

## 장기 NO<sub>2</sub> 및 SO<sub>2</sub> Passive Diffusive Sampler(PDS)를 이용한 대전시 대기질 모니터링

임 봉 빈 · 김 선 태\* · 정 재 호\*\* · 이 범 진\*  
(주) 엔버스 부설기술연구소, \*대전대학교 환경공학과, \*\* (주) 과학기술분석센터  
(2006년 7월 10일 접수; 2006년 12월 4일 채택)

## Air Quality Monitoring in Daejeon City with Long-Term NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> Passive Diffusive Samplers

Bong-Been Yim, Sun-Tae Kim\*, Jae-Ho Jung\*\* and Bum-Jin Lee\*

R&D Center, Envors Co., Ltd., Daejeon 306-809, Korea

\*Department of Environmental Engineering, Daejeon University, Daejeon 300-716, Korea

\*\*Scientec Lab Center Co., Ltd., Daejeon 305-811, Korea

(Manuscript received 10 July, 2006; accepted 4 December, 2006)

Long-term passive diffusive samplers(PDS) have been used to measure NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> concentrations at 21 sampling sites in Daejeon, Korea during the period of January 2000 - December 2002. The spatial distributions of annual NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> concentrations were mapped. Average annual NO<sub>2</sub> concentration over the sampling period was 28.5±12.5 ppb, ranging from 1.2 to 81.7 ppb. Average annual SO<sub>2</sub> concentration over the sampling period was 7.7±4.8 ppb, ranging from 0.6 to 26.8 ppb. On average, NO<sub>2</sub> concentration was approximately 5.8%(1.6 ppb) larger in 2002. SO<sub>2</sub> concentration was decreased by 13%(1.1 ppb) during the sampling period. The seasonal variation of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> concentration was observed with a tendency to be higher in fall and winter. NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> concentrations measured at different site types(patterns of land use) show significant difference. The observed difference in concentration was associated with difference in emissions of NO<sub>2</sub> from motor vehicles and SO<sub>2</sub> by non-traffic fuel consumption for heating.

Key Words : Passive diffusive sampler, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Air quality monitoring, Spatial distribution

### 1. 서 론

대도시 대기질을 평가하기 위해 모니터링하는 대기오염물질 중 NO<sub>2</sub>와 SO<sub>2</sub>는 인간의 호흡기에 미치는 영향, 생태계의 산성화 그리고 광화학물질을 형성하는 기여하는 역할 때문에 대표적으로 관심이 높은 물질이다. 우리나라의 경우 급속한 산업화와 도시화로 심각한 대기오염문제가 야기된 1980년대에는 SO<sub>2</sub>와 부유분진이 주요 관리대상 오염물질이었으나, 서울올림픽이 열린 1988년부터 교통량의 급속한 증가와 함께 NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>에 의한 대기오염이 더

욱 악화되었다<sup>1)</sup>. 1990년대 이후 저유황정책과 청정 연료 사용으로 일반 도시 대기 중의 SO<sub>2</sub> 농도는 점점 감소하고 있지만, 산업단지에서는 아직도 높은 농도를 나타내는 경우도 있다. 환경부에서는 NO<sub>2</sub>와 SO<sub>2</sub> 저감을 위하여 2001년 이후부터 황 함유율이 0.3% 이하인 저유황유를 사용하도록 규제하고 있다<sup>2)</sup>.

현재, 대도시에서 NO<sub>2</sub>와 SO<sub>2</sub>를 포함한 대표적인 대기오염물질을 포함한 대기질의 평가와 특성을 분석하기 위해서 상시측정이 가능한 연속자동측정기를 갖춘 대기오염 자동측정망을 구성하여 운영하고 있다. 연속자동측정법은 농도변화가 심한 대기오염물질의 시간적인 변화를 평가하고 실시간으로 측정오염물질의 농도를 파악할 수 있는 장점을 지니고 있다. 그러나 광범위한 지역에서 오염물질의 공간적인 변화를 파악하기 위해서 측정망의 개수의 증가

Corresponding Author : Sun-Tae Kim, Department of Environmental Engineering, Daejeon University, Daejeon 300-716, Korea  
Phone: +82-42-280-2534  
E-mail: envsys@du.ac.kr

로 인한 많은 인력과 고가의 장비 및 유지보수비가 소요된다. 또한 다양한 대기오염물질의 공간적 분포 상황을 평가하기 위해 이용되고 있는 대기오염 확산모델링을 검증하기 위한 수단으로는 측정지점이 한정되어 있어 상호간의 자료를 비교 평가하는데 어려움이 있다<sup>3)</sup>.

