

부산지역 대기 중 휘발성유기화합물(VOCs) 성분분포에 관한 연구

산업환경과

김성림 · 정경원 · 김영태

A Research on the Distribution Concentration of Volatile Organic Compounds in Busan Metropolitan ambient air

Industrial Environment Division

Seong-Nim Kim · Kyung-Won Jung · Young-Tae Kim

Abstract

This research is to grasp the distribution concentration of Volatile Organic Compounds(VOCs) in Busan Metropolitan city area to establish measures lowering ambient ozone level.

VOC samples including 10 compounds(Benzene etc) were collected from August to October 2003 at industrial, commercial, roadside, residential, green region by Silonite coated Canister and analysed by GC/MSD.

Analytical results are as follows

1. Among VOCs, BTEX were highly detected at all regions due to motor vehicle exhaust emissions than any other VOCs.

In case of benzene, detected concentrations were in order of 0.86 ppb in industrial, 0.84 ppb in roadside, 0.76 ppb in commercial, 0.51 ppb in residential, 0.28 ppb in green region.

2. The correlation coefficients with ozone were in order of 0.9656 for benzene, 0.9610 for

styrene, 0.9291 for m,p-xylene, 0.8427 for ethyl benzene respectively.

3. The correlation coefficients with nitrogen dioxide were in order of 0.9138 for styrene, 0.9010 for m,p-xylene, 0.8423 for ethyl benzene, 0.8290 for benzene respectively.

4. Hexane and Pentane were identified to contribute less to the formation of nitrogen dioxide because of low correlation coefficient <0.5.

Key word : volatile organic compounds(VOCs), ozone, nitrogen dioxide

I. 서론

휘발성유기화합물(VOCs)은 증기압이 높아 대기중으로 쉽게 증발되고, 대기중에서 질소산화물과 공존시 태양광의 작용을 받아 광화학반응을 일으켜 오존 및 PAN, Aldehyde, Ketones 등 2차 오염물질인 광화학 산화성 물질을 생성시켜 광화학스모그를 유발하는 물질의 총칭으로 일반적으로 방향족탄화수소와 할로겐화탄화수소로 나눌 수 있다.¹⁾

이들 물질은 그 자체로서 건강에 유해하며, 특히 다고리방향족 탄화수소류는 대기중에 미량으로 존재하더라도 발암가능성이 있는 것으로 보고되고²⁾ 있고, 비공업지역 빌딩에서 빌딩증후군(SBS, sick building syndrome)의 원인물질로도 알려져 있다.³⁾ 특히 올레핀계 탄화수소는 대기중에서 오존 생성 등 2차적 피해를 유발하며 식물의 피해와 각종 전자장비까지 재산상의 피해를 입히고 있다.⁴⁾ 휘발성유기화합물질은 그 종류와 발생원이 다양할

뿐만 아니라 대기중에 미량 존재하여 정성·정량하기란 상당한 기술이 필요하다.

더욱이 생활환경의 변화로 자동차의 증가와 난방용 연료의 변화로 대기중에 분포하는 휘발성유기화합물질의 종류도 변화하고 있다. 또한 1999년 12월 부산지역이 대기환경규제지역으로 지정·고시됨으로써 부산광역 시도 이에 대한 대책을 수립중에 있으며 각종 연료정책 및 대체에너지의 현실화를 위한 천연가스과 석탄액화 연료의 활용 및 알콜의 활용에 대해서도 연구중에 있다.⁵⁾

따라서 본 연구에서는 대기중 질소산화물과 반응하여 오존농도를 증가시키는 오존생성 전구물질(Ozone Precursor)인 휘발성유기화합물질 성분분포를 모니터링하여 부산광역시 대기환경개선 실천계획(2002.10)에 따른 휘발성유기화합물질 규제시 및 오존농도 저감을 위한 계획 수립시 그 기초자료로 활용하므로서 부산시민의 건강 및 대기질의 개선효과에 기여코자 한다.

II. 문헌고찰

2.1 부산지역 휘발성유기화합물 배출시설 현황

우리나라는 환경부에서 1997년 전남 여수시 여천공단지역의 휘발성유기화합물질 측정용 계기로 1997년 7월 휘발성유기화합물질을 지정 고시하고 2000년 6월 환경부고시로 Acetaldehyde 등 37종 물질을 규제대상 물질로 재고시하여 석유정제, 저장, 출하, 주유소의 저장시설, 세탁시설로부터 배출되는 휘발성유기화합물질을 관리하고 있다.⁶⁾

우리 부산시도 대기환경규제지역으로 고시(99.12)됨에 따라 2002년 10월 부산광역시 대기환경실천계획을 수립하여 오존, 이산화질소농도를 2009년까지 환경기준의 80% 이하로 대기질 개선을 목표로 하고 있고, 석유정제, 저유소, 주유소 저장시설 등 휘발성유기화합물질 배출시설에서 배출억제시설을 설치하도록 하고 있다.⁷⁾

부산광역시에 휘발성유기화합물질 배출업소수는 총 3,040개소 중 신고대상 시설수는 730개소로 이 중 주유소 및 자동차 정비가 약 83%를 차지하고 있다. Table 1

은 부산시의 휘발성유기화합물질 배출시설 현황이다.

Table 2에 나타난 바와 같이 휘발성유기화합물질이 발생하는 발생원에 따라 각기 다른 구성비를 나타내고 있으나, 파라핀계는 17,771ton/yr로 분류된 VOCs 중의 약 70%를 차지하고 있으며, 올레핀계 3,902ton/yr, 톨루엔은 1,935ton/yr, 자일렌은 1,1456ton/yr 등의 순서로 산정되었다.

