

확산측정기를 이용한 대전시 도로변에서의 이산화질소 측정 Nitrogen Dioxide Measurement with Diffusive Passive Samplers at the Curbside Points in Daejeon

임 봉 빈 · 김 선 태^{1)*} · 양 흥 모²⁾

(주)엔버스 부설기술연구소, ¹⁾대전대학교 공과대학 환경공학과,
²⁾대전충남녹색연합

(2007년 4월 26일 접수, 2008년 1월 28일 채택)

Bongbeen Yim, Sun-Tae Kim^{1)*} and Heung-Mo Yang²⁾

R & D Center, Envors Co., Ltd.,

¹⁾Department of Environmental Engineering, Daejeon University,

²⁾Green Korea, Daejeon and Chungnam

(Received 26 April 2007, accepted 28 January 2008)

Abstract

This study investigates the variation and spatial distribution of nitrogen dioxide (NO₂) concentrations measured with passive diffusive samplers at 40 curbside points in Daejeon. Average NO₂ concentration was 39.8±18.0 ppb (n=1,127) and the significant difference in concentrations by regional groups (Dong-gu, Jung-gu, Seo-gu, Daedeok-gu, Yuseong-gu) was not observed. The frequency distribution of NO₂ concentration was found to be a normal distribution with the high frequency in the concentration range of 30 to 40 ppb (20 to 25%). Average NO₂ concentration measured during the rainy periods was lower than that measured during the non-rainy periods and the decrease of concentration by rainfall was about 16% (7 ppb). The variation of NO₂ concentrations measured by passive diffusive samplers during the sampling period was similar to that continuously measured at the air quality monitoring station.

Key words : Nitrogen dioxide, Diffusive passive sampler, Traffic pollution, Spatial distribution

1. 서 론

대기 중에 존재하는 이산화질소(nitrogen dioxide, NO₂)는 인간의 건강에 나쁜 영향을 미칠 수 있으며, 저농도 오존의 형성과 관련된 광화학반응에 기여하

는 대기오염물질로 알려져 있기 때문에 대부분의 국가에서 대기 중 이산화질소의 농도를 법적으로 규제하고 있다. 유럽연합과 세계보건기구는 연평균 이산화질소 농도를 21 ppb로 규정하고 있으며, 우리나라의 경우 연평균 50 ppb 이하(24시간 평균 80 ppb 이하)로 규정하고 있다(Hamilton and Heal, 2004). 일반적으로 이산화질소는 자동차 등의 연소시설에서 배출된 1차 대기오염물질인 일산화질소(nitric oxide,

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)42-280-2534, E-mail : envsys@dj.u.ac.kr

NO)가 대기 중에서 산화반응에 의해 생성된다. 이러한 산화반응은 대상지역의 기상조건에 의한 확산과 혼합 및 오존과 같은 산화제의 이동 등에 의해 많은 영향을 받기 때문에 이산화질소의 공간적 분포를 예측하는 것은 어려운 실정이다.

우리나라의 경우 이산화질소를 포함한 질소산화물의 연속적인 측정을 위한 자동측정기는 화학발광법(chemiluminescence)을 이용하고 있으며(환경부, 2004), 전국에 250개소(2006년 1월 기준)의 일반측정망(도시대기, 교외대기, 국가배경, 도로변)에서 설치, 운용되고 있다. 대전시에서 대기오염을 모니터링하기 위하여 운용하고 있는 자동측정망은 7개 지점으로 그 중 대기오염측정망 6개 지점, 도로변측정망 1개 지점, 중금속 4개 지점 및 유해대기측정망 1개 지점을 포함하고 있다(환경관리공단, 2007).

최근 대상지역의 대기오염을 모니터링하기 위해 이용되고 있는 확산측정기(passive sampler)는 가스상 물질의 분자확산 원리를 이용하며, 연속자동측정

기와는 다르게 펌프를 이용하지 않고 대기오염물질을 채취하는 측정기로서 국내에서는 이산화질소(김선규 등, 2006), 암모니아(Yim and Kim, 2006), 포름알데히드(Yim and Jung, 2006; 정상진과 장재철, 2004), 오존(임봉빈 등, 2004; 정상진, 2002) 등의 대기오염물질을 대상으로 개발되었다. 국외에서는 확산측정기의 비용적인 측면에서의 경제성과 사용의 용이성 때문에 Stevenson *et al.* (2001)은 이산화질소를 5년간 1,000지점에서 측정하여 농도의 공간적분포를 조사하였으며, Atkins and Lee (1995)는 이산화질소의 공간적, 시간적 변화를 연속적으로 측정하였고, Campbell *et al.* (1994)은 도시지역 243지점에서 이산화질소를 측정하여 공간적인 분포를 평가하는 등 주로 대규모 지역에서의 공간적인 분포를 파악하기 위해 활용되었다. 국내에서는 확산측정기를 이용하여 이산화질소의 전국적인 측정을 실시한 연구와 장기 측정용 확산측정기를 이용하여 도시지역의 이산화질소 및 아황산가스 농도를 측정하고 공간적인 분포를 조사한 연구

