

부산지역 질소산화물의 공간분포 및 오염지도 작성에 관한 연구

조정구[†] · 이소림 · 김영태 · 송복주 · 유숙진 · 도우곤 · 빈재훈 · 박호국

대기보전과

Air Pollution Mapping and NOx Spatial Distribution in Busan

Jeong-Goo Cho[†], So-Lim Lee, Yeong-Tae Kim, Bok-Joo Song, Sook-Jin Yu
Woo-Gon Do, Jae-Hoon Bin and Ho-Guk Park

Air Preservation Division

Abstract

In this study, NO₂ pollution map was made with the NO₂ passive samplers to improve the low spatial resolution of air quality monitoring system. With the consideration of the spatial resolution, 175 sampling points were selected from 9 districts within 1km × 1km. 107 sampling points from 5 out of the 9 districts were investigated three times in 2006. 67 sampling points from 4 out of the 9 districts were investigated twice in 2007. The samples were collected mainly during the high ozone density periods. The results were as follows; The mean score of the concentration of NO₂ was 52.0 ppb in Busan. The concentration levels of Seo-gu were 63.2 ppb and Jung-gu 61.8 ppb. They were relatively very high compared to other area levels. Lower concentration levels of NO₂ such as 41.0 ppb from Suyoung-gu and 43.4 ppb from Dongrae-gu were collected. It was observed that the concentration of NO₂ was higher during the spring season, and was lower during the fall season. The level of NO₂ concentration of the high traffic congestion zone was obviously high, and the NO₂ level of the green zone and hill areas within the district was lower than the high traffic zone. In addition, the spatial distribution of NO₂ showed big gaps among areas in the district. Therefore, it is highly recommended to adopt a policy that could reduce the level of NO₂ emission especially in the area of NO₂ high concentration on this pollution map.

Key Words : Passive samplers, Spatial resolution, Pollution map

서 론

1980년대 이전까지는 급속한 산업화와 도시화로 인한 대기 오염 문제의 주요 오염물질은 SO₂와 TSP 등 1차 오염물질로 연구와 저감의 주요 관리 대상이었다²⁾. 그러나 1990년대 이후 연료정책의 변화로 SO₂와 TSP 등은 지속적인 감소추세에 있으나 질소산화물의 배출량은 급속한 자동차의 증가로 인해 지속적으로 증가 추세에 있다. 2003년 우리나라의 질소산화물의 총배출량은 총 110여 만 톤으로 도로이동오염원이 40.9%의 배출비율을 보여 가장 높은 기여도를 나타내고 있으며, 그 중에서 특히 경유자동차의 배출 기여율이 높은 것으로 나타나고 있다(2005. 환경부). 대기 중에 존재하는 질소산화물중 자연발생원인 토양 중 세균의 분해에 의해 생성된 것은 농도가 적어 문제되지 않지만, 내연기관이나 연소시설에서 발생하는 공기 중의 질소가 고온연소 조건하에서 생성되는 인위적인 질소산화물이 대부분이기 때문에 대책의 중점 대상으로 차지하고 있다(2005. 환경부). 1949년 캘리포니아 공과대학 생리학

교수인 Haagen-Smith에 의해 대기 중에 존재하는 질소산화물이 빛에 의해 휘발성유기화합물(VOCs)과 함께 광화학 오존의 생성 전구물질로 작용하여 오존의 생성과 소멸 등 광화학 반응의 핵심적인 역할¹⁾을 하는 것이 밝혀진 후부터 더욱 주목을 받고 있다. 특히 질소산화물은 2ppm이상에서는 건강한 성인의 폐 기능을 약화시키거나 상당한 변화를 초래하는 등 건강상 피해를 주기도 하고³⁾, 광화학반응을 통하여 2차 오염물질인 오존 및 알데하이드, PAN 등의 광화학산화물을 생성하여 복합적인 피해를 나타내기도 한다. 따라서 2007년부터는 대도시지역의 질소산화물 농도를 저감하기 위해 국가 환경기준을 강화하여 관리하고 있으며, 이에 따른 대기오염물질의 환경기준 유지상태와 변화 추이를 파악하기 위해 정부 및 지방자치단체에서는 380여개의 대기오염자동측정소를 전국에 운영 중에 있다. 현재 운영중인 자동측정방법은 숙련된 기술과 고가의 장비가 필요하며 일부 제한된 지점에서만 측정이 가능하며 광범위한 지점에 대한 오염현상을 규명하는데 다소 미흡한 점이 있어⁴⁾, 이동 배출원이 주요 원인인 질소산화물의 공간적인

[†] Corresponding author. E-Mail: chojg6898@busan.go.kr
Phone: 051-888-6816, Fax: 051-888-6817

분포상황을 설명하기에는 한계가 있을 수밖에 없다⁵⁾. 따라서 본 연구에서는 질소산화물을 대상으로 부산지역 일부 자치구를 중심으로 질소산화물의 오염현황과 분포를 조사하고 오염지도 작성을 목적으로 시중에서 제작 시판되고 있는 Passive Sampler를 이용하여 질소산화물의 농도를 파악하였다. Passive Sampler를 이용한 질소산화물 간이측정방법은 자동 측정망과는 달리 시간과 공간적 제약이 없고 언제 어디서나 측정할 수 있는 장점을 지니는 반면, 조사기간 중 바람의 영향으로 포집량이 대기 중의 농도보다 더 많이 포집되게 되는 단점을 가지고 있다. 그러나 대기오염물질은 발생 및 거동의 특성상 해당지역의 대기질을 보다 정확하게 측정하고 이해하기 위해서는 동일 시간대에 광범위한 지점의 시료를 채취 분석하는 것이 보다 필요하므로, 간이 측정기가 가지고 있는 이러한 한계에도 불구하고, 대기환경을 이해하는데 유용한 도구로 사용될 수도 있을 것이다⁶⁾. 본 연구에서는 국내에서 많은 선행연구에 의해 부분적으로 검증된 Passive Sampler를 이용하여 조사를 실시하고, 질소산화물의 공간분포 및 오염지도를 작성하였다.

이론적 배경

Passive Sampler의 포집이론

Passive Sampler의 포집이론은 캐나다 워터루 대학의 Tadeusz Gorecki 교수의 「Passive sampling」에 잘 나타나고 있다.

Fick의 법칙에 의거 기체분자는 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하는데 이동속도는 기체 분자의 농도차에 비례한다는 원리를 적용한 것이다. 좀 더 자세히 설명하면 샘플러와 대기가 접촉하는 경계면의 고농도지역에서 상대적으로 저농도 지역인 샘플러의 안쪽으로 가스상물질 분자가 농도 차이에 따라 확산 및 이동하는 현상을 이용한 것이다. 샘플러의 안쪽에는 특정가스상 물질을 흡수할 수 있는 흡수제가 위치하고 있으며, 시료채취는 분자의 확산(diffusion)과 막투과(permeation)의 원리를 이용하는 방법 등이 있으며 모두

Fick의 법칙에 따른다⁴⁾.