최근 부산광역시에서 발표한 “부산광역시 대기환경개선 실천계획, 2002. 10”에 따르면 파라핀계 탄화수소류가 70.7 %로 가장 많이 배출되며, 올레핀 15.5 %, 톨루엔 7.7 %, 자일렌 4.6 % 순으로 배출되는 것으로 조사되었다.

Table 3에는 주로 VOCs와 액체연료의 증기압과 용도를 나타내었다.

2.2 오존의 생성기작

지표의 오존은 자동차, 사업장, 가정 등에서 대기 중으로 배출된 질소산화물[NO_x = NO+ NO₂ : 연소과정에서 90~95% 이상이 NO로 배출됨]과 휘발성유기화합물(휘발성유기화합물질 ⇔ Hydrocarbon류)이

Table 1. Status of VOCs discharge facilities⁸⁾

계	석유정제	저유조	주유소	세탁시설	유기용제·페인트	선박제조	자동차제조	기타제조	폐기물보관처리	자동차정비
3,040 (730 [*])	2 (2 [*])	14 (14 [*])	443 (436 [*])	2,290 (12 [*])	8 (5 [*])	20 (20 [*])	2 (2 [*])	92 (71 [*])	1 (1 [*])	168 (167 [*])

* 신고대상 시설의 수

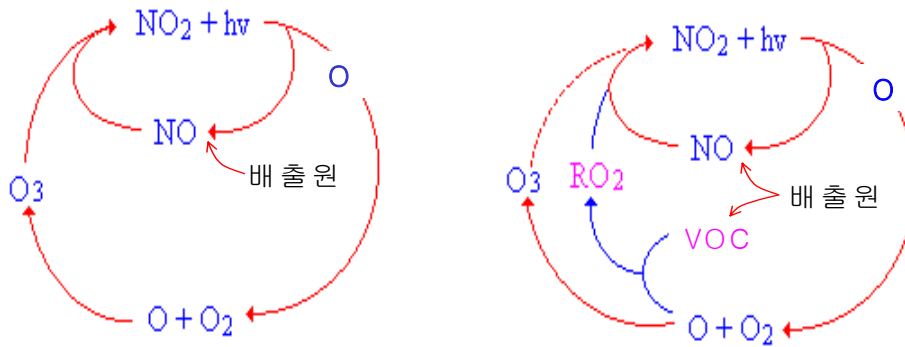
Table 2. VOCs generation from each facilities in Busan⁸⁾

(unit : ton/yr)

구 분		Toluene	Xylene	Formaldehyde	Ethene	Olefins	Paraffins
점배출원	소계	2.31	0.00	28.88	0.00	0.00	54.67
	1종	1.66	0.00	20.72	0.00	0.00	39.23
	2종	0.47	0.00	5.83	0.00	0.00	11.03
	3종	0.19	0.00	2.33	0.00	0.00	4.41
면배출원	소계	30.95	2.65	0.40	2.71	0.00	71.52
	4종	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	2.19
	5종	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	1.25
	취사, 난방	30.95	2.65	0.00	2.71	0.00	68.09
	상업난방	3.01	0.00	11.69	0.00	0.00	14.70
자동차 배출원	소계	763.88	469.90	88.25	107.52	1,279.74	3,599.90
	승용	355.50	287.76	88.25	107.52	1,152.90	2,437.55
	택시	122.44	71.48	0.00	0.00	87.97	170.53
	버스	36.21	21.57	0.00	0.00	29.12	48.74
	승합	31.32	15.36	0.00	0.00	9.76	43.85
	화물	172.04	55.34	0.00	0.00	0.00	783.93
	특수	46.37	18.39	0.00	0.00	0.00	115.30
	이륜차	80.83	75.13	0.00	0.00	440.13	1,600.24
비도로	소계	236.04	76.59	57.53	2.67	210.92	1,105.34
	철도	0.26	0.00	11.95	0.00	106.43	19.51
	항공	1.58	0.58	45.58	2.67	104.49	13.66
	선박(대형)	2.12	1.36	0.00	0.00	0.00	14.66
	선박(소형)	4.27	1.37	0.00	0.00	0.00	19.47
	농기계	0.38	0.12	0.00	0.00	0.00	1.74
	건설장비	227.43	73.16	0.00	0.00	0.00	1,036.30
VOCs	소계	901.40	595.90	82.66	0.00	2,411.70	12,939.83
	세탁	41.34	16.54	0.00	0.00	27.76	338.39
	인쇄	62.62	8.03	41.75	0.00	701.64	232.81
	소비	0.00	0.00	26.72	0.00	497.06	240.52
	주유소 (주입시)	280.33	147.25	0.00	0.00	43.74	192.23
	주유소 (상차시)	284.39	149.38	0.00	0.00	44.38	195.01
	주유소 (휘발분)	24.38	12.80	0.00	0.00	3.80	16.72
	도료	3.25	239.40	0.00	0.00	0.00	10,913.80
	세척제	85.01	21.23	14.19	0.00	191.36	42.56
매립장	120.09	1.28	0.00	0.00	901.95	767.81	
총계	1,935	1,145	258	113	3,902	17,771	

