거하는 국소배기장치를 설치하고, VOCs를 전부 또는 부분적으로 포위하는 후드(hood)를 이용하여 도료 보관 및 취급 과정에서 발생하는 VOCs를 저감할 수 있다.



[그림 6-5] 도료 보관 및 조색실에 설치된 후드
자료: 후드의 정의 및 종류, 한국산업안전보건공단(2012)

[도장기구 세척 방법 개선을 통한 VOCs 배출 저감 및 관리 방안]

일반적으로 유성도료를 사용하는 경우, 적절한 점도 유지를 위해 도료에 용제인 시너(희석제)를 혼합하여 사용하고, 사용 장비를 세척할 때에도 용제를 사용한다. 도료의 85~90%가 휘발 성분이므로 도장기구의 세척 과정에서 상당량의 VOCs가 대기로 배출된다.

이를 방지하기 위한 가장 기본적인 방법은 장비 세척용 용제를 밀폐용기에 보관하고, 밀폐된 전용 세척 장비에서 장비를 세척하는 것이다. 또한 도장기구의 세척에 사용하는 용재를 비등점이 높은 용제로 대체하는 것이 또 하나의 방법이 될 수 있다. 비등점이 높은 경우 기화하는 데 시간이 더 오래 걸리므로 기화되기 전에 처리할 수 있는 시간적 여유가 생기기 때문이다. 그리고 장비 세척에 사용한 용제를 용제 증류장치를 사용하여 재활용하는 것이 바람직하다.

[도장기구 세척장비 개선을 통한 VOCs 배출 저감 및 관리 방안]

대부분의 자동차 정비 사업장의 경우 도장 작업에서 사용하는 스프레이건의 세척 시 외부 공간에서 용제를 사용하여 세척하는 것이 일반적이었다. 그런데 사용하는 용제는 거의 100% VOCs 성분이어서, 스프레이건의 세척 시 용제에 포함된 휘발 성분이 대기로 그대로 방출되고 있는 실정이었다.

따라서 스프레이건을 세척할 때는 그림 6-6과 같은 밀폐된 스프레이건 세척 장비를 사용한다면 스프레이건 세척 시에 방출되는 VOCs를 상당량 저감할 수 있을 것이다.

[그림 6-6] 도장용 스프레이건의 밀폐형 세척함

[수성도료 사용을 통한 VOCs 배출 저감 방안]

도장 공정에서 VOCs 배출량 저감을 위한 도료의 전환은 VOCs 배출이 적은 저용제 도료, 수성도료, 분체형 도료 등 용제 함량이 적은 도료를 이용하는 것이다. 선진국에서는 VOCs 배출 저감을 위해서 도료의 전환을 적극적으로 추진하고 있다. 선진국의 도료 성장 과정을 살펴보면 최근까지 미국의 규제치는 저용제형 도료 기술력이 높고, 유럽에서는 수성도료와 분체도료 기술력이 높다. 그러나 미국의 저용제화 기술은 용제를 더 줄일 경우 도료의 성능 저하로 문제가 발생할 수 있다. 우리나라의 경우도 2020년부터 강화된 THC 배출 기준을 만족하기 위해서 상도베이스의 경우 수성(수용성)도료와 수성도료에 사용 가능한 시너의 사용 빈도가 높아지고 있다.

[도장 전처리 공정의 VOCs 배출 저감 방안]

현재 효과적인 도장작업을 위한 기초단계인 전처리 공정은 대부분 도장부스 외부에서 진행되는 경우가 많다. 밀폐 공간이 아닌 열린 외부 공간에서 작업하는 경우 전처리 공정에서 주로 사용되는 프라이머 및 퍼티 제품에 함유된 VOCs가 인근 대기 중으로 비산 배출된다.

비산 배출되는 VOCs를 저감하기 위하여 전처리 공정부터 부스 내부에서 작업이 진행되도록 해야 한다. 혹은 작업 공간 근처에서 VOCs를 포집하여 제거하는 국소배기장치를 설치하거나 VOCs 포위가 가능한 후드(hood)를 설치하여 비산되는 VOCs를 제거해야 한다.

도장작업 전체에서 발생하는 VOCs의 배출을 줄이기 위해서는 도장 전처리 작업부터 배출되는 VOCs를 사전적으로 제거하는 노력이 필요하다. 따라서 전처리 공정을 포함하는 방지시설 혹은 전처리 공정의 비산 VOCs 저감 및 제거 장치 마련에 대한 고려가 필요할 것이다.

1-2. 방지기술 효율 향상 방안

소규모 도장시설에서 배출되는 VOCs 저감을 위한 가장 합리적인 방법은 방지기술의 효율을 향상하는 방안일 것이다. 하지만 정부 및 지자체, 업체의 관점을 고려하고 기술력과 경제성 또한 고려하여 방지기술을 선정하기는 매우 어렵다.

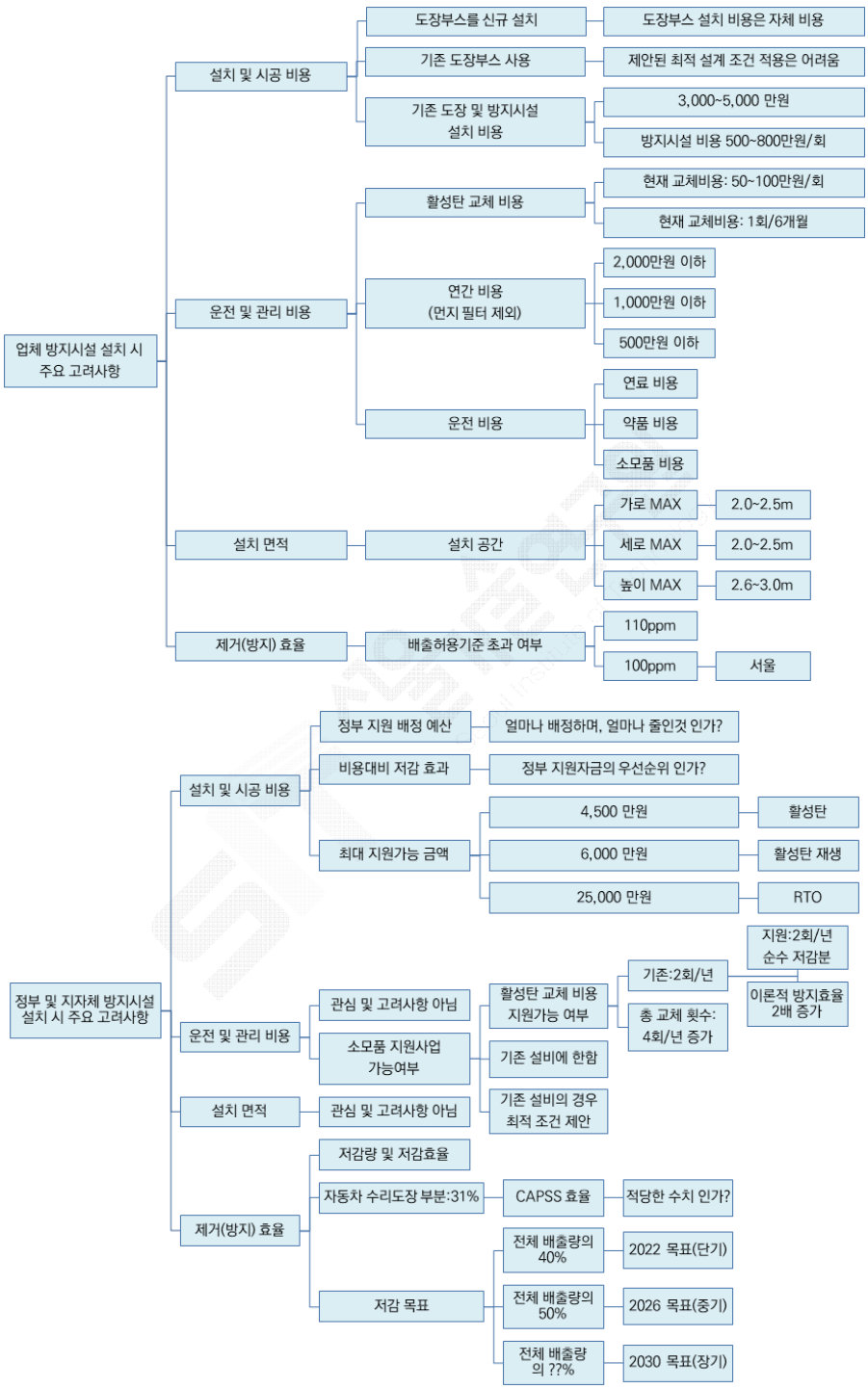
우선 자동차 수리 도장시설에 방지기술을 선정, 제안할 경우 그림 6-7과 같이 설치할 업체의 형편과 예산 지원 및 지도와 관리를 하는 정부 및 지자체에서 고려해야 할 사항을 제시하였다.

업체 측에서 방지시설 선정은 첫 번째로 설치 및 시공비용과 운전 및 관리비용이 중요하다. 대부분 영세한 업체로 이익을 창출하는 설비가 아닐 경우 최소한의 비용을 투입해 법적으로 요구되는 배출허용 기준을 만족시키고자 한다. 그래서 정부에서 설치비용을 90% 이상 지원한다 하더라도, 효율이 좋은 시설은 자부담 비율이 올라가고, 또한 운전 및 유지관리 비용이 많이 들어가므로, 업체에서는 설치를 꺼릴 것이다. 현재의 자동차 도장부스 설치비는 도장부스와 방지시설을 포함해서 3,000만~6,000만 원 수준으로 설치비가 2억 원 이상인 고효율 RTO, RCO 등은 무상으로 설치해 주더라도 운영이 불가능한 상황이다.