시간 t (sec, min) 동안 확산에 의해서 이동하는 분석대상물질의 총량 M (mol, μg)은 농도차이가 직선적이고 채취효율이 100%일 경우 다음의 식(3)과 같이 설명될 수 있다⁹⁾.

$$M = U \times t = \frac{D \cdot A \cdot C_0 \cdot t}{L} \quad (3)$$

여기서, U는 확산이동률(mol/s, μg/s), D는 공기 중의 분석대상물질의 분자확산계수(m²/s, cm²/s), A는 확산이 이루어지는 전단면적(m², cm²), L은 확산거리(m, cm), C₀는 표준화된 방법(reference)으로 측정된 분석대상물질의 농도(mol/m³, μg/m³)이다. Passive Sampler를 이용한 시료채취 및 채취되는 오염물질의 양은 샘플러의 길이와 직경, 오염물질의 물리화학적 특성에 의해 결정된다. 즉, 시료의 채취율은 대기 중 오염물질의 확산계수, 샘플러의 길이 및 전단면적 등과 같이 오염물질의 확산 및 흡수에 영향을 주는 샘플러의 구성에 의해 결정된다.

여기서 DA/L 은 샘플의 채취율(양)과 같은 의미이며 SR(m³/sec)로 표시한다.

$$SR = \frac{M}{C_0 \cdot t} = \frac{D \cdot A}{L} \quad (4)$$

시료채취율과 시료의 채취시간에 의해 식(5)에 따라 대기 중의 농도를 계산할 수 있다.

$$C_0 = \frac{M}{SR \cdot t} \quad (5)$$

Passive Sampler의 측정원리 및 신뢰도

가스상 물질의 시료를 채취하기 위한 간이측정기(Passive Sampler)는 대기 중에 존재하는 가스상 물질이 정적인 공기층에서 확산되거나, 막을 통하여 일정하게 투과할 수 있도록 조절하는 물리적 장치에 의해 일정한양이 흡수제에 흡수될 수 있도록 고안된 것이다.(2002. 부산광역시대기환경실천계획)

그림 1.에 나타난 것과 같이 샘플러와 대기가 접촉하는 경계면의 고농도 지역에서 상대적으로 저농도 지역인 샘플러의 안쪽으로 가스상 물질 분자가 농도차이에 따라 확산, 이동하는 현상을 이용하는 것이다. 샘플러의 안쪽에는 특정 가스상 물질을 흡수할 수 있는 흡수제가 위치하고 있다⁴⁾. 측정원리는,

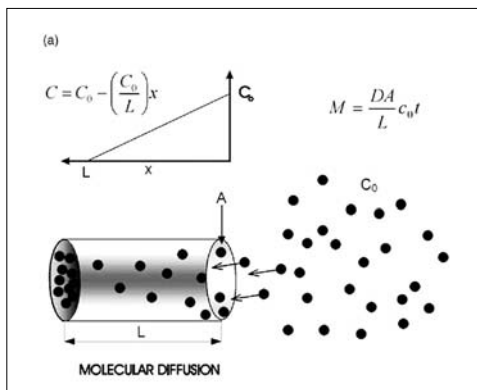
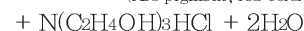
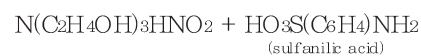
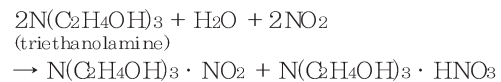


Fig. 1. Schematic diagrams of tube-type diffusion sampler(a).

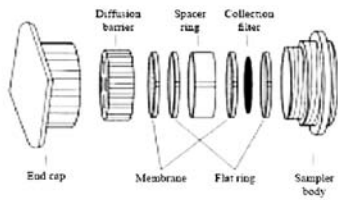


Fig. 2. Schematic diagrams of badge-type NO₂ Passive Sampler.

Passive Sampler의 장단점은 가격이 저렴하고 전원이 필요 없다는 장점으로 최근에 몇몇 연구에 사용되고 있지만 측정기간이 충분할 경우에만 오염물질의 농도가 안정적으로 측정된다고 한다. 단점으로는 대기질의 단시간 변화 측정이 곤란하고 설치에 있어 다수의 인원이 필요하고, 기상변화에 따른 오차의 발생이 크다는 단점이 있다. 그러나 국내외의 많은 연구자들에 의하여 간이측정기인 Passive Sampler의 신뢰도 평가가 이루어졌으며 김학민 등(1996)은 환경부에서 운영중인 NO₂ 자동측정기의 측정값과 표준가스에 의한 측정값을 분석하여 간이측정기의 정확도와 재현성을 평가하기 위해 표준가스 60.5ppb에 폭로시킨 결과 평균오차가 0.26~0.19 ppb로 나타났고, 재현성 평가결과는 상대표준편차가 3.6~4.0%로 나타나 재현성이 우수한 것으로 나타났다. 폭로기간 중의 풍향, 풍속, 온도 등의 기상조건에 따라 약간의 변화가 있으므로 기상의 영향 정도가 잘 평가 된다면 활용성이 높을 것으로 주장하였다. 송민중 등(1997)은 서울 20개소, 부산 7개소, 광주 4개소 등 31개 지점에 대하여 환경부의 자동측정망 자료와 비교분석을 수행하였으며, 그 결과 Passive Sampler가 약 15% 과대평가되는 것으로 조사되었으며, 선형회귀 분석을 한 결과 기울기가 0.92, 상관계수는 0.91로 나타나 두 값 사이의 상관관계가 매우 높은 것으로 분석되었으며 대도시와 같이 넓은 지역의 대기질 평가에 Passive Sampler가 유용하게 사용될 것으로 평가한 사례도 있다. 2004년 부산대기환경개선실천계획 추진상황분석평가에 의

하면 부산지역 20개 지점에 대하여 이산화질소 Passive Sampler를 분석한 결과 자동측정망과의 상관계수가 0.87로 산정되었고 Passive Sampler의 재현성 평가를 위한 %RSD 값은 평균 4.9(0~11.3)으로 산정되어 신뢰할 만한 수준을 신뢰도를 나타냈다고 보고하고 있다.

실험방법

시료채취

본 조사에 사용한 Passive Sampler는 한국에서 제작판매 중인 모델 PO2형(단기 : 최소 8시간 이상 측정)으로서 대기 중 에서 최소 8시간이상 24시간 정도 노출시 적정 측정이 가능한 것을 사용하였다. 그림 2에서 나타낸 것과 같이 외형은 HDPE 재질이며 이산화질소 흡수를 위해 여지에 코팅되는 흡수액은 Triethanolamine(TEA)이 사용되었다.