Table 3. Usage by VOCs

물 질 명	레이드증기압(psia)	주용도(사용처)
Acetaldehyde	14.7	각종 화공약품제조시 및 향료
Acetylene	14.7	용매
Acrolein	9.0	모터보트 연료등, 각종 시약합성제, 제조제등
Acrylonitrile	4.3	합성유지, 합성고무
Benzene	4.0	용매로 사용, 니스·라커제등
1,3-Butadiene	14.7	플라스틱 수지
Carbon Tetrachloride	3.8	요오드, 지방, 수지등 용매, 드라이클리닝
Butane	14.7	천연석유속에 존재
1-Butene, 2-Butene	14.7	합성수지 원료
Cyclohexane	3.3	락카 및 수지의 용매
Chloroform	6.6	대기중 포스겐 생성, 각종 용매
Methylene Chloride	4.2	세탁물질 용매, 합성화학 연료
Ethanol(only industrial)	2.3	용매로 사용
Ethylene	14.7	각종 합성화학공업원료, 마취제
Dichloroethylene	10.0	유기물질 용제
Formaldehyde	14.7	방부제, 소독제, 수지제조
Diethylamine	7.5	부식방지제
n-Hexane	4.8	수은 대신 온도계 액주
Methanol	4.6	산업용 용매
Methyl Ethyl Ketone	3.3	도료·안료의 원료
Propylene	14.7	플라스틱 제조시 중합제로 사용
i-propanenol	1.7	각종 화공약품 제조시 및 향료
Propylene Oxide	14.7	용 매
Dimethylamine	14.7	산화가스 흡수제(H ₂ S 흡착제)
1,1,1-Trichloroethane	4.1	암모니아와 같은 냄새를 가진 수용성 기체
Trichloroethylene	2.6	드라이클리닝 원료
1,2-Dichloroethane	2.8	고무, 유지, 도장의 용매
Methyl Tertiary Butyl Ether	7.9	산소함량 증대·가솔린 첨가제
Gasoline	9.2	자동차 연료
Naphtha	15.6	석유화학 기초원료
Crude oil	16.4	연료 원료



(a) 휘발성유기화합물 없을 때의 일정 오존농도 유지 반응
 (b) 휘발성유기화합물이 있을 때의 오존농도 증가 반응

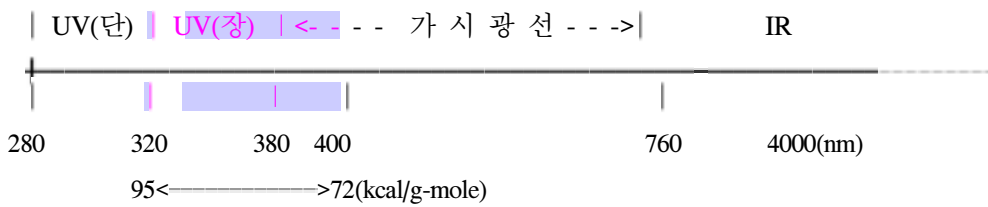


Fig. 1. Degadation and transformation reaction of VOCs in ambient.

공존하는 상태, 또는 질소산화물만 존재하는 상태에서 햇빛에 의한 광화학반응으로 생성되는 2차 오염물질로 그 생성기작은 Fig. 1과 같다.

Fig. 1의 (a)에서 보면 연소과정 등에서 대기 중으로 배출된 NO는 NO₂로 산화되고, 이 NO₂가 UV(장)파와 가시광선 중의 단파에 의해 O와 NO로 광분해된다. 분해된 산소원자(O)는 대기 중의 산소분자와 반응하여 오존을 생성하며, 이 오존은 다시 NO를 NO₂로 산화시키게 되므로 오존

농도가 증가하지 않고 일정 농도로 유지되게 된다. 그러나 휘발성유기화합물(비메탄 탄화수소)이 존재할 경우에는 Fig. 1의 (b)에서 보는 것처럼 산소원자가 비메탄 탄화수소와 반응하여 과산화기(RO₂)가 만들어진다. 이 과산화기에 의해 NO를 NO₂로 산화시키는 빠른 반응이 추가되므로써 NO를 NO₂로 산화시키는 오존의 소모는 감소하게 되어 대기 중의 오존농도는 증가하게 된다. 이들의 광화학 반응식은 다음과 같다.

- (1) VOCs가 존재하지 않을 때
- 대기 중에서의 산화

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$
 - 광화학 반응(햇빛 중의 자외선 및 가시광선 흡수)

$$NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O$$

$$NO + NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_2$$

$$HNO_2 + h\nu \rightarrow OH + NO$$
 - O₃ 생성 반응

$$O + O_2 + M(N_2 \text{ 등}) \rightarrow O_3 + M$$
 - 순환 반응

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$$

※생성된 O₃가 NO와 반응하므로 O₃ 농도는 증가하지 않음
- (2) VOCs가 존재할 때
- VOCs의 산화

$$VOCs + O_3 \rightarrow RO_2 + RCHO$$

- VOCs + OH → RO₂ + RCHO 등
- 과산화기(RO₂)에 의한 반응

$$RO_2 + NO \rightarrow NO_2 + RO$$

$$NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O$$

$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$$

※VOCs의 산화로 생성된 RO₂가 NO와 반응하므로 O₃ 농도가 증가함

오존은 산화력이 큰 물질로 대기 중의 다른 오염물질과 반응하여 또 다른 미세 입자상 등의 오염물질을 만들기도 한다. 이들 물질과 경유자동차나 공장 등에서 배출되는 먼지와 섞이게 되면 하늘이 뿌옇게 보이는 스모그현상이 나타난다. 한편, 오존은 햇빛이 약해지거나 없으면 대기중 NO, H₂O, OH, HO₂ 등과 반응하여 소멸된다.

