

ORIGINAL ARTICLE

## 부산 지역 도로변과 주거지역의 NO와 NO<sub>2</sub> 농도 특성

전병일\*

신라대학교 에너지화학공학과

### Characteristics of NO and NO<sub>2</sub> at Roadside and Urban Residential Locations in Busan

Byung-Il Jeon\*

Department of Environmental Engineering, Silla University, Busan 46958, Korea

#### Abstract

This research investigated the characteristics of NO and NO<sub>2</sub> concentration at roadside (Choryangdong) and residential (Sujeongdong) locations in Busan. The NO concentration at roadside and residential were 34.7 and 8.0 ppb, respectively, and NO<sub>2</sub> at roadside and residential were 31.6 and 18.0 ppb  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. The NO concentration was the highest in winter at roadside at 37.1 ppb, followed by 35.0 ppb and 34.0 ppb in summer and fall, respectively. NO<sub>2</sub> concentration was the highest in spring at roadside at 39.6 ppb, followed by 30.4 ppb and 28.3 ppb in fall and winter, respectively. Number of exceedances per year of 1 hr limit value (0.10 ppm) for NO<sub>2</sub> at roadside and residential were 3,585 and 3 hours, respectively. Number of exceedances per year of 24 hr limit value (0.06 ppm) for NO<sub>2</sub> at roadside and residential were 32 and 1 days, respectively. Number of exceedances per year of 1 hr limit value (0.1 ppm) for O<sub>3</sub> at roadside and residential were 1 and 14 days, respectively. These results indicated that understanding the relationship between roadside and residential could provide insight into establishing a strategy to control urban air quality.

**Key words** : Roadside, Residential, NO and NO<sub>2</sub> concentration, O<sub>3</sub>

#### 1. 서론

자동차에서 배출되는 주요한 오염물질은 질소산화물, 입자상물질, 일산화탄소, 이산화황, 탄화수소 등으로 자동차의 기본 운전모드인 공전, 가속, 정속, 감속에 따라 오염물질의 배출농도는 달라진다(Thorpe and Harrison, 2008). 최근 도시지역의 도로변은 주변의 도시배경지역과는 달리 차량통행량의 급속한 증가로 인해 자동차와 관련된 오염물질의 배출이 증가되고

있다. 특히 가속 및 정속 시에 많이 배출되는 NO<sub>x</sub>는 대기확산이 이루어지지 않는 기상조건에서 도시배경 지역과는 달리 도로면에서 매우 높은 수준으로 축적되어 인간의 건강에 위해를 가하고, 흡입과 환기에 의해 도로변의 실내환경으로 침입한다(Ai and Mak, 2016).

또한 연료의 종류와 자동차 운행속도는 오염물질의 방출 형태를 결정하는 중요한 인자이며, 특히 디젤 자동차의 배출물질은 가솔린 자동차에 비해 매우

Received 1 May, 2018; Revised 4 June, 2018;  
Accepted 18 June, 2018

\*Corresponding author: Byung-Il Jeon, Department of Environmental Engineering, Silla University, Busan 46958, Korea  
Phone : +82-51-999-5056  
E-mail : bijeon@silla.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

심각한 역할을 하며, 저속의 자동차는  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  비를 크게 할 수 있다(Carlsaw and Beevers, 2005). 그리고  $\text{NO}_2$  농도는 장소에 따라 국지적인 산화물 오염원에 의해서도 큰 차이를 나타낸다(Stedman et al., 2001).

자동차로부터 1차적으로 배출되는 질소산화물이  $\text{NO}$ 임에도 불구하고  $\text{NO}_2$ 는 자동차 배기가스의 지시자로서 사용되며,  $\text{NO}$ 로부터  $\text{NO}_2$ 의 생성은 배출 후에 일어나고 오존농도에 의해서도 영향을 받는다. 따라서 1차 오염물질에 관심이 있다면,  $\text{NO}_2+\text{NO}$ 의 합이 자동차 배출가스의 매우 좋은 지시자로 사용되며, 2차 오염물질에 중점을 둔다면  $\text{NO}_2$ 가 더 타당하게 사용된다. 이렇게  $\text{NO}_2$ 를 더 사용하는 이유는 측정하기 용이하고 환경기준치가 이 물질에 기초하고 있기 때문이다(Lewne' et al., 2004). 우리나라는 디젤자동차로 인한  $\text{NO}_x$ 와  $\text{PM}_{10}$  등의 대기오염물질 배출을 저감하기 위해 1998년 서울에서 천연가스버스 보급을 시작한 이래로 전국적으로 천연가스버스를 보급하기 시작하여 어느 정도 성과를 보이고 있다(Sohn and Kim, 2011; An et al., 2015).

국내에서 도로변과 주변지역의  $\text{NO}_x$ 에 대한 연구는 다음과 같다. Pandey et al.(2008)은 서울의 신촌(도로변)과 대흥(도시배경) 두 지점에서 1996~2006년 동안  $\text{NO}_x$ 농도의 공간적 및 시간적(일별, 월별, 계절별, 연별) 변화 특성을 고찰하였다. Nguyen and Kim(2006)은 도시 교통지역, 도시배경지역, 부도심배경지역, 교외 배경지역 4가지 형태의 장소에서 측정된  $\text{NO}_2$  농도의 월별, 계절별, 연별 특성을 연구하여