두 번째로 업체에서 고려하는 항목은 현재의 부지 내에서 설치가 가능한지 여부이다. 방지시설은 대부분 도장부스 뒷부분이나 옆부분에 설치되어 있다. 현재의 방지시설은 규모가 가로 1.5m, 세로 2.0m, 높이(배출 덕트 제외) 2.6m 이내의 설비이다. 현재의 크기에서 최대 30% 이상으로 크기가 커진다면, 설치는 불가능한 상황이다. 또한 기존 도장부스 자체가 콤팩트한 카트리지 타입의 활성탄 흡착탑에 최적화되어, 제안될 방지시설의 종류에 따라 일부 기술의 경우 도장부스도 신규로 설치되어야 할 상황이 발생된다.

세 번째로 방지시설의 효율이다. 앞서 측정 결과에서 보는 것과 같이, 배출허용 기준이 200ppm에서 110ppm으로 강화되었음에도 불구하고, 특정 공정에서 수행되는 측정을 제외하고 배출허용 기준을 만족시키고 있어, 이 부분은 정부 및 지자체의 대기오염물질 감축 목표와 관련하여 정부가 지원 및 감축 목표를 고려하여 적용 가능한 최적의 방지기술을 선정해야 할 것이다.

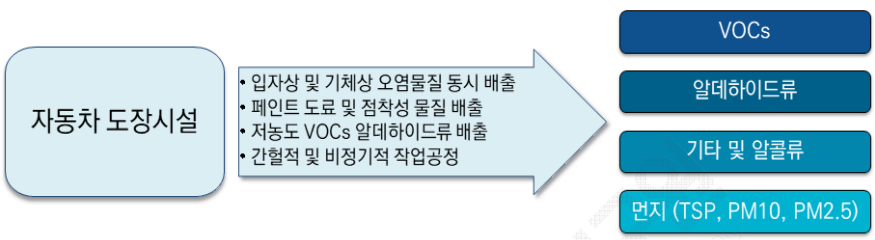
정부 및 지자체 관점에서 최적방지기술은 지원 가능한 예산, 달성하고자 하는 저감량(저감효율)일 것이다. 정부로서는 효율이 높은 방지시설을 설치하여 전체 배출량 차원에서 줄이려고 할 것이고, 이 저감량을 높이기 위해 어느 정도의 예산을 들일 수 있는지와 타 배출원에 비해 중요도 관점의 우선순위가 결정되어야 할 것이다. 지자체의 경우 악취 민원성 해결이 중요한 사항일 것이다. 악취 민원 발생을 줄이고 주민 간 분쟁을 최소화하는 방향으로 판단된다. 그렇다면 정부와 지자체, 업체 모두가 만족할 수 있는 최적 방지기술은 경제성, 비용 효율성, 중요성이 반영된 기술이 제안되어야 한다.



[그림 6-7] 자동차 수리 도장업에 적합 방지기술 설치 시 고려사항

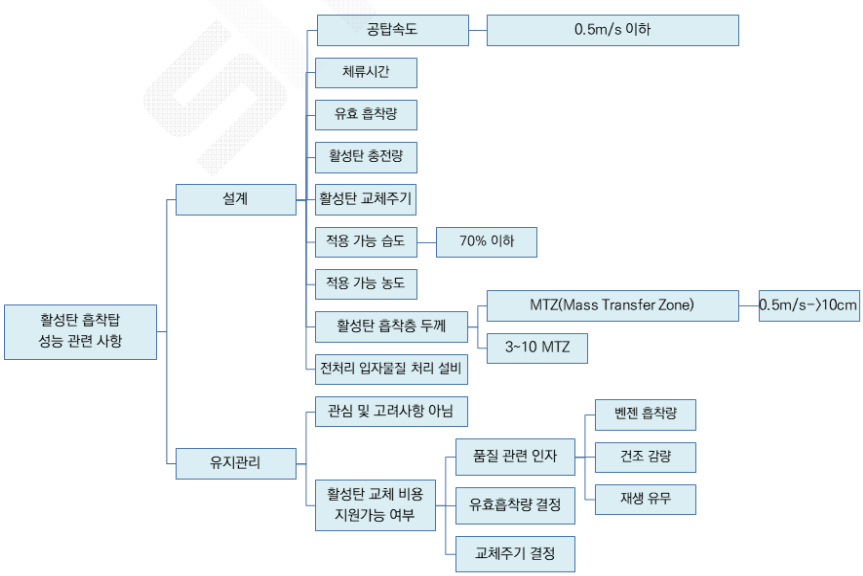
1-3. 방지시설 선정 시 고려사항

자동차 수리 도장시설의 VOCs 저감을 위한 방지시설을 선정할 때 고려할 사항은 그림 6-8에서 나타내는 것처럼 자동차 수리 도장시설의 대기오염물질의 배출 공정의 특성을 검토하고, 방지시설에 유입되는 처리 대상 가스의 유량, 온도, 압력, 입자상물질 크기 분포, 기체상 및 입자상 오염물질의 유입 부하량, 유입가스 성분을 검토하여야 한다.



[그림 6-8] 자동차 수리 도장시설 대기오염물질 배출 특성

그림 6-9와 표 6-1은 자동차 수리 도장시설 VOCs 처리용으로 가장 많이 설치되어 있는 활성탄 흡착탑 성능 관련 고려사항으로, 설계에 관련된 공탑 속도, 체류시간, 유효 흡착량, 활성탄 충전량, 활성탄 교체주기, 적용 가능 온습도, 배출 농도 등을 고려해야 하며, 유지관리의 경우도 활성탄 품질, 전처리 필터의 교체 주기 등을 고려해 운영하여야 한다.



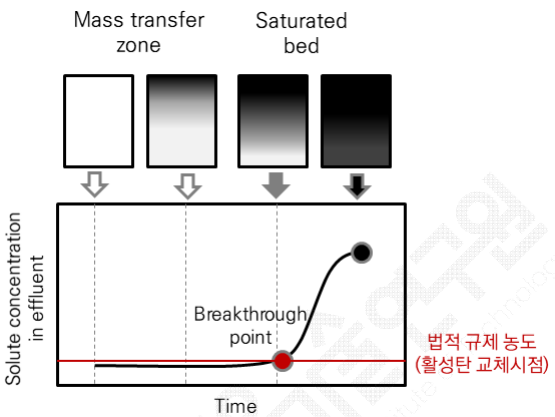
[그림 6-9] 자동차 수리 도장시설 VOCs 처리용 활성탄 흡착탑 성능 관련 고려사항

[표 6-1] 활성탄 설계 인자 참고 사항

설계 인자	단위	수치	문헌
선속도 공탑속도 겉보기속도	m/s	0.23~0.56	Air pollution control technology handbook (Karl B. Schnelle, CRC PRESS, 2002)
	m/s	0.1~0.3	활성탄 독본(Yanai,Hiroshi, 日刊工業新聞社, 1976)
	m/s	0.20~0.50	Environmental Engineer's Handbook (Irene Liu, CRC PRESS, 1999)
	m/s	0.05~0.51	Engineering and Design Adsorption Design Guide (U.S. Army, 2001)
	m/s	0.2~0.4	삼천리활성탄소주식회사 기술자료
	m/s	0.26	Odours in Wastewater Treatment (Richard Stuetz, IWA Pub., 2001)
	m/s	0.25~0.51	Odor and Voc Control Handbook (Harold J. Rafson, MaGrqw-Hill, 1998)
	m/s	0.5 이하	대기오염방지시설 설계실무편람(대구지방환경관리청)
체류시간	sec	1	활성탄 독본(Yanai,Hiroshi, 日刊工業新聞社, 1976)
	sec	1~3	삼천리활성탄소주식회사 기술자료
	sec	4	Odours in Wastewater Treatment (Richard Stuetz, IWA Pub., 2001)
	sec	1 이상	대기오염방지시설 설계실무편람(대구지방환경관리청)
활성탄 흡착층 두께	m	0.30~1.50	Air pollution control technology handbook (Karl B. Schnelle, CRC PRESS, 2002)
	m	0.5~1	삼천리활성탄소주식회사 기술자료
	m	3~10MTZ*	Environmental engineers handbook (Irene Liu, CRC PRESS, 1999)
	m	0.30~0.91	Odor and Voc Control Handbook (Harold J. Rafson, MaGrqw-Hill, 1998)
적용 가능 온도	℃	-200~50	Environmental Engineer's Handbook (Irene Liu, CRC PRESS, 1999)
	℃	〈 40	삼천리활성탄소주식회사 기술자료
적용 가능 상대습도(RH)	%	〈 50	Engineering and Design Adsorption Design Guide (U.S. Army, 2001)
	%	〈 70	삼천리활성탄소주식회사 기술자료
적용 가능 농도	ppm	100~5000	Environmental Engineer's Handbook (Irene Liu, CRC PRESS, 1999)
	%	〈 70	삼천리활성탄소주식회사 기술자료

*MTZ(Mass Transfer Zone)의 일반적인 두께는 공탑 속도가 0.5m/s일 때 3인치(7.6cm) 정도임
(자료: Air Pollution Engineering Manual, 2000, AWMA).

