

도시특성요소가 서울시 대기 중 이산화질소 오염에 미치는 영향*

홍재선** · 김학열*** · 이승주****

An Analysis of the Effects of Urban Characteristics on NO₂ Concentrations in Seoul*

Jae-Sun Hong** · Hag-Yeol Kim*** · Seung Joo Lee****

요약 : 본 연구는 대기환경기준물질인 NO₂를 대상으로 회귀모델을 구축·분석함으로써 도시 대기질의 개선방안을 모색하고자 하였다. 이를 위하여 한 지점의 오염수준은 그 주변을 둘러싸고 있는 도시특성인자에 의해 영향을 받을 것이라는 기본 가정 하에서, 오염측정소 주변의 1,000m 반경내의 도시특성요소(유동인구, 사업체수, 주거지면적, 상업·업무지면적, 녹지면적, 교통시설지면적, 건폐면적, 교차로수 등)를 추출하여 독립변수로 활용하였다. GIS를 활용하여 서울시내 위치한 34개 오염측정소 주변의 영향인자들을 추출하였고, 2005년 연평균 자료를 계산하여 NO₂에 대한 단순 및 다중회귀분석을 수행하였다. 서울시의 측정소를 대상으로 구축된 이 모델들은 연평균 NO₂ 변이의 50% 이상을 설명할 수 있었으며, NO₂의 발생원과 직·간접적 관계가 높을수록 변수의 유의성과 영향력이 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 특히 교통시설지, 건폐율, 녹지의 역할에 관한 중요성이 확인되었으며 이와 관련된 정책적 시사점과 향후 연구방향이 제시되었다.

주제어 : 도시특성요소, 이산화질소 오염도, 회귀분석

ABSTRACT : The purpose of this study is to figure out urban influential factors that have impacts on NO₂ concentrations and then to develop statistical models of those factors, explaining the observed variations in the concentrations. Under the assumption that the concentration level at a monitoring station is affected by the urban characteristics of its surrounding area, a circular region with a radius of 1,000m centered at each monitoring station is adopted as the analysis boundary. Various characteristics of land use types and socioeconomic data spatially related to annual NO₂ concentrations in 2005 within the circular areas by making extensive use of GIS, are extracted from 34 sample areas of Seoul. Simple and multiple linear regression models are estimated, and these models explain more than 50% of the variations in concentrations. The results are in line with general knowledge regarding the determinants of NO₂ concentrations, and clarify the role of transportation facility area, building coverage to land area, and greenery area. Its implications for urban planning are presented and several areas of further research are outlined.

Key Words : urban characteristics, NO₂ pollution concentrations, regression analysis

* 이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(내배수 침수재해 저감기술 개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.
** 서울시정개발연구원 도시환경부 연구원(Researcher, Department of Urban Environment, Seoul Development Institute).
*** 서경대학교 도시공학과 조교수(Assistant Professor, Department of Urban Planning and Engineering, Seokyeong University), 교신저자(hagkim@skuniv.ac.kr).
**** 서경대학교 도시공학과 조교수(Assistant Professor, Department of Urban Planning and Engineering, Seokyeong University)

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

현재 우리나라의 4,720만 여명의 인구 중의 90%이상이 도시에 거주하고 도시에 삶의 터전을 꾸려나가고 있다. 이러한 상황에서 지속적인 도시 개발 및 경제추진정책으로 인해 서울의 미세먼지와 이산화질소 오염도는 OECD국가의 주요도시와 비교해 볼 때, 미세먼지 농도는 런던의 3.5배, 이산화질소 농도는 파리의 1.7배 수준으로 높게 나타나고 이로 인한 사회적 피해가 연간 10조원으로 추산되고 있다(환경부, 2005).

이에 정부는 대기오염의 문제를 개선하기 위해 「수도권 대기환경개선에 관한 특별법」을 제정하고 서울, 인천, 경기일부지역(15개시)을 대기환경보전법에 의해 대기환경규제지역으로 설정하고 자치단체별로 실천계획을 수립하여 보다 적극적인 저감노력을 기울이도록 요구하고 있다. 이와 관련하여 대기환경기준물질 중 난방 및 산업시설에서 주로 배출되는 SO₂의 경우는 지속적인 감소 추세를 보이다가 최근 약간의 증가추세를 보이고 있으며, 석탄연료의 불완전연소에 의해 주로 생성되는 CO의 경우에는 매년 줄어들고 있는 추세를 보이고 있다. 그러나 차량배기가스에 의해 주로 생성되는 NO₂의 경우, 개선되기보다는 오히려 악화되어가는 경향이 나타나고 있는 것은 주목할 만한 사실이다.

