

**반응성 물질 기반
이차생성 대기오염물질 관리
- 생활 주변 배출원**

**세종대학교
송지현**

목 차



VOCs 문제점과 관리 필요성



반응성을 고려한 관리 방안 및 우선 관리 순위 선정

1. 서울시 생활주변 소규모 VOCs 배출시설의 배출량 실측 및 성분 분석
2. 주요 VOCs에 대해 반응성을 고려한 우선 대응 순위 선정



요약 및 결론



VOCs 문제점과 관리 필요성

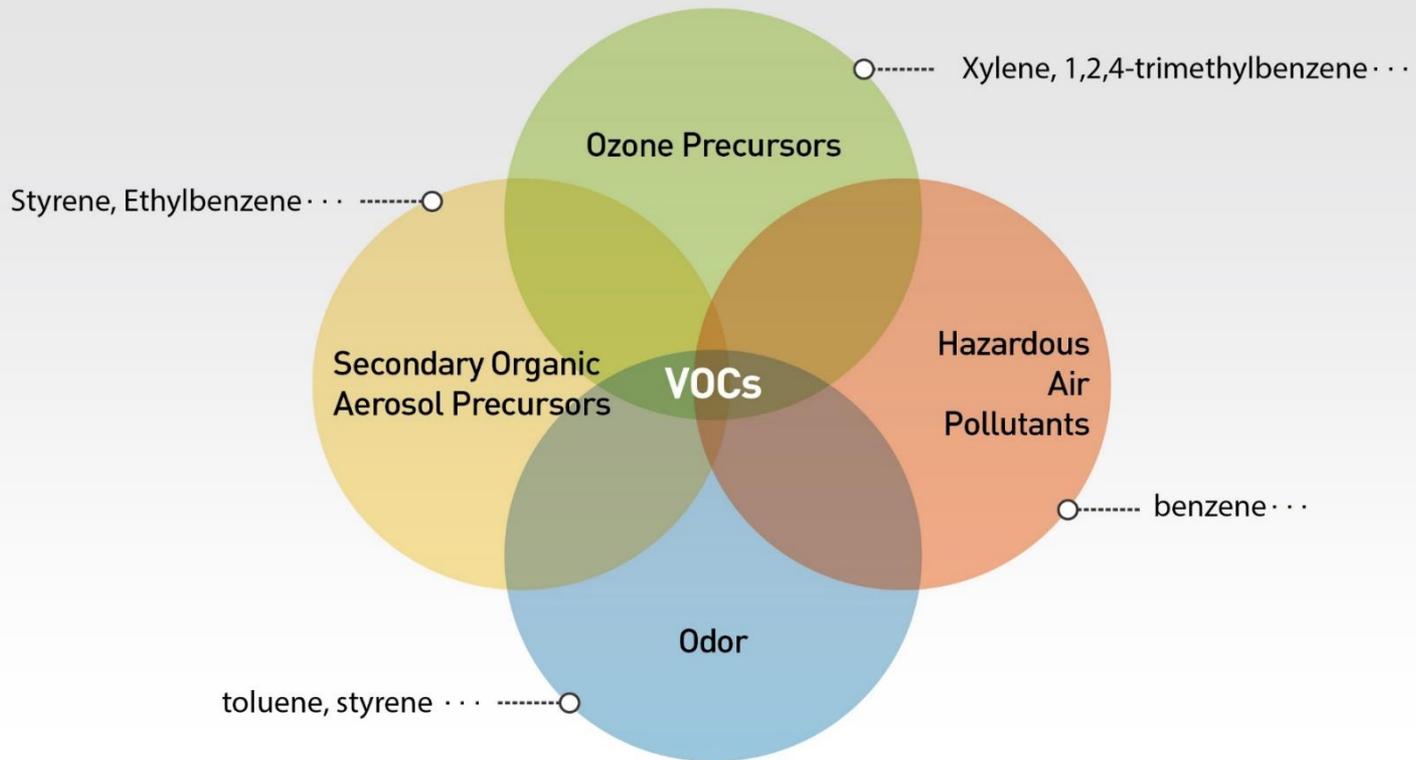
1. VOCs 문제점 및 CAPSS 배출량
2. 현행 VOCs 저감 계획 및 정책
3. 국외 VOCs 관리 정책