한편, 다양한 대기오염물질을 선택적으로 측정할 수 있도록 개발된 passive diffusive sampler(PDS)를 이용한 측정방법은 측정기를 다루는데 고도의 기술이 필요하지 않고 분자확산(molecular diffusion) 현상을 이용하기 때문에 펌프 및 유량측정장치와 같은 부수적인 설비와 전원이 필요하지 않아 시공간적 제약 없이 광범위한 지역과 실내작업환경 및 인체영향평가에서도 사용할 수 있다<sup>4)</sup>. PDS는 공기의 동적인 움직임을 배제시켜 가스상 오염물질이 정적인 공기층이나 막을 통과하여 확산에 의해 흡수체에 도달되는 점을 이용한 것으로 PDS와 대기가 접촉하는 지점(대상물질의 고농도 지역)에서 측정기 내부(대상물질의 저농도 지역)로 가스상 물질의 분자가 확산, 이동하는 분자확산을 이용한 것이다<sup>4,5)</sup>. 따라서 실시간으로 오염물질의 농도를 확인할 수는 없지만 많은 측정지점에서 동시에 측정이 가능하며 자동측정망이 없는 지역의 대기오염 공간분포 자료를 획득하는데 사용될 수 있다<sup>1)</sup>. 이러한 측정방법은 국내의 경우 1992년 이후 한정적으로 사용되었으나, 최근에는 국내와 해외에서도 PSD를 이용하여 대기질을 모니터링하는 사례가 증가하고 있으며, UNEP(United Nations Environment Program)에서도 그 활용성을 언급하고 있다. 국내외에서 대기오염 및 실내오염 측정 등 다양한 목적을 위해 이용된 PDS는 NO<sub>2</sub>와 SO<sub>2</sub> 이외에 휘발성유기화합물, 오존, 암모니아, 포름알데히드 등이 보고되었다<sup>4,6~14)</sup>.

본 연구에서는 도시규모의 대기질 현황을 파악하기 위하여 대전광역시를 대상으로 2000년부터 2002년까지 3년 동안 21개 지점에 장기 NO<sub>2</sub> 및 SO<sub>2</sub> PDS를 설치하여 대기질 모니터링을 지속적으로 수행하였으며, 각 토지이용별 권역에서의 NO<sub>2</sub> 및 SO<sub>2</sub> 농도의 변화와 공간분포 현황을 파악하여 대기질의 변화를 평가하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 시료채취지점 및 방법

시료채취 지점은 대전시를 대상으로 토지이용현황을 고려하여 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역의 4개의 권역으로 구분하여 21개 지점을 선정하였다. 주거지역은 주로 아파트 단지가 밀집되어 있는 8개의 지점, 상업지역의 구도심과 신도심을 중

심으로 8개 지점, 공업지역의 대전 1·2산업단지과 3·4산업단지에서 3개 지점 그리고 녹지지역은 국립공원 계룡산과 대전광역시 외곽지역 2개 지점을 대상으로 하였다. 측정지점의 위치, 시료채취기간 및 시료개수 등 측정지점에 관한 정보는 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다.

본 연구에서 NO<sub>2</sub> 및 SO<sub>2</sub>의 측정이 광범위한 지역을 대상으로 진행되기 때문에 시료의 채취와 분석이 간단하며, 측정결과의 정확성과 정밀성이 양호한 장기 NO<sub>2</sub> 및 SO<sub>2</sub> PDS를 사용하였다. 장기 NO<sub>2</sub> 및 SO<sub>2</sub> 측정을 위한 PDS(Tosen Technology, Japan)는 배지형(badge-type)으로 대기 중에서 풍속의 영향을 최소화하기 위한 소수성 멤브레인(polyfreeson)과 NO<sub>2</sub> 및 SO<sub>2</sub>를 선택적으로 흡수할 수 있는 흡수제를 PDS 안쪽 내부에 설치하여 분자확산에 의해 NO<sub>2</sub> 및 SO<sub>2</sub>가 흡수되는 구조를 가진다. PDS의 크기는 직경 30 mm, 높이 15 mm로 작고 가벼워 다루기 편리하다. 시료채취는 PDS를 약 2m 높이에 설치하였으며 직접적인 기류의 영향을 받지 않도록 샘플러 입구를 지면방향으로 하여 30일 동안 실시하였다. 시료채취가 완료된 후 수거된 PDS는 즉시 밀봉한 후 분석 전까지 냉장소에(4°C) 보관하여 시료의 변질 및 손실을 줄였다.

### 2.2. Passive diffusive sampler의 제작 및 분석방법

샘플러 자체에 존재할 수 있는 오염물질 제거를 위해 PDS 각 부분은 초음파세척기와 초순수를 이용하여 충분히 세척하여 건조하였으며, 오염물질의 채취를 위해 사용된 흡수여지(5C filter paper, Advantec)는 초음파세척 후 건조기(60°C)에서 완전 건조시켜 밀봉상태로 보관하여 오염물질과의 접촉을 피하였다. 흡수여지에 흡수액 70 μL를 주입한 후 즉시 PDS를 조립하였다. 사용된 흡수액은 SO<sub>2</sub> PDS의 경우 5%(w/v) sodium bicarbonate용액이며 NO<sub>2</sub> PDS의 경우는 10%(v/v) triethanolamine을 사용하였다. 완성된 PDS는 시료채취 전까지 플라스틱 봉지에 넣어 밀봉한 후 냉장소에 보관하였다.