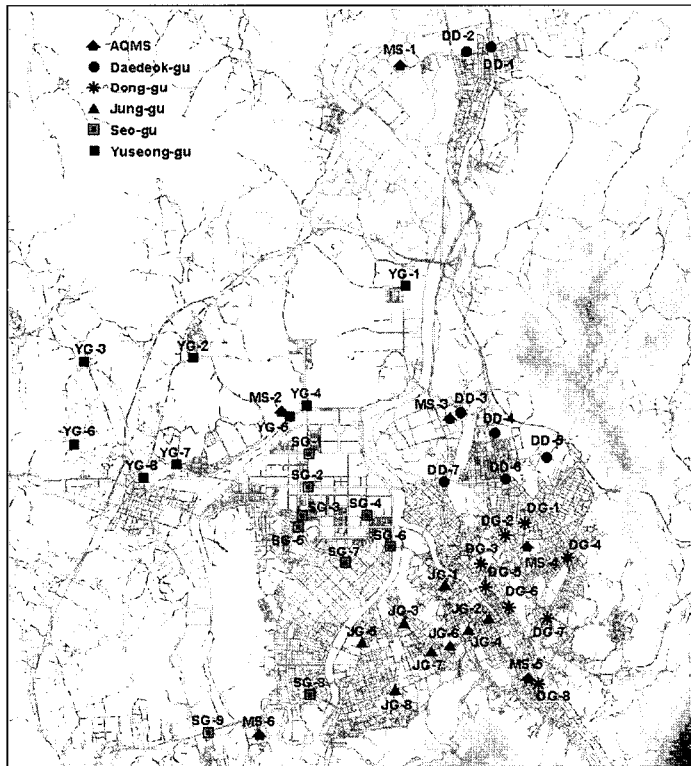


Fig. 1. Location of the NO₂ measurement sites and the air quality monitoring stations in Daejeon.

Table 1. Sampling sites in which nitrogen dioxide was measured in Daejeon.

Sampling site		Notation	TMX (m)	TMY (m)	
Dong-gu	Express bus terminal	DG-1	239171	316611	
	Youngjeon Jt.	DG-2	238700	316332	
	Samseong-dong LG apartment	DG-3	238050	315716	
	Gayang jugong apartment	DG-4	238050	315716	
	Hanbat middle school	DG-5	238240	315091	
	Daejeon station	DG-6	238777	314599	
	Daedong Jt.	DG-7	239696	314358	
	Hyodong Jt.	DG-8	239472	312783	
Jung-gu	Jungchon Jt.	JG-1	237280	315132	
	Euhaeng-dong Lee-optician's	JG-2	238325	314346	
	Dongseoro Jt.	JG-3	236294	314240	
	Provincial office Jt.	JG-4	237813	314072	
	Sambu sporex	JG-5	235306	313763	
	ex-MBC	JG-6	237386	313700	
	Seodaejeon Jt.	JG-7	236959	313556	
	Munhwa overpass	JG-8	236107	312634	
Seo-gu	Mannyeon Jt.	SG-1	234008	318252	
	Dunsan Jt.	SG-2	234001	317468	
	Time world department	SG-3	233873	316800	
	Savezone	SG-4	235404	316800	
	Gyeryong Jt.	SG-5	233774	316513	
	Namseon park Jt.	SG-6	235980	316041	
	Lotte department	SG-7	234894	315660	
	Doma Jt.	SG-8	234047	312516	
	Gasuwon Jt.	SG-9	231651	311628	
Daedeok-gu	Shintanjin Jt.	DD-1	238352	327846	
	Shintanjin elementary school	DD-2	237775	327729	
	Eupnae Jt.	DD-3	237650	319221	
	Jungang hospital	DD-4	238451	318734	
	Songchon middle school	DD-5	239665	318173	
	Jungri Jt.	DD-6	238711	317661	
	Ojeong Jt.	DD-7	237241	317586	
Yuseong-gu	Jeonmin-dong Expocore	YG-1	236320	322176	
	Sinseoung-dong Luckyhana apartment	YG-2	231284	320504	
	Korea baptist theological Univ. Jt.	YG-3	228680	320414	
	Expo science park Jt.	YG-4	233965	319399	
	Environment research institute	YG-5	233571	319131	
	Noeun Jt.	YG-6	228466	318473	
	Chungnam Univ. Jt.	YG-7	230880	318002	
	Yuseong bus terminal	YG-8	230106	317685	
AQMS	Daedeok-gu	Munpyeong-dong	MS-1	236212	327410
	Yuseong-gu	Guseong-dong	MS-2	233552	319166
	Daedeok-gu	Eupnae-dong	MS-3	237405	319119
	Dong-gu	Sungnam-dong	MS-4	239227	316059
	Jung-gu	Munchang-dong	MS-5	239257	312911
	Seo-gu	Jeongrim-dong	MS-6	232866	311589

가 보고되었다(임봉빈 등, 2007; Kim and Kim, 2002).

본 연구에서는 이산화질소 확산측정기를 이용하여 대전시 주요 도로변에서 측정된 이산화질소 농도자

료를 활용하여 도로변 이산화질소 농도의 공간적인 분포를 파악하고, 기상요소 중 강수량에 의한 이산화질소 농도 변화를 조사하였다. 또한 대전시에 설치,

운용되고 있는 대기오염자동측정망에서 동일한 기간에 측정된 이산화질소 농도와 비교하였다.