분석방법

sulfanilic acid 5g, NEDA 50mg, phosphoric acid 30mL를 초순수에 녹여 최종액량을 1L로 하여 제조된 만든 흡수액을 사용하였다. 이산화질소가 선택적으로 흡수된 여지를

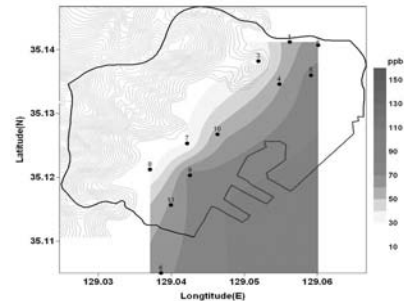


Fig. 3. Map of the mean concentrations of NO₂ on Dong-gu area. The interpolation scheme used was ordinary kriging.

Table 1. Result of sampling by NO₂ Passive Sampler in the Dong-gu area ambient air.

Sample No	지점명	1차	2차	3차	평균
동 1	보림극장 건너편	55.4	52.8	61.7	56.6
동 2	자유시장	86.4	39.5	64.8	63.6
동 3	동구 도서관	36.8	25.4	24.5	28.9
동 4	좌천동역	75.4	45.4	55.4	58.7
동 5	부산진시장	87.4	55.5	78.5	73.8
동 6	부산세관	91.8	53.0	57.0	67.3
동 7	수정4동 사무소	41.3	24.9	23.4	29.9
동 8	부산중고	35.1	22.3	22.1	26.5
동 9	초량역	101.7	67.0	51.9	73.5
동 10	초량동측정소	71.9	-	38.5	55.2
동 11	부산역	72.5	53.3	59.4	61.7
평	균	68.7	43.9	48.8	53.8

(unit : ppb)

Table 2. Result of sampling by NO₂ Passive Sampler in the Busanjin-gu area ambient air.

(unit : ppb)

Sample No	지점명	1차	2차	3차	평균
부산진 1	어린이 대공원	28.2	18.3	23.2	23.2
부산진 2	시립도서관	45.4	36.0	24.3	35.2
부산진 3	동원 초등학교	62.8	21.2	30.8	38.3
부산진 4	초읍동 사무소	55.4	31.5	35.7	40.9
부산진 5	초읍 부산은행	86.3	34.7	61.9	61.0
부산진 6	양정 제일교회	80.4	63.1	54.0	65.8
부산진 7	양정 2동 우체국	101.1	50.0	64.7	71.9
부산진 8	부산과학고교	34.5	17.2	16.9	22.9
부산진 9	당감시장근처 수협	77.5	29.1	53.9	53.5
부산진 10	LG 과학관	61.1	40.0	48.4	49.9
부산진 11	부암1동 파출소	69.1	37.1	47.7	51.3
부산진 12	법전동 사무소	64.3	25.7	44.2	44.7
부산진 13	양정우체국	61.9	30.9	54.2	49.0
부산진 14	삼성생명	50.6	40.4	47.2	46.1
부산진 15	동의 의료원	42.6	23.4	42.9	36.3
부산진 16	양동초등학교	28.3	19.4	36.6	28.1
부산진 17	개금 3동 동사무소	90.3	69.6	56.6	72.2
부산진 18	개금 부산은행	107.0	74.1	63.9	81.7
부산진 19	당감성당	64.9	20.7	35.1	40.2
부산진 20	아람마트	67.7	38.9	60.6	55.8
부산진 21	부전1동 사무소	72.3	30.8	49.9	51.0
부산진 22	국민건강보험 관리공단	64.8	64.8	55.0	59.9
부산진 23	대동파크맨션	-	-	-	-
부산진 24	롯데백화점	60.7	38.9	48.6	49.4
부산진 25	밀레오레	67.5	37.6	57.9	54.3
부산진 26	LG 신주레 아파트	83.3	62.0	53.8	66.4
부산진 27	고려병원	91.0	37.1	59.2	62.5
부산진 28	가야2동 사무소	45.5	27.7	45.7	39.6
부산진 29	신라병원	91.1	40.4	67.4	66.3
부산진 30	부산기독교방 송국	54.0	32.2	48.3	44.8
부산진 31	부산진초등학교	65.4	40.2	48.8	51.5
부산진 32	전포동 측정소	72.9	24.0	49.1	48.7
부산진 33	춘해대학	51.9	24.3	52.7	43.0
부산진 34	백병원	36.1	33.9	45.8	38.6
부산진 35	부산진구 종합 사회복지관	22.4	18.7	31.0	24.0
부산진 36	동의대 공과대학	27.0	22.9	32.4	27.5
부산진 37	동의대 상경대학	30.2	23.0	24.2	25.8
부산진 38	동성교회	63.0	36.9	40.4	46.8
부산진 39	부산진구 보건소	56.9	27.9	47.1	44.0
부산진 40	부산 시민회관	62.1	30.2	56.3	49.5
부산진 41	문현초등학교	50.7	20.2	47.5	39.5
평	균	61.3	34.1	46.6	47.3

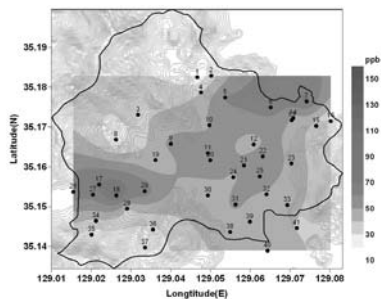


Fig. 4. Map of the mean concentrations of NO₂ on Busanjin-gu area. The interpolation scheme used was ordinary kriging.

발색액 4mL를 주입하여 1시간 동안 방치하여 반응시킨 시료를 분석액으로 사용하였다. 흡광광도계를 이용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하였다.

결과 및 고찰

2006년도 NO₂ 오염지도 작성

본 조사 연구에서 NO₂의 Passive Sampler 측정지점은 2006년도에 동구 11, 부산진구 41, 동래구 24, 연제구 15, 수

Table 3. Result of sampling by NO₂ Passive Sampler in the Dongnae-gu area ambient air. (unit : ppb)

Sample No	지점명	1차	2차	3차	평균
동래 1	금강공원	25.5	14.1	21.4	20.3
동래 2	허심청	49.4	27.7	32.0	36.4
동래 3	화물조합 (동래에너지변경)	34.8	15.5	33.2	27.8
동래 4	우장춘 박사 동상	41.3	12.4	34.8	29.5
동래 5	롯데백화점 동래지점	77.4	36.7	73.9	62.7
동래 6	명륜2동 사무소	45.8	27.5	33.8	35.7
동래 7	동래문화회관	36.0	17.0	30.2	27.7
동래 8	명장2동 치안센터	48.5	18.7	38.4	35.2
동래 9	유원아파트 (101동)	31.6	14.3	26.1	24.0
동래 10	중원엔피 (KT 미남지점변경)	44.4	26.1	32.6	34.4
동래 11	광혜병원	115.1	37.5	73.7	75.4
동래 12	온천동 측정소 (도로변)	74.5	53.1	25.4	51.0
동래 13	북천동 측정소	44.1	23.7	35.7	34.5
동래 14	학산여고	38.9	15.6	25.1	26.5
동래 15	농협	97.2	47.8	74.6	73.2
동래 16	혜화여고	-	23.2	29.3	26.3
동래 17	에인유치원	67.4	35.4	44.3	49.0
동래 18	사직 지하철역사	70.2	46.0	35.5	50.5
동래 19	영남정비 (국민은행변경)	63.1	52.6	38.4	51.4
동래 20	부산은행 (동래경찰서변경)	73.1	43.7	59.4	58.7
동래 21	동래 봉생병원	52.2	35.0	42.6	43.3
동래 22	한전 동래지점	109.3	37.1	81.8	76.1
동래 23	안락선경아파트 상가	62.6	26.5	39.8	43.0
동래 24	환경시설 관리공단	44.6	25.4	33.1	34.4
평균		58.6	29.7	41.5	43.2