대기 중에서의 시료채취 기간은 30일을 기준으로 하였으며, 시료채취가 끝난 후 수거된 PDS에서 흡수여지를 꺼내 유리병에 옮긴 후 5 mL의 추출액을 넣고 약 60°C의 수온에서 초음파세척기(40 kHz, 1500W)를 이용하여 30분간 추출하였다. 사용된 추출액은 SO<sub>2</sub> PDS의 경우 5%(v/v) hydrogen peroxide용액이며 NO<sub>2</sub> PDS의 경우는 초순수이다. 추출 후 추출용액을 syringe filter(MFS-13, Advantec)를 이용하여 불순물을 여과한 후 이온크로마토그래피(Dionex-120, USA)를 이용하여 분석하였다. 자세한 분석조건은 Table 2에 나타내었다. 본 연구에 사용

장기 NO<sub>2</sub> 및 SO<sub>2</sub> Passive Diffusive Sampler(PDS)를 이용한 대전시 대기질 모니터링

Table 1. Regional characteristics of the sampling sites in Daejeon

Sampling site (code)		Monitoring period	n	Distance <sup>a</sup> (m)	Altitude <sup>b</sup> (m)
Residential area	Euen-dong (R-1)	00.1-02.12	34	10	20
	Yongun-dong (R-2)	00.1-02.12	32	10	10
	Panam-dong (R-3)	02.1-02.12	10	10	2
	Noeun-dong (R-4)	02.1-02.12	10	10	2
	Jeongrim-dong (R-5)	02.1-02.12	10	10	5
	Wa-dong (R-6)	02.1-02.12	6	2	2
	Songchon-dong (R-7)	02.1-02.12	6	2	2
	Kwanjeu-dong (R-8)	02.1-02.12	12	2	2
Business district	Enheng-dong (B-1)	00.1-02.12	31	2	2
	Oryu-dong (B-2)	00.1-02.12	34	10	18
	Jeungri-dong (B-3)	00.1-02.12	34	2	2
	Soukbong-dong (B-4)	00.1-02.12	32	5	6
	Dunsan-dong (B-5)	00.1-02.12	35	5	6
	Bongmyung-dong (B-6)	00.1-02.12	29	5	2
	Yongmun-dong (B-7)	01.9-02.12	11	5	2
	Jeungchon-dong (B-8)	02.1-02.12	11	2	2
Industrial area	Daehwa-dong (I-1)	00.1-02.12	33	5	18
	Moksang-dong (I-2)	00.1-02.12	33	2	2
	Munpyung-dong (I-3)	00.1-02.12	34	2	2
Green zone	Dukmyung-dong (G-1)	00.1-02.12	32	-	2
	Mt.Kyeryong (G-2)	02.1-02.12	10	-	2

<sup>a</sup>The distance from a main road.

<sup>b</sup>The distance from surface to the sampling point(height).

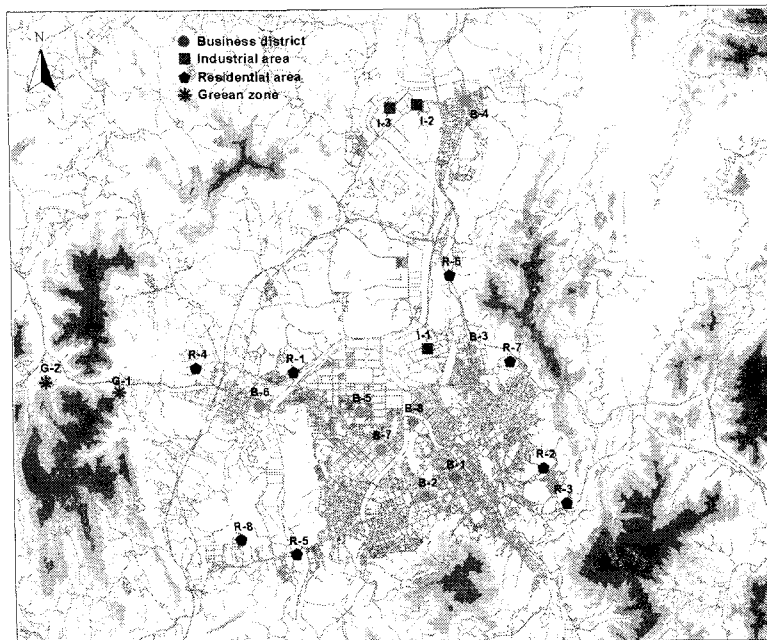


Fig. 1. Location of sampling sites for the measurement of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> in Daejeon.



