환경영향평가 제14권 제4호(2005) pp.227~235

연구논문

수용모델(CMB)을 이용한 수도권 VOCs의 배출원별 기여율 추정

한진석 · 홍유덕 · 신선아 · 이상욱 · 이석조

인천시 서구 경서동 종합환경연구단지 내 국립환경과학원 대기환경과

(2005년 4월 26일 접수, 2005년 7월 20일 승인)

Receptor Model(CMB) and Source Apportionments of VOCs in Seoul Metropolitan Area

J. S. Han · Y. D. Hong · S. A. Shin · S. U. Lee · S. J. Lee

Air quality division, National Institute of Environmental Research

(Manuscript received 26 April 2005; accepted 20 July 2005)

Abstract

Source contribution for VOCs collected in Seoul metropolitan area was conducted using PAMs (Photochemical assessment monitoring system) data and CMB(Chemical Mass Balance) model8.0, in order to estimate spatial and temporal variations of VOCs source contribution in that area, and also to compare with corresponding emission inventory. VOCs data used in model calculation were collected at 6 different sites of PAMs(Seokmori, Guwoldong, Simgokdong, Bulgwangdong, Jeongdong and Yangpyeong) and 22 out of 56 VOCs species were analyzed from June 2002 to march 2003 and used for CMB model estimation. The result showed that vehicle exhaust, coating and energy combustion were important sources of VOCs in Seoul metropolitan area, averaging 32.6%, 25.5% and 25.1%, respectively. In this study as well as other references, it was revealed that vehicle exhaust is the main contributor of urban area VOCs, but there is remarkable contrast between emission inventory and model estimation. Vehicle exhaust portion is seriously underestimated while coating is usually overestimated in emission estimates, compared to CMB results. Therefore, it is considered to assert and confirm the uncertainty of emission estimates and clarify the distinction between two other source apportionment methods.

Key words : VOCs, CMB, Emission, Source contribution, Vehicle exhaust.

Corresponding Author: Jin-Seok Han, Air quality division, National Institute of environmental Research, Gyeongseo-dong, Incheon 404-170, Korea Tel: 82-32-560-7103 Fax: 82-32-568-2035 E-mail: nierhan@hanmail.net

I. 서 론

VOCs는 대기중에서 질소산화물(NOx)과 함께 광화학반응에 참여하여 오존 등 2차오염물질인 광화학산화물을 형성하는 전구물질로 작용한다(Barbara et al., 1996). 따라서 대도시지역의 오존농도를 저감하기위해 휘발성 유기화합물에 대한 현황파악 및 관리의 필요성이 대두되었으며, 환경부에서는 서울을 포함한 수도권지역에 광화학평가측정망(PAMs)을 설치, 2002년 5월부터 수도권 지역의 VOCs에 대한 현황파악을 실시하였다. VOCs 관리를 위해서는 농도에 대한 현황 파악 외에도 다양한 VOCs 발생원들에 대한 기여도 평가가 선행되어야 하며, 국내에서는 자동차 배출 가스, 가스연료, 유기용제 등의 오염원으로부터 오존전구 VOCs 성분의 기여도를 추정하기 위한 연구(나광삼, 2000; 이영재, 2001; 봉춘근 등, 2003)들이 수행되어왔다.

그러나 VOCs에 대한 연구는 아직 초기단계에 머무르고 있는 상황이며, 연속적이지 못하다는 단점을 가지고 있다. 이번연구에서는 PAMs의 축적된 자료를 수용모델(CMB)에 적용하여 서울을 비롯한 수도권 지역에서의 VOCs에 대한 발생원별 기여도를 산출하고, 그 결과를 기존의 배출원 자료와 비교하였다. CMB 분석에 사용하기 위한 VOCs 농도는 2002년 6월부터 2003년 3월까지 수도권 지역의 6개지점에서 측정한 PAMs 자료를 사용하였으며, 발생원별 기여도 산정에는 US EPA/Desert Research Institute CMB 8.0(Watson et al., 1997) 모델을 사용하였다.