I-1. VOCs 문제점 및 CAPSS 배출량

(1) VOCs 배출 문제

❏ 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)

Indirect Greenhouse Gases

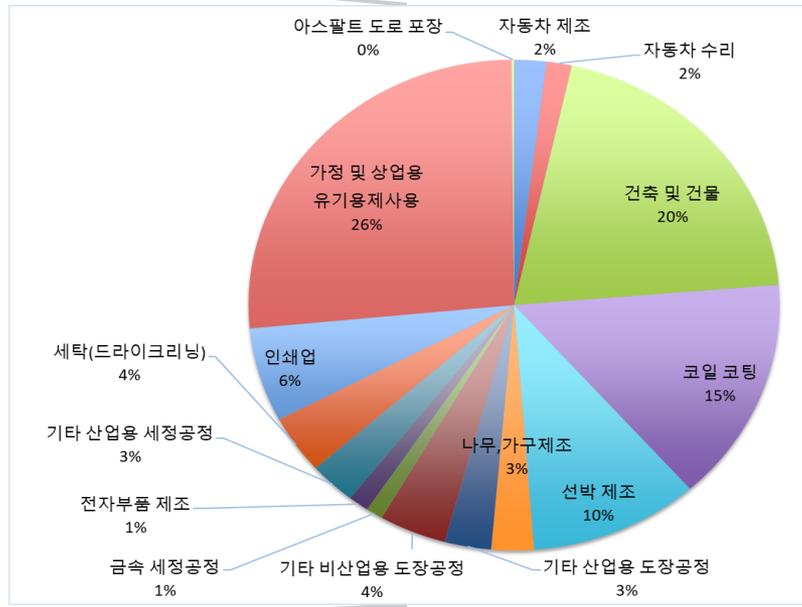
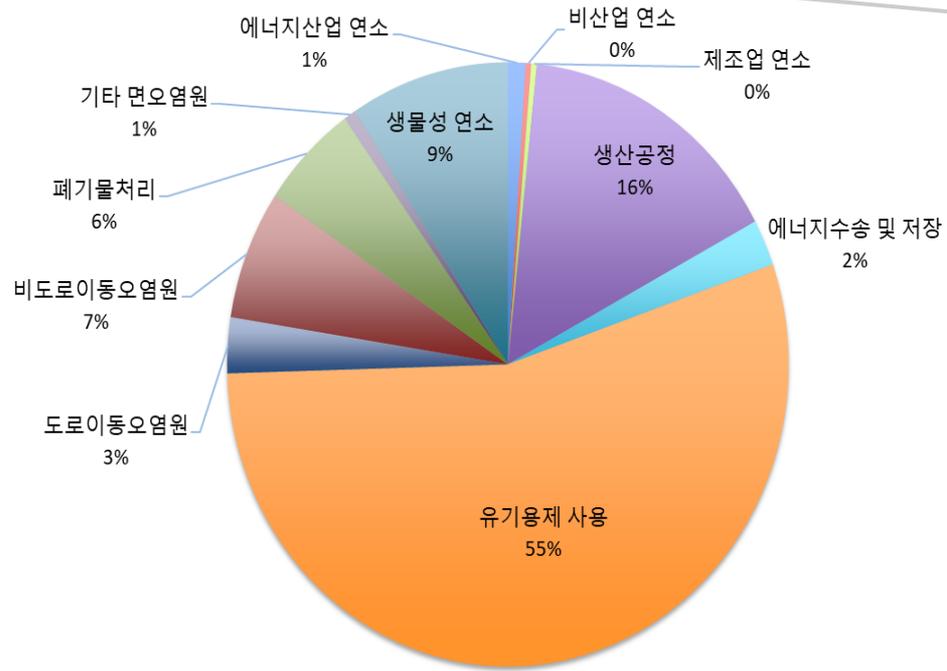