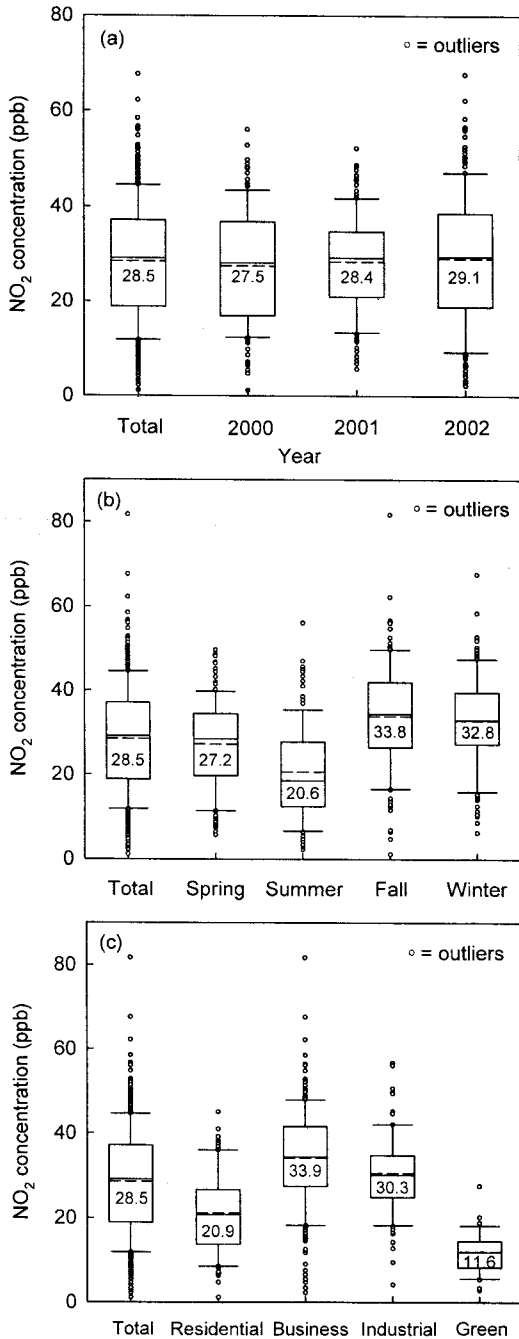


Fig. 3. Variation of average NO<sub>2</sub> concentrations measured in Daejeon. (a) year, (b) season, (c) patterns of land use. The lower boundary of the box is the 25th percentile and the upper boundary is the 75th percentile. The horizontal solid and dotted lines inside the box represent the median and the mean, respectively. Whiskers (error bars) above and below the box indicate the 90th and 10th percentiles.

WHO가 제시한 Air Quality Guideline for Europe에서는 연평균 NO<sub>2</sub>농도를 20-25 ppb(40-50 μg/m<sup>3</sup>)로 유지하도록 제안하고 있다<sup>15)</sup>. 본 연구에서 조사된 대전시 연평균 농도는 세계보건기구에서 제안한 농도보다 약 5 ppb 정도 높은 것으로 나타났다.

Fig. 3(b)의 계절별 평균농도 변화를 보면, 가을(33.8 ppb)과 겨울(32.8 ppb)에 농도가 높게 조사되었으며, 여름(20.6 ppb)에 가장 낮은 농도가 나타났다. 여름과 겨울의 계절에 따른 농도변화를 알아보기 위하여 NO<sub>2</sub> 겨울 평균농도를 여름 평균농도로 나눈 값(winter/summer ratio)을 계산한 결과, 범위는 1.07-3.05로 나타났으며 평균은 1.75로 나타났다. 영국에서 조사된 NO<sub>2</sub> 겨울 평균농도/여름 평균농도의 비가 1.48<sup>16)</sup> 및 1.21<sup>17)</sup>로 나타나 본 연구결과보다 약간 낮은 비(ratio)로 나타났으며, 도심지역보다는 도시외곽지역에서 약 10% 정도 높은 비를 나타내었다. 우리나라의 경우 7-8월의 집중강우에 의한 계절적 특성으로 저농도 분포 특성이 다소 반영되어 겨울과 여름의 농도비가 상대적으로 크게 나타난 것으로 생각된다.

일반적으로 대도시에서 NO<sub>2</sub> 농도변화는 기상조건 차이와 교통흐름 변화 등에 의해 나타날 수 있다. NO<sub>2</sub> 배출원 관점에서 보면, 대규모 배출원보다 자동차에 의한 오염물질의 배출로 계절적 변화가 심하지 않으며, 발생할 수 있는 NO<sub>2</sub> 농도의 계절적 변화는 기상조건, 대기 중 반응 및 건식침적(dry deposition) 등에 의한 것으로 보고되고 있다<sup>16)</sup>. 대도시에서는 난방을 위해 소비되는 연료가 증가하여 배출되는 오염물질의 양이 증가할 수 있으며, 낮은 혼합고에 의해 배출된 오염물질의 확산이 원활하게 일어나지 않기 때문에 겨울에 NO<sub>2</sub> 농도가 높게 나타날 가능성이 있다. 한편, 여름에 낮은 NO<sub>2</sub> 농도는 광화학반응과 건식침적의 화학적인 상호작용에 의해 설명하고 있다. 즉, 여름에 기온이 높은 낮 시간대에 고농도로 존재하는 OH라디칼은 대기 중에서 NO<sub>2</sub>와 반응하여 HNO<sub>3</sub>를 형성함으로써 NO<sub>2</sub>의 농도를 감소시킬 수 있다<sup>16,18)</sup>.