대기오염 저감을 위한 국가 및 수도권 지방자치단체의 노력에도 불구하고 서울시의 대기오염이 쉽게 개선되지 못하고 있는 원인은 사회경제적 원인, 발생원의 관리체계 및 교통환경의 통합관리

체계 미흡 등 다양하게 찾아 볼 수 있으며, 그 중 대기오염과 직간접적으로 연관이 있는 공간특성인자에 대한 연구의 미흡도 근본적인 원인 중 하나로 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 최근들어 좀처럼 개선되지 못하고 있는 NO₂ 오염에 대하여 본 오염물질과 연관있는 도시특성요소들과의 수리적 모델을 구축하고 그 영향력을 분석함으로써, NO₂의 영향인자들을 심층적으로 이해하고 대기관리에 관한 정책적 시사점을 도출하고자 한다.

2. 연구 범위 및 방법

1) 연구 범위

본 연구의 공간적 범위로는 서울시 행정구역 범위로 한정하여 분석한다. 서울시 내부에는 도로변 측정소를 포함하여 대기오염자동측정소 총 34개가 설치·운영·공개¹⁾되고 있어서 오염측정치의 획득이 용이하고, 그 밖의 도시특성인자의 도출을 위한 관련자료의 취득에서도 상대적으로 용이한 편이다. 시간적 범위로는 2005년을 분석기간으로 선정하여 횡단면분석을 수행한다. 가장 최신의 오염 자료 획득이 가능함에도 불구하고 분석기간을 2005년으로 선택한 이유는 도시특성인자를 추출하는데 있어서 최근의 자료인 2005년 서울시 도시생태현황도를 활용하기 위함이다. 내용적 범위는 대기환경기준물질 중 NO₂로 정하여 도시특성요소들과의 상관성을 분석한다.

2) 연구 방법

먼저 선행연구문헌들의 분석을 통해 대기오염에 미치는 영향인자들에 대한 고찰을 수행한다.

1) <http://air.seoul.go.kr> 참조

분석에 사용될 데이터는 서울시 도시생태현황도, 서울통계자료 및 대기오염 측정값 등으로부터 추출한다.

어느 한 지점의 대기오염도는 그 주변을 둘러싸고 있는 도시특성요소와 관계가 있다는 가정 하에 서울시 내에 위치한 34개 대기오염자동측정망 주변 일정거리내의 도시특성요소를 추출한다. 한 지점의 대기오염도에 미치는 공간분석범위를 대기오염자동측정망으로부터 반경 500m, 1,000m, 1,500m의 원형지역으로 구분·설정 후, GIS 프로그램을 이용하여 정해진 범위내의 도시특성요소들을 추출한다. 그 원형지역 내부의 도시특성요소들과 오염도의 관계를 분석하여 공간분석범위를 확정하며, 최종적으로 정해진 분석 범위를 기준으로 도시특성요소와 NO₂ 측정값과의 횡단면 회귀분석을 수행한다. 이때 종속변수로는 NO₂ 측정치의 2005년 연평균을 이용하고, 통계적으로 유의성 있는 종속변수를 도입하여 회귀모델을 구축하며 그 결과를 통해 정책적 시사점을 도출하고자 한다.

3. 선행연구

NO₂ 대기오염에 관한 선행연구로는, 소규모 공간 및 각 개인의 노출평가를 통한 건강의 위해성을 분석하거나 혹은 넓은 지역에 대한 오염도의 공간적 분포를 연구하는 것으로 크게 분류할 수 있으며, 방법론적으로는 실제 오염농도를 측정한 경우와 시뮬레이션기법을 활용하여 추정한 것으로 구분해 볼 수 있다.

소규모 공간에 대해서는 NO₂의 직접 측정을 이용하고, 중규모이상의 공간에서는 고정측정된 몇 개의 지점의 농도를 이용하여 전체 지역을 묘사하는 공간 내삽기법(spatial interpolation)을 사용하고 있다.

노출평가의 연구는 평가대상물질에 대한 개인/집단의 노출강도, 빈도 및 기간을 추정하는 과정인데(U.S. EPA, 1997), 이와 연관된 연구로는 도로주변의 근무자의 NO₂ 노출정도(양원호 외, 2002), 택시운전사의 노출평가(Son et al., 2004), 도로변에 위치한 초등학교의 재학생을 대상으로 NO₂ 및 NO_x의 노출분석(Roosbroeck et al., 2007) 등의 연구가 있는데, 이는 오염노출에 따른 개인의 건강상 문제를 분석한 연구들이다.