II. 연구방법

1. 대기중 VOCs 농도

대도시 지역에서의 오존생성의 원인이 되는 전구물질의 농도를 파악하여 오존저감대책의 수립에 활용하고자 환경부에서는 2002년 5월부터 서울을 포함한 수도권 지역의 정동, 불광동, 심곡동, 구월동, 양평, 석모리, 포천, 광주의 8개 지점에 광화학평가측정망(PAMs)을 설치 · 운영하고 있으며, 이들 측정소에서는 56개의 VOCs 항목외에 NO_x, O_3, PM_{10}, $PM_{2.5}$, 기상조건 등을 연속적으로 모니터링하고 있다. 측정항목 중에서 VOCs는 on-line GC-FID를 사용해 측정하고 있으며, 보다 정확한 측정결과를 얻기 위해 각 측정소에서는 Table 1과 같은 평가항목 및 기준에 따라 VOCs 농도를 측정하고 있다.

Table 1. Quality control methods for VOCs measurement in PAMs.

Item	Method(EPA TAD*)
System Blank Analysis	use humidified N_2 gas 10ppbC per each column
Multiple Point Cal. Linearity Test	$R^2 \geq 0.995$ at least three points.
MDL Test (Method Detection Limit)	2ppbC as propane, benzene
Precision Test	within ±25% RPD(two times with 5 ppbV)

* Technical assistance documents for sampling and analysis of ozone precursors.

이번 연구에서 사용할 대기중 VOCs 농도는 2002년 6월부터 2003년 3월 사이의 기간동안 여섯 개의 PAMs 측정소에서 연속 측정된 56개 항목의 VOCs 농도를 사용하였으며, 측정장소는 Figure 1과 같이 수도권지역을 중심으로 서울 도심지역의 불광동, 정

Figure 1. VOCs monitoring sites in Seoul metropolitan area

동 및 산업 활동이 비교적 활발한 구월동, 심곡동 그리고 수도권 외곽에 위치한 석모리와 양평 6개 지점을 선정하였다.

여섯 개 측정지점의 측정결과를 살펴보면, 정동, 불광동, 구월동, 심곡동 네 지점의 총 VOCs 농도는 100$\mu g/m^3$ 이상, 석모리와 양평은 각각 28.6, 69.4$\mu g/m^3$ 로 도심지역에 비해 상당히 낮은 값을 나타내었다. 주요 물질별로 살펴보면, toluene의 농도가 평균 15~37$\mu g/m^3$ 정도로 대부분의 측정지점에서 가장 높은 농도로 조사되었으며, propane과 n-butane이 15$\mu g/m^3$ 내외로 그 뒤를 이었다. 그리고 대부분 자동차로부터 배출되는 것으로 알려진 acetylene의 농도는 약 3$\mu g/m^3$ 정도의 값을 보였다. 또한, 이번연구에서는 하루 중 아침시간(06:00~09:00)대의 VOCs 평균농도를 따로 분리하여 이에 대한 배출원 기여도를 산정해보고자 하였으며, 대부분의 경우 아침시간대의 평균 VOCs 농도가 일평균에 비해 상대적으로 높은 값을 나타냈다.

2. 수용모델(CMB)

CMB 모델의 기본 개념은 분석된 물질들에 대한 물질수지와 질량보존이며, 수용체에서 측정된 오염물질의 농도에 대한 각각의 배출원별 기여도는 식 (1)과 같은 일련의 선형방정식에 대한 최소자승다중회귀분석법을 이용하여 산정한다.

$$Ci = \sum_{j=1}^{p} F_j S_j \qquad (1)$$

여기서, C_i는 측정된 i성분의 농도, F_{ij}는 발생원 j로부터 배출된 i 성분의 농도, S는 발생원 j에 대한 가중치(기여율)이다. 위식은 선형적인 결합이므로 성분의 수가 발생원의 수보다 많을 경우에는 S(발생원 기여도)를 구할 수 있다. 그러나 CMB는 다양한 배출원에 대한 파악 및 반응성이 높은 물질에 대한 고려가 어렵다는 제한성을 가지고 있는 모델이다. 일반적으로 CMB 모델을 이용한 VOCs의 기여도 평가를 위해서 5~10가지 종류의 발생원을 분류하며, 성분은 대기중에서의 반응성이 강한 물질들을 제외한 15~25개 내외의 성분들을 대상물질로 선정한다(Vega et al., 2000). 이번 연구에서는 56개 VOCs 측정항목 중에서 농도수준과 개별 물질들의 반응성을 고려하여 Table 2와 같이 22개의 대상물질들을 선정하였다.