Fig. 3(c)의 토지이용도별 NO<sub>2</sub> 평균농도를 보면, 상업지역이 33.9±1.5 ppb로 가장 높은 농도를 나타내고 있으며 공업지역(30.3±1.9 ppb) > 주거지역(20.9±1.9 ppb) > 녹지지역(11.6±1.5 ppb)의 순으로 나타났다. 녹지지역을 기준으로 다른 지역과의 연평균 농도비를 계산해 보면, 상업지역이 2.9, 공업지역이 2.6 및 주거지역이 1.8로 나타나 각 토지이용별 NO<sub>2</sub>농도에 대한 관계를 알 수 있다. 대전시 NO<sub>x</sub>배출량은 본 연구의 측정기간(2000-2002년) 평균 21,042톤이며 그 중 도로이동오염원 배출량은 평균 11,774톤으로 전체 NO<sub>x</sub>배출량의 약 56%를 차지하고 있

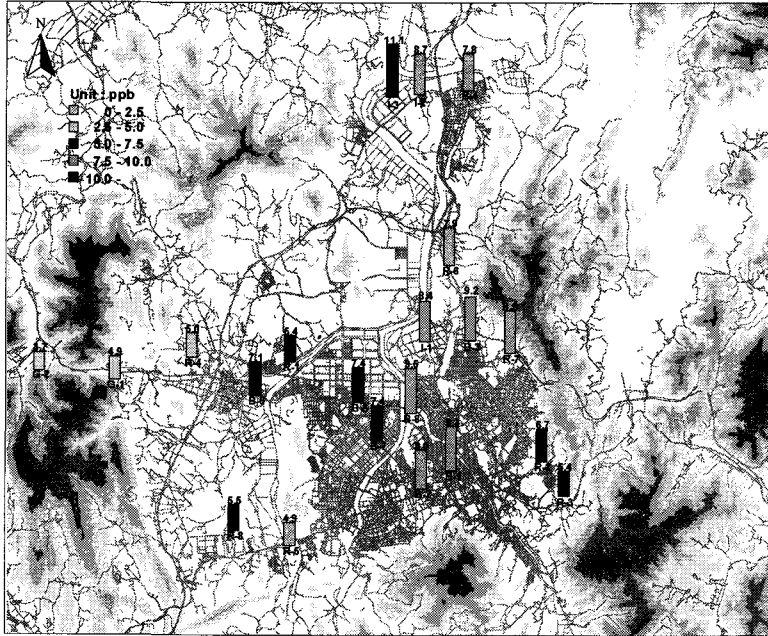


Fig. 4. Spatial distribution of SO<sub>2</sub> concentration(ppb) between January 2000 and December 2002 in Daejeon.

어 NO<sub>2</sub>농도에 대한 기여는 대부분 도로이동오염원에 의한 것으로 나타났다<sup>19)</sup>. 일반적으로 NO<sub>2</sub> 농도에 영향을 미치는 도로와의 거리는 약 500 m로 본 연구에서 조사된 각 측정지점은 주요 간선도로에서 10 m이내 떨어진 곳이므로 자동차에서 배출된 오염물질이 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 곳이다. 즉, 본 연구에서와 같이 녹지지역을 제외한 도로에 가까운 측정지점에서는 자동차에서 배출된 NO가 O<sub>3</sub>과 반응하여 NO<sub>2</sub>를 생성하므로 높은 농도의 NO<sub>2</sub>가 측정된 것으로 생각된다<sup>20)</sup>.

### 3.2. SO<sub>2</sub> 측정결과 및 농도분포

대전시에서 2000년부터 2003년까지 PDS를 이용하여 측정된 SO<sub>2</sub> 평균농도 공간분포를 Fig. 4에 나타내었다. 측정결과를 보면, 측정기간 중 대전시의 SO<sub>2</sub> 평균농도는 7.7±4.8 ppb이며 측정된 최고농도와 최저농도는 각각 26.8 ppb와 0.6 ppb로 나타났다. 전체적인 농도 공간분포에서 대전시, 3,4산업단지 위치한 공업지역과 일부 상업, 주거지역이 평균농도를 초과하는 것으로 나타났으며 NO<sub>2</sub>와 마찬가지로 도심외곽지역으로 갈수록 농도가 낮아지는 경향을 보였다. 21개의 시료채취지점 중 SO<sub>2</sub> 평균농도가 가장 높은 지점은 공업지역인 문평동(I-3)으로 나타났으며 상업지역인 중촌동(B-8), 은행동(B-1), 중리동(B-3) 등에서 10 ppb 전후로 측정지점 중 고농도 지역으로 나타났다. 녹지지역으로 주변지역에 특별한 배출원이 없는 국립공원 계룡산(R-2)에서 평균

3.4 ppb로 가장 낮은 농도가 조사되었다.