2. 조사 및 측정방법

본 연구의 조사대상 지역인 대전시는 2005년도 기준으로 면적이 539.78 km²이며, 인구는 146만 명으로 약 50만 세대가 살고 있는 대도시이다. 자동차 등록 대수는 506,961대로 이 중 승용차가 387,264대로 전체 차량등록대수의 76.39%를 차지하고 있다(대전광역시, 2005).

대전시는 중구, 동구, 서구, 대덕구, 유성구 등 5개 구로 나누어져 있어 측정지점은 각 구별로 자동차의 통행량이 많은 교차로를 중심으로 도로변 지점(40개 지점)을 선정하였으며, 자세한 측정지점은 표 1과 그림 1에 나타내었다. 측정은 2005년 8월 11일부터 9월 10일까지 오전 7시부터 다음날 오전 7시까지 24시간 기준으로 확산측정기를 교체하면서 한 달 동안 연속적으로 실시하였으며, 설치 후 수거된 확산측정기는 총 1,127개이다. 대전시에 설치, 운용되고 있는 대기오염 자동측정망(AQMS, air quality monitoring station)은 6개 지점으로 상업지역 1지점(MS-5), 녹지지역 1지점(MS-2), 공업지역 2지점(MS-1, MS-3) 및 주거지역 2지점(MS-4, MS-6)으로 표 1과 그림 1에 나타내었다.

본 연구에서 사용된 확산측정기는 폴리에틸렌(polyethylene) 재질로 튜브형태를 이루고 있으며, 길이 44 mm, 내경 10 mm이다. 측정기 입구는 소수성 막(semi-permeable membrane, Celgard 2400, USA)이 설치되어 있어 확산에 의해 외부로부터 내부로 대상 오염물질이 이동할 수 있도록 되어 있다. 또한 시료 채취 효율을 향상시키기 위해 흡수여지는 소수성 막 위에 위치시켜 확산거리를 최소한으로 감소시켰다. 흡수여지에는 이산화질소를 채취하기 위해 20% 트리에탄올아민(triethanolamine) 용액을 5 µL 주입한다. 시료채취 후 흡수여지는 살츠만(saltzman) 시약 2 mL를 넣고 추출한 후 추출용액이 분홍색으로 발색되면 흡광광도법(545 nm)으로 분석하였다. 자세한 확산측정기의 구조, 분석방법 및 정도자료는 이전 연구에 제시하였다(김선규 등, 2006; Kim and Kim, 2002).

3. 결과 및 고찰

3.1 대전시 지역별 이산화질소 농도 측정 결과

대전시 지역별(5개구) 도로변 이산화질소 측정결과를 그림 2에 나타내었다. 측정기간 동안 대전시 이산화질소 평균농도는 39.8 ± 18.0 ppb (n=1,127)이며 각 지역별(구별) 평균농도는 동구 43.2 ± 16.6 ppb, 중구 42.5 ± 15.9 ppb, 서구 42.8 ± 18.9 ppb, 대덕구 42.8 ± 21.5 ppb 및 유성구 31.3 ± 14.0 ppb로 나타났다. 이산화질소 측정 결과 각 지역별 지점의 농도 차이는 크지만 지역별 평균농도 차이는 작은 것으로 나타났다. 그러나 유성구의 경우 주변에 녹지가 많은 지형을 가지고 있으며 대전시의 외곽에 위치하고 있기 때문에 다른 지역보다 상대적으로 이산화질소 농도가 낮게 나타났다. 또한 상대적으로 교통량이 적은 다른 지역(구)에서는 100 ppb를 초과하는 경우도 있었지만, 유성구와 일부 녹지대구가 포함되어 있는 동구의 경우에는 측정기간 동안 100 ppb 이상의 높은 농도가 측정된 지점이 없는 것으로 나타났다.

측정지역별 이산화질소 농도 분포를 좀 더 자세히 분석하기 위해 그림 3에 측정된 이산화질소 농도범위별 빈도(%)를 나타내었다. 대전시 전체 및 지역별

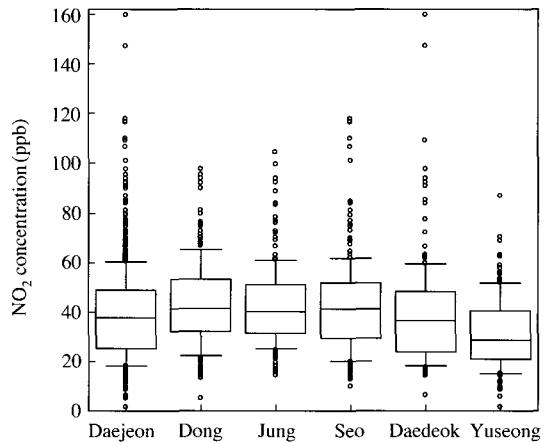


Fig. 2. Concentrations of NO₂ measured by five regional groups in Daejeon. Horizontal lines on the box plot indicate 10th, 25th, 50th, 75th, and 90th percentiles. Circles represent points below 10th and above 90th percentile.