CMB모델을 수행하기위해서는 모든 농도자료에 대한 불확도(uncertainty)를 입력해야 한다. 이번 연구에서는 각 성분의 농도를 평균할 때의 표준편차를 사용하였으며, 자료가 표준편차를 산정하기에 부족한 경우에는 측정값의 20%를, 검출된 농도가 검출한계에 근접하는 경우에는 측정기의 검출한계를 불확도로 이용하였다.

CMB를 수행하여 얻은 각각의 모델결과들을 평가하기위한 척도로는 R-square(≥0.8), Chi-square(≤4), Percent Mass(80~120%)와 같은 값들이 사용되고 있으며, 이번 연구에서 역시 각각의 모델결과들에 대한 유효성을 검토하기위해 위의 인자들에 대한 분석을 모델과 동시에 실시하였다. 특히 발생원 기여도에 대한 과대평가 혹은 과소평가 여부를 결정하기 위해 Percent Mass 값을 주위 깊게 관찰하였으며, 또한 모델 결과 음의 기여도를 보이는 발생원의 경우에는 해당 발생원을 제거해나가는 과정을 통해 모든 분석을 실시하였다(Fujita et al., 1995).

3. 발생원 분류표(source profile)

2002년 수도권 지역의 VOCs 배출량 자료(대기보전 정책 수립 지원 시스템, 2003)를 토대로 자동차 배출가스,증발(가솔린), 유기용제, 에너지 연소(가스연료) 및 자연발생 휘발성유기화합물과 같은 발생원들을 선정하였으며, 각 발생원들에 대한 무게농도는 Table 2와 같다.

발생원별 특성을 살펴보면, 자동차 배기가스의 경우 alkane계열의 성분들이 차지하는 비율이 47.3%로 가장 높게 나타났다. 또한, acetylene 5.55% 외에 butane, pentane, ethylene과 같은 물질들이 상대적으로 높은 비율을 나타내 상기의 물질들이 자동차

Table 2. Source profiles developed in this study.

(unit:% by weight)

Species	Gasoline** emission	Diesel* emission	Gasoline* evaporation	Coating1* (thinner)	Coating2* (enamel)	Butane* gas	LPG**	Town** gas	Biogenic VOCs
acetylene	5.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ethane	0.89	0.44	0.04	0.00	0.00	0.00	7.17	69.3	0.00
propane	1.90	0.35	1.20	0.00	0.00	24.5	9.92	18.2	0.00
isobutane	4.75	0.82	12.0	0.00	0.00	0.00	26.7	4.97	0.00
1-butene	1.23	1.52	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
n-butane	12.1	3.58	18.5	0.00	0.81	65.0	54.1	5.16	0.00
cis-2-butene	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00
isopentane	10.0	0.00	32.7	0.00	5.66	0.00	0.00	1.02	0.00
1-pentene	0.00	0.00	7.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
n-pentane	2.82	0.07	19.5	0.00	0.00	10.5	0.51	0.78	0.00
isoprene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
n-hexane	2.36	0.00	1.44	0.00	1.10	1.02	0.03	0.00	0.00
benzene	2.79	4.52	1.86	0.00	0.41	0.00	0.18	0.00	0.00
n-heptane	1.96	0.33	0.18	0.00	4.43	0.00	0.02	0.00	0.00
toluene	7.85	3.41	0.46	89.1	2.52	0.00	0.17	0.00	0.00
n-octane	0.28	1.90	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ethybenzene	1.15	1.47	0.00	0.44	13.0	0.00	0.04	0.00	0.00
m,p-xylene	5.24	17.1	0.01	2.05	41.0	0.00	0.11	0.00	0.00
styrene	0.37	0.00	0.00	0.00	4.11	0.00	0.03	0.00	0.00
o-xylene	2.53	5.19	0.00	0.27	20.8	0.00	0.04	0.00	0.00
ethylene	15.9	38.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
propylene	3.62	13.7	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