그림 6-10은 활성탄 흡착탑의 VOCs 흡착에 대한 파과곡선이다. 법적인 규제농도 이전에 또는 파과 이전에 활성탄을 교체해야 하는데 이 시점을 파악 및 계산하는 방식은 기존에는 이론적인 방법으로 진행하여, 계산식 및 기초 데이터의 오류에서 오는 파과 시점의 오류가 발생하고 있다. 이러한 부분도 유지관리 부분에서 센서 모니터링 등을 활용하여 해결할 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 6-10] 흡착탑 설계 관련 흡착 영역(MTZ)과 파과곡선

2. 소규모 도장시설 배출 VOCs 관리를 위한 개선 방안 제안

소규모 자동차 수리 도장시설 배출 VOCs 관리를 위해 개선되어야 할 방안을 제안하였다. 개선 방안의 제안 사항은 자동차 수리 도장시설뿐만 아니라, 소규모 도장시설 배출 VOCs 관리를 위한 제안 사항도 포함된다.

2-1. 기술적 개선 방안

[도료 성분 변화에 따른 배출 물질종(speciation) 자료 확보]

자동차 수리 도장은 현장 상황 및 도장 방식에 따라 희석제의 종류 및 사용 비율이 크게 다르다. 또한 신규 도료가 광범위하게 사용되면서 기존 휘발 성분과 다른 새로운 성분이 도장시설에서 다량 배출되고 있다. 이에 따라 도장시설에서 배출되는 VOCs의 종류와 비율이 크게 변화하고 있는 것으로 파악되었다.

자동차 도장시설에서 배출되는 VOCs는 도료 및 희석제의 변화에 따라 화학종의 구성이 달라지는데, 각각의 화학종에 따라 오존을 생성시키는 정도가 다르다. 오존생성능력(POCP: Photochemical Ozone Creation Potentials)은 에틸렌(POCP=100)을 기준으로 하여 VOCs별로 상대적 평가를 하며, VOCs 화학종별 오존생성 능력이 매우 다르다. 서울시 대기 중 VOCs의 POCP 기여도 평가 결과를 분석하면, toluene, m-p-xylene, trimethylbenzene, ethylbenzene 등 방향족 탄화수소가 POCP 기여도의 대부분을 차지했으며, 기여도가 높은 주요 10개 물질의 POCP가 전체 기여도의 70% 이상으로 매우 높은 기여도를 보이고 있었다.

따라서 소규모 도장시설에서 배출되는 VOCs를 단순 THC 농도뿐만 아니라 신규 배출 물질 및 오존전구물질 등 관리 목적에 부합하는 물질별 POCP를 고려한 오존전구물질 조사(배출량, 주변농도 조사) 및 이를 반영한 정책의 추진을 위해 VOCs 개별 물질의 시공간 배출 특성 자료 확보가 필요하다고 판단된다. 즉, VOCs 관리의 주요 목표가 대기 중 오존 및 2차 생성 미세먼지 관리이므로 이를 위해서는 POCP를 고려한 VOCs 관리 방안 마련을 위한 소규모 도장시설에서 배출되는 VOCs 화학종(speciation) 자료의 확보가 필요하다.

[소규모 사업장에 적용 가능한 고효율 VOCs 처리장치 개발]

현재까지 흡착, 흡수, 촉매 등을 이용한 다양한 방지기술이 활용되었으나 대규모 배출원에 적용 가능하고 효율을 극대화한 기술이 대부분이었다. 지금까지 중앙정부 및 지자체의 R&D 사업으로 다양한 환경기술 및 방지기술이 상용화되었으나, 대부분이 대규모 배출원에 적용 가능한 최고 성능을 목적으로 개발되었으며, 소규모 사업장을 대상으로 개발한 기술이 아닌 경우가 대부분이기에 현실적으로 소규모 시설에 적용하기가 어렵고 유지관리도 쉽지 않은 실정이다.

서울시의 자동차 수리 도장업체의 방지시설은 대부분(92% 이상)이 활성탄 흡착방식에 의존하고 있는 실정이며, 장치가 단순한 이유로 교환형 흡착 방식으로 운영되고 있다. 이러한 소규모 방지시설에서 활성탄 흡착 방식은 습도 및 고온에 취약하고 화재 등 다양한 안전 문제를 야기할 수 있다. 활성탄은 상대 습도가 높은 경우(40% 이상) 흡착능이 현저히 감소하는 단점이 있으며 자동차 수리 도장과 같이 건조 공정이 포함되는 경우에는 오히려 고온 탈착 현상으로 유입보다 유출이 높은 문제도 발생한다. 또한 케톤류(MEK, MIBK, Aceton 등)의 흡착 시에는 흡착열의 축적과 입자 사이의 정전기로 발생하는 자연발화로 화재의 위험성을 내포하고 있어 운전 후에도 공회전을 통하여 흡착탑 내부 온도를 50℃ 이하로 환기한 다음 운전을 종료해야 하는 등 각별한 주의가 요구된다.

따라서 도장시설 같은 소규모 VOCs 배출업의 방지시설에 적용 가능한 고효율 VOCs를 효과적으로 처리할 수 있는 최적 가용기술(BAT: Best Available Technology)이 필요한 실정이다. VOCs 저감기술은 크게 4가지로 흡착, 연소, 세정, 생물 탈취가 있으며 비연속식 운전과 순간부하율이 높은 도장시설의 특성상 생물 탈취와 연소장치는 적용에 한계가 있다. 따라서 세정법과 흡착법을 혼합하는 방식을 활용하거나 주요 VOCs 물질에 특화된 무기성 흡착제를 활용(예: 제오라이트 흡착제)하고 반복적으로 재생하는 방식 등 기존 활성탄 흡착을 대체할 수 있는 기술의 개발이 시급한 실정이다.

[IoT 기반 상시 모니터링을 통한 방지시설 효율 향상과 신뢰성 확보 방안]

소규모 자동차 수리 도장업 방지시설은 1년 2회(반기별 1회) 자가 측정하여 그 기록을 보관하도록 관계 법령에 규정되어 있다. 그러나 활성탄의 성능 저하 및 조기 파과에 따른 방지시설의 성능 저하로 방지시설 효율에서 신뢰성이 매우 낮은 것이 현실이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 활용할 수 있는 방안은 상시 모니터링을 통한 유지관리 방안이다.

상시 모니터링은 VOCs 센서를 이용하여 실시간으로 측정하고 그 결과를 웹 기반에 데이터화하여 모니터링하는 정보화기술이다. 이 데이터를 활용하면 방지시설의 운전 상태 및 흡착제의 성능 저하, 교체주기 산정에 효율적으로 활용할 수 있으며, 소규모 방지시설의 운전 상태 파악, 흡착제 교체주기 및 유지관리 필요 시점을 예측 대응할 수 있는 장점이 있다. 따라서 방지시설의 효율 향상과 신뢰성 확보를 위해 상시 모니터링 방안 도입을 위한 시범사업의 추진을 고려해 볼 필요가 있다.

2-2. 정책적 개선 방안

[도료 보관 및 도장 전처리에서 VOCs 비산 대책 필요]

도료 및 희석제 보관실은 도료 원재료 보관 및 조색 과정을 진행하는 장소이며, 대기흡입 장치를 설치하여 도료 및 용제에서 배출되는 유증기를 방지시설로 유입시켜 처리하도록 해야 한다. 그러나 대부분의 중소 규모 도료 보관실은 흡기 설비를 구비하지 않고 설치, 운영되고 있는 실정이며 이에 따른 VOCs 비산 배출 관련 대책이 필요하다.

도장 전처리 공정에서 분리(기존 도장을 벗겨내는 일), 퍼티 및 샌딩의 경우 대부분의 업체에서 도장부스 내부가 아닌 개방된 외부에서 시행하고 있으며, 전처리가 완료된 이후의 도장 과정만 밀폐된 부스 내에서 이루어진다. 도장부스처럼 밀폐되지 않은 외부 공간에서 작업하는 경우 전처리 과정에서 사용하는 프라이머 및 퍼티에 함유된 VOCs가 대기 중으로 비산 배출된다. 따라서 실제 현장 여건을 반영하여 비산 배출되는 VOCs를 줄이기 위한 대책이 필요하며, 작업공간을 엄격히 분리하기 위한 작업 공정별 비산 배출량 조사 등의 사전 조사가 요구된다.

[활성탄 흡착탑 효율 향상을 위한 설계 및 설치 기준 마련]

현재 소규모 도장시설에 설치된 방지시설에 대한 VOCs 규정은 배출구 배출허용 기준(THC 110ppm)으로만 제시되어 있으며 방지시설의 설치 기준은 없다. 대기오염물질 배출시설의 배출구 VOCs 농도는 THC 측정기로 30분 평균농도를 측정하도록 규정되어 있으나 비연속식 도장시설의 작업 특성상 30분간 THC 평균농도가 110ppm을 초과하는 경우는 거의 존재하지 않는다. 따라서 방지시설의 VOCs 제거 효율이 낮은 수준이라 하더라도 배출허용 기준을 만족하는 상황이다.