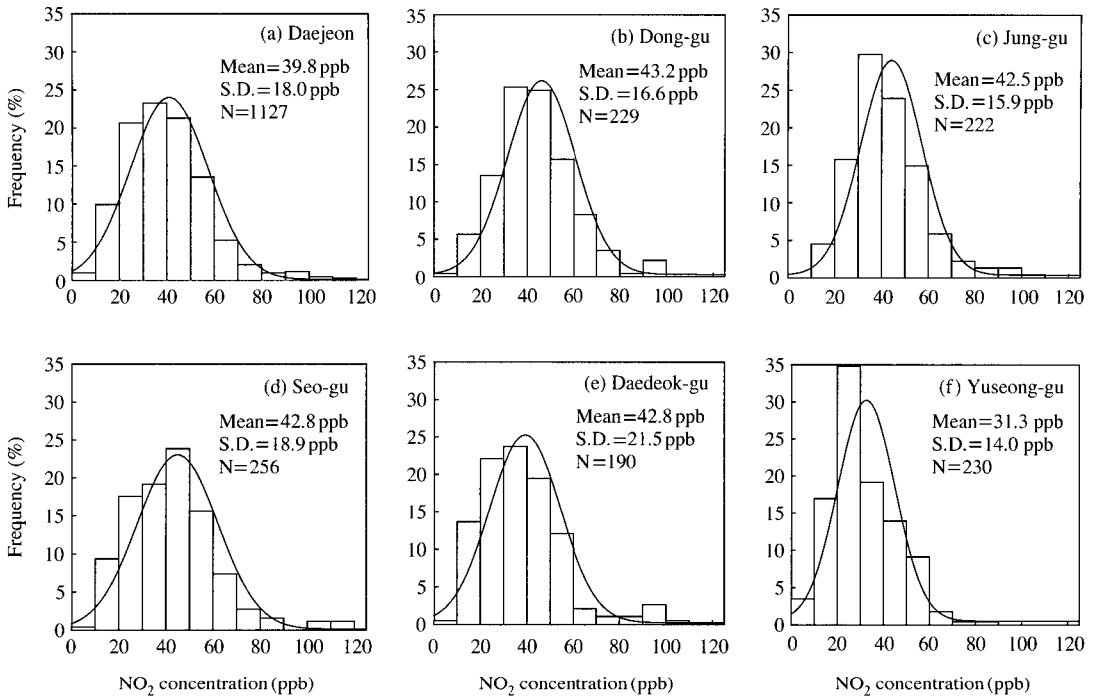


Fig. 3. Histogram of frequency distribution for NO₂ concentration in Daejeon.

이산화질소 농도 빈도분포는 유사한 형태를 나타내었다. 전체적으로 30~40 ppb 범위의 농도가 20~25%로 가장 많이 분포하는 것으로 나타났으나, 유성구의 경우 20~30 ppb 범위의 농도 분포비율이 35%로 상대적으로 높게 나타났다. 전체 측정결과 중 우리나라 이산화질소 대기환경기준(24시간)인 80 ppb를 초과한 농도는 5% 이하의 비율로 나타났다. 환경기준을 초과한 지역별 측정지점은 동구 3지점(DG-1, DG-2, DG-6), 중구 3지점(JG-1, JG-3, JG-4), 서구 5지점(SG-1, SG-3, SG-5, SG-7, SG-9), 대덕구 3지점(DD-4, DD-6, DD-7), 유성구 1지점(YG-4)이며, 이들 측정지점 중 DG-2(용전사거리), JG-1(중촌동 사거리), SG-3(타임월드 백화점 앞) 및 DD-7(오정동 사거리)은 전체 측정기간 중 3일 이상 이산화질소 농도가 80 ppb를 초과한 것으로 나타났다.

그림 4는 각 측정지점에서 측정된 이산화질소 농도의 공간분포를 나타낸 것으로 측정기간(30일) 동안의 평균 농도(왼쪽)와 최대농도(오른쪽)로 구분하여 나타내었다. 전체적으로 대전시 시내 중심부를 중심으로 농도가 높게 나타났으며, 중심부에서 떨어진

지역(유성구)에서 상대적으로 낮은 농도로 분포하고 있다. 이산화질소 평균농도는 40~50 ppb 범위에 주로 분포하고 있으며, 50 ppb 이상의 농도를 보인 곳은 DG-2(용전사거리, 56.3 ppb), JG-1(중촌동사거리, 53.3 ppb), SG-3(타임월드 앞, 56.7 ppb), DD-7(오정동사거리, 53.2 ppb)과 같이 4지점으로 나타났다. 이들 측정지점들은 다른 지역과 연결되는 교차점으로 많은 교통량으로 인한 교통 혼잡 및 정체가 자주 발생하는 지점으로 상대적으로 다른 측정지점보다 자동차 배출가스에 의한 오염이 심한 지역으로 생각된다.

측정기간 중 관찰된 이산화질소 최고농도는 그림 4(오른쪽)에 나타난 것과 같이 평균농도의 분포와 유사하게 나타났다. 최고농도가 100 ppb를 넘는 지점은 JG-4(도청앞 사거리, 104.2 ppb), SG-3(타임월드 앞, 117.6 ppb), SG-5(계룡로 사거리, 106.4 ppb) 그리고 DD-7(오정사거리, 159.6 ppb)와 같이 4지점으로 출퇴근 시간에 교통정체가 상당히 심한 지역이다.