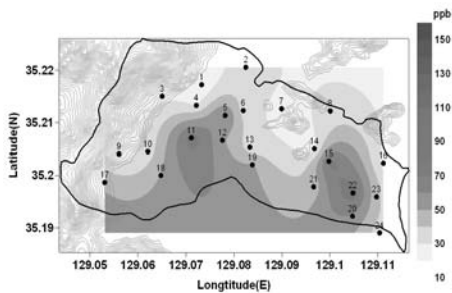


Fig. 5. Map of the mean concentrations of NO₂ on Dongnae-gu area. The interpolation scheme used was ordinary kriging.

영구 17개 지점으로 5개구에 총 108개 지점에 대하여 봄철인 5월, 가을철인 9월, 겨울철 11월 3차례에 걸쳐 조사를 실시하였다. 조사지점 중 부산진구는 결측된 1개 지점을 제외한 40개 지점의 자료를 활용하였다.

동구 : 동구지역의 조사지점은 총 11개 지점을 대상으로 조사를 실시하였으며 부산의 도심을 지나가는 중앙로가 위치하고 있는 지역이다. 또 동쪽으로는 우리나라 제1의 항구가 위치하고 있어 항만배후 도로와 선박으로부터 배출되는 오염물질의

영향을 직접적으로 받고 있는 지역이기도 하다. Passive Sampler를 이용한 조사에서 5월에는 평균 68.7 ppb, 9월에는 43.9 ppb, 11월에는 48.8 ppb로 봄철인 5월에 NO₂의 농도가 높은 분포를 보이고 있다. 그림 3에 나타내었듯이 해안가와 주요 간선도로 주변을 중심으로 비교적 높은 농도, 주거지역과 녹지지역이 위치한 산지 주변으로는 비교적 낮은 농도분포를 보이고 있다. 특히 부두에 인접한 초량역 부근과 국제터미널이 위치한 부산세관 주변이 67.3~73.5 ppb로 다른 지역에 비해 매우 높게 나타났다. 부산중고, 수정4동, 동구도서관 등이 위치한 비교적 고지대에서는 26.5, 29.9, 28.9 ppb로 해안가와 비교하여 2배정도의 차이를 나타내었다. 2006년도에 조사된 다른 지역과 비교하여 동구지역은 53.8ppb로 동래구 43.2, 수영구 44.6, 연제 45.4, 진구 47.3 ppb에 비해 비교적 높은 농도를 유지하고 있는 것으로 나타났다.

부산진구 : 부산진구지역의 조사지점은 총 41개 지점을 대상으로 조사를 실시하였으나, 1개 지점의 결측으로 인해 40개 지점의 자료를 활용하였다. 본 지역은 부산의 도심을 지나가는 중앙로가 위치하고 있고 부산의 교통요충지이기도 하다. 또 남쪽으로는 우리나라 제1의 항구가 위치하고 있는 남쪽은 동구지역과 경계를 이루고 있어 항만배후 도로와 선박으로부터 배출되는 오염물질의 영향을 직간접적으로 받고 있는 지역이기

Table 4. Result of sampling by NO₂ Passive Sampler in the Yeonje-gu area ambient air.

(unit : ppb)

Sample No	지점명	1차	2차	3차	평균
연제 1	거제1동 사무소	61.8	22.7	47.7	44.0
연제 2	연산1동 치안센터	63.5	38.2	57.3	53.0
연제 3	동래중앙병원 (연산로타리)	73.9	71.1	53.4	66.2
연제 4	부산외국어고교	43.9	24.0	48.0	38.6
연제 5	과정사거리 국민은행 맞은편	77.8	39.8	65.8	61.1
연제 6	거제 4동 진흥아파트	58.7	42.5	42.9	48.0
연제 7	연산7동 사무소	40.8	25.7	40.7	35.7
연제 8	연산6동 사무소	36.7	26.8	41.8	35.1
연제 9	과정로 백도날드	103.4	30.3	63.1	65.6
연제 10	현대아파트(연미초교 인근)	24.4	22.6	31.9	26.3
연제 11	아시아드 경기장	41.9	28.7	23.1	31.2
연제 12	종합운동장	71.0	62.2	41.6	58.2
연제 13	거제 현대아파트	61.1	35.5	43.5	46.7
연제 14	연제 초등학교	38.1	24.5	37.0	33.2
연제 15	연제구청	47.5	25.2	41.7	38.1
평 균		56.3	34.7	45.3	45.4

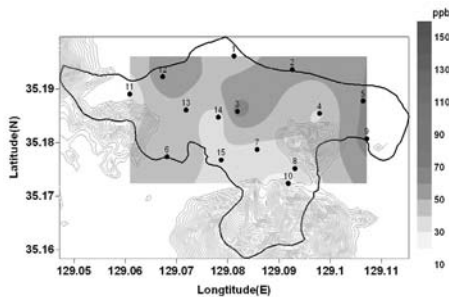


Fig. 6. Map of the mean concentrations of NO₂ on Yeonje-gu area. The interpolation scheme used was ordinary kriging.

도 하다. 부산진구의 중심부는 부산 최대의 상업지역이 밀집하고 있고 동서남북으로 교통량이 밀집되는 지역으로서 동쪽으로는 황령산, 서쪽은 백양산이 위치하고 있어 공기의 순환은 대부분 남북으로의 국지풍에 의해 이루어진다. 산이 위치한 고지대 지역에 주거지역이 집중으로 위치하고 있어 도심지 보다는 오염이 다소 덜한 측면이 있다. 그림 4에서 나타난 것과 같이 높은 농도를 보인 개금동지역은 사상공업지역으로부터 유입되는 오염물질의 간접적인 영향과 도로의 경사도가 심해 차량의 부하량이 직접 영향을 미쳐 나타난 결과로 추정된다. 연제구와의 경계 지점인 양정동 지역은 교통량이 밀집되는 곳으로서 오염도가 높게 나타내었다. 5월 평균은 61.3 ppb, 9월은 34.1 ppb, 11월은 46.6 ppb로 평균 47.3 ppb를 나타내었다. 다른 지역과 비교하여 동구지역에 비해서는 다소 낮은 농도 분포를 나타내지만 다른 지역에 비해서는 다소 오염도가 높은 분포를 나타내고 있다.