$\text{NO}_2$  농도의 거동과 분포에 시간적인 효과를 설명하였다. Shon and Kim(2011)은 도시지역의 효과적인  $\text{NO}_2$  농도 저감대책을 고찰하기 위해 도로변 측정소와 도시배경지역의  $\text{NO}_2$  농도를 이용하여 특성을 분석하였다. Jo and Choi(2006)는 대구시의 도로변 지역(남산동)과 주거지역(만촌동)의  $\text{NO}_2$  농도를 조사하여 두 지역의 특성에 대해 연구하였다. Lee et al.(2014)은 경기도 버스중앙차선제가 시행되고 있는 4개 노선에 대해 중앙차선정류장과 주변지역의  $\text{NO}_2$  농도를 측정하여 대기환경기준 초과 여부와 두 지역의 대기오염물질의 상관관계를 분석하였다. 그러나 아직 부산지역에서는 도로변 지역과 주변 지역과의  $\text{NO}$ 와  $\text{NO}_2$  농도를 체계적으로 비교하고 고찰한 연구는 아직 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 부산 지역의 도로변 측정 지점과 인근의 주거지역의 측정 지점을 선정하여  $\text{NO}$ 와  $\text{NO}_2$  농도의 특성을 체계적으로 분석하였고, 도로변  $\text{NO}$ 와  $\text{NO}_2$  농도에 대한 정량적인 평가는 향후 부산지역의 대기질과 광화학대기오염을 효과적으로 관리하고 개선방안을 설정하는데 통찰력을 제공할 수 있다.

## 2. 자료 및 방법

부산광역시에는 2016년 말 현재, 도시지역의 평균 대기질 농도를 파악하는 것을 주목적으로 도시대기 측정망 19개 지점, 대기 중금속 측정망 5개 지점, 대기 유해화합물질 측정망 4개 지점, 도로변 대기질 측정망

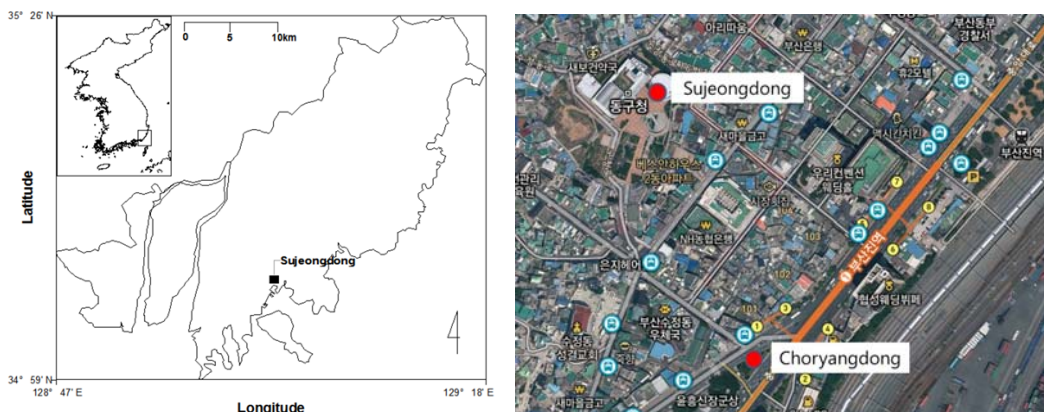


Fig. 1. Automatic air quality monitoring sites at Choryangdong (roadside) and Sujeongdong (residential) in Busan.

**Table 1.** NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> concentration (ppb) at Choryangdong (roadside) and Sujeongdong (residential) locations for 2012~2016

		2012	2013	2014	2015	2016	Mean
Choryangdong (roadside)	NO	38.6±22.8	37.4±18.9	32.5±20.2	33.1±17.6	31.8±18.3	34.7±19.8
	NO <sub>2</sub>	33.0±11.1	29.6±11.1	31.9±10.4	30.6±10.7	32.8±11.5	31.6±11.0
	NO <sub>x</sub>	71.6±30.2	67.0±25.0	64.4±25.3	63.8±24.5	64.6±26.1	66.3±26.4
Sujeongdong (residential)	NO	8.5±11.0	8.3±6.3	7.5±7.1	7.8±9.0	7.7±7.7	8.0±8.4
	NO <sub>2</sub>	17.5±7.1	19.1±8.0	17.6±7.4	18.0±8.6	17.8±7.5	18.0±7.8
	NO <sub>x</sub>	26.0±15.1	27.4±13.3	25.1±13.0	25.8±15.0	25.5±13.2	26.0±14.0

2개 지점을 운영하고 있다. 도로변 측정소는 동래구 지하철 맞은편의 온천동과 동구 율흥신 장군 동상 인근에 있는 초량동의 두 군데에서 운영되고 있다. 온천동의 경우, 왕복 8차선의 도로변에 위치하고 장기간의 관측자료가 있는 장점이 있는 반면, 대조지역으로 비교가능한 주거지역인 명장동과 부곡동 측정지점이 온천동과 비교적 멀리 떨어져 있어 본 연구 대상에서 제외되었다. 또 하나의 도로변 측정소인 초량동은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 부산시 중앙대로 왕복 8차선(폭 30 m)으로부터 3 m 떨어진 지상에 설치되어 있으며, 주변 도로의 차량 통행에 의한 영향을 대변할 수 최적의 지점이라 할 수 있다. 대조지역인 수정동은 초량동에서 북북서 방향으로 약 300 m 떨어져 있는 곳으로 초량동과 비교 가능한 지점으로서 주변에 단층건물과 2~3층 내의 건물이 혼재하며, 교통 통행량의 직접적 영향을 덜 받는 토지용도상으로 주거지역이다. 따라서 본 연구에서는 부산시 도로변 NO와 NO<sub>2</sub>의 특성을 고찰한다는 본 연구의 취지에 적당한 도로변 지역인 초량동과 주거 지역인 수정동을 연구 대상 지점으로 선정하였다. 본 연구에 사용한 대기오염 농도는 2012년부터 2016년까지 5년간의 시간별 NO와 NO<sub>2</sub>의 자료이며, NO와 NO<sub>2</sub>의 특성을 비교 고찰하기 위해 같은 기간의 시간별 O<sub>3</sub> 농도 자료도 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Table 1은 2012년부터 2016년까지 5년간 부산 지역 도로변 지역인 초량동과 인근의 주거 지역인 수정동에서 측정된 연평균 NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> 농도를 나타낸 것이다. 먼저, NO 농도를 보면, 도로변인 초량동의 5