I-1. VOCs 문제점 및 CAPSS 배출량

(2) VOCs 배출량

CAPSS (2022)

전국 배출원 분류별 VOCs 배출량



I-2. 현행 VOCs 저감 계획 및 정책

(1) VOCs 저감 계획

사업장 배출 VOCs 관리

3차 대기환경개선
10개년 종합계획
(2023 ~ 2032)

- 생활 주변 VOCs 등 배출 사업장 관리 강화
 - 세탁소 **친환경 드라이클리닝 용제** 도입
- 생활용품, 도료 등 VOCs 함량 관리 확대
 - **생활소비재 제품군별 VOCs 함유기준 신설** 및 적용
 - **도료에 대한 VOCs 함유기준 개편**(’25)과 VOCs 함량분석방법 표준화 등 관리 강화

VOCs 배출원 관리

2차
미세먼지 관리
종합계획
(2025-2029)

- VOCs 배출원 관리제도 개선
 - 산업 VOCs 배출원의 **비산배출시설** 관리 대상지역 확대 검토(~’29)
 - **유기용제에 대한 관리 로드맵 마련**
- 산업단지 등 VOCs 오염 취약지역 대상 전과정 밀착관리 추진
 - **인쇄소** 밀집지역 등 VOCs 다량 배출지역 발굴 및 첨단장비 활용·관측
- 권역별 VOCs 농도 수준을 반영한 물질별 관리 실시
 - **오존생성능력, 유해성 등을 고려**하여 지역별 관리 우선순위 도출 및 맞춤형 관리 방안 마련
- 소규모 사업장의 VOCs 배출관리를 위한 지원체계 개선
 - 소규모 **세탁소**(30 kg 미만)의 용제 회수기 설치 지원 시범사업 실시(’25~)
- 첨단장비를 활용한 VOCs 측정·감시체계 고도화
- VOCs 배출량 산정체계 개선 및 산정방법 고도화

I-2. 현행 VOCs 저감 계획 및 정책

(2) VOCs 함유기준

대기환경보전법 시행규칙 [별표 16의 2]

현행 도로 분류체계 (세분류 고려) : 118 종

대분류 (총 4종)	건축용	자동차보수용	도로용	공업용
중분류 (총 32종)	7종	7종	3종	15종
소분류 (총 32종)	29종	-	-	29종
세분류 (총 109종) 수성/유성 구분	37종	-	6종	66종

자동차보수용 도로 함유기준 변천

용도분류	휘발성유기화합물 함유 기준(g/L)				
	2006.12.31. 까지 (2005년 개정)	2009.12.31. 까지 (2007년 개정)	2014.12.31.까지 (2010년 개정)	2019.12.31. 까지 (2015년 개정)	2020.01.01.부터 (2019년 7월 개정)
가) 워시프라이머	850 이하	780 이하	780 이하	780 이하	660 이하
나) 프라이머/서페이서	650 이하	580 이하	580 이하	540 이하	420 이하
다) 상도-single	650 이하	580 이하	500 이하	450 이하	420 이하
라) 상도-basecoat	650 이하	620 이하	500 이하	450 이하	200 이하
마) 상도-topcoat	650 이하	620 이하	500 이하	450 이하	420 이하
바) 특수기능도로	900 이하	840 이하	840 이하	800 이하	680 이하
사) 기타	-	-	-	-	250 이하

<출처 : 대기환경보전법 시행규칙, 도로에 대한 휘발성유기화합물의 함유기준>

I-2. 현행 VOCs 저감 계획 및 정책

(3) VOCs 배출 시설 관리 기준

비산 배출 시설 관리 기준

대기환경보전법 시행규칙 [별표 10의 2]