동래구 : 동래구지역의 조사지점은 총 24개 지점을 대상으

로 조사를 실시하였으며 부산지역의 내륙에 위치하고 있으며 대부분이 주거 및 상업지역으로 이루어진 지역이다. 질소산화물의 주요 배출원은 대부분 자동차에서 배출되며 동쪽으로는 장산 서쪽으로는 금정산이 위치하고 있어 오염물질의 순환은 남과 북으로만 순환되는 지형적인 특성을 가지고 있다. Passive Sampler를 이용한 조사에서 봄철인 5월에는 평균 58.6 ppb, 9월에는 29.7 ppb, 11월에는 41.5 ppb로 봄철인 5월에 NO₂의 농도가 높은 분포를 보이고 있다. 그림 5에 나타내었듯이 동서로 차량이 집중되는 광혜병원 주변과 동래의 중심지인 한전주변에서 높은 농도를 보이고 있다. 동래문화회관이 위치한 지역은 주변지역에 비해 고도가 다소 높고 녹지가 밀집한 주거지역으로서 다른 지역에 비해 낮은 농도 분포를 보였다. 2006년도에 조사된 다른 지역과 비교하여 동래구지역은 43.2 ppb로 동구 지역 53.8 ppb에 비해 낮은 농도 분포를 보인다.

연제구 : 연제구지역의 조사지점은 총 15개 지점을 대상으로 조사를 실시하였으며 부산지역의 내륙에 위치하고 있으며 대부분이 주거 및 상업지역으로 이루어진 지역이다. 남쪽에는 부산의 대표적인 중심지인 부산진구 서면등과 인접하여 교통의 요지이다. 질소산화물의 주요 배출원은 대부분 자동차에서 배출되며 동쪽으로는 황령산 서쪽으로는 백양산 등이 위치하고 있어 오염물질의 순환은 남과 북, 동과 서로 순환되는 지형적인 특성을 가지고 있다. Passive Sampler를 이용한 조사에서 봄철인 5월에는 56.3 ppb, 9월에는 34.7 ppb, 11월에는 45.3 ppb로 나타나 봄철에 높은 농도를 보이고 있다. 차량이 밀집되는 연산로타리는 66.2 ppb로 최고치를 나타내었다.

수영구 : 수영구지역의 조사지점은 총 17개 지점을 대상으로 조사를 실시하였으며 부산지역 남동쪽의 해안에 위치하고

Table 5. Result of sampling by NO₂ Passive Sampler in the Suyeong-gu area ambient air. (unit : ppb)

Sample No	지점명	1차	2차	3차	평균
수영 1	망미중학교	23.5	21.1	37.6	27.4
수영 2	망미동 우체국 밑	94.3	47.7	60.7	67.6
수영 3	망미2동 사무소	44.4	23.4	41.9	36.6
수영 4	부산여상	22.0	20.8	36.2	26.3
수영 5	망미동역	74.7	33.5	55.4	54.5
수영 6	수영로타리 우리은행	65.6	45.2	53.9	54.9
수영 7	현대아파트 (민락역 2번 출구)	76.8	49.3	68.3	64.8
수영 8	남부소방서	48.7	23.6	44.9	39.1
수영 9	광안역 6번 출구	60.5	33.7	57.4	50.5
수영 10	민락동우체국	79.6	61.7	79.2	73.5
수영 11	부산 mbc 방송국	35.7	22.0	46.0	34.6
수영 12	광안동측정소	28.2	14.2	27.9	23.4
수영 13	성분도치과	55.6	36.7	62.4	51.6
수영 14	마리나호텔	35.9	35.9	54.5	45.2
수영 15	시장관사	30.7	20.9	35.6	29.1
수영 16	수영구청	38.9	27.4	57.4	41.2
수영 17	삼익비치아파트	46.0	16.9	48.5	37.1
평균		50.7	31.1	51.1	44.6

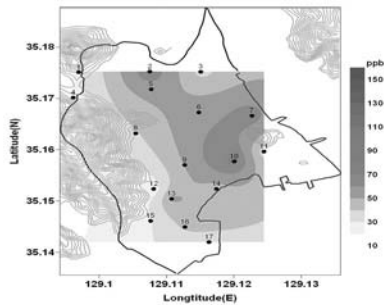


Fig. 7. Map of the mean concentrations of NO₂ on Suyeong-gu area. The interpolation scheme used was ordinary kriging.

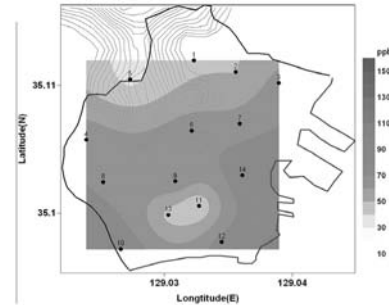


Fig. 8. Map of the mean concentrations of NO₂ on Jung-gu area. The interpolation scheme used was ordinary kriging.

있고 대부분이 주거 및 상업지역으로 이루어진 지역이다. 질소산화물의 주요배출원은 대부분 자동차에서 배출되며 해안가에는 광안리해수욕장과 서쪽에는 황령산이 위치하여 하여 오염물질의 확산이 원활한 지역적 특성이 있다. Passive Sampler를 이용한 조사에서 봄철인 5월에는 평균 50.7 ppb, 9월에는 31.1 ppb, 11월에는 51.1 ppb로 평균 44.6 ppb로 부산지역에서 비교적 양호한 분포를 보이고 있다. 그림 7에 나타내었듯이 동서로 차량이 집중되는 수영로타리 주변과 망미동 주변에서 높은 농도를 보이고 있다. 황령산 자락에 위치하여 비교적 고지에 위치한 주거지역은 다른 지역에 비해 절반 정도의 농도 분포를 보이고 있다.

2007년도 NO₂ 오염지도 작성

2007년도에 본 조사 연구에서 Passive Sampler NO₂의 측정지점은 중구 14, 서구 19, 영도구 16, 남구 18개 지점으로

부산지역 4개구 총 67개 지점에 대하여 6월과 10월 2차례에 걸쳐 조사를 실시하였다.

중구 : 중구지역의 조사지점은 총 14개 지점을 대상으로 조사를 실시하였으며 부산의 남쪽에 위치하여 동쪽으로는 부산항과 인접하며 남쪽으로는 어항인 남항, 북서쪽에는 용두산 공원이 위치하고 있다. 대기오염물질의 주배출원은 자동차이며 항구와 인접하고 있어 선박에서 배출되는 오염물질의 영향을 직접적으로 받는 지역이다. 6월은 66.9 ppb, 10월은 56.7 ppb으로 평균 61.8 ppb를 나타내었다. 질소산화물의 농도가 인근 자치구인 서구 63.2 ppb 보다는 낮았지만 동구, 영도구 지역과 비교하여 다소 높은 농도의 분포를 보였으며 부산지역 평균 52.0 ppb 보다 높게 나타났다. 특히 차량이 밀집되는 자갈치 시장입구와 부산우체국 주변이 82.8~80.8 ppb로 최고치를 나타내었고, 공원지역인 민주공원과 용두산 공원이 36.2~39.2 ppb로 최저 분포를 나타내었다.