년 평균 농도가 34.7 ppb로 주거지역인 수정동의 8.0 ppb에 비해 4.3배 높았으며, NO<sub>2</sub>농도는 초량동과 수정동이 각각 31.6 ppb와 18.0 ppb으로 도로변이 1.7배 높았다. 또한 NO<sub>x</sub> 농도도 초량동과 수정동이 각각 66.3 ppb와 26.0 ppb로 2.6배 도로변이 높은 농도를 보였다. 두 지점의 5년간 NO와 NO<sub>x</sub> 농도는 약하나마 감소의 추세를 보이는 반면, NO<sub>2</sub> 농도는 특이한 변화 경향을 보이지 않았다. 서울의 경우도 NO<sub>x</sub>의 배출과 농도는 감소하지만 NO<sub>2</sub> 농도는 그다지 감소하지 않으며, 그 이유로는 (1) 배출량 자료의 미비, (2) 경유자 동차의 제어장치 부착과 (3) 대기 산화상태 변화 등의 여러 논의가 있으나, 아직 명확하게 밝혀지지 않았다 (Han and Kim, 2015). 그리고 도로변인 초량동의 NO<sub>2</sub> 농도는 연간 평균 대기환경기준치인 30 ppb를 모두 초과하여 수준이 심각한 것으로 나타났다. 그러나 서울 신촌(도로변)의 1996~2006(11년간) 연평균 NO<sub>2</sub> 농도인 60.7 ppb에 비해서는 매우 낮은 수준을 나타내었다(Pandey et al., 2008). 이러한 서울지역의 높은 NO<sub>2</sub> 농도의 가장 근본적인 원인은 경유 제작차의 NO<sub>x</sub> 배출허용기준이 상대적으로 느슨하고 배출기준의 강화가 느리게 진행되어 NO<sub>x</sub>배출이 많은 경유차 보급이 증가하였기 때문이라고 하였다(SI, 2011).

도로변 지역인 초량동에서 연평균 NO(34.7 ppb)가 NO<sub>x</sub>(66.3 ppb)의 52.3%를 차지하는데 비해, 수정동은 30.8%를 나타내고 있는데, 이는 NO가 자동차 배출량으로부터 NO<sub>x</sub>의 우세한 분량이라는 것을 알려준다(Lewne' et al., 2004). 따라서 NO와 NO<sub>2</sub> 사이의 상대적인 조성은 교통과 관련된 대기오염을 이해하는데 유용하게 사용하는 지시자이다(Pandey et al., 2008). 그리고 도로변 지역(초량동)과 도시 배경지역의 주거

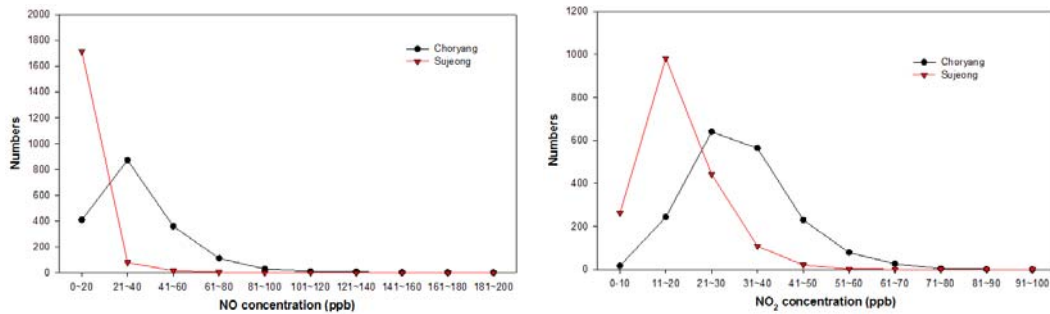


Fig. 2. Comparison of the frequency distribution patterns of NO and NO<sub>2</sub> between the residential and roadside locations.

지역(수정동) 사이의 NO<sub>2</sub> 농도비는 1.76으로 서울 1.74(Pandey et al., 2008), 포르투갈의 리스본(1.78) (Monteiro et al., 2005), 영국의 맨체스터(1.69) (Lindley and Walsh, 2005)과 비슷한 농도비를 나타내었다. 그러나 독일의 1.11배, 네덜란드의 1.32배 그리고 스웨덴의 1.37배 보다는 높은 농도비를 나타내었다(Lewne' et al., 2004).