Table 4. Preliminary Korea list of target VOCs ozone precursors

(37species)

Acetaldehyde	Acetylene	Acetylene dichloride	Acrolein
Acrylonitrile	Benzene	1,3-Butadiene	Butane
1-Butene, 2-Butene	Carbon Tetrachloride	Chloroform	Cyclohexane
1,2-Dichloroethane	Diethylamine	Dimethylamine	Styrene
Ethylene	Formaldehyde	n-Hexane	Isopropyl Alcohol
Methanol	Methyl Ethyl Ketone	Methylene Chloride	Methyl Tertiary Butyl Ether
Propylene	Propylene Oxide	1,1,1-Trichloroethane	Trichloroethylene
Gasoline	Naphtha	Crude oil	Acetic Acid
Ethylbenzene	Nitrobenzene	Toluene	Tetrachloroethylene
Xylene			

2.3 규제대상 휘발성유기화합물질

현재 환경부에서 규제대상 VOC로 고시하고 있는 물질(환경부고시, '98. 7. 1)은 레이드 증기압, 광화학반응성, 물질사용량, 발암성 등 유해성을 감안하여 31개를 선정하여 규제하고 있으며 앞으로 규제대상

물질을 점차로 확대해 나갈 계획으로 있다. Table 4에서와 같이 국내에서 규제하고 있는 37종(2000년 6월, 환경부고시)의 VOC 물질들을 나타내었고 Table 5와 Table 6에는 유럽 및 미국에서의 오존생성 전구물질인 VOC를 나타내었다.⁸⁾

Table 5. Preliminary European list of target VOCs ozone precursors

(26species)

Ethane	1-Butene	Isoprene	Ethyl Benzene
Ethylene	trans-2-Butene	n-Hexane	o-Xylene
Acetylene	cis-2-Butene	2-Methylpentane	m-Xylene
Propane	n-Pentane	3-Methylpentane	1,2,4-Trimethylbenzene
Propene	i-Pentane	n-Heptane	1,3,5-Trimethylbenzene
n-Butane	trans-2-Pentane	Benzene	
i-Butane	cis-2-Pentene	Toluene	

Table 6. US EPA list of target VOCs ozone precursors (55species)

Ethene	2-Methyl-2-butene	trans-2-Hexene	2-Methylheptane
Ethylene	Cyclopentene	cis-2-Hexene	3-Methylheptane
Ethane	trans-2-Pentene	Methylcyclopentane	n-Octane
Propylene	3-Methyl-1-pentene	2,4-Dimethylpentane	Ethyl benzene
Propane	1-Pentene	Benzene	m-Xylene
iso-Butane	cis-2-Pentene	Cyclohexane	p-Xylene
n-Butane	2,2-Dimethylbutane	2-Methylhexane	Styrene
trans-2-Butene	3-Methylpentane	2,3-Dimethylpentane	o-Xylene
1-Butene	2-Methylpentane	3-Methylhexane	n-Nonane
iso-Butene	2,3-Dimethylbutane	2,2,4-Trimethylpentene	iso-Propylbenzene
cis-2-Butene	Isoprene	n-Heptane	n-Propylbenzene
Cyclopentane	4-Methyl-1-pentene	Methylcyclohexane	1,3,5-Trimethyl benzene
iso-Pentane	2-Methyl-1-pentene	2,3,4-Trimethylpentane	1,2,4-Trimethylbenzene
n-Pentane	n-Hexane	Toluene	

III. 시료채취 및 분석방법

3.1 시료채취장소

본 조사지점은 우리시 관내 5개 지역 (공업지역, 상업 및 도로변지역, 주거 및 녹지지역)을 중심으로 조사하였으며, 특히 공업지역은 공장밀집지역을 중심으로 합성고무제조시설, 도료생산시설, 공단주변 준공업지역내 기존주거지역을 중심으로 정밀 조사하였으며, 상업지역은 부산의 주요상권이 위치한 광복동사무소를 선정하였으며, 도로변지역은 대기자동측정소 중 온천동측정소, 주거 및 녹지지역은 수영구 광안동에 위치한 광안4동사무소 및 금련산을 선정하였으며 2003년 8월과 9, 10월에 3차에 걸쳐 Benzene 등 10개 항목의

성분분포를 조사하였다. 시료 채취지점 및 지역별 지점명은 Fig. 2와 Table 7과 같다.

3.2 시료채취방법

용도지역별 8월과 9, 10월경에 대기 중 휘발성유기화합물질농도분포를 알아보기 위하여 VOCs sampler(CS1200, USA)을 부착한 Silonite Coated 6ℓ Canister(ENTECH, USA)를 이용하여 3시간동안 35ml/min로 시료를 채취하였다. 먼저 공업지역은 공장 밀집지역인 사상구 감전동과 학장동을 중심으로 유기용제 및 휘발성유기화합물질을 다량 사용하는 합성고무제조공장, 도료 생산공장, 주유소, 공단주변 준공업지역내 감전동사무소 주변 기존 주거지역을 중심으로 농도분포를 조사하였다.