Table 6. Result of sampling by NO₂ Passive Sampler in the Jung-gu area ambient air.

(unit : ppb)

Sample No	지점명	1차	2차	평균
중 1	영주파출소	50.5	42.4	46.5
중 2	봉래초교	54.8	44.7	49.8
중 3	부산지방 보훈청	70.6	58.6	64.6
중 4	보수초교	76.1	60.4	68.3
중 5	민주공원	37.1	35.3	36.2
중 6	중구청	73.9	65.5	69.7
중 7	중부소방서	70.8	59.0	64.9
중 8	부평상사 아파트	72.7	64.6	68.7
중 9	부산근대역사관	80.3	63.1	71.7
중 10	자갈치역	90.0	75.6	82.8
중 11	용두산공원	39.7	38.6	39.2
중 12	남포동역	84.2	69.7	77.0
중 13	광복동 측정소	49.2	42.3	45.8
중 14	부산우체국	87.2	74.4	80.8
평	균	66.9	56.7	61.8

Table 7. Result of sampling by NO₂ Passive Sampler in the Seo-gu area ambient air.

(unit : ppb)

Sample No	지점명	1차	2차	평균
서 1	구덕민속예술관	36.3	30.5	33.4
서 2	서대신4동 사무소	92.6	22.0	57.3
서 3	구덕운동장	67.6	53.1	60.4
서 4	동신초등학교	29.9	66.1	48.0
서 5	동대교차로 부산은행	87.6	72.8	80.2
서 6	서대신파출소(서대신동역)	85.3	82.6	84.0
서 7	중앙대청공원	87.9	89.4	88.7
서 8	동대신동역주변(동대신교차로)	60.2	43.6	51.9
서 9	화랑초교	53.6	43.1	48.4
서 10	한국통신 아미전화국	92.1	43.2	67.7
서 11	토성상가아파트(부평교차로)	75.3	68.7	72.0
서 12	초장중교	45.5	42.5	44.0
서 13	자갈치역	53.2	45.9	49.6
서 14	남부민동 사무소	59.9	45.2	52.6
서 15	남부민2동 사무소	69.0	50.0	59.5
서 16	압남동 사무소	43.7	37.8	40.8
서 17	송림공원	89.8	80.2	85.0
서 18	고신대 복음병원	90.5	82.0	86.3
서 19	대진타워 LG아파트	109.7	72.1	90.9
평	균	70.0	56.4	63.2

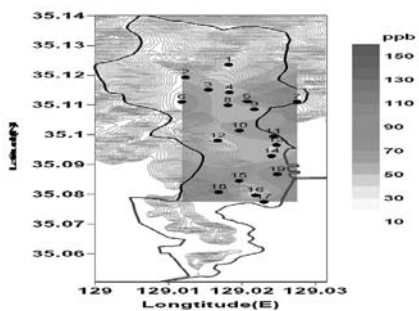


Fig. 9. Map of the mean concentrations of NO₂ on Seo-gu area. The interpolation scheme used was ordinary kriging.

서구 : 서구지역의 조사지점은 총 19개 지점을 대상으로 조사를 실시하였으며 부산의 남쪽에 위치하여 동쪽으로는 여항인 남항과 영도구, 남서쪽에는 천마산, 서쪽에는 부산지역의 대표적인 국가산업단지인 신평·장림 공업지역과 부산화력발전소 및 감천항, 북쪽으로 구덕산이 위치하고 있다. 서구지역은 대부분이 주거지역과 일부 상업지역이 위치하고 있고, 대기오염물질의 주배출원은 자동차와 화력발전소이며 남쪽은 항구와 인접하고 있어 선박에서 배출되는 오염물질의 영향을 직접적으로 받고, 서쪽은 공업지역의 영향을 받는 지역이다. 6월은

Table 8. Result of sampling by NO₂ Passive Sampler in the Yeongdo-gu area ambient air. (unit : ppb)

Sample No	지점명	1차	2차	평균
영도 1	영도경찰서	67.5	73.0	70.3
영도 2	신한은행 (봉래교차로)	86.7	46.8	66.8
영도 3	태종로 주유소	89.4	75.9	82.7
영도 4	한국테크노과학고교	69.8	59.1	64.5
영도 5	신선2동 사무소	32.3	38.0	35.2
영도 6	부산해사고교	24.7	38.4	31.6
영도 7	영도구청	73.6	71.5	72.6
영도 8	동산아파트 (절영도산책로)	48.5	41.1	44.8
영도 9	고신대도서관	28.5	40.4	34.5
영도 10	삼영 Eng	64.6	64.6	64.6
영도 11	동삼1동사무소	40.6	45.1	42.9
영도 12	동삼동 새마을금고	59.9	47.3	53.6
영도 13	합지골수련원	23.6	26.4	25.0
영도 14	해양대학교	39.9	29.3	34.6
영도 15	부산해양경찰서	42.2	34.8	38.5
영도 16	태종대측정소	37.6	31.2	34.4
평균		51.8	47.7	49.8

70.0 ppb, 10월은 56.4 ppb 평균 63.2 ppb를 나타내었다. 질소산화물의 농도가 인근 자치구인 동구, 영도구 지역과 비교하여 다소 높은 농도의 분포를 보였으며 부산지역 평균 52.0 ppb 보다 높게 나타났다. 이는 특히 감천항과 부산화력발전소가 위치한 감천동지역에서 매우 높은 농도를 보여 서구 전 지역이 높은 것으로 평가된 것으로 보인다. 대신동지역도 높은 농도를 보였는데 이는 북쪽으로 구덕산이 막혀 확산이 이루어지지 않아 주거지역이 밀집한 지역임에도 고농도를 보인 것으로 추정된다.

영도구 : 영도구지역의 조사지점은 총 16개 지점을 대상으로 조사를 실시하였으며 부산의 최 남단에 위치하고 있으며 동쪽으로는 부산항과 서쪽에는 남항이 위치한다. 영도구 지역은 선박수리업이 발전되어 있고 대부분의 지역이 주거지역이며 항만을 중심으로 공업지역이 위치하고 있다. 일부 공업지역이 산재하고 있지만 대부분의 질소산화물 배출원은 자동차와 인

접한 항구에서 배출되는 오염물질의 영향을 직접 받는 지역이다. 봄철은 51.8 ppb, 가을철은 47.7 ppb로, 평균 49.8 ppb를 나타내어 부산지역 평균 52.0 ppb와 유사하며 인접 지역보다 다소 낮은 농도분포를 나타내었다. 그림 10에 나타난 바와 같이 교통량이 많은 영도경찰서 주변과 주유소 인접지역에서 매우 높은 농도 분포를 보였고, 해양대학교가 위치한 최남단지역에서 낮은 농도 분포를 보였다. 부산항이 인접한 지역인 북쪽에는 고농도, 남쪽에는 저 농도가 분포하여 확연하게 다른 양상을 나타내었다.