Fig. 2는 도로변 지역인 초량동과 주거지역인 수정동에서의 NO와 NO<sub>2</sub> 농도의 계급별 발생빈도를 나타낸 것이다. 먼저, NO 농도에서 가장 높은 발생빈도를 보인 등급은 도로변인 초량동은 20~40 ppb, 주거지역인 수정동은 0~20 ppb이었다. 초량동은 20~60 ppb의 발생비율이 전체의 68%를 차지한 반면, 수정동은 0~20 ppb의 발생비율이 전체의 94%를 차지해 매우 대조적인 모습을 보였다. 이는 도로변 지역은 자동차 통행량에 의해 매우 큰 영향을 받고 있다는 것을 단적으로 보이고 있다. 다음으로 NO<sub>2</sub>에서 가장 높은 발생빈도를 보인 등급은 초량동이 20~30 ppb이며, 수정동은 10~20 ppb으로 농도 peak를 보인 구간이 초량동이 수정동보다 높은 농도에서 나타난 것을 알 수 있다. 본 연구결과는 서울지역 도로변에서 최대빈도를 보인 NO와 NO<sub>2</sub> 농도가 각각 60~100 ppb와 60 ppb, 도시 배경지역인 20 ppb와 40 ppb인 것과 유사한 결과를 보였다(Pandey et al., 2008). 또한, 이 결과는 영국의 5년간 자료의 결과와 매우 밀접한데, NO<sub>x</sub> 농도는 도로변 지역에서 180 ppb, 학교지역인 배경지역은 40 ppb이었는데, 도시지역에서 NO<sub>x</sub> 농도는 교통통행량과 선오염원으로부터 거리에 의해 특징적으로 나타난다고 하였다(Carslaw and Beevers, 2004).

일본에서 NO<sub>x</sub>농도는 최근 자동차의 배출규제강화에 따라 매년 서서히 내려가는 경향이 있지만 NO<sub>2</sub>는 개선되지 않고 있다. 도로변에서의 NO<sub>2</sub>농도는 주로 배경대기의 NO<sub>2</sub>, 자동차로부터 직접 배출되는 NO<sub>2</sub>, 자동차로부터 배출된 NO와 배경대기의 오존과의 반응에 생성된 NO<sub>2</sub>의 합으로 결정되나, 최근의 연구에서 도로변에 유입되는 오존과의 반응에 의해 생성된 NO<sub>2</sub>의 기여가 크다는 것이 지적되었다(Kobayashi, 2009).

Fig. 3은 도로변 지역인 초량동과 주거지역인 수정동에서의 NO와 NO<sub>2</sub>의 월평균 농도의 변화를 나타낸 것이다. 먼저, 초량동의 NO농도는 12월이 42.0 ppb로 가장 높았으며, 다음이 7월로 40.3 ppb이었으며, 8월이 30.1 ppb로 가장 낮은 농도를 보였다. 수정동의 NO농도는 12월이 11.8 ppb로 가장 높았으며, 9월이 5.2 ppb으로 가장 낮았다. 자동차 통행량이 많은 초량동의 NO농도는 주거지역인 수정동보다 22.4 ppb(8월)~30.0 ppb(12월)의 농도차를 보였다. 초량동의 NO<sub>2</sub>농도는 5월이 43.9 ppb로 가장 높았고, 다음이 4월로 38.7 ppb이었으며, 7월이 25.3 ppb로 가장 낮은 농도를 보였다. 수정동의 NO<sub>2</sub>농도는 5월이 25.1 ppb로 가장 높았으며, 9월이 13.5 ppb로 가장 낮았다. 초량동의 NO<sub>2</sub>농도는 수정동에 비해 6.3 ppb(7월)~18.8 ppb(5월) 높은 농도를 나타내었다.

Fig. 4는 도로변 지역인 초량동과 주거지역인 수정동에서의 NO와 NO<sub>2</sub> 농도, NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 농도비 그리고 O<sub>3</sub> 농도의 일변화를 나타낸 것이다. 먼저, Fig. 4(a)는 두 지역의 NO 농도의 일변화를 나타낸 것으로, 초량동의 NO는 0800 LST에 71.9 ppb로 가장 높은 농도를 나타내었으며, 0400 LST에 9.1 ppb로 가장 낮은 농도를

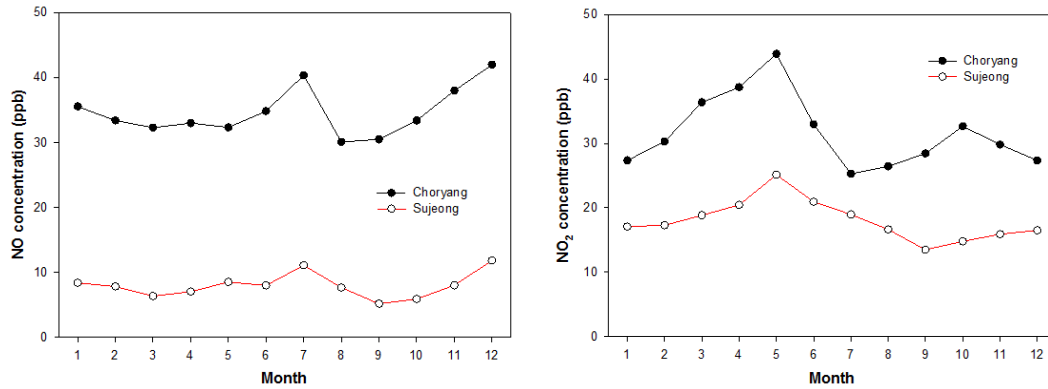


Fig. 3. Comparison of monthly variations of NO and NO<sub>2</sub> between the residential and roadside locations.