* Kim et al., 2001

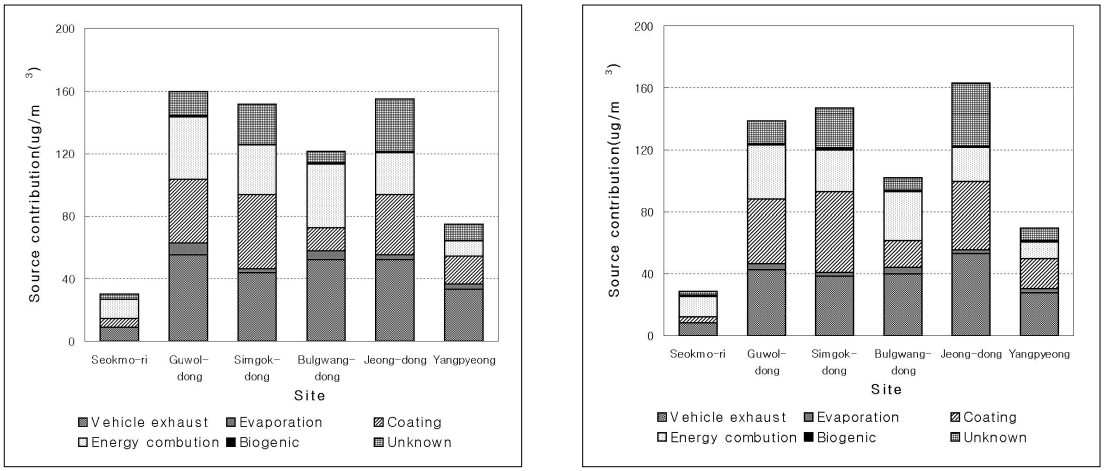
** Bong et al., 2003

배출가스에 대한 지표물질로 조사되었으며, 이는 Vega et al.(2000), Fujita et al.(1995), Watson et al.(2001)의 연구결과와 비교적 잘 일치하는 것이다. 가솔린 증발에 의한 VOCs 방출의 경우 butane, pentane의 비율이 높은 alkane 계열을 주성분으로 Mukund et al.(1996), Aronian et al.(1989)의 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 가스연료가 연소된 후 배출되는 물질의 구성은 원료의 본래 성분에 따라 독특한 구성을 나타내며, LPG 연소시에 배출되는 VOCs 물질중에 n-butane과 i-butane의 비율은 각각 54.1%, 26.7%로 조사되었다. 도시가스의 경우 주성분인 methane외에 ethane(69.3%)의 비율이 가장 높았으며, 이는 도시가스의 원래 구성비와 유사한 구성비를 나타내었다(봉춘근 등, 2003). 신나 계열의 유기용제에서는 toluene(89.1%)이, 에나멜 계열의 유기용제에서는 m,p-xylene(41%), o-xylene(20.8%)이 높은 구성비를 보이는 것으로 조사되었다.

III. 결과 및 고찰

6개 지점에서 측정한 일일 혹은 아침시간대의 평균 VOCs에대한 기여도를 조사한 결과 자동차 배출가스, 유기용제 그리고 에너지 연소와 같은 발생원들의 비중이 다른 오염원들에 비해 상당히 높은 것으로 나타났으며, VOCs에 대한 각지점별 · 평균시간대별 기여도는 Figure 2와 같다.

Figure 2의 측정지점들은 그 지리적인 위치에 따



(a) (b)

Figure 2. Source contributions of VOCs at six monitoring sites for each averaging period. (a)06:00~09:00, (b)all day.

라(Figure 1) 서쪽에서 동쪽으로 나열하였으며, 가솔린, 디젤, LPG 배출가스에 의한 각각의 기여도를 합산하여 자동차 배출가스(Vehicle exhaust)로 정리하였고, 신나 및 에나멜 계열의 유기용제에 의한 각각의 기여도를 종합하여 유기용제(Coating)에 의한 기여도를 산출하였다. Figure 2의 에너지연소는 가스연료 각각에 대한 기여도의 합을 나타내는 값이며, "Unknown"은 실제 측정된 VOCs 농도와 CMB 모델에 의해 계산된 농도간의 차이를 표시한 것이다.

오전시간대(6시~9시) 평균 VOCs 농도를 기준으로 CMB 모델을 이용한 배출원별 기여율을 추정한 결과, VOCs의 배출원 중에서 가장 기여도가 높은 배출원은(석모리, 심곡동 제외) 자동차 배출가스로서 29~45%의 범위를 나타내었다(Table 3). 이러한 결과는 표에서 보듯이 서울, 경기, 인천지역의 VOCs 배출량 조사값인 20.7%보다는 높고, 나광삼(2000), 이영재(2001), 봉춘근 등(2003)의 연구결과인 51~56%(Table 5)에 비하여 다소 낮은 수준이나, CMB를 이용한 배출원 기여도 조사에 있어, 자동차 배출가스부분이 가장 주요한 오염원이라는 것을 확인 할 수 있다. 도시지역에서의 배출원 기여도를 정리한 Fujita et al.(1995)에 따르면, 자동차 배출가스에 의한 기여도는 35~70%의 비율을 차지하는 것으로 조사되었다. 다른 연구결과들과의 차이는 해당 VOCs 농도 입력 자료들의 시간적, 공간적 차이와 또한 모델에 적용하는 대상물질의 상이함에 의한 것으로 사료된다.