<p>업종 구분</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ I 업종 : 원유 정제처리업, 합성고무 제조업 등 (6종) ▪ II 업종 : 제철업, 제강업 (2종) ▪ III 업종 : 접착제 및 젤라틴 제조업, 플라스틱 필름 제조업 등 (28종) ▪ IV 업종 : 강선 건조업, 선박 구성부품 제조업 등 (3종)
<p>(예시) IV 업종 - 옥내도장 배출규제</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 관리대상물질(톨루엔 및 자일렌) 농도의 합이 5wt% 이상 함유된 도료를 이용하는 선박 관련 옥내 도장 시설 대상 ▪ 포집 및 방지시설을 반드시 해야함 ▪ 배출가스의 총탄화수소 농도를 90% 이상 저감 또는 100ppm 이내로 유지

휘발성유기화합물 배출 시설 관리

대기환경보전법 44조, 시행령 45조

<p>대상 지역</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 특별대책지역 ▪ 대기관리권역 ▪ 위의 지역 외에 휘발성유기화합물 배출로 인한 대기오염을 개선할 필요가 있다고 인정되는 지역으로 환경부장관이 지정·고시하는 지역
<p>대상 시설</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 석유정제를 위한 제조시설, 저장시설 및 출하시설과 석유화학제품 제조업의 제조시설, 저장시설 및 출하시설 ▪ 저유소의 저장시설 및 출하시설 ▪ 주유소의 저장시설 및 주유시설 ▪ 세탁시설 ▪ 그 밖에 휘발성유기화합물을 배출하는 시설로서 환경부장관이 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 고시하는 시설

I-3. 국외 VOCs 저감 정책

(2) 미국 생활소비재 제품 함량 기준 설정

- 미국 EPA와 일부 주 정부는 다양한 품목의 생활소비재 VOCs 함량 기준을 설정 및 관리 중
- 최근 기존 기준을 강화하거나 신규 제품군으로 규제 대상을 확대하는 추세

미국 생활소비재 VOCs 함량기준						
[미국 연방정부 및 각 주별 생활소비재 VOCs 함량기준 예시]				[캘리포니아 주 생활소비재 기준 강화]		
Product Category	EPA	CA	IL	IN	MI	OH
Personal Care Products 헤어케어 제품류 (단위 wt%)						
Hair Mousses	16	6	6	6	6	6
Hair shines		55	55	55	55	55
Hair sprays	80	55	55	55	55	55
Hair Styling Gels	6	6	6	6	6	6
Aerosols		6		6	6	6
Pump Spray		6		6	6	6
All Other Forms		2		2	2	2
...						

■ 캘리포니아 주는 다른 지역보다 엄격한 관리 적용

- ① 생활소비재 사용, 저장 등의 과정을 고려하여 VOCs 함유 기준 규제
- ② 제조·수입자는 제품 성분 정보를 바탕으로 VOCs 기준 충족 여부 입증 필요
- ③ 연도별로 규제 범위와 기준을 강화하며, VOCs 함유 기준 초과 시 제품 판매 금지

출처 : ISSA, Summary of State and Federal VOC Limitations for Institutional and Consumer Products, 2019