남구 : 남구지역의 조사지점은 총 18개 지점을 대상으로 조사를 실시하였으며 부산의 남단에 위치하고 있으며 남쪽으로는 부산항이 위치한다. 우리나라 제1의 컨테이너 부두가 위치하고 있어 컨테이너 수송차량과 대형 선박이 입·출입이 빈번한 지역이다. 항만을 중심으로 소규모의 공업지역이 형성되어 있지만 대부분의 질소산화물 배출원은 컨테이너 차량과 인접

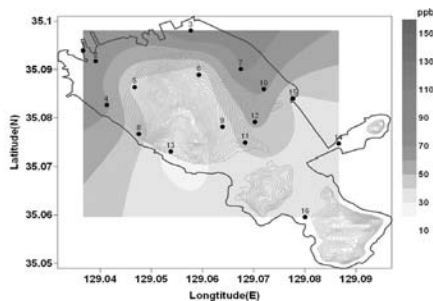


Fig. 10. Map of the mean concentrations of NO₂ on Yeongdo-gu area. The interpolation scheme used was ordinary kriging.

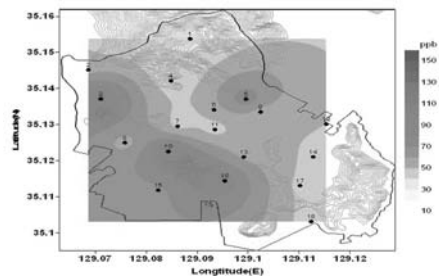


Fig. 11. Map of the mean concentrations of NO₂ on Nam-gu area. The interpolation scheme used was ordinary kriging.

Table 9. Result of sampling by NO₂ Passive sampler in the Nam-gu area ambient air. (unit : ppb)

Sample No	지점명	1차	2차	평균
남 1	청구아파트	46.5	25.6	36.1
남 2	문현2동사무소	80.9	29.9	55.4
남 3	국민은행 (문현교차로)	117.8	79.2	98.5
남 4	부산문화예술회관	58.1	26.7	42.4
남 5	부경, 경성대역	104.9	49.2	77.1
남 6	대연1동사무소	74.9	37.6	56.3
남 7	부산공고 (대연동측정소)	65.1	28.7	46.9
남 8	우암1동사무소	79.2	32.1	55.7
남 9	부경대 대연 캠퍼스	79.0	29.7	54.4
남 10	감만2동사무소	117.4	71.0	94.2
남 11	문화회과	60.5	31.2	45.9
남 12	LG 메트로시티 고등학교	68.4	31.7	50.1
남 13	등명정보공고	84.4	31.0	57.7
남 14	용호3동사무소	66.8	30.0	48.4
남 15	감만 현대2차 아파트	87.0	46.7	66.9
남 16	용당 파출소	126.4	47.8	87.1
남 17	용호4동사무소	61.6	32.6	47.1
남 18	백운포 종합 체육공원	60.8	30.0	45.4
평	균	80.0	38.4	59.2

Table 10. Result of sampling by NO₂ Passive Sampler in the Busan area ambient air. (unit : ppb)

구분	지역	1차(5월-6월)	2차(9월-10월)	3차(11월)	평균
2007년	중구	66.9	56.7	-	61.8
2007년	서구	70.0	56.4	-	63.2
2006년	동구	68.7	43.9	48.8	53.8
2007년	영도구	51.8	47.7	-	49.8
2006년	부산진구	61.3	34.1	46.6	47.3
2006년	동래구	58.6	29.7	41.5	43.2
2007년	남구	80.0	38.4	-	59.2
2006년	연제구	56.3	34.7	45.3	45.4
2007년	수영구	50.7	31.1	51.1	44.6
평	균	62.7	41.4	46.7	52.0

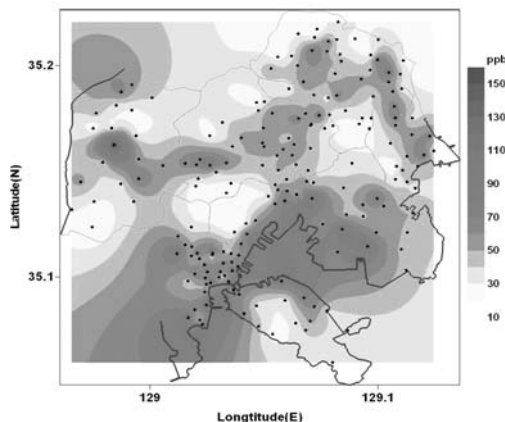


Fig. 12. Map of the mean concentrations of NO₂ on Busan area. The interpolation scheme used was ordinary kriging.

한 항구에서 배출되는 오염물질의 영향을 직접 받는 지역이다. 그림 11에 나타난 바와 같이 감만동과 용당동을 잇는 도로는 항상 컨테이너차량의 이동과 항만이 바로 인접하여 다른 남구 지역에 비해 질소산화물의 농도가 매우 높게 분포하는 것으로 나타났다. 문현 교차로 또한 일반차량과 컨테이너 차량이 밀집되는 지역으로 다른 지역에 비해 높게 나타났다. 6월은 80.0 ppb, 10월은 38.4 ppb 평균 59.2 ppb를 나타내어 부산지역 평균 52.0 ppb와 비교하여 높은 농도의 분포를 보였다.

부산지역 NO₂ 오염지도 작성

2006년과 2007년도에 걸쳐 본 조사 연구에서 Passive Sampler NO₂의 측정지점은 2006년도에 동구 11, 부산진구 40, 동래구 24, 연제구 15, 수영구 17개 지점 등 5개구 총 107

개 지점과, 2007년도에 중구 14, 서구 19, 영도구 16, 남구 18 등 4개구 총 67개 지점에 대하여 부산지역 오존농도가 높은 5월~6월과 9월~11월에 2~3차례에 걸쳐 조사를 실시하였다. 부산시 전체 질소산화물의 농도분포를 살펴보면 부산의 항만이 위치한 지역에서 높게 나타났는데 이는 컨테이너차량과 선박에서 배출되는 질소산화물에 그 원인이 있는 것으로 판단된다.

Passive Sampler에 의한 각 지역별 NO₂의 분포는 서구지역이 63.2 ppb로 가장 높았고 그 다음으로 중구지역이 61.8 ppb의 분포를 나타내었다. 가장 낮은 농도 분포를 나타낸 지역은 동래구와 수영구로 각각 43.2, 44.6 ppb를 나타내었다.

결 론

2006년과 2007년도에 걸쳐 Passive Sampler를 이용하여 부산지역 총 175개 지점에 대하여 NO₂에 대하여 O₃ 농도가 높은 시기를 중심으로 지점별 2~3차례에 걸쳐 조사를 실시한 결과는 다음과 같다.