다른 지역과 달리 강화도 석모리는 섬이라는 지리적 위치로 인해, 그리고 인천시 심곡동은 공단 등의 영향으로 자동차 배출가스에 의한 기여도가 상대적으로 감소하는 결과를 나타내고 있으나, 여전히 높은 비율은 보이고 있다. 자동차 배출가스에 의한 기여도의 경우 도시지역 뿐 아니라 석모리, 양평과 같은 수도권 외곽지역에서도 상당히 높은 수준을 보이고 있으며, 이는 다른 지역으로부터의 오염물질 유입에 의한 영향인 것으로 판단된다. 이러한 오염물질 이동에 의한 VOCs 물질들의 축적은 지역에 따른 발생원 기여도의 특성을 둔화시키는 결과를 낳는다(Mukund et al., 1996). 6시에서 9시사이의 아침시간대의 VOCs 기여도와 비교할 때 하루 24시간 동안의 VOCs에 대한 기여도는 Figure 2에서 보듯이 거의 유사한 경향을 나타내고 있으나, 자동차 배출가스에 의한 기여도는 아침시간에 비해 지역에 따라 1~5% 감소하였다(Table 3).

Table 3. Different time-averaged source contribution estimated by CMB with emission inventory.

(unit : %)

	Source																	
	Vehicle exhaust			Evaporation			Coating			Energy combustion			Biogenic			Unknown		
	06-09	Day	Emission*	06-09	Day	Emission	06-09	Day	Emission	06-09	Day	Emission	06-09	Day	Emission	06-09	Day	Emission
Seokmo-ri	28.6	27.4		0.9	0.8		18.3	15.2		41.2	46.3		0.3	1.3		10.7	8.9	
Guwol-dong	34.7	30.5	15.4	4.4	2.9	3.1	25.4	30.4	73.7	25.3	25.4	1.9	0.2	0.1		10.0	10.7	
Simgok-dong	29.1	26.2		1.7	1.6		31.2	35.3		20.7	18.7		0.2	0.2		17.1	17.9	
Jeong-dong	33.8	32.7		1.8	1.4		24.9	27.0		17.5	13.5		0.2	0.2		21.9	25.1	
Bulgwang -dong	42.8	39.2	28.8	5.0	3.9	4.4	11.8	16.7	65.0	33.6	31.1	1.2	0.8	0.7		6.0	8.4	
Yangpyeong	44.5	39.9	18.0	4.3	3.7	4.9	23.4	28.4	69.2	13.6	15.6	1.3	0.4	0.7		13.8	11.6	
Average	35.6	32.6	20.7	3.0	2.4	4.1	22.5	25.5	70.1	25.3	25.1	1.5	0.3	0.6		13.2	13.8	

* Clean air policy support system(CAPSS), 2003.

Table 4. Toluene, m,p-xylene ratio to benzene in korea compared to other cities.

	Hamburg*	Sydney*	Chicago*	Osaka*	Taiwan*	Korea**
Toluene/benzene	2.6	3.4	1.6	6.1	5.6	11.8
m,p-xylene/benzene	2.2	2.0	0.8	2.1	2.0	2.7

* Heish and Tasi(2003), Chemosphere, 545-556.

** Averaging Jeong-dong, Bulgwang-dong, Simgok-dong, Guwol-dong.

자동차에 이어 가장 많은 기여도를 보이는 배출원은 에너지 연소 및 유기용제의 사용으로 유기용제의 경우, 지점에 따라 17~33%로서, 주위에 위치한 공단의 영향이 비교적 클 것으로 예상되는 인천시 구월동, 심곡동 지역에서 각각 40.7$\mu g/m^3$(25%), 47.3$\mu g/m^3$(31%)가 유기용제 사용에서 기인한 것으로 추정되었으며, 심곡동의 경우 다른 지역과 달리 가장 높은 유기용제에 의한 발생원 기여도를 나타내었다. 하루평균 농도에 대한 기여도는 자동차 배출가스와 달리 아침에 비해 평균 약 3%정도 상승하는 것으로 나타났다.