소규모 도장시설에 설치된 방지시설의 효율 개선을 위해서는 법 또는 조례 등의 관련 규정을 작업 방식에 맞게 고치고, 설계 및 설치 기준을 재개정할 필요가 있다. 또한 방지시설 설치 기준에 부합하는 설계지침을 마련할 필요가 있다.

[활성탄 흡착능 기준 설정 및 평가]

현재 국내에서 유통되고 있는 활성탄은 저가의 수입 재생탄이 대부분이고, 재생탄의 경우 제작사 자체 성능 제시로 흡착 성능 및 품질 확인이 어렵다. 그럼에도 불구하고 도장시설 방지시설에 들어가는 활성탄은 주기적인 교체 여부만 확인하도록 되어 있으며, 품질 기준 또는 규정이 존재하지 않아 저급 활성탄이 흡착탑에 공급되더라도 이를 확인하여 제재할 방법이 없는 상황이다. 따라서 활성탄 흡착탑 유지관리 기준을 설정하고, 활성탄 품질을 평가할 수 있는 방안 도입이 필요하다.

[현장에서의 지속적인 관리와 지도지침 관련 규정 개선]

소규모 도장시설 현장의 현황 파악이 무엇보다 우선되어야 하며 지자체가 자체적으로 관리반을 운영하여 지속적인 현장 파악과 유지관리 노력이 필요하다. 실질적인 배출량 파악을 위한 서류작업과 측정 감독 관리를 강화하여 오염물질 발생 전 혹은 발생 단계에서부터 엄격한 관리 체계 구축이 필요하다.

지자체 현장 관리자가 활용하는 환경부의 「환경오염물질 배출시설에 대한 통합지도 점검 규정」에 따르면 대기오염물질 배출시설 지도 점검 시 방지시설 가동 실태 및 운영실적 점검 항목으로 시설용량과 풍량 비교, 충전된 활성탄의 양과 활성탄 교환 실적, 적산전력계 가동시간 등을 확인하도록 되어 있다. 그러나 이들 항목을 서류상으로만 확인해서는 실질적인 VOCs 저감 효과를 기대하기 어렵다. 현장에서 관리자가 활용할 수 있는 보다 구체적이고 현실적인 점검항목 지침서를 제시하고, 환경문제가 지속되는 중점 관리업체의 방지시설에는 제거효율의 개선 권고 및 명령을 내릴 수 있도록 관련 규정을 강화할 필요가 있다.

[방지시설 설계 및 유지관리 기준 마련]

소규모 자동차 수리도장시설은 「대기환경보전법 시행규칙」에 규정된 비연속식 도장시설로 분류되며 배출허용 기준은 THC 110ppm 이하(2020. 1. 1.부터)이다. 또한 대기오염물질 배출목록에 근거한 대기정책지원시스템(CAPSS)에서 도장설비 방지시설의 CAPSS 배출량 산정식에 사용하는 방지효율은 31%를 일률적으로 적용한다. 그러나 현장에서는 THC 기준은 만족하지만 CAPSS의 방지효율을 달성하기에는 어려운 것이 현실이다.

서울시의 자동차 수리도장 업체의 92% 이상이 활성탄 흡착 방식의 방지시설에 의존하고 있으나 흡착시설의 설계 및 유지관리 기준이 명확하지 않고 지속적으로 바뀌고 있는

도료의 특성과 작업 방식을 제대로 반영하지 못하고 있는 실정이다. 특히 자동차 보수 도장시설의 방지시설 설치 신고 시 원료 사용량 및 오염물질 배출량을 예측한 명세서를 신고자가 제시하도록 하고 있으나, VOCs 배출량 예측명세서의 계산 과정이 변경된 도료의 특성을 제대로 반영하지 않고 과거의 서류를 답습하여 작성되고 있어 VOCs 발생량의 변화된 기준 제시가 필요하다. 그 외에도 도료 종류에 따른 VOCs 부하량, 운전 조건(온도, 습도)을 고려한 흡착제 용량 및 흡착제 교환주기 등의 변화된 조건을 반영하지 못하고 획일적으로 6개월 1회 교체로 고착화된 현실을 감안하면, 소규모 자동차 수리도장업의 방지시설에 VOCs 제거 효율을 기대하기는 어려운 실정이다.

서울시에서는 2004년 이후부터 자동차 정비시설을 대상으로 방지시설 종류 및 제거효율과 관련한 조례를 규정하고 이를 시행해 왔다. 방지시설로는 흡착, 생물학, 산화반응 등의 방지시설을 설치하도록 규정하였고, 특히 흡착시설의 경우 흡착제 재생시설을 설치하도록 하고 있다. 또한 방지시설의 효율은 배출가스양에 따라 70~85%로 제거효율을 유지하도록 하였다. 다만 이 조례는 2007년 5월에 개정되기 전까지 유효하였고, 그 이후 방지시설 처리 효율 관련 기준이 삭제되었다. 해당 조례에서 방지시설의 제거효율이 삭제된 이후에는 방지효율 관련 기준은 현재까지 새로 지정되지 않고 있다.

방지효율 유지 관리 기준 설정을 위해서도 배출 농도 및 시험 방법 표준화가 필요하다. 그 대안으로 IoT 기반 연속 모니터링 장치 적용 시범사업 등을 추진할 필요가 있으며, 수행 결과를 바탕으로 향후 실효적인 유지 관리 기준 및 방안을 설정해야 한다.

[표 6-2] 서울시 환경기준 조례(2004)

업종	배출시설	설치 기준
자동차 정비시설	가. 용적 5m^2 이상 또는 3마력 이상의 도장시설 (건조시설 포함)	방지시설은 다음과 같은 시설을 설치한다. ① 활성탄 등의 흡착시설 단, 흡착제의 휘발성유기화합물 흡착 성능이 한계에 도달하면 흡착된 고농도의 휘발성유기화합물을 탈착·회수하여 처리하는 흡착제 재생시설을 설치하여야 한다. ② 생물학적 처리시설 ③ 열 또는 촉매 산화반응시설 ④ 저온응축 또는 흡수시설 ⑤ ①, ④와 동등하거나 그 이상의 방지효율을 지닌 시설 2. 방지시설의 제거효율은 다음과 같다. - 처리효율(VOCs 제거율) 배출가스양 10,000m^2/시간 이상: 70% 이상 배출가스양 10,000m^2/시간 미만: 85% 이상

주: 가. 배출시설이라 함은 「대기환경보전법」 제10조의 규정에 따른 배출시설의 설치허가(또는 신고) 대상 시설을 말한다.

[표 6-3] 대기오염물질 배출허용기준(서울특별시 환경기본 조례 15조 관련, 별표 2)

대상 오염물질	배출시설	배출허용 기준
2. 탄화수소(THC)	가. 도장시설(건조시설 포함) (1) 연속식 (2) 비연속식	 40ppm 이하 100ppm 이하

[실효성 있는 지원 사업 추진 필요]

정부와 지자체는 미세먼지 저감을 위해 '소규모 사업장 방지시설 설치 지원 사업', '미세먼지 집중관리 구역 설정', '미세먼지 저감을 위한 자치구 특화사업' 등 지원사업을 추진하여 방지시설 설치 비용을 지원하고 있다. 활성탄 흡착탑 방지기술에서 핵심 기술이라 할 수 있는 활성탄과 관련한 지원사업은 부재이다. 따라서 지원사업 추진 시 신규 방지시설 설치의 일회성 지원사업보다는 활성탄 교체 비용을 지원하거나, 교체주기 관리, 지자체에서 고품질의 활성탄 공동구매 등을 통한 활성탄 유지관리 비용을 지원하고 특히 정부 및 지자체 예산 투입에 따른 방지시설 교체 공사 시 방지효율 측정이 정밀하게 이루어질 수 있는 조치가 필요하다. 또한 일부 사업장은 방지시설 유지관리에 힘쓰고 있어 우수관리 사업장에 인센티브 제공 등을 고려해볼 필요가 있다.

[방지시설 설계·설치, 유지관리를 위한 IoT 기술 도입과 관련한 지침서 마련]

앞에서 언급한 활성탄 흡착탑 설계, 활성탄 품질관리, 환경관리 지도지침 개선 등은 복잡해 단기간 실행이 어려운 게 사실이다. 따라서 실질적인 환경 관리를 위해 방지시설의 효율과 유지 성능을 실시간으로 모니터링할 수 있는 IoT 기술의 시범적인 도입을 바탕으로 흡착탑 설계·설치·유지관리를 효과적으로 검토할 지침서 마련이 필요하다.

2-3. 결론

자동차 수리업체 3개 업소를 대상으로 도장 작업 시 발생한 총 탄화수소(THC) 농도를 측정하고 VOCs 성분별 분석을 진행하였다. 프라이머, 실러, 상도, 열처리 건조 공정을 진행하는 동안 방지시설 전단인 도장부스 내 방지시설 유입구와 방지시설 후단인 방지시설 배출구에서 THC 측정과 공정별로 VOCs 시료를 채취하였다.

자동차 수리 도장시설의 주요 공정은 프라이머·서페이서, 상도-베이스 코트, 상도-톱코트 공정으로 조사되었다. 또 도료 함유 VOCs 주요 물질이 변화된 것으로 확인되었는데 BTEX에서 butyl acetate, Ethylbenzene, 알코올류, 알데히드류에 이르는 물질이

배출되었다. 따라서 CAPSS의 자동차 수리업 배출계수 보완이 필요할 것으로 보인다.