한편, 그림 4에 본 연구와 같은 측정기간 동안 대전시에 설치, 운용되고 있는 대기오염자동측정망에서

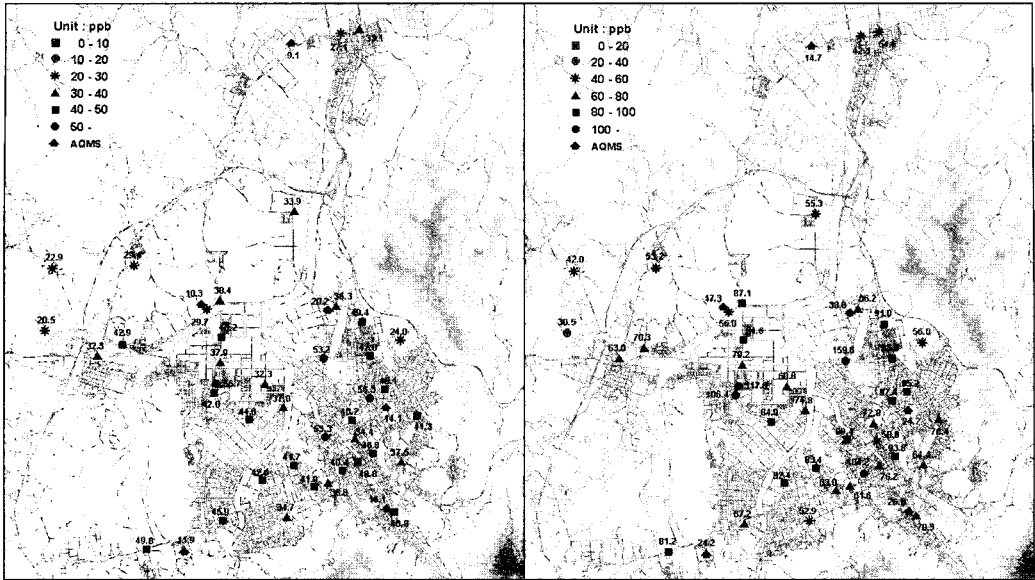


Fig. 4. Spatial distributions of average (left) and maximum (right) NO₂ concentration in Daejeon, August ~ September 2005.

측정된 이산화질소 농도 결과를 나타내었다. 확산측정기 설치 지점과 대기오염자동측정망의 시료채취 지점과는 약 40 m에서 2 km 정도의 거리가 떨어져 있어 측정결과가 차이를 보이고 있는 것으로 생각된다. 대기오염자동측정망 지점 중 MS-2(구성동 대전보건환경연구원 옥상)의 경우 확산측정기와 설치 지점이 가장 가깝지만, 측정기간 중 평균 농도가 10.3 ppb로 나타나 도로변에 설치되었던 확산측정기와 농도차가 크게 나타났다. 이와 같이 확산측정기를 이용하여 대상지역에서의 대기오염물질 농도를 광범위하게 측정할 경우, 농도분포를 쉽게 파악할 수 있으며 공간적인 고해상도를 이용하여 기존의 대기오염자동측정망의 설치가 어려운 도로변 지역의 오염도를 직접적으로 파악할 수 있어 상호보완적인 관점에서 측정 자료의 활용이 가능할 것으로 생각된다.

3. 2 이산화질소 농도 변화 및 강우량과의 관계

그림 5는 측정기간 동안 이산화질소 농도 변화와 강우량을 나타낸 것으로 이산화질소 농도의 일변화는 각 지역별로 비슷한 경향으로 나타났다. 측정기간 중 강우는 13일간 관측되었으며, 8월 11일에 가장

많은 강우량(135 mm)을 기록하였다. 이산화질소 농도는 강우가 관측된 다음날부터 조금씩 감소되는 경향을 보이고 있으나, 하루 이상 간격을 두고 첫 강우가 관측된 경우(8월 17일, 9월 2일, 9월 9일) 강우 개시일 전에 매우 높은 농도를 보였다. 즉, 대전시의 평균 이산화질소 농도는 8월 16일에 61.9 ppb, 8월 29일에 60.2 ppb, 9월 8일에 42.5 ppb가 측정되어 첫 강우가 시작되기 바로 전에 상당히 높은 값을 나타내었다.