특히 유기용제의 사용은 벤젠을 제외한 방향족 계열의 VOCs(toluene, m,p-xylene 등)에 기여하는 바가 크다. 따라서 톨루엔과 벤젠, 그리고 자이렌과 벤젠의 조성비를 이용하여 하루 중 오후시간대에 용제의 증발에 의한 VOCs 농도의 증가 여부를 판단하는 기준이 될 수 있다. Table 4에 따르면, 우리나라의 경우 benzene에 대한 toluene, m,p-xylene 각각의 비율은 11.8, 2.7로서 다른 나라에 비하여 현저히 높은 경향을 나타내고 있으며, 이는 우리나라의 유기용제 사용량이 다른 나라에 비해 상대적으로 많다는 것을 보여준다.

에너지 연소에 의한 기여율은 각각의 평균시간대에 따라 25.1~25.3%이었으며, 가솔린 증발과 자연배출에 의한 VOCs 기여율은 각각 0.9~5.0%, 0.2~0.8%로 다른 발생원에 비해 상당히 낮은 기여도를 차지하는 것으로 나타났다. 자연배출 VOCs에 대한 모델결과를 살펴보면, 수도권 외곽지역의 양평, 석모도와 함께 북한산 자락에 위치하고 있는 불광동 지점의 기여도가 도심지역에 해당하는 구월, 심곡, 정동지역에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났으나, 예측에 비해 외곽지역에서의 기여도가 매우 낮은 수준을 보이고 있다. 자연에서 방출되는 VOCs는 대기중 반응성이 높을 뿐 아니라 모델에 적용하는 자연배출 VOCs 물질이 isoprene에 한정되어있는 관계로, CMB모델을 이용하여 산출한 자연배출 기여도는

Table 5. Comparison of source contribution with emission estimate and other studies.

(unit : %)

	Emission[a]	Lee(2001)[b]	Na(2000)[c]	Bong(2003)[d]	This study
Vehicle exhaust	**28.8**	**51.2**	**55.8**	**51.9**	**33.8**
-gasoline emission	17.7	-	-	-	28.7
-diesel emission	6.1	-	-	-	2.6
-LPG vehicle	5.0	-	4.5	2.3	2.5
Evaporation	**4.4**	**27.9**	**7.2**	**13.1**	**1.8**
Coating	**65.0**	**21**	**35.6**	**21.3**	**24.9**
-coating 1	34.8	4.2	-	19.2	16.6
-coating 2	30.2	16.8	35.6	2.1	8.3
Energy combustion	**1.2**	**-**	**1.4**	**13.8**	**17.5**
Biogenic	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.2**

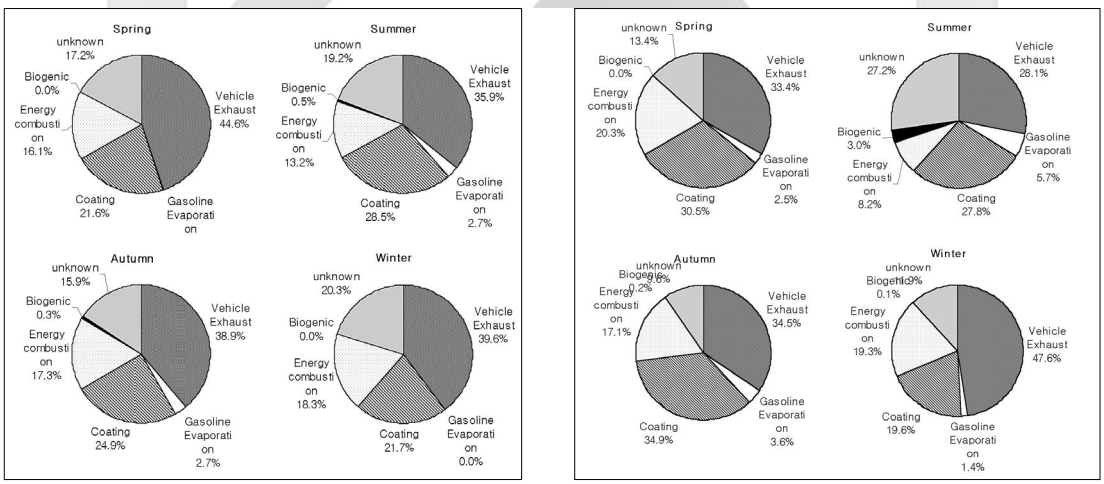
[a] Clean air policy support system(CAPSS, 2003); data were collected in Seoul.