현재 자동차 도장시설의 배출허용 기준 만족 여부를 확인하기 위해 대기오염공정시험법에 준하여 농도 측정을 수행하였다. 하지만 방지시설 효율 평가를 위한 기준은 존재하지 않는다. 자동차 수리업 방지시설의 처리효율을 확인하기 위해서는 방지시설 후단과 전단의 THC 측정이 함께 진행되어야 하고, 도장 공정 중에서 건조 공정을 제외한 도색 공정 기간을 측정하며, 최대 측정 시간은 30분으로 제안한다.

도료 용도별 VOCs 배출 특성을 조사한 결과 도료의 VOCs 함유 기준은 도료 용도별로 차이가 있었으며, 또한 THC 발생 경향도 공정별, 작업별, 사용별로 차이가 나타나는 것을 확인하였다. 기존 및 신규 방지시설이 설치된 소규모 사업장 방지시설 처리효율 검토 결과, 도색 공정만 측정한 처리효율과 건조 공정까지 포함한 처리효율이 유사하였다. 따라서 도색 공정 기간의 방지시설 처리 효율이 대표성이 있을 것으로 판단된다. 또한 전반적으로 설계 유량 대비 실측 유량이 현저하게 낮았으며, 신규 방지시설 중에도 운전 유량, 활성탄 교체 등의 이유로 비교적 낮은 방지시설 효율이 나타났다. 방지시설의 효율 향상을 위해 운전 유량 및 흡착제 유지관리가 매우 중요한 요인임을 알 수 있다.

소규모 도장시설 VOCs 배출 관리 및 저감을 위해서는 도료의 VOCs 배출 저감 및 관리 방안과 방지기술 효율 향상 방안, 활성탄 흡착탑 유지관리를 통해 개선 방안을 도출할 수 있다. 정부와 지자체에서는 최근 대기배출 사업장을 중심으로 다양한 기술개발과 관련 정책을 수립하고 추진하고 있지만, 소규모 사업장의 경우 대형 사업장에 비해 기술적·제도적 관리가 여전히 미흡한 게 현실이다. 따라서 대기오염 관리의 사각지대인 소규모 사업장의 대기오염 관리를 위해서는 단발성 정책 추진이 아닌 도장 도료 및 방지시설의 지속적인 효율 유지와 관리 등을 통해 단기적·장기적 추진계획을 수립하여 관리할 필요가 있다. 또한 본 연구를 통해 제시한 기술적·제도적 개선 제안을 통해 실효성 있는 관리 기준의 설정과 더불어 지자체와 사업주 간의 상호 협력관계 형성을 통한 소규모 사업장의 정기적인 유지관리가 필요하다.

서울과학기술대학교
Seoul National University of Science and Technology

서울과학기술대학교
Seoul National University of Science and Technology

참고문헌

국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(III), 국립환경과학원, 2013

국토교통부 통계누리, 2018

대구지방환경관리청, 대기오염방지시설 설계실무편람, 대구지방환경관리청, 1999

대기배출원의 VOC 배출계수 개선을 위한 기획연구, 국립환경과학원, 2012

대기오염물질 배출시설 해설집, 환경부, 2014

대기정책지원시스템(CAPSS) 통계자료, 2017

대한환경공학회, 대기중 VOCs의 POCP 기여도 평가, 서울시 보건환경연구원, 2010

대기환경보전법 대기환경보전법 시행규칙

서울특별시 환경기준 조례

소규모 대기배출사업장(4,5종) 배출원 조사, 국립환경과학원, 2019

소규모사업장 방지시설 설치 지원사업 업무 매뉴얼, 환경부, 2018

소규모 자동차 수리업체의 도장으로 인한 대기오염물질 관리 및 저감방안, 환경부, 2013

소규모 VOCs 배출시설의 배출계수 산정방법 개선 연구 (I), 국립환경과학원, 2016

악취방지법 시행규칙

휘발성 유기화합물질 방지시설 설계지침, 환경부, 2000

자동차 정비 도장시설 VOC 적정관리방안 연구 및 환경관리지침 개발 최종보고서, 환경부, 2004

자동차정비 도장시설 VOC 환경관리지침, 환경부, 2004

중소형 도장시설에 적합한 VOC 저감기술 개발 (I), 국립환경과학원, 2008

페인트 및 잉크 중 VOC 함량 기준설정 등에 대한 연구, 환경부, 2002

후드의 정의 및 종류, 산업안전보건공단, 2012

2019 대기배출원조사 - 대기배출원관리시스템 운영결과(2018년) -, 국립환경과학원, 2019

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Documentation of the TLV's

and BEI's with Other World Wide Occupational Exposure Values. CD-ROM Cincinnati, OH 45240-1634 2005., p. 14.

An, T., Huang, Y., Li, G., He, Z., Chen, J., & Zhang, C., Pollution profiles and health risk assessment of VOCs emitted during e-waste dismantling processes associated with different dismantling methods. Environment international, 2014., p. 186.

Carter, W. P., Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds. Air & waste, 1994., p. 881.

Grant, W.M. Toxicology of the Eye. 3rd ed. Springfield, IL: Charles C. Thomas Publisher, 1986., p. 413.

Kostiainen, R., Volatile organic compounds in the indoor air of normal and sick houses. Atmospheric Environment, 1995., p. 693.

Mackison, F. W., Stricoff, R. S., & Partridge, L. J. (1981). Occupational health guidelines for chemical hazards (publication 81-123). US Department of Health and Human Services.

Wu, X., Lu, Y., Zhou, S., Chen, L., & Xu, B., Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation. Environment international, 2016., p. 14.

Zenz, C., O.B. Dickerson, E.P. Horvath. Occupational Medicine. 3rd ed. St. Louis, MO., 1994., p. 724.

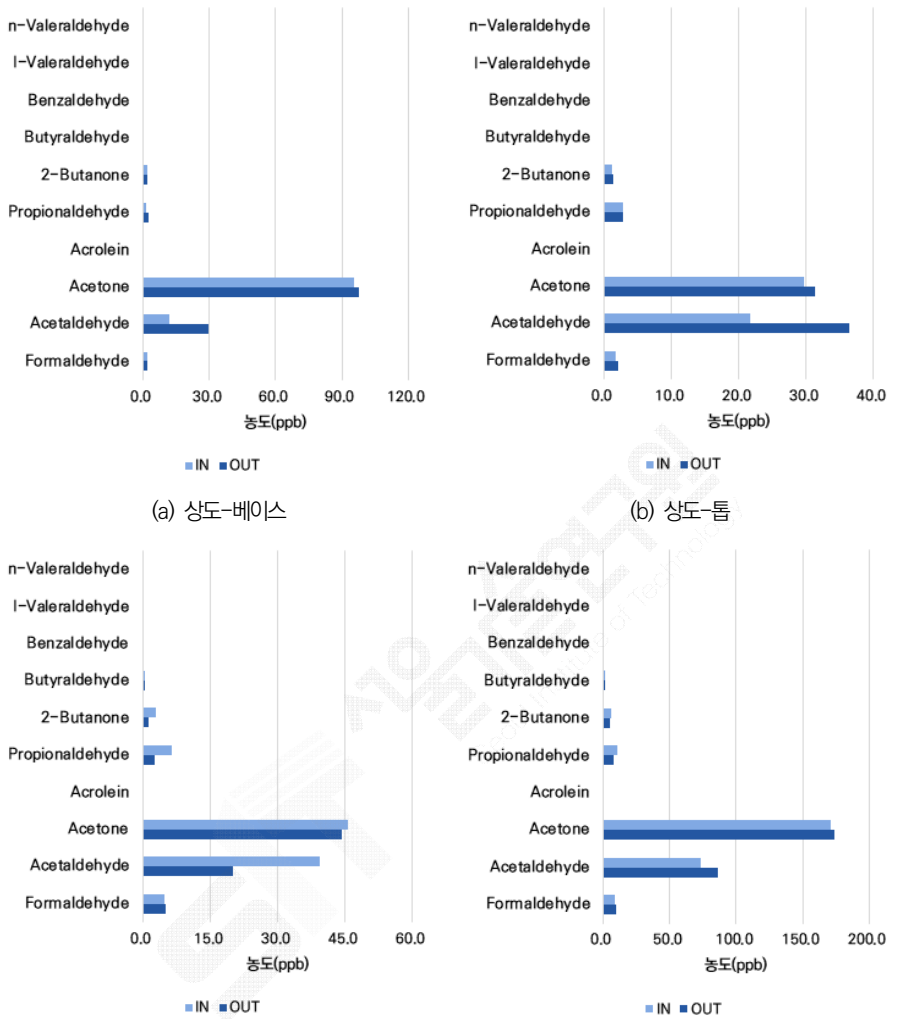
2001 Progress Report: VOC Exposure in an Industry Impacted Community, 2001, EPA.