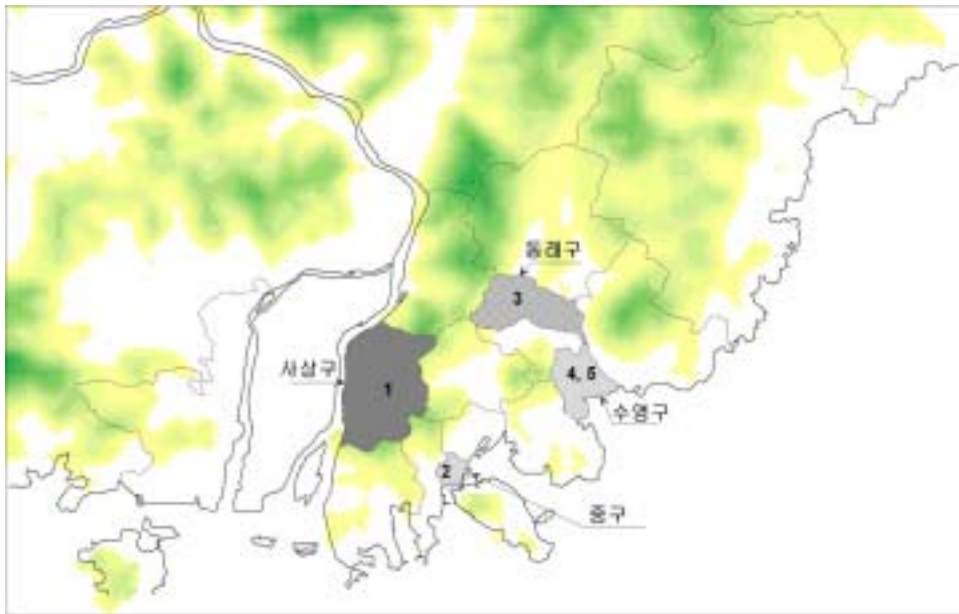


Fig. 2. Map of sampling site.

Table 7. Sampling site and points in each section

측정지점	지역별	지 점 명	비 고	
1번	공업 지역	1-1	합성고무제조시설	1개소
		1-2	도료생산시설	1개소
		1-3	준공업지역내 기존 주거지역	1개소
		1-4	주유소	1개소
2번	상업지역	중구 광복동사무소	1개소	
3번	도로변지역	동래구 온천동측정소	1개소	
4번	주거지역	수영구 광안4동사무소	1개소	
5번	녹지지역	수영구 광안4동 금련산산책로	1개소	

그리고 상업지역은 광복동사무소, 주거지역은 광안4동사무소, 녹지지역은 금련산산책로를 각각 선정하여 조사하였다. 그리고 추가적으로 도로변지역(온천동측정소)을 조사 분석하였다. 그리고 조사대상 물질로는 지역별 1차 시료를 채취하여 전체물질을 검색한 이후 GC/MSD상의 abundance가 50,000이상인 물질을 중심으로 조사 분석하였다.

3.3 분석방법

GC/MSD(Agilent 6890N/5973N)에 시료를 주입하기 위하여 시료전처리장치(ENTECH, Model 7100 Preconcentrator, USA)를 이용하여 시료를 주입하였다. 시료전처리는 각각의 흡착트랩으로 구성된 3단계의 모듈(Module 1→Module 2→Module 3→GC/MSD)를 통하여 흡착과 탈착의 과정을 거치면서 GC/MSD로 주입된다. Module 1은 Glassbead/Tenax Trap을 이용하여 주입된 시

료(500cc)를 Liquid N₂로 -150℃에서 응축과 동시에 흡착시킨다. 흡착된 시료는 20℃에서 탈착하여 Tenax Trap이 장착된 Module 2로 10cc/min로 총 40cc를 보낸다. Module 2에서는 -10℃에서 흡착, 180℃에서 탈착, Module 3에서는 -160℃ 흡착, 90℃ 탈착하여 GC/MSD로 주입된다. GC/MSD에 대한 분석조건은 Table 8과 같다.

3.4 표준물질(Standard)

분석시료에 대한 농도를 정량하기 위하여 Benzene을 포함한 10가지 물질에 대한 검량선 작성을 위해 Ozone Precursor 57Components(RESTEK, Concentration 1ppm, Balance Gas Nitrogen, 1700PSIG, USA)를 이용하여 먼저 50ppb의 표준물질을 만든 후 각각의 물질에 대한 2ppb, 10ppb, 20ppb(총량 500cc중 20cc, 100cc, 200cc)의 검량선을 작성하였다.

Table 8. Analytical conditions of preconcentration and GC/MSD

Step		Conditions
7100 Preconcentrator	Trap 1 (Glass bead)	<ul style="list-style-type: none"> • Sample Vol. : 50~500ml • Flow rate : 150ml/min • Trapping : -150℃ • Desorb : 20℃ (Preheat 20℃)
	Trap 2 (Tenax)	<ul style="list-style-type: none"> • Trapping : -10℃ • Desorb : 180℃
	Cryofocusing Trap	<ul style="list-style-type: none"> • Cool down temp. : -150℃ • Injection temp : 80~90℃ • Desorb : 180℃ • Injection time : 3min
6890N GC	Injector	• Volatile Interface, 100℃
	Column	<ul style="list-style-type: none"> • HP-1MS(30m x 0.2mm x 1.0μm) • Carrier gas : He 1.0ml /min
	Oven Temp.	<ul style="list-style-type: none"> • Initial Temp. : 30℃ (10min) • 1st Ramp : 5℃/min • 1st Hold Temp. : 100℃ (1min) • 2nd Ramp : 15℃/min • Final Temp. : 230℃ (3min)
5973MSD	Detector	<ul style="list-style-type: none"> • MSD temp : 230℃ • EM Volts : 1618 • Scan mode (range 30-400)

IV. 고 찰

4.1 분석결과 및 검토

본 조사연구 결과 오존(O₃)과의 상관계수가 가장 높은 물질은 Benzene, Styrene, m,p-xylene, Ethylbenzen으로 조사되었으며, 이들 물질들은 온도와의 역(-)상관성을 나타내어 온도가 상승하는 여름철과 하루중 오전 10에서 오후 2시경에 농도가 감소하

므로서 오존농도가 증가하는 것으로 조사되었다.