Fig. 5에 연도별, 계절별, 토지이용별 평균 SO<sub>2</sub> 농도의 변화를 나타내었다. 먼저 연도별 SO<sub>2</sub> 평균농도 변화를 보면, 전체 평균농도는 7.6 ppb로 나타났으며, 2001년에 약간 농도가 감소하였지만 전체적으로 2000년에 8.6 ppb 2002년에 7.5 ppb로 3년간 약 13% 정도 감소하였다. 세계보건기구에서 권장하는 연평균 SO<sub>2</sub> 농도는 50 µg/m<sup>3</sup>(17.5 ppb)로 본 연구에서 측정된 전체적인 연평균 농도는 세계보건기구 권장농도보다 낮은 것으로 나타났으며, EC(European Community)에서 식물의 식생(vegetation) 및 생태계(ecosystem)를 보호하기 위하여 제시한 제한 기준인 20µg/m<sup>3</sup>(7 ppb)보다는 약간 높은 것으로 나타났<sup>21,22)</sup>. 그러나 측정지점 중 일부 상업지역(B-4, B-5, B-8)과 공업지역(I-1, I-3)은 20 ppb 이상으로 세계보건기구 권장농도를 초과하는 것으로 나타났다.

Fig. 5(b)는 계절별 SO<sub>2</sub>농도를 나타낸 것으로, 여름에 5.1 ppb로 가장 낮은 농도를 나타냈으며 겨울에 11.2 ppb로 가장 높은 농도를 나타내어 여름보다 겨울의 평균농도가 2배 이상 높은 것으로 조사되었다. SO<sub>2</sub>는 NO<sub>2</sub>보다 계절적인 영향을 많은 받는 오염물질로 알려져 있으며, 계절적 농도변화의 주요원인은 난방연료의 사용과 기상 등과 관련된 오염물질의 확산(대류현상)으로 알려져 있다. 즉, 겨울에 난방연료의 사용증가로 인한 SO<sub>2</sub> 배출량 증가 및 낮은 기온으로 혼합고가 낮아져 배출된 SO<sub>2</sub>와 같은

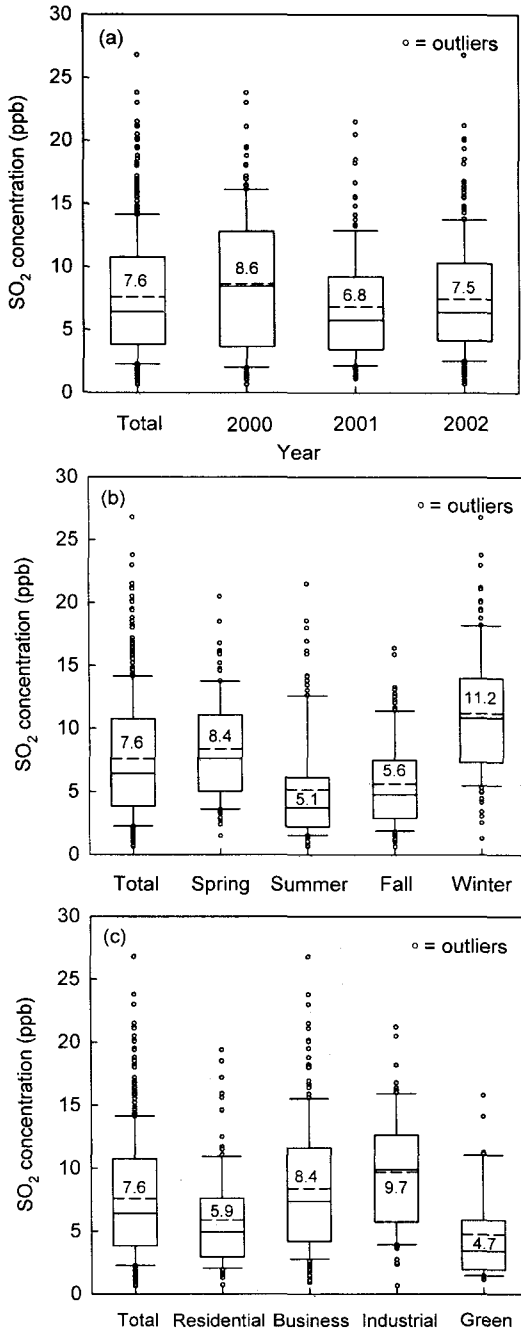


Fig. 5. Variation of average SO<sub>2</sub> concentrations measured in Daejeon. (a) year, (b) season, (c) patterns of land use. The lower boundary of the box is the 25th percentile and the upper boundary is the 75th percentile. The horizontal solid and dotted lines inside the box represent the median and the mean, respectively. Whiskers (error bars) above and below the box indicate the 90th and 10th percentiles.

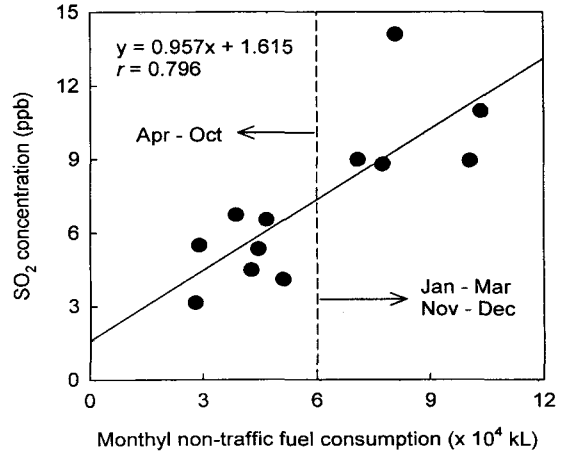


Fig. 6. Relationship between monthly non-traffic fuel consumption and average SO<sub>2</sub> concentration in Daejeon.