강우에 의한 대기 중 오염물질의 감소는 중요한 자연정화과정의 일부분으로 강수에 의한 대기오염물질의 감소는 강수시간이 길고 강수강도가 강할수록 큰 것으로 보고되었으며, 특히 강수가 시작되는 시점에서 대기오염물질의 농도가 급속히 감소되는 것으로 나타났다. 예를 들어 아황산가스의 경우 강우기간 측정된 농도가 비강우기간 측정된 농도보다 연평균 농도가 약 38% 감소된 것으로 보고되었다(권영식 등, 1996; 박정호 등, 1996). 본 연구의 경우, 강우시와 비강우시 이산화질소 농도는 각각 36.3 ppb와 43.2 ppb로 나타나 측정기간 동안 강우에 의한 농도감소는 약 16% 정도로 나타났다. 따라서 이산화질소도 물에서의 용해도와 관계있는 헨리상수(k_{H})가 0.012

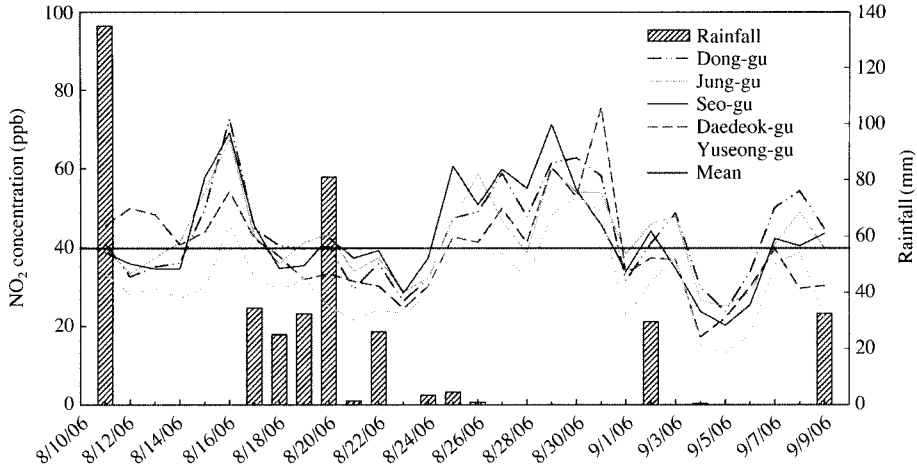


Fig. 5. Comparison of trends between daily mean concentrations of NO₂ and rainfall in Daejeon.

mol kg⁻¹ bar⁻¹ (at 298.15 K)로 물과 잘 반응하는 가스상 물질이기 때문에 강우에 의해 대기 중 농도가 낮아진 것으로 생각된다(Chameides, 1984).

3. 3 대기오염 자동측정망과의 비교

그림 6은 대전시에 설치, 운용되고 있는 대기오염 자동측정망(6지점)과 본 연구로부터 얻어진 이산화질소 일별 평균농도(40지점)를 비교한 그림으로 두 측정결과를 비교분석한 결과 상관계수가 0.79로 상관성이 양호한 것으로 나타났다. 그림 7(a)는 두 측정방법에서 얻어진 이산화질소의 농도경향을 나타낸 것으로 측정기간 동안 전체적인 농도의 변화는 측정기간 동안 유사한 경향을 나타내고 있으나, 평균 농도는 차이를 나타내고 있다. 과거 연구결과에서 대기오염측정망의 이산화질소 측정방법과 동일한 방법으로 동일한 장소에서 측정한 확산측정기의 이산화질소 농도 비교 결과는 95% 신뢰구간이 0.992~0.996으로 정밀도가 좋은 것으로 보고되어(김선규 등, 2006), 본 연구결과에서 나타난 측정결과와의 차이는 도로변에서의 풍향, 풍속 등 기상상황의 영향을 무시하더라도 측정지점의 차이(도로변에서의 거리차 등)로 나타난 것으로 생각된다(Plejel *et al.*, 2004; Roorda-Knape *et al.*, 1999). 즉, 확산측정기의 경우 도로변에 가장 가까운 곳에서 측정하였으며, 대기오염자동측정망의 경우 도로변에서 수십m에서 수km 떨어진 곳에서 시료채취를 했기 때문에 절대적인 농도의 차이

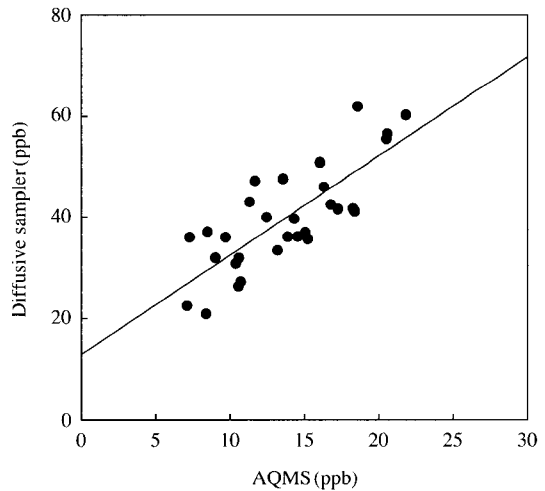


Fig. 6. Comparison of NO₂ measurement results (daily average) obtained with the diffusive sampler and AQMS.

가 나타나는 것으로 생각된다.