[b] Lee(2001); ambient samples were collected during the daytime of summer season in Kwangu.

[c] Na(2000); ambient data were averaged for all day of summer season in Seoul.

[d] Bong(2003); ambient samples were collected at 09:00-11:00 in the middle of summer in Seoul.

[e] ambient samples were collected at jeong-dong in Seoul during 06:00-09:00.



(a) (b)

Figure 3. Seasonal source contribution for VOCs in (a) Jeong-dong, (b) Yangpyeong.

실제 방출량에 비해 제한적일 수밖에 없다. 또한 다른 지역으로부터 유입되는 인위적인 오염물질 역시 자연배출 기여도를 감소시키는 한 요인으로 작용 하는 것으로 판단된다.

수도권(서울, 인천, 경기) 지역에서 조사되어 보고되고 있는 VOCs 배출량 추정값들을 모델결과와 함께 살펴보면(Table 3, 5), 유기용제 부분이 매우 과대평가되고 있고 반면에 자동차와 에너지연소 부분이 과소평가 되었을 가능성을 보여주고 있다. 이번 연구에서 배출량 자료에 대한 CMB의 비율은 자동차의 경우 1.7(06-09), 그리고 유기용제의 경우에는 0.3(06-09)으로 심각한 과대 · 과소평가의 경향을 보여주고 있으며, 다른 연구결과들에서도 역시 배출량평가에 있어 자동차에 대한 과소평가 부분이 지적

되고 있는 실정이다(Ingalls et al., 1989; Pierson et al., 1990). 이에 따른 배출량의 기여도 평가에 대한 확인이 필요할 것으로 사료된다(Harley et al., 1993; Chico et al., 1993).

도심인 정동지점과 수도권 외곽지역에 해당하는 양평에 대한 계절별, 배출원별 기여율을 추정한 결과는 Figure 3과 같다. 정동지점에서 여름과 가을의 유기용제 기여율은 각각 28%, 25%로 봄, 겨울에 비해 상대적인 증가 추세를 보이고 있으며, 에너지 연소는 겨울에 18%로 그 기여도가 가장 높고, 여름에는 13%로 가장 낮은 기여도의 특성을 잘 나타내고 있다. 가솔린 증발의 경우에도 봄, 겨울에 비해 여름(2.7%)과 가을(2.7%)에 상대적으로 높은 기여도를 보였다. 양평지점의 경우에도 가솔린 증발 및 에너지 연소의 계절별 기여율 변화는 정동지점과 유사한 경향을 나타내고 있으며, 특히 정동 지점과 비교해 자연배출 VOCs의 기여율에 있어 여름철 뚜렷한 증가세를 찾아볼 수 있다.

IV. 결 론

도심 및 수도권 외곽지대 6개지점에서의 VOCs 농도를 기준으로 자동차 배출가스 및 증발, 유기용제, 에너지 연소, 자연 배출원 각각에 대한 발생원 기여도를 CMB를 통해 분석한 결과 아침시간대(06-09)를 기준으로 가장 높은 기여도를 보이는 배출원는 자동차 배출가스(35.6%), 다음으로 유기용제 사용 및 에너지 연소가 각각 차지하는 것으로 나타났다. 그 외 가솔린 증발 및 자연 배출원에 의한 VOCs 기여도는 평균 3% 미만으로 다른 발생원에 비해 낮은 기여율을 보였다. 아침시간대의 평균 VOCs에 대한 기여도 평가와 비교해 일일 평균 농도에 대한 분석결과는 자동차 배출가스 및 증발에 있어서는 감소하는 경향을, 반면에 유기용제 사용에 있어서는 증가하는 경향을 보였다.

수도권(서울, 인천, 경기) 지역에서 조사 · 보고되는 VOCs 배출량을 모델결과와 함께 비교해본 결과, 배출량 자료에 대한 CMB의 비율이 자동차의 경우 1.7(06-09), 그리고 유기용제의 경우에는 0.3(06-09)으로 상당한 과대 · 과소평가의 경향을 보여주고 있으며, 이에 따른 배출량의 기여도 평가에 대한 확인과 서로 다른 평가방법들 사이의 차이를 규명하고 해소하는 일이 필요할 것으로 사료된다.