보였다. 즉 자동차 통행량이 가장 높은 러시아워인 0700 LST부터 0900 LST 사이에 매우 높은 농도를 나타내었고, 그 시간 이후부터 매우 급속히 감소하였으며, 퇴근 시간인 1900 LST(39.9 ppb)에 일시적으로 약간 상승하는 패턴을 보여 주었다. 그러나 수정동은 러시아워가 2시간 지난 1000 LST에 가장 높은 농도(18.4 ppb)를 나타내었으며, 그 시간 이후 서서히 감소하여 10 ppb 이하의 농도를 보였다. 두 지점의 시간대별 농도차는 출근 시간대인 0700 LST부터 0900 LST까지 50 ppb 이상의 높은 농도 차이를 보여주었다. Fig. 4(b)는 두 지역의 NO<sub>2</sub> 농도의 일변화를 나타낸 것으로, 초량동 NO<sub>2</sub> 농도의 일변화는 출근 시간인 0800 LST와 퇴근 시간인 1900 LST에 농도가 높은 double peak 패턴을 보여주고 있다. 수정동도 초량동과 같은 double peak를 나타내고 있으나, 최고농도를 나타낸 시간이 초량동보다 1시간씩 지연되어 발생하였다. 이는 수정동 측정소가 주요 도로변으로부터 떨어져 있기 때문으로 판단된다. 이러한 새벽의 NO와 NO<sub>2</sub> 농도의 급속한 하락과 0700 LST 이후의 급격한 증가는 출근시간대의 자동차 배기가스의 직접적 배출에 의한 것으로 보인다(Hatzianastassiou et al., 2007).

Fig. 4(c)는 두 지역의 NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 농도비의 일변화를 나타낸 것으로, 초량동의 NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 농도비의 일변화는 새벽에 0.65 정도의 값을 유지하다가 0600 LST 이후 급격히 하강하여 0800 LST에 0.32로 가장 낮은 값을 보였고, 이후 서서히 증가하여 오후와 저녁 시간에는 0.5 정도의 값을 유지하는 패턴을 보이고 있다.

수정동의 일변화는 초량동과 유사한 일변화 패턴을 보였으며, 최저 NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 농도비가 나타나는 시각이 초량동은 0800 LST(0.32), 수정동은 1000 LST(0.52)로 초량동이 2시간 빨리 나타났으며, 도로변의 초량동 NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 농도비가 주거지역인 수정동보다 낮은 값을 나타내었다. 그 차이는 출퇴근 시간인 0700 LST와 2000 LST에 가장 컸으며, 새벽에 가장 작았다. 특히 주거지역인 수정동에서의 NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 농도비는 1900 LST 이후부터 새벽에 높게 나타났는데, 이는 도시 배경지역에서 NO<sub>2</sub>의 효과적인 생성과 관련이 있는 것으로 보이고, 대조적으로 도로변 지역의 농도비는 1300 LST부터 2300 LST까지 거의 11시간정도 0.5 정도의 일정한 값을 보이는 것이 특이하다.

Fig. 4(d)는 두 지역의 O<sub>3</sub> 농도의 일변화를 나타낸 것으로, 초량동의 O<sub>3</sub> 농도는 새벽에 24 ppb 정도의 농도를 보였고, 점차 하강하여 0800 LST에 최저농도인 12.6 ppb를 나타내었으며, 그 이후 점차 상승하여 1400 LST에 최고농도인 22.3 ppb를 나타내었다. 수정동의 O<sub>3</sub> 농도는 초량동과 비슷한 패턴의 일변화를 나타내어, 최저농도는 0800 LST에 23.8 ppb, 최고농도는 1400 LST에 38.5 ppb를 나타내었다. 오존농도는 NO, NO<sub>2</sub> 농도와 반대로 주거지역인 수정동이 도로변 지역인 초량동보다 높은 농도를 나타내었고, 그 차이는 오존 농도가 가장 높은 시간대인 1400 LST에 16.1 ppb로 가장 큰 차이를 나타내었으며, 새벽과 야간에는 작았고, 주간 시간대에 큰 차이를 보였으며, 특히 1300 LST부터 1800 LST까지는 15 ppb 이상의