대전시 전체 지역에서 측정된 이산화질소 농도의 일변화를 비교하기 위하여 그림 7(b)와 같이 일평균 농도를 월평균 농도로 나누어 정규화(normalization)하면, 확산측정기와 대기오염자동측정망의 측정 농도가 유사하게 변화하고 있음을 알 수 있다. 따라서 확산측정기를 이용할 경우보다 많은 지점에서의 농도 변화 및 분포 특성을 알 수 있어 특정 대상지역의

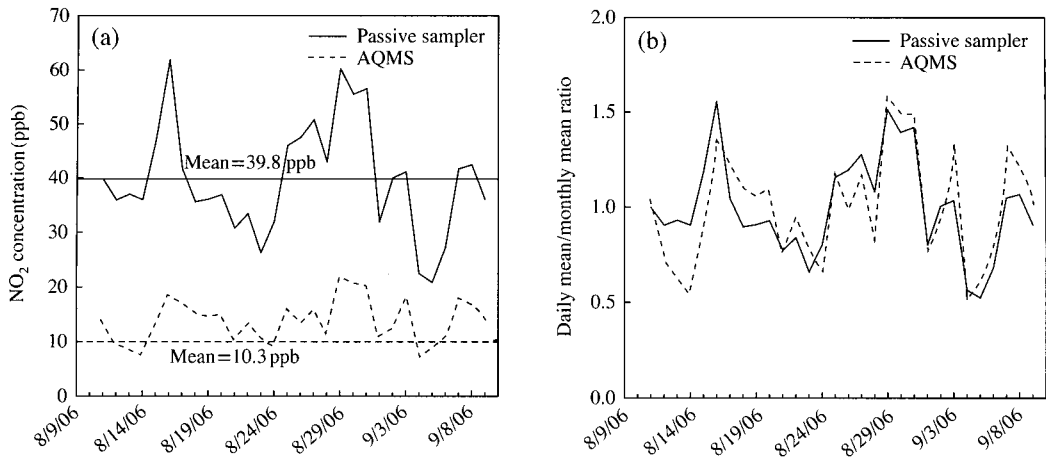


Fig. 7. Trends in daily mean concentrations of NO₂ measured by passive samplers and at the AQMS (air quality monitoring station) in Daejeon (a) and the normalization of data obtained from passive samplers and AQMS (b).

Table 2. Comparisons of NO₂ concentrations measured by a passive diffusive sampler in several cities.

Sampling site		Period	Concentration	Reference
Montreal (Canada)	Highway	Sep. 2001	11.9~29.3 ppb	Gilbert <i>et al.</i> (2003)
UK	Kerbside, intermediate, urban background	1993~1997	23 ppb (kerbside) 13 ppb (background)	Stevenson <i>et al.</i> (2001)
Amsterdam (Netherlands)	Urban-inner city		46 µg/m ³	
Huddersfield (UK)	Residential, commercial, industrial area	1993 and 1994	32 µg/m ³	Lebret <i>et al.</i> (2000)
Poznan (Poland)	Residential urban		27 µg/m ³	
Prague (Czech Republic)	Residential, industrial area		35 µg/m ³	
UK	Background, near-road, intermediate	Jul. ~ Dec. 1991	10~50 ppb	Campbell <i>et al.</i> (1994)
Funen (Denmark)	Rural, suburban	Jun. 1996	2~20 ppb	Glasius <i>et al.</i> (1999)
Daejeon (Korea)	Curbside	Aug. ~ Sep. 2005	39.8±18.0 ppb	This study

대기오염자동측정망의 자료를 객관적으로 보완할 수 있을 것으로 생각된다.

3. 4 외국 연구사례와의 비교

표 2는 확산측정기를 이용하여 대기 중 이산화질소를 측정된 외국의 사례를 나타낸 것이다. 유럽국가의 경우 광범위한 지역에서 이산화질소 농도의 공간적인 분포를 조사, 연구하는 데 확산측정기를 이용한 결과가 많이 보고되고 있다. 이산화질소 측정이 도로

변에서 실시된 대전시의 경우 평균농도가 39.8 ppb로 외국의 연구결과와 비교하여 약간 높은 수준으로 나타났다. 이것은 본 연구의 측정이 도로변에서 실시되어 자동차 배출가스에 의한 영향을 직접적으로 받은 것으로 생각되며, 다른 외국의 연구는 도로변, 주거지역 및 상업지역 등을 포함한 광범위한 측정으로 평균 이산화질소 농도는 상대적으로 낮게 나타났다. 예를 들어, Funen (Denmark)의 경우와 같이 측정지점이 대도시에서 떨어진 지역(rural 및 suburban)의

경우 이산화질소 농도가 2~20 ppb로 본 연구와 같이 도로변에서 측정된 농도보다 상당히 낮은 농도가 측정되었다.

4. 결 론

확산측정기를 이용하여 대전시 주요 도로변 이산화질소 농도의 공간적인 분포를 조사한 결과, 이산화질소 평균 농도는 39.8 ± 18.0 ppb (n=1,127)로 나타났으며 지역별 평균 농도는 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 녹지 및 주거지역 인접 및 상대적으로 교통량이 적은 지역 등 주변 환경에 의해 지점별로는 농도차가 크게 나타났다. 측정된 이산화질소 농도별 빈도분포는 대전시 전체 및 지역별로 정규분포 형태로 나타났고, 전체적으로 30~40 ppb 범위의 농도가 20~25%로 가장 많이 분포하는 것으로 나타났다. 이산화질소 농도의 일변화와 강우량과의 관계에서 강우시와 비강우시 이산화질소 평균 농도는 각각 36.3 ppb와 43.2 ppb로 측정기간 동안 강우에 의한 농도감소는 약 16% 정도로 나타났다. 대기오염자동 측정망과 확산측정기를 이용하여 얻어진 이산화질소 농도변화는 측정위치의 차이로 확산측정기로 측정하여 얻어진 농도가 높게 나타났지만, 일평균 농도를 월평균 농도로 나누어 정규화하여 비교한 결과 확산측정기와 대기오염자동측정망의 측정 농도가 유사하게 변화하고 있는 것으로 나타났다. 이상의 결과와 같이 확산측정기를 이용한 대기오염물질의 공간적인 조사는 그 지역의 대기오염 현황을 파악하는 데 유용한 도구로 생각된다.