부록

[AA 사업장 도장시설 알데히드류 기기분석 결과 (단위: ppb)]

[부록 표 1] AA 사업장 공정별 알데히드류 물질 농도 (단위: ppb)

방법검출 한계	No.	Compouds	AA							
			프라이머		상도 베이스		상도 톱		열건조	
			IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
0.18	1	Formaldehyde	-	-	1.7	2.0	1.7	2.2	4.9	5.0
0.15	2	Acetaldehyde	-	-	12.0	29.6	21.7	36.4	39.4	20.1
0.40	3	Acetone	-	-	95.7	97.5	29.8	31.5	45.8	44.5
0.18	4	Acrolein	-	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
0.24	5	Propionaldehyde	-	-	1.4	2.5	2.9	2.8	6.4	2.6
0.23	6	2-Butanone	-	-	1.8	2.2	1.2	1.3	3.0	1.3
0.25	7	Butyraldehyde	-	-	N.D	0.4	N.D	N.D	0.5	0.4
0.53	8	Benzaldehyde	-	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
0.55	9	I-Valeraldehyde	-	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
0.41	10	n-Valeraldehyde	-	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
알데히드류 합계			0.0	0.0	112.6	134.2	57.3	74.1	100.0	74.0

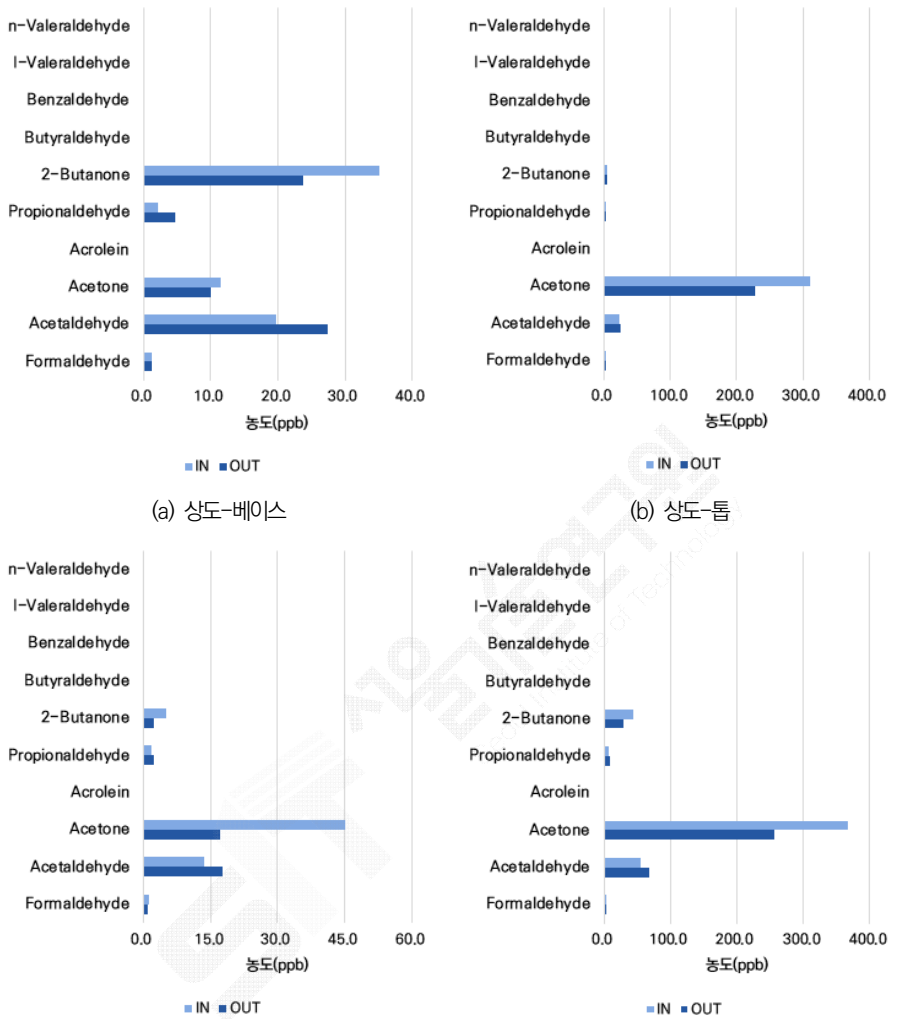


[부록 그림 1] AA 업체(수성도료) 도장시설의 공정별 알데히드류 기기분석 결과

[BB 사업장 도장시설 알데히드류 기기분석 결과 (단위: ppb)]

[부록 표 2] BB 사업장 공정별 알데히드류 물질 농도 (단위: ppb)

방법검출 한계	No.	Compouds	BB					
			상도 베이스		상도 톱		열건조	
			IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
0.18	1	Formaldehyde	1.3	1.3	1.4	1.5	1.2	0.9
0.15	2	Acetaldehyde	19.7	27.4	22.8	24.0	13.5	17.6
0.40	3	Acetone	11.4	10.0	310.8	228.7	45.1	17.2
0.18	4	Acrolein	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
0.24	5	Propionaldehyde	2.3	4.7	3.1	2.6	1.7	2.4
0.23	6	2-Butanone	35.1	23.7	3.8	3.7	5.1	2.3
0.25	7	Butyraldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
0.53	8	Benzaldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
0.55	9	I-Valeraldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
0.41	10	n-Valeraldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
알데히드류 합계			69.9	67.0	341.9	260.4	66.5	40.4



(a) 상도-베이스 (b) 상도-톱

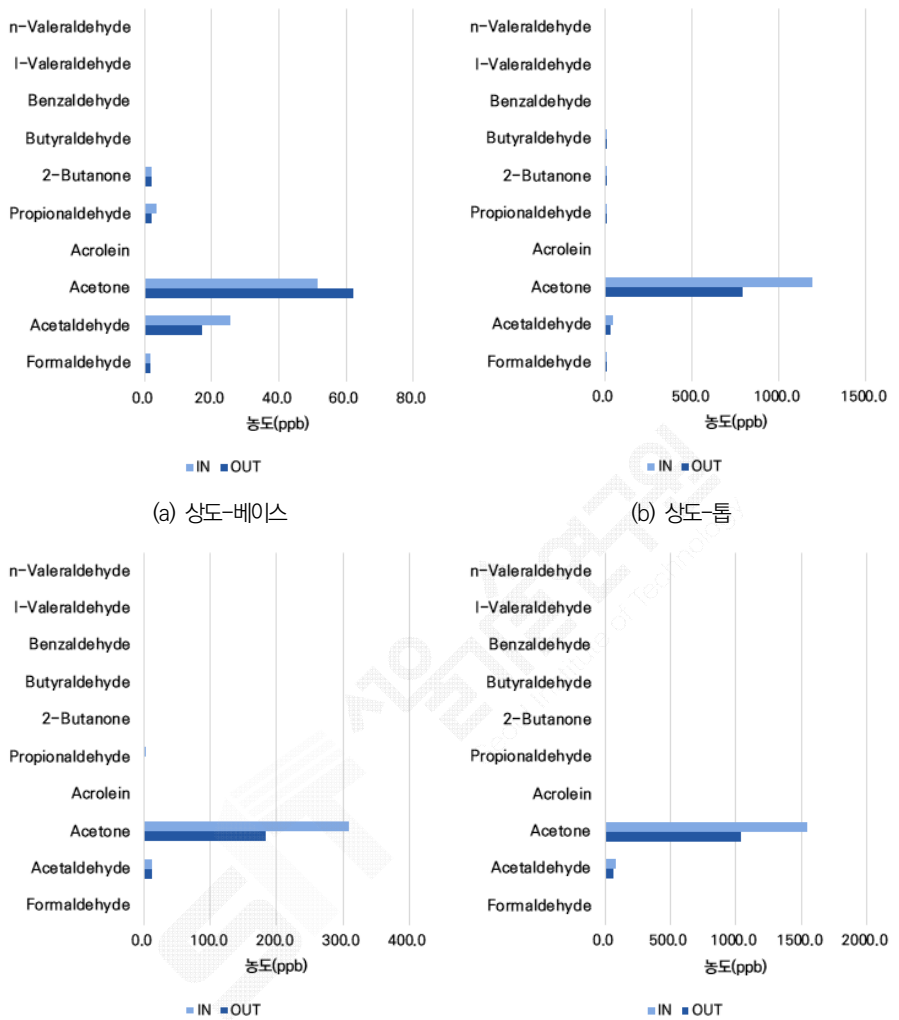
(c) 열건조 (d) 전체 공정

[부록 그림 2] BB 업체(유성도료) 도장시설의 공정별 알데히드류 기기분석 결과

[CC 사업장 도장시설 알데히드류 기기분석 결과 (단위: ppb)]

[부록 표 3] CC 사업장 공정별 알데히드류 물질 농도 (단위: ppb)

방법검출 한계	No.	Compouds	CC									
			프라이머		실러		상도 베이스		상도 톱		열건조	
			IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
0.18	1	Formaldehyde	-	-	-	-	2.0	1.9	2.3	2.5	1.8	1.6
0.15	2	Acetaldehyde	-	-	-	-	25.6	17.3	47.6	30.3	12.4	12.8
0.40	3	Acetone	-	-	-	-	51.5	62.3	1189.6	793.1	309.0	183.6
0.18	4	Acrolein	-	-	-	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
0.24	5	Propionaldehyde	-	-	-	-	3.5	2.3	7.3	3.3	1.9	1.6
0.23	6	2-Butanone	-	-	-	-	2.2	2.1	1.7	1.3	1.0	0.6
0.25	7	Butyraldehyde	-	-	-	-	0.3	0.4	0.5	0.4	0.7	0.3
0.53	8	Benzaldehyde	-	-	-	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
0.55	9	I-Valeraldehyde	-	-	-	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
0.41	10	n-Valeraldehyde	-	-	-	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
알데히드류 합계			0.0	0.0	0.0	0.0	85.1	86.3	1249.0	830.8	326.6	200.4



(a) 상도-베이스 (b) 상도-톱

(c) 열건조 (d) 전체 공정

[부록 그림 3] CC 업체(수성도료) 도장시설의 공정별 알데히드류 기기분석 결과

[본 연구에서 측정된 VOCs 및 알데히드류 인체위해성 관련]

그림 4-23, 그림 4-25, 그림 4-27에서 AA, BB, CC 사업장의 도장작업 시 발생하는 VOCs의 성분 분석 결과를 확인할 수 있다. 세 사업장에서 Butyl Acetate, Toluene, Ethylbenzene, m,p-Xylene, o-Xylene 등의 주요 성분이 높은 수준으로 검출되었다.