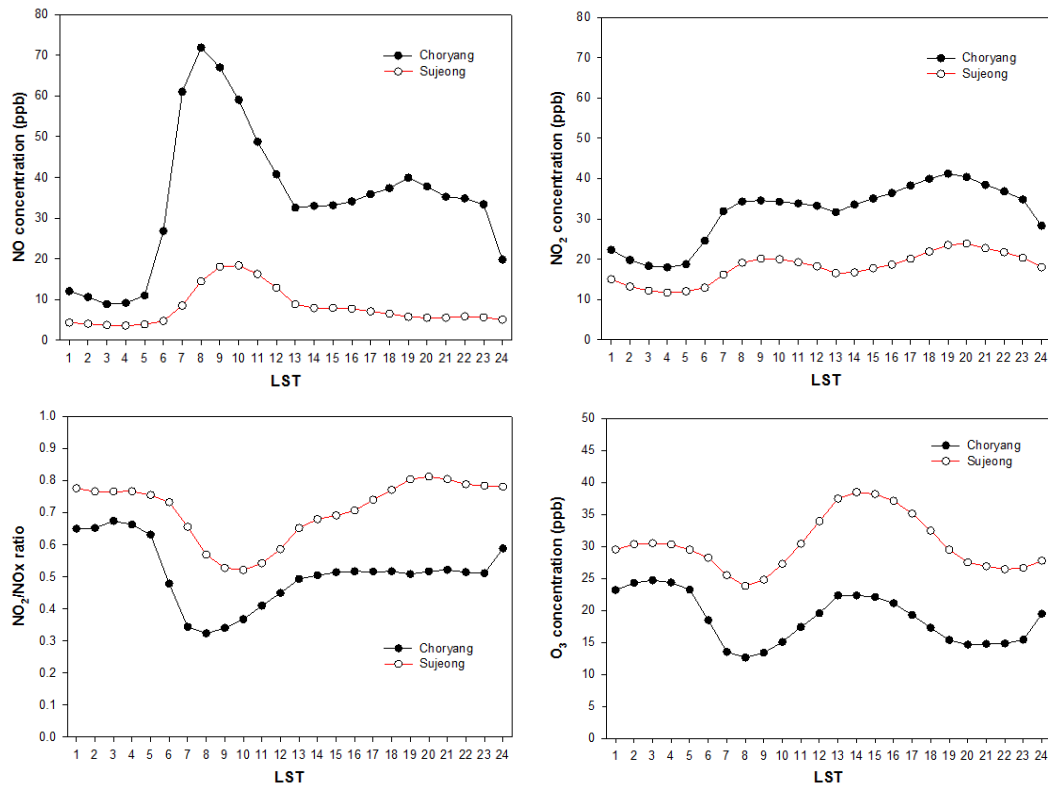


Fig. 4. Comparison of diurnal variation of NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub> between the residential and roadside locations.

차이를 보였다. 이와 같이 도로변 지역인 초량동이 주거지역인 수정동보다 오존 농도가 낮은 것은 차량에서 배출된 NO가 NO<sub>2</sub>로 산화되는데 오존이 사용되었기 때문인 것으로 판단된다(Lee et al., 2014). 또한 도로변 지역에서 자동차가 배출하는 휘발성유기화합물 및 탄화수소류 등이 화학반응을 통해 오존을 분해하기 때문에 주변지역보다 낮게 나타난 것으로 사료된다(Jo and Choi, 2006). 서울의 도로변 측정소과 도시대기측정소에서의 오존 농도를 비교한 결과, 도로변이 도시대기지역보다 49.4% 낮게 나타난 연구가 있다(Jung et al., 2009).

Table 2는 최근 5년간(2012~2016) 도로변 지역인 초량동과 주거지역인 수정동에서 NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 농도의 계절별 특성을 나타낸 것이다. 먼저 초량동의 NO 농도는 겨울철이 37.1 ppb로 가장 높았고 봄철이 32.5 ppb로 가장 낮았으며, NO<sub>2</sub> 농도는 가을철이 30.4 ppb로 가장 높았고 여름철이 28.2 ppb로 가장 낮았다.

NO<sub>2</sub>의 연간 기준치인 30 ppb를 여름철만 제외하고 세 계절 모두 초과하였다. 그리고 NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 농도비는 봄철이 0.57로 가장 높았고, 여름철이 0.46으로 가장 낮았다. 수정동의 NO 농도는 겨울철이 9.4 ppb로 가장 높았고 가을철이 6.4 ppb로 가장 낮았으며, NO<sub>2</sub> 농도는 봄철이 21.5 ppb로 가장 높았고 가을철이 14.7 ppb로 가장 낮았다. 그리고 NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 농도비는 봄철이 0.76로 가장 높았고, 여름철과 겨울철이 0.70으로 가장 낮았다. 두 지역의 NO는 겨울철에 높은 농도를 보였으며, NO<sub>2</sub>의 경우, 초량동은 가을철에 수정동은 봄철에 높은 농도를 보였다. 이와 같은 겨울철 NO의 높은 농도는 기온이 낮으므로 해서 자동차의 배기량을 높이고(Pandey et al., 2008), 평균 혼합고의 감소로 인해 오염물질이 축적되며 난방을 위한 연료소비가 증가된 것으로 설명할 수 있다(Shahgedanova et al., 1999; Gupta et al., 2003).

NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 농도 비는 두 지역 모두 봄철에 높은 값을

**Table 2.** Seasonal variation of NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> concentration (ppb) at Choryangdong (roadside) and Sujeongdong (residential) for 2012~2016

		Spring	Summer	Fall	Winter	Mean
Choryangdong (roadside)	NO	32.5±16.6	35.0±16.4	34.0±17.0	37.1±27.0	34.7±19.8
	NO <sub>2</sub>	39.6±11.3	28.2±9.9	30.4±9.4	28.3±9.2	31.6±11.0
	NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>	0.57±0.10	0.46±0.14	0.49±0.09	0.47±0.09	0.50±0.12
Sujeongdong (residential)	NO	7.3±5.5	8.9±7.3	6.4±5.0	9.4±13.0	8.0±8.4
	NO <sub>2</sub>	21.5±9.2	18.8±8.1	14.7±5.5	17.0±6.0	18.0±7.8
	NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>	0.76±0.07	0.70±0.11	0.72±0.08	0.70±0.12	0.72±0.10

보였다. 주거지역인 수정동의 NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 농도 비는 네 계절 모두 0.70 이상을 값을 보였고, 도로변 지역인 초량동과 대조적인 모습을 보였다. 서울지역의 NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 비는 도로변(0.29~0.36)보다 도시배경지역(0.44~0.62)에서 높은 값을 나타내었는데, 이는 도시배경지역에서 NO<sub>2</sub>의 이차생성이 우세하다는 것을 의미한다고 하였다(Pandey et al., 2008), 또한 자동차 배기가스는 주로 탄화수소, 질소산화물, 일산화탄소의 혼합물로, 주어진 장소와 시간에서 어떤 NO<sub>x</sub> 중의 농도는 원칙적으로 대기조건에 의존한 O<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub>의 변환간 반응에 의해 지배된다(Clapp and Jenkin, 2001).

도시지역의 대기에서 NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 비는 자동차 형태, 연료의 종류, 자동차 운행조건, 오존농도, 기상 조건에 상당히 의존하며(Soltic and Weilenmann, 2003; Carslaw and Beevers, 2005), 자동차로부터 NO<sub>2</sub>의 직접적 배출은 도로변 환경의 NO<sub>2</sub>농도에 부가적인 영향을 미치고, 반면에 NO<sub>2</sub>의 이차생성(O<sub>3</sub>과의 결합)은 도시배경환경에 더 우세할 수 있다(Laxen and Wilson, 2002).