반응성을 고려한 관리 방안 및 우선 관리 순위 선정

1. 서울시 생활주변 소규모 VOCs 배출시설의 배출량 실측 및 성분 분석
2. 주요 VOCs에 대해 반응성을 고려한 우선 대응 순위 선정

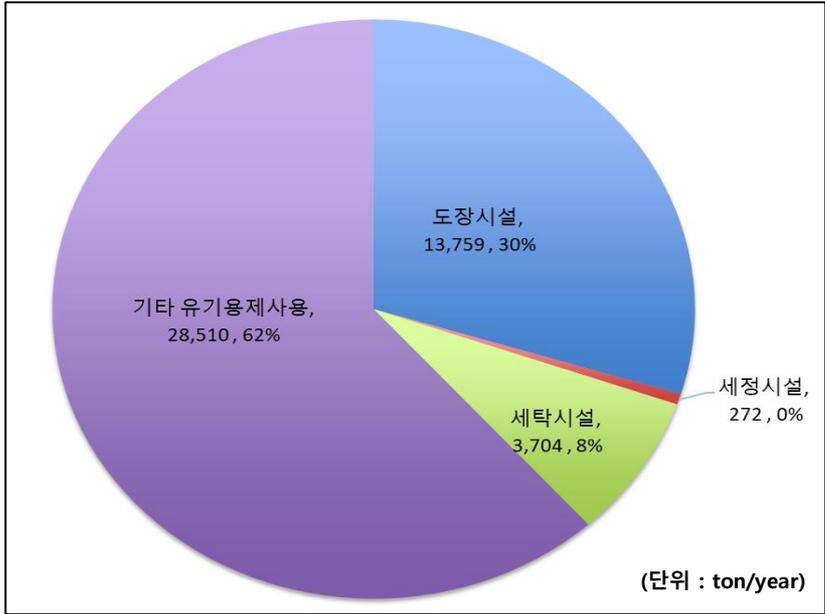
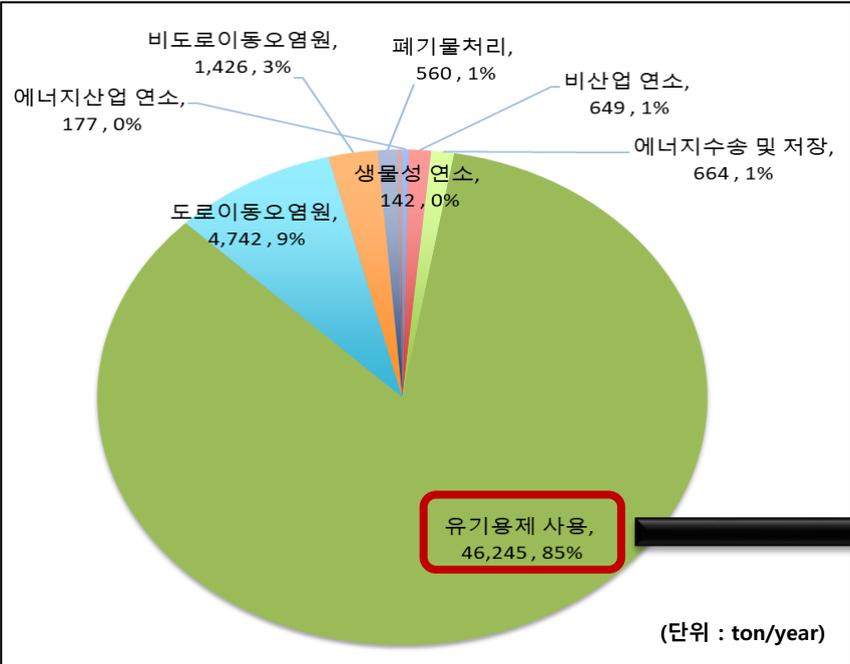
1. 서울시 생활주변 소규모 VOCs 배출시설의 배출량 실측 및 성분

(1) 서울시 생활주변 소규모 배출원 현황 파악

CAPSS, 2022

서울시 배출원 대분류별 VOC 배출량

유기용제 사용 부문 중분류별 VOC 배출량



1. 서울시 생활주변 소규모 VOCs 배출시설의 배출량 실측 및 성분

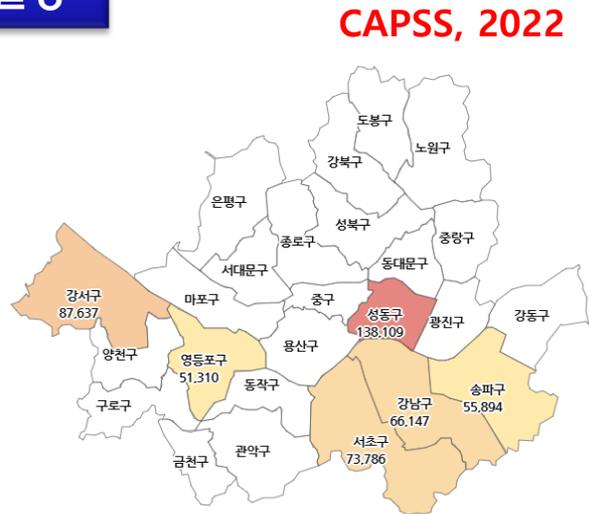
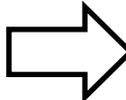
(1) 서울시 생활주변 소규모 배출원 현황 파악