특정시설내의 NO₂ 연구로는 대형할인점(이범진·김선태, 2003), 교통터널내부(Chow and Chan, 2003), 주택내부의 특정지점의 NO₂를 측정하여(Franklin et al., 2006; 양원호 외, 1999) 측정지점 간 변이를 비교분석한 연구들이 있다.

넓은 지역의 공간적 분포에 관해서는, 이스라엘 Haifa Bay지역의 NO, NO₂, PM10 등의 대기오염을 공간적 내삽기법을 통하여 오염물질의 공간적 분포를 보여준 연구(Yuval and Broday, 2006), 영국 전역을 10km×10km 셀로 나누어 Kriging 기법을 통하여 공간적 분포를 분석한 연구(Stevenson et al., 2001) 등이 있다. 국내 지역으로는 부산광역시의 대기질 측정망을 이용하여 지역별로 OLS 및 AR모델을 구축한 연구(이운화 외, 1999), 수도권의 각종 대기환경 영향요인을 분석한 연구(서울시정개발연구원 외, 2004) 등을 들 수 있다.

선행연구에서 사용된 변수들을 살펴보면, 거의 대부분의 연구가 대기학 및 기상학적 변수를 이용하여 수행되었다. 부산광역시의 연구(이운화 외, 1999)에서는 풍속, 기온, 대기안정도, 습도 등의 기상학적 변수를 이용하여 NO₂ 오염도를 예측하고자 했으며, Plaisance et al.(2004)의 연구에서는 NO₂ 측정에 관련이 있는 기상인자들을(풍속, 습도, 온도) 분석하여, 풍속인자가 측정샘플의 농도

에 상당한 영향이 있음을 보여주었다. 또한 Shi and Harrison(1997)의 연구에서는 풍속, NO 및 O₃의 상호작용이 NO₂의 오염도를 예측하는 회귀모델에서 중요한 요소로 작용함을 보여주었다.

이와는 달리 Inoue et al.(1986)의 연구에서는 회귀모델에 날씨변수 이외에 교통관련인자를 설명변수로 도입하여 분석하였으며, 조창제(2005)는 NO₂가 주로 건축물과 교통에 양(+)의 관계를 보이는 물질이라고 분석하였다. 서울시정개발연구원 외(2004)의 연구에서는, 2km×2km의 셀을 활용한 UAM(Urban Airshed Model)의 대기모델링이외에 10개의 사회·경제학적 영향요인(총인구, 총생산액, 자동차 등록대수, 도로시설 총연장 등)을 다중회귀모델에 도입하여, 그 중 시내총생산(GRDP), 총인구, 공원개소가 비교적 유의미한 변수로 제시되었다. 그러나 이 회귀계수들 모두가 $\alpha \leq 0.1$ 수준에서 유의미하지 않은 것으로 나타났다.

이상의 선행연구를 종합하면, 대부분의 연구가 기상학·대기학적인 변수를 활용하여 모델을 구축함으로써, NO₂ 오염도를 예측하려는 목적으로는 활용이 가능하나, 도시관리 정책차원에서 활용하기가 상당히 곤란한 것으로 분석되었다. 이는 도입된 변수(기상변수)를 인위적으로 조정 혹은 관리하기가 거의 불가능하기 때문이다. 또한 일부 연구에서 사회·경제학적 변수를 활용한 회귀분석이 수행되었으나, 요인별로 매우 낮은 유의수준을 보여주고 있어서 분석결과를 통계학적으로 설명하는데 한계점이 있는 것으로 분석되었다.

II. 본 론

1. 분석변수 선정 및 기초통계량

본 연구의 목적에 맞는 도시특성요소를 선정하

기 위하여 선행연구에서 도입된 요소들을 바탕으로 다음과 같은 기준을 고려하여 선정하였다. 우선, 도입된 변수들로 나타난 결과를 도시계획적 측면에서 활용 가능한 것인가를 고려하였다. 이에 선행연구에서 도입된 기상물리학적 인자들(풍향, 풍속, 대기온도 등)은 인위적으로 통제관리하기가 상당히 곤란하므로 본 분석에서 도입하지 않기로 하였다.

또한 NO₂의 주요발생원에 대하여 직접적 관계가 있거나 혹은 대리변수로서 생각할 수 있는 변수들을 우선적으로 고려하였다. NO₂는 고온의 연소과정에서 발생하는 부산물으로써, 그 발생의 가장 주요한 원인은 자동차의 배기가스이고, 그 이외에 발전소와 산업현장에서도 발생된다. 또한 실내에서는 가스레인지, 난방기, 흡연과도 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 이러한 NO₂ 발생원과 관련있는 변수들을 중심으로 도시특성요소를 선정하였다.