Table 3은 2012년부터 2016년까지 5년간 도로변의 초량동과 주거지역인 수정동에서 NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>의 대기환경기준 초과 현황을 조사하여 나타낸 것이다. NO<sub>2</sub>의 연평균 기준은 0.03 ppm, 24시간 기준은 0.06 ppm 그리고 1시간 기준은 0.1 ppm이다. 초량동은 연평균 기준을 5년 모두 초과하였고, 24시간 기준은 32일, 1시간 기준은 3,585회 초과하였다. 수정동은 연평균을 한 차례도 초과하지 않았고, 24시간 기준은 1일, 1시간 기준은 3시간으로 도로변의 초량동에 비해 대기환경기준의 초과횟수는 매우 낮았는데, 이는 도로변의 자동차 통행량의 영향으로 판단된다. O<sub>3</sub>의 8시간 기준(1000 LST~1700 LST)은 0.06 ppm, 1시간 기준은 0.1 ppm이다. 초량동은 8시간 기준을 128일, 1시간 기준을 1시간 초과하였고, 수정동은 8시간 기준을 118일, 1시간 기준을 14시간 초과하였다. 도로변 지역은 자동차에서 배출되는 NO의 영향으로 O<sub>3</sub> 농도가 낮은 것이 일반적이는데, 초량동의 8시간 기준 초과 발생횟수는 수정동보다 높게 나타났으며, 반대로 1시간 초과횟수는 수정동이 초량동보다 높게 나타났다.

**Table 3.** Exceedances of standard limits for NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> (2012~2016) at Choryangdong and Sujeongdong

		Choryangdong	Sujeongdong
NO <sub>2</sub>	Yearly(0.03 ppm)	5	0
	24 hrs(0.06 ppm)	32	1
	1 hr(0.10 ppm)	3585	3
O <sub>3</sub>	8 hrs(0.06 ppm) <sup>1)</sup>	128	118
	1 hr(0.1 ppm)	1	14

<sup>1)</sup>8 hrs (from 1000 LST to 1700 LST)

#### 4. 요약 및 결론

부산 지역의 도로변 지점(초량동)과 인근의 주거지역(수정동)에서 2012년부터 2016년까지 6년간 NO와 NO<sub>2</sub> 농도의 특성을 체계적으로 분석하여 다음과 결론을 얻었다.

1) 도로변과 주거지역의 연평균 NO농도는 각각 34.7 ppb와 8.0 ppb이었으며, NO<sub>2</sub>농도는 각각 31.6 ppb과 18.0 ppb이었고, NO<sub>x</sub> 농도는 66.3 ppb와 26.0 ppb로 도로변이 주거지역보다 높은 농도를 나타내었다.

2) NO의 경우, 도로변은 20~40 ppb에서 주거지역은 0~20 ppb에서 가장 높은 발생빈도를 보였으며 NO<sub>2</sub>의 경우, 도로변은 20~30 ppb에서 주거지역은 10~20 ppb에서 가장 높은 발생빈도를 보였다.

3) 도로변의 NO농도는 12월이 가장 높았고 8월이 가장 낮았으며, 주거지역은 12월이 가장 높았고 9월이 가장 낮았다. 도로변의 NO<sub>2</sub> 농도는 5월이 가장 높았고 7월이 가장 낮았으며, 주거지역은 5월이 가장 높았고 9월이 가장 낮았다.

4) NO 농도의 일변화를 보면, 도로변은 0800 LST에 가장 높았고 0400 LST에 가장 낮은 농도를 나타내었으나, 주거지역은 1000 LST에 가장 높았고 두 지점의 시간대별 농도차는 0700 LST부터 0900 LST까지 50 ppb 이상의 높은 농도 차이를 보여주었다.

5) NO<sub>2</sub> 농도의 일변화를 보면, 도로변은 0800 LST와 1900 LST에 높은 double peak 패턴을 보여주었고, 주거지역은 최고농도를 나타낸 시간이 초량동보다 1시간씩 지연되어 발생하였다.

6) O<sub>3</sub> 농도의 일변화를 보면, 도로변과 주거지역 모두 0800 LST에 최저농도를, 1400 LST에 최고농도를 나타내었다. 오존농도는 NO, NO<sub>2</sub> 농도와 반대로 주거지역이 도로변보다 높은 농도를 나타내었다.

7) 도로변의 NO 농도는 겨울철이 가장 높았고 봄철이 가장 낮았으며, NO<sub>2</sub> 농도는 가을철이 가장 높았고 여름철이 가장 낮았으며, NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 농도비는 봄철이 가장 높았고, 여름철이 가장 낮았다. 주거지역의 NO 농도는 겨울철이 가장 높았고 가을철이 가장 낮았으며, NO<sub>2</sub> 농도는 봄철이 가장 높았고 가을철이 가장 낮았으며, NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 농도비는 봄철이 가장 높았고, 여

름철과 겨울철이 가장 낮았다.

8) 도로변의 NO<sub>2</sub>의 연평균 환경 기준을 5년 모두 초과하였고, 24시간 기준은 32일, 1시간 기준은 3,585회 초과하였다. 주거지역은 연평균을 한 차례도 초과하지 않았고, 24시간 기준은 1일, 1시간 기준은 3시간 초과하였다. O<sub>3</sub>의 환경기준 초과는 도로변이 8시간 기준을 128일, 1시간 기준을 1시간 초과하였고, 주거지역은 8시간 기준을 118일, 1시간 기준을 14시간 초과하였다.