① 자동차 수리 도장시설 - VOCs 배출량

$E = A * (1-CF/100)$

E = 배출량 (g/yr)
 A = [도료소비량(L/yr) * 배출계수(0.512 g/L)
 + 신나소비량(L/yr) * 신나비중(g/L)]
 CF = 방지효율

* 자동차 수리 도장 부문 31 %
 * 신나 비중 : 880 g/L



CAPSS, 2022

산업별	사업체 수 (개)	종사자 수 (명)
자동차 종합 수리업	549	6,522
자동차 전문 수리업	3,497	9,410

1. 서울시 생활주변 소규모 VOCs 배출시설의 배출량 실측 및 성분

(1) 서울시 생활주변 소규모 배출원 현황 파악

② 인쇄시설 - VOCs 배출량

<마스터&스크린 인쇄>

$E = A * F_1$

E = 배출량 (g/yr)
 A = 인쇄업소 수 (개소)
 F₁ = 배출계수

- 마스터 : 499.6 (kg/업소수/yr)
- 스크린 : 1,694.3 (kg/업소수/yr)

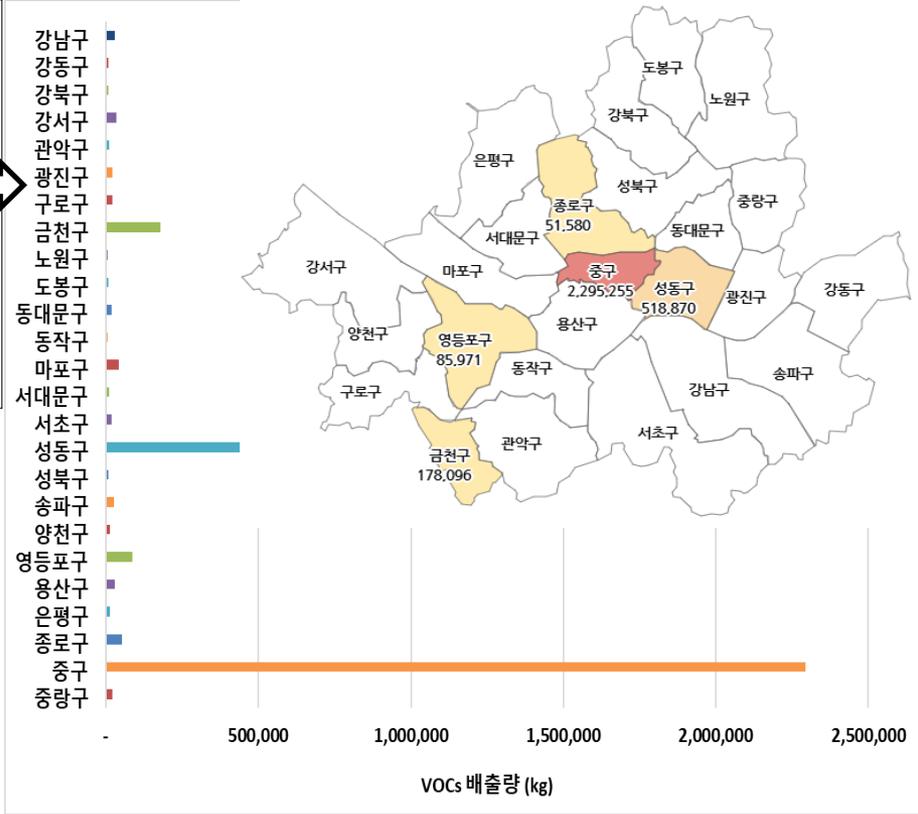
<오프셋&그라비아 인쇄>

$E = A * F_2$

E = 배출량 (g/yr)
 A = 종사자 수(인)
 F₂ = 배출계수

- 오프셋 : 248.3 (kg/종사자수/yr)
- 그라비아 : 4,443.8 (kg/종사자수/yr)