일반적으로 휘발성유기화합물류(VOCs)의 노출 증가는 호흡기계에 유해한 영향을 미치는 등 건강에 유해한 영향을 미친다. 특히, 인체 발암을 유발할 수 있는 발암성 물질의 경우 IARC(International AgencyforResearchonCancer, 국제 암 연구소) 에서 등급별로 분류하여 이 물질에 대한 특별관리가 요구되고 있으며, 현재는 비발암성 물질로 분류되어 있다고 하더라도 저농도로 장기간 VOCs에 노출되는 경우 인체 위해 가능성이 증가하기 때문에 건강영향에 대한 주의가 필요하다.

AA, BB, CC 사업장의 분석 결과 중 일부 VOCs 성분은 인체 위해성이 높은 성분을 포함하고 있어 사업장별 독성물질에 대한 세부적 관리와 노출 저감을 위한 대책 마련이 필요하다. 분석 성분중 IARC 그룹으로 분류되어 있는 물질들은 Ethylbenzene, Toluene, Formaldehyde, Acetaldehyde이다.

[부록 표 4] 국제암연구소(IARC) 발암 발생 등급 분류표

그룹	인체 발암성
Group 1	사람에게 발암성이 있는 그룹 (Carcinogenic to humans)
Group 2A	암 유발 후보 그룹 (Probably carcinogenic to humans)
Group 2B	암 유발 가능 그룹 (Possibly carcinogenic to humans)
Group 3	발암물질로 분류 곤란한 그룹 (Not classifiable as to its carcinogenicity to humans)

Ethylbenzene(IARC Group 2B)

- IARC 발암물질 분류에서 인체 발암 가능 물질로 분류되어 있다(Group 2B).
- 공기 중 200ppm에서 일시적으로 눈을 자극한다. 2,000ppm에서 안 자극은 즉각적이고 심각하며, 5,000ppm에서는 눈과 코에서 자극이 유발된다(Grant, 1986).
- 폐 기능 장애가 있는 사람, 특히 기도 장애가 있는 사람의 경우 반사성 기관지 경련으로 인해 증상이 악화 될 수 있다(Mackison FW et al., 1981).

Toluene(IARC Group 3)

- 공기 중의 Toluene 노출 후에는 중추신경계 손상이 가장 의심되며 어지러움, 혼동, 기억력상실, 술에 취한 행동, 오심, 식욕부진 같은 증상이 나타난다.
- 사람이 최대 800ppm의 높은 농도의 Toluene에 노출될 경우, 8시간 후 동공이 확장되고 피로와 관련된 반응의 손상이 나타난다(Grant, 1986).
- Toluene 노출에 따른 인체에서의 급성 효과는 다음과 같다: 200ppm: 목과 눈에 약한 자극; 400ppm: 눈물이 분비되며 목과 눈에 자극(Zenz, C et al., 1994).

Formaldehyde(IARC Group 1)

- Formaldehyde의 경우 IARC 발암성 분류에서 인간에게 발암성이 확인된 물질로 분류되어 있으며(Group 1), 흡입, 경구, 경피 흡수 등에서 광범위한 급성 독성을 나타내고, 만성적으로 흡입 독성, 간 독성, 유전 독성이 관찰되었으며 발암성 시험 결과 동물과 인간에서 모두 확인되었다.
- 랫드와다른 실험동물에서 고농도(100ppm 이상)에 노출되면 타액 분비, 급성 호흡곤란, 구토, 경련 및 사망이 발생했다(IARC, 1972).
- 포름알데히드는 인간에게 기관지 천식과 유사한 증상을 일으키는 것으로 밝혀졌다(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2005).

Acetaldehyde(IARC Group 2B)

- 50ppm 아세트알데히드 증기는 사람에서 안구 자극성을 유발하며, 산업환경에서 200ppm 이상에 만성 노출시 자극성이 극심해진다(Grant, 1986).
- 아세트알데히드는 사람에서 안구, 코, 기도 자극성을 유발한다. 만성 중독증상은 만성 알코올 중독 증상과 유사하다.
- 아세트알데히드 증기에 노출 시 나타나는 임상 증상으로, 농도 의존적인 홍반, 기침, 폐부종, 중추억제 등이 있다. 고농도에서 마비로 인한 사망에 이를 수 있다.

[대기배출시설 설치사업장 정밀 지도 점검표]

【별지 제2호서식(2)】

대기배출시설 설치사업장 정밀 지도·점검표

Ⅰ. 사업장 현황

허가(신고) 번 호		허가(신고) 년 월 일		허가(신고) 기 관	
사업장명					
대 표 자			사업자등록번호		
환경기술인	성 명		선임일자		
	자 격		자격증 번호		
	직 위				
사 업 장 소 재 지	(전화번호 :)		지 역 구 분		
업 종		종 별		생 산 품	

배출시설 변경사항				
년 월 일	시 설 명	용 량	대 수	
총 배출시설 수		총 배출구 수	시료채취 배출구	

최근 ( )개월 방지시설 운영현황					
배 출 시설명	방 지 시설명	허 가 용량(㎥/분)	가동시간(일)	원료사용량	
※단위시설별 작성	자가측정 풍량(㎥/분)	전기 사용량(kw)	흡수액 등 교환주기	흡수액 등 처리실적	

210㎜×297㎜[일반용지 60g/㎡(재활용품)]

[휘발성유기화합물(VOC) 배출사업장 지도 점검표]

【별지 제2호서식(4)】

휘발성유기화합물(VOC) 배출사업장 지도·점검표

Ⅰ. 사업장 현황

신고 번호		신 고 년월일		신고 기관	
사업장명					
대표자			사업자등록번호		
주 소	(전화번호 :)				
업 종					
배출시설	년월일	시설명	규모	수량	
신고사항					
배출억제·방지시설	대상물질	배출억제·방지시설명	용량	설치위치 및 대수	

210㎜×297㎜〔일반용지 60g/㎡(재활용품)〕

Abstract

Management Plan of Volatile Organic Compounds emitted from Small-scale Painting Facility

Min Young Song · Woosuk Choi · Haejoon Chun · Kiyong Lee

The aim of this study was to investigate a management method for a small-scale painting facility in terms of its VOCs emissions to prepare measures that reduce the presence of VOCs in small-scale painting facilities through an analysis of VOC reduction technologies.

Although the need to reduce and manage volatile organic compounds (VOCs) has increased, current methods to address the discharge and management of these compounds from small-scale painting facilities in urban areas remains insufficient.

To prepare strategies to simultaneously respond to fine dust (PM2.5) and ozone (O_3), it is necessary to implement effective air pollution reduction policies centered on emission sources and also to promote the use of management systems.

Volatile organic compounds (VOCs) are harmful substances that are continuously emitted in urban areas and are involved in the generation of ultrafine dust (PM2.5) and ozone (O_3).

Volatile organic compounds (VOCs) consist of air pollutants in gas that are continuously emitted from large industrial complexes as well as from urban industries such as laundry, printing, restaurants, automotive maintenance and

painting facility. VOCs result in ozone (O_3) and fine dust generation due to chemical reactions in the atmosphere. In addition, VOCs are toxic depending on the substance, and some of their ingredients are known to be carcinogenic and may have harmful effects on the nervous system and respiratory system during prolonged exposure, which requires their active management. Public interest in the generation and health effects of air pollutants, such as fine dust and gas phase materials, is increasing, and demands to strengthen their management are also increasing. As a result, from 2020, the Ministry of Environment has strengthened the standards for allowable VOC emissions (non-continuous painting facilities/hydrogen hydrocarbon THC 200 ppm → 110 ppm) due to the use of organic solvents. The government has established a comprehensive fine dust management plan, a basic plan for air environment management in the metropolitan area, and a VOC management plan for domestic convergence solvent use.

Although VOCs are partially managed to reduce PM2.5 and O_3 generation, the management of emissions from small facilities around the city remains insufficient. Of the 56,584 air emission businesses nationwide, small businesses account for 92% (52,221), but most of them are small, making it difficult to improve prevention systems and adequately manage air emissions. Most of the emissions from small-scale facilities are classified into 4 or 5 types, so the effectiveness of VOC processing and management is very low.

South Korea's VOC emissions are on the rise, and painting facilities account for the highest portion of use of organic solvents.

An analysis of VOCs emissions from organic solvents over the past decade (2008-2017) shows a gradual increase over that time frame. In 2017, the annual VOC emissions of organic solvents in the metropolitan area (Seoul, Gyeonggi, and Incheon) were 218,480 tons, accounting for a very high proportion of 38.8% of the nation's emissions.