대기오염물질이 지표면 부근에 정체되기 때문이다. 한편, 여름에 측정된 낮은 농도는 높은 기온과 여름철 강우에 영향을 받은 것으로 기온이 상승하면 혼합고의 상승으로 대기의 활발한 대류현상이 발생하여 대기오염물질의 확산이 원활히 일어나므로 대기오염도가 낮을 수 있으며, SO<sub>2</sub> 용해도는 0°C에서 17.7%로 물에 잘 녹는 기체이기 때문에 여름에 강우량이 많을 경우 오염물질의 양을 줄이는데 영향을 줄 수 있다<sup>23,24)</sup>.

Fig. 5(c)는 토지이용도별 SO<sub>2</sub>농도를 나타낸 것으로, 공업지역이 평균 9.7 ppb로 가장 높고 녹지지역이 평균 4.7 ppb로 가장 낮은 지역으로 나타났다. 공업지역 다음으로는 상업지역이 8.4 ppb, 주거지역이 5.9 ppb로 나타났다. 그림의 outliers를 보면, 상업지역이 평균농도는 공업지역보다는 낮지만 전체적인 농도분포가 상당히 넓게 나타나고 있으며 SO<sub>2</sub> 농도가 15 ppb 이상인 경우도 가장 높은 빈도로 조사되었다.

대도시에서 산업활동 및 난방연료로 사용되고 있는 유류연료에 포함된 황(S)성분은 대기 중 SO<sub>2</sub> 농도를 증가시키는 원인이 될 수 있다. 따라서 유류연료의 사용량과 대기 중 SO<sub>2</sub>농도와 밀접한 관계를 가질 수 있다. Fig. 6에 월 평균 SO<sub>2</sub>의 농도와 수송용으로 사용되는 연료사용량을 제외한 월 유류연료 사용량과의 관계를 나타내었다. 대기 중 SO<sub>2</sub> 농도와 연료사용량과의 관계는 상관계수가 0.796으로 나타나 양호한 상관성을 갖는 것으로 생각되며, 연료사용량 6×10<sup>4</sup> kL를 기준으로 계절에 따른 사용량의 변화가 확실히 구분되는 것으로 나타났다. 즉, 동절기가 포함된 기간에 사용된 연료량에 비례하여

대기 중 SO<sub>2</sub> 농도 또한 증가한 것으로 보이며, 연료 사용량이 가장 많은 기간은 2월로 나타났고 가장 적은 기간은 8월로 나타났다.

#### 4. 결 론

도시규모의 대기오염현황을 파악하기 위하여 대전시를 대상으로 2000년부터 2002년까지 3년 동안 21개 지점에 장기 NO<sub>2</sub> 및 SO<sub>2</sub> PDS를 설치하여 대기질 모니터링을 지속적으로 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 대전시의 NO<sub>2</sub> 평균농도는 28.5±12.5 ppb이며 측정된 최고농도와 최저농도는 각각 81.7 ppb와 1.2 ppb로 나타났다. NO<sub>2</sub> 농도 공간분포에서 상업지역의 대부분과 일부 주거지역이 평균농도를 초과하는 것으로 나타났으며 도심외곽지역(녹지지역)으로 갈수록 농도가 낮아졌다.

2) 연도별 NO<sub>2</sub> 평균농도 변화를 보면 2000년과 2002년을 비교하였을 때 약 5.8%(1.6 ppb)의 농도 증가가 조사되었다. 계절별 평균농도 변화를 보면, 가을(33.8 ppb)과 겨울(32.8 ppb)에 농도가 높게 조사되었으며, 여름(20.6 ppb)에 가장 낮은 농도를 나타내었다. 토지이용도별 NO<sub>2</sub> 평균농도를 보면, 상업지역 (33.9±1.5 ppb) > 공업지역(30.3±1.9 ppb) > 주거지역(20.9±1.9 ppb) > 녹지지역(11.6±1.5 ppb)의 순으로 나타났다.

3) SO<sub>2</sub> 평균농도 보면, 측정기간 중 대전시의 SO<sub>2</sub> 평균농도는 7.7±4.8 ppb이며 측정된 최고농도와 최저농도는 각각 26.8 ppb와 0.6 ppb로 나타났다. 2000년에 8.6 ppb 2002년에 7.5 ppb로 3년간 약 13% 정도 감소하였다.

4) 계절별 SO<sub>2</sub> 농도는 여름에 5.1 ppb로 가장 낮은 농도를 나타냈으며 겨울에 11.2 ppb로 가장 높은 농도를 나타내었으며, 토지이용도별 SO<sub>2</sub> 농도는 공업지역(9.7 ppb) > 상업지역(8.4 ppb) > 주거지역(5.9 ppb) > 녹지지역(4.7 ppb) 순으로 나타났다.

위와 같은 결과로부터 본 연구에서 사용된 PDS를 이용하여 기존의 대기오염자동측정망(Air quality telemonitoring system)과 연계하여 대도시 전 지역에서 지속적인 대기오염도 평가를 수행한다면 소수의 대기오염자동측정망과 상호 보완할 수 있는 유용한 수단으로 이용될 수 있으며, 주변지역의 환경영향평가를 수행할 경우 대기질 모델링의 검증자료로서 그 활용성이 클 것으로 생각된다.