산업별	사업체 수 (개)	종사자 수 (명)
경 인쇄업	2,030	4,570
스크린 인쇄업	1,197	2,656
오프셋 인쇄업	2,409	8,243
기타 인쇄업	1,058	3,319



1. 서울시 생활주변 소규모 VOCs 배출시설의 배출량 실측 및 성분

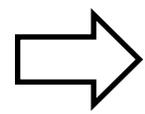
(1) 서울시 생활주변 소규모 배출원 현황 파악

CAPSS, 2022

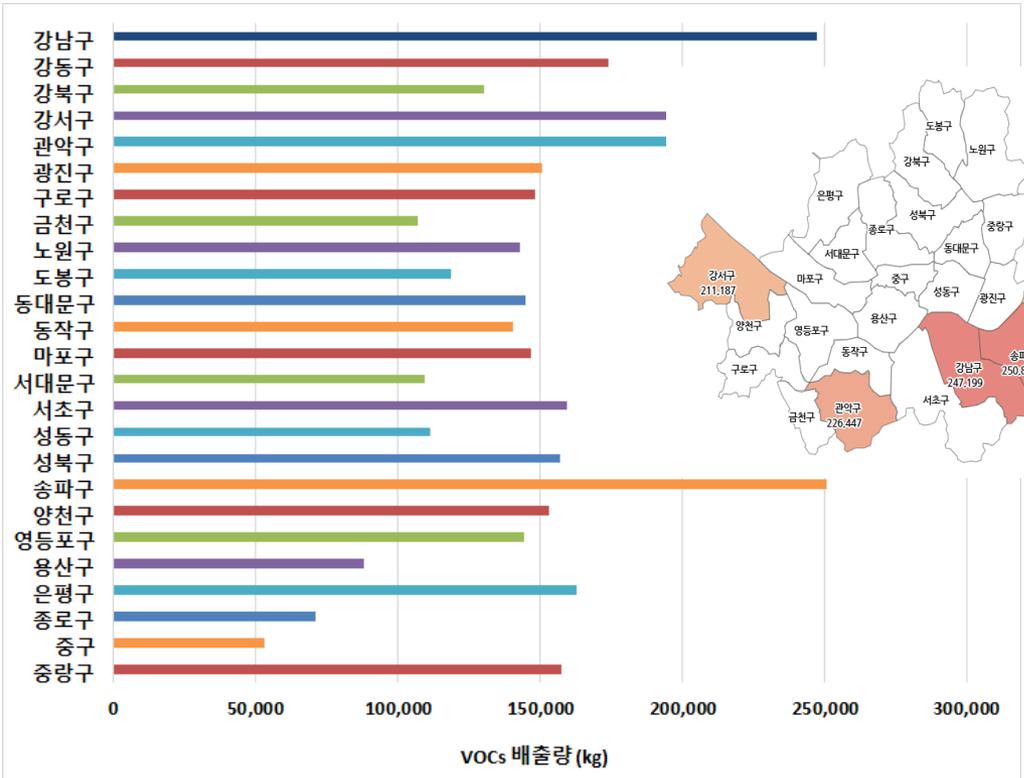
③ 세탁시설 - VOCs 배출량

$$E = A * F$$

E = 배출량 (g/yr)
 A = 세탁업소 수 (개소)
 F = 배출계수
 (610.368 kg/업소수/yr)