휘발유의 주성분인 BTEX는 모든 지역에서 검출되었으며 상업지역 및 도로변지역의 경우 국내 타 도시와 비교하여 약 2~6배정도 낮은 농도로 조사되었다. 그리고 주거 및 녹지지역은 인근 간선도로의 자동차 배출가스의 영향으로 사료되는 BTEX가 검출되었으나 그 농도는 극히 미

미하였다.

1) 공업지역

공업지역은 전용공업지역내에 합성고무 제조시설 및 도료생산시설을 중심으로 준공업지역내 감전동사무소 주변 기존주거지역 및 도로변지역을 중심으로 농도변화를 조사하였다. 먼지 시료채취지점을 합성고무제조시설과 도료생산시설을 중심으로 공단에 인접한 준공업지역내 감전동사무소 주변 기존주거지역(감전1동사무소), 주유소(도로변주유소)에서 시료채취 후 분석한 결과 Table 9와 같이 공장밀집지역에 위치한 도료생산시설의 경우 Ethylbenzene, m,p-xylene, Styrene이 공단내 다른 지역과 비교하여 약 3~10배정도 높은 농

도를 나타내었는데, 이는 도료생산공정에서 많이 사용되는 방향족 탄화수소류(Aromatic hydrocarbons)의 영향으로 사료되며, 그 영향권은 공단과 인접한 준공업지역내 감전동사무소 주변 기존주거지역에까지 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 한편 도로변에 위치한 주유소는 낙동강을 접하고 있어 상대적으로 그 영향을 적게 받는 것으로 조사되었다.

2) 상업지역 및 도로변지역

상업지역은 상가밀집지역인 광복동사무소, 도로변지역은 온천동측정소가 위치한 도로변에서 시료채취한 결과는 Table 10과

Table 9. Mean levels of VOCs concentration by industrial region

(unit : ppb, mean±S.D)

VOCs \ region	Synthesis rubber industry	Paints industry	Housing area (around G.J office)	Gas station
Benzene	0.89±0.81	0.97±0.14	0.97±0.31	0.60±0.27
Pentane	4.49±2.98	1.71±0.00	3.59±0.65	2.91±2.15
3-methylpentane	2.64±1.79	1.50±0.00	1.25±0.30	1.07±0.50
Hexane	4.34±2.68	2.57±1.67	2.62±0.52	1.19±0.29
Methylcyclopentane	2.43±1.54	2.14±1.50	1.24±0.41	0.57±0.20
Heptane	1.85±1.08	0.41±0.01	0.46±0.03	0.00±0.00
Toluene	62.51±43.82	90.65±22.87	38.93±22.17	8.25±5.56
Ethylbenzene	2.08±1.61	51.69±26.76	2.70±0.45	0.95±0.05
m,p-xylene	3.56±2.66	77.87±42.56	4.34±0.24	1.14±0.11
Styrene	1.09±0.00	9.93±6.64	2.18±1.04	0.77±0.00

같이 2지점 모두 자동차의 배기가스로 인한 Benzene, Toluene, ethylbenzene, Xylene (이하 “BTEX”)가 소량 검출되었으며 Table 11과 같이 국내 타 도시와 비교하여 부산의 도로변지역(온천동)의 휘발성유기화합물질 조사결과 차량배출가스의 주성분인 Benzene의 경우 대구시와 비교하여

약 2배가 낮으며, 대전시와 비교하여 약 6배가 낮은 농도로 이는 부산이 바다와 인접된 지역으로 해풍으로 인한 대기의 확산과 순환이 비교적 잘 이루어져 대기중의 휘발성유기화합물질농도가 낮은 것으로 사료된다.

Table 10. Mean levels of VOCs concentration by commercial region and heavy-traffic site (unit : ppb, mean±S.D)

VOCs \ region	Office of Gwangbokdong	Sampling point of Onchondong
Benzene	0.76±0.55	0.84±0.19
Pentane	0.91±0.49	0.40±0.00
3-methylpentane	0.72±0.00	0.00±0.00
Hexane	0.79±0.27	0.60±0.07
Methylcyclopentane	0.62±0.00	0.28±0.00
Heptane	0.00±0.00	0.00±0.00
Toluene	4.35±3.19	3.00±1.84
Ethylbenzene	0.91±0.16	0.89±0.14
m,p-xylene	1.04±0.27	1.07±0.33
Styrene	0.77±0.00	0.00±0.00

Table 11. Comparison with BTEX measured at heavy-traffic site in Busan and other cities

VOCs \ city	Busan (Onchong)	Dae-jeon ⁹⁾ (City hall)	Dae-gu ¹⁰⁾ (Jung-gu)	Seoul ¹¹⁾ (Hannam)
Benzene	0.84±0.19	5.26±1.84	1.82±0.76	2.29±2.24
Toluene	3.00±1.84	23.48±5.43	18.40±14.70	10.59±12.50
Ethylbenzene	0.89±0.14	2.55±0.92	1.79±3.97	0.90±1.16
m,p-xylene	1.07±0.33	6.54±1.78	3.77±7.63	0.91±1.22

3) 주거지역 및 녹지지역

주거지역은 광안4동에 위치한 동사무소에서 시료를 채취하였으며, 녹지지역은 수영구 광안동에 위치한 금련산 산책로에서 시료를 채취하였다. 주거지역의 경우 비교적 차량통행이 적은 위치를 선택하여 시료채취지점을 선정하였으며, 녹지지역의 경우 차량과 사람의 영향을 적게 받는 지점을 선택하였다. 조사결과 Table 12와 같이 주거지역 및 인근 간선도로의 차량 배출가스에서 발생하는 휘발유 주성분(BTEX)이 일부 잔류하여 검출되었으나 미미한 수준이었으며, 녹지지역의 경우 다른 지역과 비교하여 본 조사대상물질이 거의 검출되지 않았으며, 휘발유 주성분(BTEX)가 검출되었으나 극히 미미할 정

도였다.