도심지역(정동)에 대한 계절별, 배출원별 기여율을 추정한 결과, 여름과 가을의 유기용제 기여율은 봄, 겨울에 비해 1.2배, 에너지 연소는 겨울의 기여율이 여름에 비해 1.4배, 그리고 가솔린 증발의 경우에도 봄, 겨울에 비해 여름과 가을의 기여율이 10.8배 증가하는 것으로 나타났다. 수도권 외곽지역(양평)의 경우에도 정동지점과 유사한 경향을 나타내고 있으며, 특히 자연배출 VOCs의 기여율에 있어 여름 · 가을철 뚜렷한 증가세(40배)를 보이는 것으로 조사되었다.

참고문헌

국립환경과학원, 2003, 대기보전 정책수립 지원 시스템(III), 최종보고서, 환경부

김소영, 한진석, 김희강, 2001, 휘발성 유기화합물질의 주요 배출원의 배출물질 구성비에 관한 연구, 오존생성 전구물질을 중심으로, 한국대기환경학회지, 17(3), 233-240.

나광삼, 2000, Characteristic of atmospheric volatile organic compound in Seoul, measurement and chemical mass balance receptor modeling, 연세대학교 박사학위 청구논문.

봉춘근, 윤중섭, 황인조, 김창년, 김동술, 2003, 서울지역에서의 VOCs 오염원 기여도 추정에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 19(4), 387-396.

이영재, 2001, 광주지역 대기중 휘발성 유기화합물의 농도 및 배출원 특성에 관한 연구, 조선대학교 박사학위 청구논문.

Aronian, P. F., P.A. Scheff, and R. A. Wadden, 1989, Winter time source -reconciliation of ambient organics, Atmos. Envir. 23(5), 911-920.

Barbara, Z., John C. S., Gregory H., Alan W. G., William R. P.,1996, Volatile Organic Compounds up C20 Emitted from Motor Vehicles ; measurement methods, Atmos. Environ., 30(12), 2269-2286.

Chico, T., Bassett M., Cassmassi J., Mitsutomi S., Zhang X., 1993, Application of the urban airshed model for a SCAQS episode in the South Coast Air Basin. Presented at the A&WMA SCAQS Data Analysis Conf., LA, Cal., 21-23 July, 1992;Southern California Air Quality Study-Data Analysis AWMA Speciality Conf. Proc. VIP-26, 257-263.

Fujita, E. M., G. Jhon, Watson and Judith C. Chow, 1995, Receptor model and emissions inventory source apportionments of nonmethane organic gas in California's San joaquin valley and San francisco bay area, Atmos. Environ., 29 (21), 3019-3035.

Harley, R. A., Russel A. G., Mctae G. J., Cass G. R. and Seinfeld J. H., 1993, Envir. Sci. Technol., 27, 278-288.

Ingalls, M. N., Smith L. R. and Kirksey R. E., 1989, Measurement of on-road vehicle emission factors in the California South Coast Air Basin-Vol. I: regulated emissions. Report No. SwRI-1604 prepared by the Southwest Research Institute for the Coordinating Research Council, Atlanta, Georgia.

Mukund, R., Thomas J., Kelly and Chester W. Spicer, 1996, Source attribution of ambient air toxic and other VOCs in Colombus, Ohio, Atmos. Environ., 30 (20), 3457-3470.

Pierson, W. R., Gertler A. W. and Bradow R. L., 1990, J. Air Waste Man. Ass., 40, 1495-1504.

Vega, E., V. Mugica, R. Carmona, and E. Valencia, 2000, Hydrocarbon source apportionment in Mexico City using the chemical mass balance receptor model, Atmos. Environ., 34(24), 4121-4129.

Watson, J. G., Robinson, N. F., Lewis, C., Coulter, T., 1997, Chemical Mass balance Receptor Model-Version 8(CMB8) User's Manual, Document No. 1808 1D1, Desert Research Institute, Reno, NV.

Watson, J. G., J. C. Chow and E. M. Fujita, 2001, Review of volatile organic compound source apportionment by chemical mass balance receptor model, Atmos. Environ., 35(9), 1567-1584.

최종원고채택 05. 08. 16