The total emissions of VOCs by emission source in Seoul were 66,988 tons, of which the largest portion was due to organic solvents at 55,180 kilograms, accounting for 82.4% of the total emissions. This stands in comparison to the

11.2% for road transportation pollutants and 3.5% for non-road transportation. Regarding the particular use of the organic solvents, the amount of emissions from painting facilities was 17,523 kilograms, accounting for about 60.1% of the total emissions of organic solvents as the highest contribution to VOC emissions.

The need for air pollutant emission management has been increasing for emissions from small-scale facilities in urban areas.

Based on the classification of workplaces under the Air Quality Conservation Act, research has focused on calculating and reducing emissions for one to three types of large businesses so far (with a total amount of air pollutants generated being more than 10 tons per year). Unlike large businesses though, four to five types of small businesses (with a total amount of air pollutant generation is less than 10 tons per year) often emit pollutants into the atmosphere without the use of separate prevention facilities, and it is difficult to manage such emissions because they are not emitted from specific chemicals and locations. In addition, it is difficult to secure human resources for such tasks with professional environmental technicians, and there is an insufficient response to the emission sources through reduction methods, such as the installation and maintenance of self-prevention facilities.

In particular, there are four to five types of workplaces concentrated in residential areas in the city, and there is a risk of harmful effects to citizens through exposure to pollutants and odors, so it is essential to manage facilities and prepare continuous maintenance and prevention measures.

An analysis of the characteristics of each component of VOCs in small painting facilities reveals a higher presence of Toluene, Butyl Acetate, and Ethylbenzene, and the THC concentration is about 160 to 500 ppm.

In order to ascertain the emission characteristics of VOCs in small painting processes in four to five types of workplaces and to understand the operational status of preventive equipment, the total concentration of hydrocarbons (THC)

generated during painting was measured and analyzed according to the VOC components. During the processes including applying a primer, sealer, floor plan, and heat treatment for drying, the VOC samples were collected with THC measurements and processing at the entrance of the equipment, at the painting booth, which is the flyer of the facility, and the discharge port at the end of the equipment.

In the case of the THC concentration, the measurement was usually the highest during the paintwork process, and the peak was of about 160 to 500 ppm. Then, the THC concentration gradually decreased during heat treatment. In general, the concentration at the outlet was lower than the concentration at the inlet, and it is believed that the concentration of the pollutants decreased as it passed through the facility.

An analysis of the VOCs for 42 toxic substances, 50 ozone bulbs, and 10 odour-affected substances showed the highest total concentration of ozone bulbs. In the entire process, components such as Toluene, Butyl Acetate, Ethylbenzene, m, and p-Xylene were confirmed to be the most present. The analysis of the VOC concentration totals showed that in most processes, the sum of the VOC concentrations at the outlet was lower than the sum of the VOCs at the inlet, but in some processes, the concentration in the outlet was higher than that at the inlet.

As a result of identifying the operational status of the preventive equipment for small-scale painting facilities and measuring the prevention efficiency, the prevention equipment operates at a lower wind volume than the designed wind volume, and the prevention efficiency is low compared to the amount of activated carbon that is present.

Based on the measurements of the above THC concentrations, the preventive efficiency of three installations (one existing prevention facility installation and two new prevention facility installations) was calculated. The installation of new preventive facilities consists of a project to support the installation of small preventive equipment, as promoted by the government and local governments, and newly installed preventive equipment in 2020. In addition,

on-site visits and surveys were conducted to ascertain the current status of the operation of preventive equipment, including specifications, wind volume and activated carbon thickness, volume, filling volume, cross-sectional area, etc.

VOC removal technology, a preventive equipment for three auto repair painting businesses subject to on-site investigation, utilizes charcoal adsorption. Based on the THC, the efficiency of removal in existing preventive equipment was 27.1%, and the efficiency of removal from new equipment was 41.0%, and 40.5%.

As a result of looking at the operation status of the preventive equipment at three businesses, they operated at a low wind volume compared to their rated design. In addition, the maintenance of the prevention equipment is not streamlined because it is filled with a small amount of activated carbon and the replacement of the activated carbon is not carried out in accordance with the theoretical charcoal replacement cycle. The reason for the relatively low preventive efficiency is that the actual wind volume is significantly lower than the desorption or design factors of the substance introduced into the activated carbon adsorbent during the previous operation, so there will be significant scattering or residual substances inside the paint booth.

Problems with VOC emissions from small-scale painting facilities were analyzed through on-site surveys and by characterizing the VOC emissions.

The results of the investigation of preventive equipment and an analysis of the characteristics of the VOCs from small-scale painting facilities reveal several problems in the process of processing the emission VOCs. (1) This is a matter of setting the paint usage, spray volume, and operating time. When calculating the paint usage for the preventive facilities, the amount of paint used is often calculated without considering the actual workload (overuse), the amount of volatile content in paint is unclear, and the amount of dilution used varies widely from worker to worker, so the amount of the VOCs calculated from the spray is also very different from the design value. There was also a problem that it was difficult to calculate the exact operating time. (2) There are at least 50 types of VOCs included in the actual paint, and it is difficult to design the

preventive equipment. (3) In painting booths, painting processes (room temperature) and drying processes (60oC) are alternated non-continuously and the temperature change (room temperature → 60oC) makes it difficult to maintain heat dissipation. (4) In general, the activated carbon is produced and distributed in Korea with a low adsorption, and there are no specifications or regulations on the adsorption of the activated carbon. In addition, the emission concentration of the pollutants can be very high even before the replacement period (6 months) due to the problem of over-calculation of the adsorption capacity, which results in a huge problem in securing the performance of the preventive equipment.

To reduce the emission of the VOCs in small-scale painting facilities, management measures were prepared considering the management of the VOC emissions for paints used and improving the efficiency of the preventive technology.

A management plan was prepared to reduce the emission of the VOCs for the paint used in small-scale painting facilities. (1) To reduce the emission of the VOCs form paint, it is necessary to improve the methods to store and handle the paints, including the use of aa color-coating system and a storage box to ensure that VOCs are not volatile from each paint container. (2) The VOCs emitted during cleaning can be reduced by using enclosed cleaning equipment. (3) The use of VOCs can also be reduced by using water-based materials as much as possible, and (4) all work processes should be carried out inside the painting booth to prevent VOCs from scattering out.

To improve the efficiency of the prevention technology, (1) the characteristics of the air pollutant discharge processes from the painting facilities shall be reviewed, and (2) optimal preventive technology shall be selected by considering the design factors such as gas flow, temperature, and pressure range. However, the painting facility operators are also practically installing each of the activated carbon suction towers by considering the installation and construction costs, operational and management costs, installation area, and efficiency of the preventive facilities.

Therefore, (1) in order to improve the performance of the charcoal adsorbent tower, it is necessary to design it by considering various factors including the air tower speed, dwell time, effective adsorption, charcoal filling, thickness, applicable temperature, and pre-treatment equipment.

Technical improvements and policy measures were proposed to reduce the VOC emissions from small painting facilities.

Based on the problems and improvements for small painting facility VOCs emissions described above, we propose measures that should be improved from technical and policy perspectives.

As a way to improve the technology, VOCs emitted from small painting facilities should be assessed not only for simple THC concentrations, but also in terms of ozone bulb surveys (emissions, ambient concentrations) for each substance, and for policies to reflect them, it is necessary to secure spatio-temporal emission data. In other words, (1) securing emission specification data due to changes in the paint composition is necessary. In addition, various environmental and preventive technologies have been commercialized for R&D projects by central and local governments, but most of them were developed to offer the highest performance that is applicable to large-scale emission sources, making it difficult to implement these in small facilities in a way that is easy to maintain. Therefore, (2) it is necessary to develop customized high-efficiency VOC processing devices applicable to small businesses, and (3) to establish and manage IoT-based always monitoring systems. Through constant IoT-based monitoring, which can measure and monitored in real time using VOC sensors, the operational status of the preventive equipment and the performance of the adsorbent can be effectively assessed, and the replacement cycle and maintenance for small-scale preventive equipment can be better managed.

Policy improvement measures include those for (1) VOC scattering in paint storage and pre-painting steps, (2) preparing standards for design and maintenance of preventive equipment, and (3) establishing and evaluating standards for charcoal adsorption. In addition, (4) improving on-site environmental

management guidelines and regulations, (5) introducing IoT technologies for preventive facility design/installation maintenance, and (6) effective support projects are needed through a support for charcoal replacement systems or other incentives.

Seoul Institute of Technology

소규모 도장시설 배출 VOCs 관리방안

2020-SR-14

발행인 고인석

발행일 2021년 02월 28일

발행처 서울기술연구원 / www.sit.re.kr

ISBN 979-11-90734-54-7 93530 비매품

03909 서울특별시 마포구 매봉산로 37(상암동)DMC산학협력센터 7층

이 출판물의 판권은 서울기술연구원에 속합니다.

서울과학기술대학교
Seoul National University of Science and Technology

Management Plan of Volatile Organic Compounds emitted from Small-scale Painting Facility

Min Young Song Woosuk Choi Haejoon Chun Kiyong Lee

2020-SR-14
비매품
93530
9 791190 734547
ISBN 979-11-90734-54-7