4) 오존관계 상관계수

각 물질별 전체농도범위에서 감전동 대기측정소의 오존(O₃) 및 온도(Temp.), 이산화질소(NO₂) 결과와의 상관성을 알아보기 위해 각 물질별 t-검증(단순상관계수)을 통하여 알아보았다.

가. 오존(O₃)과의 상관계수

각 물질별로 O₃와의 상관계수를 조사한 결과 상관계수가 0.8이상인 물질은 Benzene (0.9656), Styrene (0.9610), m,p-xylene (0.9291), Ethylbenzen(0.8427)으로 조사되었으며, O₃와의 상관계수가 가장 낮은 물질은 Heptane(-0.4101)으로 조사되었다.(Table 13)

Table 12. Mean levels of VOCs Concentration by housing and green region
(unit : ppb, mean±S.D)

VOCs \ region	Office of Gwangnan4dong	Mountain of Geumnyeon
Benzene	0.51±0.28	0.28±0.00
Pentane	0.40±0.00	0.00±0.00
3-methylpentane	0.00±0.00	0.00±0.00
Hexane	0.60±0.07	0.59±0.00
Methylcyclopentane	0.28±0.00	0.00±0.00
Heptane	0.00±0.00	0.00±0.00
Toluene	3.00±1.84	0.80±0.19
Ethylbenzene	0.89±0.14	0.75±0.06
m,p-xylene	1.07±0.33	0.74±0.18
Styrene	0.00±0.00	0.00±0.00

Table 13. Correlation coefficient with ozone

VOCs	Coefficient of correlation
Benzene	0.9656
Pentane	0.6273
3-methylpentane	0.6576
Hexane	0.6822
Methylcyclopentane	0.6889
Heptane	-0.4101
Toluene	0.7273
Ethylbenzene	0.8427
m,p-xylene	0.9291
Styrene	0.9610

Table 14. Correlation coefficient with temperature

VOCs	Coefficient of correlation
Benzene	-0.9497
Pentane	-0.6511
3-methylpentane	-0.7492
Hexane	-0.7342
Methylcyclopentane	-0.7504
Heptane	0.4927
Toluene	-0.7273
Ethylbenzene	-0.8801
m,p-xylene	-0.9860
Styrene	-0.9900

나. 온도(Temp.)와의 상관계수

온도와의 상관계수는 오존과의 상관계수 결과와 반대로 역(-)상관계수 결과를

나타내었다. 온도와의 상관계수가 가장 큰 물질은 Heptane(0.4927)으로 온도가 상승하는 여름철 및 하루중 오전 10시에서 오후

2시경에 가장 높은 오염도를 나타내는 것으로 조사되었다. 반면 Benzene(-0.9497), Styrene (-0.9900), m,p-xylene(-0.9860), Ethylbenzen(-0.9369)은 온도와 역(-)상관성을 나타내는 것으로 보아 온도가 떨어지는 가을과 겨울철에 농도가 증가하며 하루중 오후 5시경부터 농도가 증가할 것으로 사료된다. (Table 14)

한편 Fig. 3은 감전동 대기측정소의 8월 중 온도(Temp.)와 오존(O₃), 이산화질소(NO₂)의 일변화를 나타낸 그림으로 하루중 기온이 가장 높은 오후 2시를 기점으로 오존농도가 감소하는 경향을 보여 온도와 상관성을 나타내었다.

다. 이산화질소(NO₂)와의 상관계수

이산화질소(NO₂)와의 상관계수 조사결과 오존(O₃)과의 상관계수 결과와는 약간의 차이를 나타내었다. 상관계수 조사결과 Styrene(0.9138), m,p-xylene (0.9010), Ethylbenzene (0.8423), Benzene(0.8290)순으로 조사되었으나 오존과의 상관계수 결과에서는 Benzene, Styrene, m,p-xylene, Ethylbenzene순으로 기여도에서 약간의 차이를 나타내었으며, Hexane(0.4806), Pentane (0.3763)은 상관계수가 0.5이하로 조사되어 질소산화물 생성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 조사되었다. (Table 15)

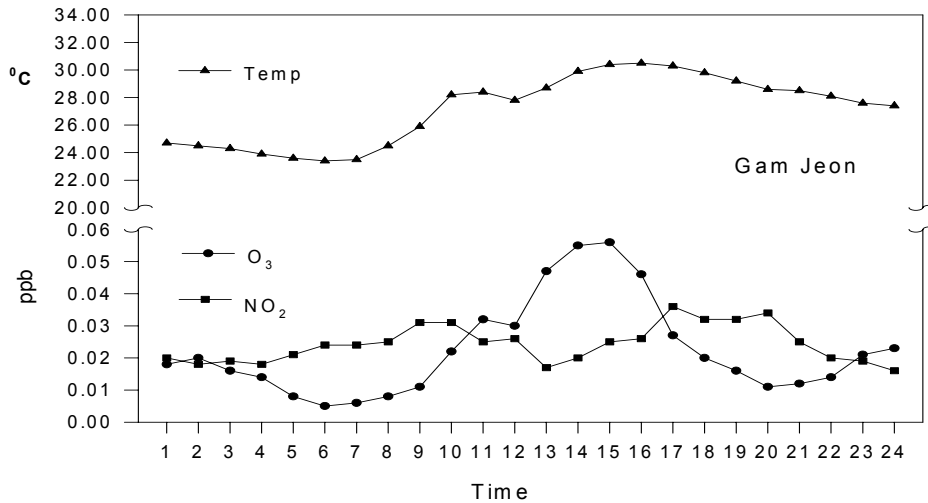


Fig. 3. Daily variation of temperature, ozone, nitrogen dioxide at Gam-jeon.