1. 동구지역은 봄철인 5월평균 68.7 ppb, 9월 43.9 ppb, 11월 48.8 ppb로 봄철인 5월에 NO₂의 농도가 높은 분포를 보이고 있다. 해안가와 주요 간선도로 주변을 중심으로 비교적 높은 농도, 주거지역과 녹지지역이 위치한 산지 주변으로는 비교적 낮은 농도분포를 보이고 있다. 특히 부두에 인접한 초량역 부근과 국제터미널이 위치한 부산세관 주변이 67.3~73.5 ppb로 다른 지역에 비해 매우 높게 나타났다. 부산중고, 수정4동, 동구도서관 등이 위치한 비교적 고지대에서는 26.5 ~ 29.9 ppb로 해안가와 비교하여 2배정도의 차이를 나타내었다.

2. 부산진구지역 5월 평균은 61.3 ppb, 9월 34.1 ppb, 11월 46.6 ppb로 평균 47.3 ppb를 나타내었다. 다른 지역과 비교하여 동구지역에 비해서는 다소 낮은 농도 분포를 나타내지만 다른 지역에 비해서는 다소 오염도가 높은 분포를 나타내고 있다.

3. 동래구지역은 봄철인 5월에는 평균 58.6 ppb, 9월에는 29.7 ppb, 11월 41.5 ppb로 봄철인 5월에 NO₂의 농도가 높은 분포를 보이고 있다. 그림 5에 나타내었듯이 동서로 차량이 집중되는 광혜병원 주변과 동래의 중심지인 한전주변에서 높은 농도를 보이고 있다. 동래문화회관이 위치한 지역은 주변지역에 비해 고도가 다소 높고 녹지가 밀집한 주거지역으로서 다른 지역과 비해 낮은 농도 분포를 보였다. 2006년도에 조사된 다른 지역과 비교하여 동래구지역은 43.2 ppb로 동구 지역 53.8 ppb에 비해 낮은 농도 분포를 보인다.

4. 연제구지역 봄철인 5월에는 56.3 ppb, 9월에는 36.7 ppb, 11월에는 45.3 ppb로 나타나 봄철에 높은 농도를 보이고 있다. 차량이 밀집되는 연산로터리는 66.2 ppb로 최고치를 나타내었다.

5. 수영구지역 5월에는 평균 50.7 ppb, 9월에는 31.1 ppb, 11월에는 51.1 ppb로 평균 44.6 ppb 로 부산지역에서 비교적 양호한 분포를 보이고 있다. 그림 7에 나타내었듯이 동서로 차

량이 집중되는 수영로터리 주변과 망미동 주변에서 높은 농도를 보이고 있다. 황령산 자락에 위치하여 비교적 고지에 위치한 주거지역은 다른 지역에 비해 절반 정도의 농도 분포를 보이고 있다.

6. 중구지역 봄철은 66.9 ppb, 가을철은 56.7 ppb 평균 61.8 ppb를 나타내었다. 질소산화물의 농도가 인근 자치구인 서구 63.2 ppb 보다는 낮았지만 동구, 영도구 지역과 비교하여 다소 높은 농도의 분포를 보였으며 부산지역 평균 52.0 ppb 보다 높게 나타났다. 특히 차량이 밀집되는 자갈치 시장 입구와 부산우체국 주변이 82.8~80.8 ppb로 최고치를 나타내었고, 공원지역인 민주공원과 용두산 공원이 36.2~39.2 ppb로 최저 분포를 나타내었다.

7. 서구지역 봄철은 70.0 ppb, 가을철은 56.4 ppb 평균 63.2 ppb를 나타내었다. 질소산화물의 농도가 인근 자치구인 동구, 영도구 지역과 비교하여 다소 높은 농도의 분포를 보였으며 부산지역 평균 52.0 ppb 보다 높게 나타났다. 이는 특히 감천항과 부산화력발전소가 위치한 감천동지역에서 매우 높은 농도를 보여 서구 전 지역이 높은 것으로 평가된 것으로 보인다. 대신동지역도 높은 농도를 보였는데 이는 북쪽으로 구덕산으로 막혀 확산이 이루어지지 않아 주거지역이 밀집한 지역임에도 고농도를 보인 것으로 추정된다.

8. 영도구지역 봄철은 51.8 ppb, 가을철은 47.7 ppb 평균 49.8 ppb를 나타내어 부산지역 평균 52.0 ppb와 유사하며 인접 지역보다 다소 낮은 농도분포를 나타내었다. 교통량이 많은 영도경찰서 주변과 주유소 인접지역에서 매우 높은 농도 분포를 보였고, 해양대학교가 위치한 최남단지역에서 낮은 농도 분포를 보였다. 부산항이 인접한 지역인 북쪽에는 고농도, 남쪽에는 저농도가 분포하여 확연하게 다른 분포를 나타내었다.

9. 남구지역 봄철은 80.0 ppb, 가을철은 38.4 ppb 평균 59.2 ppb를 나타내어 부산지역 평균 52.0 ppb와 비교하여 높은 농도의 분포를 보였다. 감만동과 용당동을 잇는 도로는 항상 컨테이너차량의 이동과 항만이 바로 인접하여 다른 남구 지역에 비해 질소산화물의 농도가 매우 높게 분포하는 것으로 나타났다. 문현교차로 또한 일반차량과 컨테이너 차량이 밀집되는 지역으로 다른 지역에 비해 높게 나타났다.

10. 부산지역의 각 지역별 NO₂의 분포는 서구지역이 63.2 ppb로 가장 높았고 그 다음으로 중구지역이 61.8 ppb의 분포를 나타내었다. 가장 낮은 농도 분포를 나타낸 지역은 수영구와 동래구로 각각 41.0, 43.4 ppb를 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 이경주 등, 서울 광화학 반응에서의 질소산화물의 역할 및 이동, 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집(2005)
2. 정재호 등, Passive Sampler에 의한 대전시 대기질 측정 결과 및 평가, 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집(2004)

3. 박민수 등, 대도시 대기질 공간분포 해석을 위한 Passive Sampler의 활용, 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집(2003)
4. 김선규 등, 대기 중 이산화질소의 단기 측정을 위한 뱃지형 Passive Sampler의 개발 및 평가, 한국대기환경학회 제22권 제1호, pp117~126(2006)
5. 김선태 등, NO₂의 Passive Sampler를 이용한 전국 대기 오염도조사 종합(2000)
6. 박승식 등, 아파트 실내 환경에서 측정된 질소산화물 농도의 변동특성, 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집(2006)
7. 천만영 등, NO₂ 간이측정기 정도에 관한 연구, 한국대기보전학회 제8권 제2호, pp93~99(1992)
8. 이범진 등, Passive Sampler를 활용한 교통량에 따른 이산화질소의 농도경향 분석, 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집(2003)
9. Tadeusz Goreki, et al., Passive sampling trends in analytical chemistry, 21(4), (2002)
10. Yuval, et al., High-resolution spatial pattern of long-term mean concentration of pollutants in Haifa Bay area, AE 40 3653-3664(2006)