참 고 문 헌

권영식, 송동웅, 강경호(1996) 강우분석과 모델링에 의한 원주시 대기오염물질(SO₂) 이동과 침적에 관한 연구, *Analytical Science & Technology*, 9(1), 98-106.
 김선규, 임봉빈, 정의석, 김선태(2006) 대기중 이산화질소의 단기 측정을 위한 배타형 passive sampler의 개발 및 평가, *한국대기환경학회지*, 22(1), 117-126.
 박정호, 최금찬, M. Kasahara(1996) 강수에 의한 대기 에어로졸 입자의 세정특성, *한국대기환경학회지*, 12(2), 159-165.
 임봉빈, 정의석, 김선태(2004) 형광물질을 이용한 대기 중

오존 Passive Sampler의 개발, *한국대기환경학회지*, 20(4), 483-491.
 임봉빈, 김선태, 정재호, 이범진(2007) 장기 NO₂ 및 SO₂ passive diffusive sampler(PDS)를 이용한 대전시 대기질 모니터링, *한국환경과학회지*, 16(2), 187-195.
 대전광역시(2005) 대전의 통계, http://www.daejeon.go.kr/06_daejeon/statistics/index.jsp?lmenu=3.
 정상진, 장재철(2004) Methyl yellow와 methyl orange 지시약을 이용한 실내공기 중의 포름알데히드 간이측정기에 관한 연구, *한국대기환경학회지*, 20(6), 793-801.
 정상진(2002) 오존 간이측정기에 대한 연구(I)-필터의 민감도, *한국대기환경학회지*, 18(5), 383-391.
 환경관리공단(2007) 대기자동측정망, 대기측정망현황(2006년 1월 기준), <http://www.emc.or.kr>.
 환경부(2004) 대기오염공정시험방법.
 Atkins, D.H.F. and D.S. Lee(1995) Spatial and temporal variation of rural nitrogen dioxide concentrations across the United Kingdom, *Atmospheric Environment*, 29(2), 223-239.
 Campbell, G.W., J.R. Stedman, and K. Stevenson(1994) A survey of nitrogen dioxide concentrations in the United Kingdom using diffusion tubes, July~December 1991, *Atmospheric Environment*, 28(3), 477-486.
 Chameides, W.L.(1984) The photochemistry of a remote marine stratiform cloud, *Journal of Geophysical Research*, 89D, 4739-4755.
 Gilbert, N.L., S. Woodhouse, D.M. Stieb, and J.R. Brook(2003) Ambient nitrogen dioxide and distance from a major highway, *The Science of the Total Environment*, 312, 43-46.
 Glasius, M., M.F. Carlsen, T.S. Hansen, and C. Lohse(1999) Measurement of nitrogen dioxide on Funen using diffusion tubes, *Atmospheric Environment*, 33, 1177-1185.
 Hamilton, R.P. and M.R. Heal(2004) Evaluation of method of preparation of passive diffusion tubes for measurement of ambient nitrogen dioxide, *Journal of Environmental Monitoring*, 6, 12-17.
 Kim, S.T. and H.S. Kim(2002) The nationwide NO₂ monitoring with passive sampler in Korea, *J. Korean Society for Atmospheric Environment*, 18(E2), 69-77.
 Lebret, E., D. Briggs, H. van Reeuwijk, P. Fischer, K. Smallbone, H. harssema, B. Kriz, P. Gorynski, and P. Elliott(2000) Small area variations in ambient NO₂

- concentrations in four European areas, *Atmospheric Environment*, 34, 177-185.
- Pleijel, H., G.P. Karlsson, and E.B. Gerdin (2004) On the logarithmic relationship between NO₂ concentration and the distance from a highroad, *The Science of the Total Environment*, 332, 261-264.
- Roorda-Knape, M.C., N.A.H. Janssen, J. de Hartog, P.H.N. Van Vliet, H. Harssema, and B. Brunekreef (1999) Traffic related air pollution in city districts near motorways, *The Science of the Total Environment*, 235, 339-341.
- Stevenson, K., T. Bush, and D. Mooney (2001) Five years of nitrogen dioxide measurement with diffusion tube samplers at over 1,000 sites in the UK, *Atmospheric Environment*, 35, 281-287.
- Yim, B. and S. Kim (2006) Evaluation of an ammonia passive sampler using chamber system, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 22(E1), 1-8.
- Yim, B. and E. Jung (2006) Badge-type diffusive sampler using 3-methyl-2-benzothiazolinone hydrazone for measuring formaldehyde in indoor air, *Analytical Science*, 22(7), 993-997.