Table 15. Correlation coefficient with nitrogen dioxide

VOCs	Coefficient of correlation
Benzene	0.8290
Pentane	0.3763
3-methylpentane	0.5079
Hexane	0.4806
Methylcyclopentane	0.5068
Heptane	-0.4507
Toluene	0.7483
Ethylbenzene	0.8423
m,p-xylene	0.9010
Styrene	0.9138

V. 결 론

본 조사연구는 부산지역을 5개 지역별 (공업, 상업, 주거, 녹지, 도로변지역)로 구분하여 8월과 9, 10월에 Benzene을 포함하여 10개 항목에 대한 조사분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 모든 지역에서 자동차 배출가스로 인한 휘발성유기화합물질(특히 방향족탄화수소류(Aromatic hydrocarbons, BTEX))이 검출되었으며, 특히 공업지역의 경우 도료생산시설을 중심으로 조사분석한 결과 그 영향반경은 준공업지역 내 감전동사무소 주변 기존 주거지역에까지 영향을 미쳤으며, 상대적으로 낙동강과 인접하고 있는 낙동로변 주유소 및 공

단지역에서는 그 농도가 떨어지는 경향을 보였다.

- 2) 부산의 도로변지역(온천동)의 휘발성유기화합물질 조사결과 차량배출가스의 주성분인 Benzene의 경우 대구시와 비교하여 약 2배가 낮으며, 대전시와 비교하여 약 6배가 낮게 조사되었으며, 주거 및 녹지지역 또한 BTEX를 포함하여 일부물질이 검출되었으나 그 농도는 극히 미미하였다.
- 3) 조사대상물질별로 보면 방향족 탄화수소류(Aromatic hydrocarbons, BTEX)는 온도가 상승하는 여름철과 하루중 기온이 가장 높은 오전 10시에서 오후 2시사이에 그 농도가 감소하는 반면

Heptane의 경우는 그 반대의 경향을 보였다.

4) 오존(O₃)과의 상관계수 분석결과 Benzene (0.9656), Styrene(0.9610), m,p-xylene (0.9291), Ethylbenzen(0.8427)순으로 조사되었으며, 이산화질소(NO₂)와의 상관계수 분석결과 Styrene(0.9138), m,p-xylene (0.9010), Ethylbenzen(0.8423), Benzene (0.8290)순으로 조사되었으며, Hexane (0.4806), Pentane(0.3763)은 상관계수가 0.5 이하로 조사되어 질소산화물 생성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 조사되었다.

VI. 대 책

본 조사연구결과 공단지역내 휘발성유기화합물질을 원료로 사용하는 사업장 및 자동차가 빈번하게 통행하는 지역은 여름철 및 하루 중 오후 2시경에 오존의 농도가 증가하는 것으로 조사되어 이에 대한 대책이 시급한 실정이다. 따라서 본지에서는 국가 및 부산광역시, 부산시민의 각각의 분야에서 개선 및 이행사항을 건의해 본다.

1) 국가적 차원에서 “대체에너지개발촉진법”을 정비하고 연료용 알콜과 같은 대체에너지의 주세, 교통세 그리고 부가가치세 등 세제지원과 가스홀 생산 시설 및 주유시설에 대한 에너지절약

시설투자에 대한 세액공제, 홍보 지원 및 정부지원사업에 우선 참여 등 인센티브를 검토해야 하며

- 2) 부산시에서는 관공서 및 국지적으로 시범단지를 조성하여 가스홀과 같은 대체에너지 사용을 의무화하여 도심의 차량증가로 인한 오존농도의 증가를 억제토록 제도도입이 시급하며
- 3) 부산시민들은 자동차 운행자제 및 대중교통이용으로 부산시 대기중의 휘발성유기화합물질로 인한 오존농도증가를 억제하는데 동참할 수 있도록 홍보 및 사회적 분위기 조성이 필요하다.

Reference

- 1) 국내 휘발성유기화합물질관리의 현황과 문제점, 한국대기환경학회, 1997
- 2) 대기환경자료(휘발성유기화합물질), 국립환경연구원, 2000
- 3) "Predicting Volatile Organic Compounds Concentration in Residential Buildings", Xiaofeng Li et al., www.roomvent.dk/papers/p157.pdf, 2001
- 4) "Volatile organic compounds measured at a telephone switching center", Helen and Wescheler, JAWMA, 42, pp 792-804, 1992
- 5) 가스홀 실용화 연구(A Study for

- Gashol Application), 대한주류공업협회, 부산광역시, pp 16-17, 2003
- 6) 광주지역 여름철 대기중 주야간 VOC 농도 특성, 한국대기환경학회지, Vol. 17. NO.2, pp 169-177, 2001
 - 7) 2003년 환경실천계획, pp 62, 96, 부산광역시
 - 8) 부산광역시 대기환경개선 실천계획 수립, 부산광역시, 2002
 - 9) 대전시 대기중 휘발성유기화합물질농도에 관한 연구, 대전시보건환경연구원, 2001
 - 10) 대도시 교통밀집지역 도로변 대기중 휘발성유기화합물의 농도분포 특성, 한국대기환경학회, Vol.18, No.2, 2002
 - 11) 서울대기중 휘발성유기물질 일중변화에 대한 연구, 서울특별시보건환경연구원, 1997