9) 도로변과 주변지역의 NO와 NO<sub>2</sub> 농도에 대한 체계적이고 정량적인 평가는 향후 부산지역의 대기질과 광화학대기오염을 효과적으로 관리하는데 통찰력을 제공할 수 있다.

#### REFERENCES

- Ai, Z. T., Mak, C. M., Lee, H. C., 2016, Roadside air quality and implications for control measures: A Case study of Hong Kong, *Atmos. Environ.*, 137, 6-16.
- An, H. J., Han, J. H., Lee, M. H., Kang, E. H., 2015, The long-term variations of ozone and nitrogen oxides in Suwon City during 1991~2012, *Kor. Atmos. Environ.*, 31, 378-384.
- Carslaw, D. C., Beevers, S. D., 2004, Investigating the potential importance of primary NO<sub>2</sub> emissions in a street canyon, *Atmos. Environ.*, 38, 3585-3594.
- Carslaw, D. C., Beevers, S. D., 2005, Development of an urban inventory for road transport emissions of NO<sub>2</sub> and comparison with estimates derived from ambient measurements, *Atmos. Environ.*, 39, 2049-2059.
- Clapp, L. J., Jenkin, M. E., 2001, Analysis of the relationship between ambient levels of O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> and NO as a function of NO<sub>x</sub> in the UK, *Atmos. Environ.*, 35, 6391-6405.
- Gupta, A., Kumar, R., Kumari, K. M., Srivastava, S. S., 2003, Measurement of NO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub> and SO<sub>2</sub> and related particulate matter at a rural in Rampur, India, *Atmos. Environ.*, 37, 4837-4846.
- Han, S. H., Kim, Y. P., 2015, Long-term trends of the concentrations of mass and chemical composition in PM<sub>2.5</sub> over Seoul, *Kor. Soc. Atmos. Environ.*, 31, 143-156.
- Hatzianastassiou, N., Katsoulis, B. D., Antakis, B., 2007,



- Extreme nitrogen oxide and ozone concentrations in Athens atmosphere in relation to meteorological conditions, *Environ. Monitor. Assess.*, 128, 447-464.
- Jo, W. K., Choi, S. R., 2006, Characteristics of air pollutants concentrations near major roadways in Daegu, *Environ. Sci.*, 15, 737-744.
- Jung, S. Y., Kim, K. H., Kim, D. H., Cho, S. J., Kim, M. Y., 2009, Long-term study on ozone concentration profiles in roadside and residential locations in Seoul, Korea, *Kor. Soc. Environ. Anal.*, 12, 204-220.
- Kobayashi, S., 2009, Roadside air pollution, *Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, 44, 333-334.
- Laxen, D., Wilson, P., 2002, A New approach to deriving NO<sub>2</sub> from NO<sub>x</sub> for air quality assessments of roads, *Air Quality Consultants Ltd.*, Bristol, UK, 1-14.
- Lee, Y. K., Kim, W. S., Hong, S. M., Shin, E. S., 2014, Comparison of air pollution characteristics in the center lane-bus stop and the surrounding areas, *Kor. Soc. Atmos. Environ.*, 30, 378-386.
- Lewne', M., Cyrus, J., Meliefste, K., Hoek, G., Brauer, M., Fischer, P., Gehring, U., Heinrich, J., Brunekreef, B., Bellander, T., 2004, Spatial variation in nitrogen dioxide in three European areas, *Sci. Total Environ.*, 332, 217-230.
- Lindley, S. J., Walsh, T., 2005, Inter-comparison of interpolated background nitrogen dioxide concentrations across Greater Manchester, UK, *Atmos. Environ.*, 39, 2709-2724.
- Monteiro, A., Vautard, R., Borrego, C., Miranda, A. I., 2005, Long-term simulations of photo oxidant pollution over Portugal using the CHIMERE model, *Atmos. Environ.*, 39, 3089-3101.
- Nguyen, H. T., Kim, K. H., 2006, Comparison of spatiotemporal distribution patterns of NO<sub>2</sub> between four different types of air quality monitoring stations, *Chemosphere*, 65, 201-212.
- Pandey, S. K., Kim, K. H., Chung, S. Y., Cho, S. J., Kim, M. Y., Shon, Z. H., 2008, Longterm study of NO<sub>x</sub> behavior at urban roadside and background locations in Seoul, Korea, *Atmos. Environ.*, 42, 607-622.
- Shahgedanova, M., Burt, T. P., Davies, T. D., 1999, Carbon monoxide and nitrogen oxides pollution in Moscow, *Water, Air, Soil Pollution*, 112, 107-131.
- Shon, Z. H., Kim, K. H., 2011, Impact of emission control strategy on NO<sub>2</sub> in urban areas of Korea, *Atmos. Environ.*, 45, 808-812.
- SI (Soul Institute, formerly Seoul Development Institute), 2011, Analysis of the reason for the slow reduction of nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) concentration and countermeasures in Seoul, Final Report, 153-154.
- Soltic, P., Weilenmann, M., 2003, NO<sub>2</sub>/NO emissions of gasoline passenger cars and light-duty trucks with Euro-2 emission standard, *Atmos. Environ.*, 37, 5207-5216.
- Stedman, J. R., Goodwin, J. W. L., King, K., Murrells, T. P., Bush, T. J., 2001, An Empirical model for predicting urban roadside nitrogen dioxide concentrations in the UK, *Atmos. Environ.*, 35, 1451-1463.
- Thorpe, A., Harrison, R. M., 2008, Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review, *Sci. Total Environ.*, 400, 270-282.