산업별	사업체 수 (개)	종사자 수 (명)
산업용 세탁업	78	562
가정용 세탁업	5,945	8,072
세탁물 공급업	46	88



2. 주요 VOCs에 대해 반응성을 고려한 우선 대응 순위 선정

(1) MIR 반응성을 고려한 주요 오존전구 원인 물질 파악

MIR
 (Maximum Incremental Reactivity)
 개별 화합물이 1시간에
 생성할 수 있는 최대
 오존량

VOCs	MIR	VOCs	MIR
Ethylene	9.00	2,3-Dimethylpentane	1.34
Acetylene	0.95	2,2,4-Trimethylpentane	1.26
Ethane	0.28	Heptane	1.07
Propylene	11.66	Methylcyclohexane	1.70
Propane	0.49	2,3,4-Trimethylpentane	1.03
Isobutane	1.23	Toluene	4.00
1-Butene	9.73	2-Methylheptane	1.07
trans-2-Butene	15.16	Octane	0.90
cis-2-Butene	14.24	Ethylbenzene	3.04
Isopentene	1.45	m-Xylene	9.75
1-Pentene	7.21	p-Xylene	5.84
Pentene	1.31	Styrene	1.73
Isoprene	10.61	o-Xylene	7.64
cis-2-pentene	10.38	Isopropylbenzene	2.52
2,3-Dimethylbutane	0.97	p-Ethyltoluene	4.44
2-Methylpentene	1.50	1,3,5-Trimethylbenzene	11.76
3-Methylpentene	1.80	o-Ethyltoluene	5.59
1-Hexane	5.49	1,2,4-Trimethylbenzene	8.87
Hexane	1.24	Decane	0.68
Methylcyclopentane	2.19	1,2,3-Trimethylbenzene	11.97
Benzene	0.72	p-Diethylbenzene	4.43
Cyclohexane	1.25	Undecane	0.61
2-Methylhexane	1.19	Dodecane	0.55
Isopropyl alcohol	0.61	m-Diethylbenzene	7.1



요약 및 결론

- 1. 도장 및 인쇄 등의 생활주변 VOCs 배출원 관리대책**
- 2. 반응성을 고려한 업종별 VOCs 저감 방안**

III-1. 도장 및 인쇄 등의 생활주변 VOCs 배출원 관리대책

(1) 오존 배출원 관리 강화

- 서울시 대기질 개선 대책 :

오염도가 높은 시간대(12:00~15:00)에 VOCs 배출이 많은 드라이 클리닝 작업 최소화 협조 요청

본 연구 추정된 작업량을 고려한 월간 업종별 VOCs 배출량 추정치



- 본 연구에서 작업량을 고려한 월간 업종별 VOCs 배출량 추정치를 비교해 보았을 때, 가정용 세탁업(드라이 클리닝)보다 자동차 수리도장이나 인쇄업에서의 VOCs 배출량이 더 많음

III-2. 반응성을 고려한 업종별 VOCs 저감 방안

(1) 오존 배출원 관리 강화

- 최근 캘리포니아주(CARB)에서는 오존 생성 억제를 위해 생활소비재 제품 중 에어로졸 제품을 대상으로 반응성 유기 화합물(ROC)의 제품 무게당 오존 생성 반응성(MIR) 규제 시작
- CARB에서는 에어로졸 코팅 제품 판매, 공급, 제조하는 모든 생활소비재 제품에 해당 규정을 적용하며 제품당 오존생성 반응성에 기반하여 오존 발생량의 기준을 설정

오존생성반응성(MIR) 지수

No	VOCs	MIR
1	methane	0.014
2	ethane	0.28
3	propane	0.49
4	cyclopropane	0.09
5	n-butane	1.15
6	isobutane	1.27
7	cyclobutane	1.20
8	n-pentane	1.30
9	branched C5 alkane(s)	1.45
10	neopentane	1.31
11	isopentane	2.39
12	cyclopentane	1.25
13	n-hexane	2.34
14	branched C6 alkane(s)	1.51
15	2,2-dimethyl butane	1.17
16

MIR 기반 제품당 오존 생성량 기준

Aerosol Coating Category	MIR (g-O ₃ /g-product)
Clear Coating	0.85
Flat Coating	0.80
Fluorescent Coating	1.30
Metallic Coating	1.25
Nonflat Coating	0.95
Primer	0.70
Art Fixative or Sealant	1.75
Automotive Bumper and Trim Product	1.70
Aviation or Marine Primer	1.25
Aviation Propeller Coating	1.40
Glass Coating	1.35

Thank You
For
Your Attention!