#### 참 고 문 헌

1) Kim, S. T. and H. S. Kim, 2002, The nation-wide NO<sub>2</sub> monitoring with passive sampler in

Korea, J. KOSAE, 18, 69-77.  
 2) 환경부, 2002, 환경백서.  
 3) De Santis, F., I. Allegrini, M. C. Fazio, D. Pasella and R. Piredda, 1997, Development of a passive sampling technique for the determination nitrogen dioxide and sulphur dioxide in ambient air, *Analytica. Chimica. Acta.* 346, 127-134.  
 4) UNEP/WHO, 1994, GMES/AIR methodology reviews handbook series Vol. 4: Passive and active sampling methodologies for measurement for air quality, UNEP, Nairobi, 1-80.  
 5) Palmes, E. D. and R. H. Lin. Denboom, 1979, Ohm's law, Fick's law, and diffusion samplers for gases, *Anal. Chem.*, 51, 2400-2401.  
 6) Krochmal, D. and A. Kalina, 1997, A method of nitrogen dioxide and sulphur dioxide determination in ambient air by use of passive samplers and ion chromatography, *Atmos. Environ.*, 31, 3473-3479.  
 7) Plaisance, H., I. Sagnier, J. Y. Saison, J. C. Galloo and R. Guillermo, 2002, Performances and application of a passive sampling method for the simultaneous determination of nitrogen dioxide and sulfur dioxide in ambient air, *Environ. Monitor. Assess.*, 79, 301-315.  
 8) Chung, C., M. T. Morandi, T. H. Stock and M. Afshar, 1999, Evaluation of a passive sampler for volatile organic compounds at ppb concentration, varying temperatures, and humidities with 24-h exposure. 2. Sampler performance, *Environ. Sci. Technol.*, 33, 3666-3671.  
 9) Koutrakis P., J. M. Wolfson, A. Bunyaviroch, S. E. Froehlich, K. Hirano and J. D. Mulik, 1993, Measurement of ambient ozone using a nitrite-coated filter, *Anal. Chem.*, 65), 209-214.  
 10) 임봉빈, 정의석, 김선태, 2004, 형광물질을 이용한 대기 중 오존 passive sampler의 개발, *한국 대기환경학회지*, 20, 483-491.  
 11) Rabaud, N. E., T. A. James, L. L. Ashbaugh and R. G. Flocchini, 2001, A passive sampler for the determination of airborne ammonia concentrations near large-scale animal facilities, *Environ. Sci. Technol.*, 35, 1190-1196.  
 12) Thoni, L., E. Seidler, A. Blatter and A. Nefel, 2003, A passive sampling method to determine ammonia in ambient air, *J. Environ. Monit.*, 5,



- 96-99.
- 13) 임봉빈, 김선규, 정의석, 김선태, 2005, 흡광광도법을 이용한 포름알데히드 확산측정기의 평가, 대한환경공학회지, 27, 606-613.
  - 14) Grosjean, D. and E. L. Williams, 1992, A passive sampler for airborne formaldehyde, Atmos. Environ., 26A, 2923-2928.
  - 15) WHO, 1995, Update and revision of the air quality guidelines for Europe. Report of the Working Group meeting "Classical" Air Pollutants, October 11-14, 1994, Bilthoven, The Netherlands. WHO Regional Office for Europe Report EUR/ICP/EHAZ94 05/PB01, Copenhagen.
  - 16) Atkins, D. H. F. and D. S. Lee, 1995, Spatial and temporal variation of rural nitrogen dioxide concentrations across the United Kingdom, Atmos. Environ., 29, 223-239.
  - 17) Stevenson, K., T. Bush and D. Mooney, 2001, Five years of nitrogen dioxide measurement with diffusion tube samplers at over 1000 sites in the UK, Atmos. Environ., 35, 281-287.
  - 18) Hargreaves, K. J., D. Fowler, R. L. Storeton-West and J. H. Duyzer, 1992, The exchange of nitric oxide, nitrogen dioxide and ozone between pasture and the atmosphere, Envir. Pollut., 75, 53-59.
  - 19) 국립환경과학원, 2006, <http://airemiss.nier.go.kr>, 대기오염물질배출량.
  - 20) Rodes, C. E. and D. M. Holland, 1981, Variations of NO, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> concentrations downwind of a Los Angeles freeway. Atmos. Environ., 15, 243-250.
  - 21) WHO, 2000, Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European series, No. 91, Copenhagen, p.273.
  - 22) EC, 1999, Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. OJEC, No. L 163, pp. 41-61.
  - 23) 소선섭, 이대성, 신흥렬, 1996, 우리나라의 주요 도시별 대기중 SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub> 오염도의 변화 특성, Jour., Korean Earth Science Society, 17(2), 174-182.
  - 24) Budavari, S., 1996, The Merck Index, An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Bioogicals. Whitehouse Station, NJ, Merck and Co., Inc., p.1535.