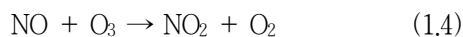
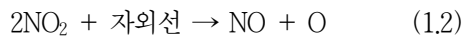
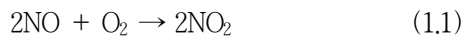
본 연구에서 선택된 변수로는 유동인구수, 사업체수, 토지이용변수(주거지면적, 상업업무지면적, 녹지면적, 교통시설지면적), 건폐면적, 교차로지점수(주간선 및 보조간선), 오존오염도 등이다(〈표 1〉참조). 유동인구수는 각 측정소가 위치한 대준별 통행량에 대준 대비 분석공간범위의 면적을 곱하여 추정하였고, 사업체수는 측정소가 위치한 자치구의 2005년 사업체수에 분석공간범위의 상업업무지 면적비율을 곱하여 산출하였다. 또한 각 토지이용면적은 2005년 도시생태현황도를, 건물바닥면적 및 교차로지점수는 1:1000 수치지도를 활용하여 취득하였고, 두 오염물질(O₃, NO₂)의 연평균오염도는 서울시의 대기환경정보 웹사이트에서 월별자료를 추출하여 계산하였다.

여기서 O₃이 도입된 이유는 화학식 (1.1)~(1.4)에서 제시된 바와 같이, O₃은 NO₂에 의한 생

〈표 1〉 선정된 도시특성요소의 자료획득방법

특성요소		자료원	자료 추출 및 계산 방법
유동인구수	P	가구통행실태조사(2002)	대준별 통행량 × (측정소 주변 분석범위면적/측정소가 속한 대준별 면적)
사업체수	B	서울통계자료(2005) 및 도시생태 현황도(2005)	(측정소가 속한 자치구의 사업체수) × (분석범위내 상업·업무지면적/해당구의 상업·업무지면적)
주거지 면적	RA	도시생태현황도(2005)	분석범위내의 주거지 면적
상업업무지 면적	CA	도시생태현황도(2005)	분석범위내의 상업·업무지 면적
녹지면적	GA	도시생태현황도(2005)	Σ (분석범위내의 각 용도지역면적 × 녹지율)
교통시설지 면적	TA	도시생태현황도(2005)	분석범위내의 교통시설지 면적
건폐면적	F	1:1000 수치지도	분석범위내의 건물바닥면적의 합
교차로 지점수	I	1:1000 수치지도	분석범위내의 주간선과 보조간선도로의 교차지점 수
연평균 O_3 오염도	O	서울대기환경정보(air.seoul.go.kr)	2005년 서울시 34개 측정망의 연평균 오존농도
연평균 NO_2 오염도	N	서울대기환경정보(air.seoul.go.kr)	2005년 서울시 34개 측정망의 연평균 NO_2 농도

성물질인 동시에 두 물질간 상호순환관계가 있는 대기오염물질이기 때문이다. 실제 대도시에서 이러한 현상은 아주 잘 나타나는데, O_3 의 농도가 높으면 NO_2 의 농도가 낮고, 반대로 O_3 농도가 낮아지면 NO_2 의 농도는 높아지는 서로의 정반대 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 O_3 은 NO_2 변이를 설명하는 설명변수로써 그 유용성이 있다.



비록 O_3 의 경우 직접적 혹은 정책적으로 변경이 용이한 물리적 요소는 아니지만, NO_2 와 O_3 의 관계를 통하여 O_3 과 연관이 있는 제어가능 변수를 고려하여 간접적인 시사점을 제시할 수 있을 것으로 예상됨에 따라 설명변수로써 도입되었다.

34개 측정소 주변으로부터 추출된 변수들의 기초통계량을 살펴보면(〈표 2〉 참조), 각 데이터가 평균을 중심으로 상당히 넓게 분포되어 있음을 확인할 수 있다. 특히 토지이용변수 중 주거지면적

〈표 2〉 도입변수의 기초통계량

변수	단위	평균	표준편차	최대	최소
P	명	284,163,285	144,432,472	705,233,54	147,083,44
B	개	14,506,424	9,152,856	38,387,035	1,250,138
RA	m ²	778,227,947	405,918,349	1,587,131,43	138,297,98
CA	m ²	436,145,981	397,023,692	1,757,188,72	21,227,58
GA	m ²	616,464,211	395,491,003	1,750,169,30	194,563,00
TA	m ²	434,314,989	147,737,536	729,490,57	146,294,53
F	m ²	934,376,526	264,193,976	1,328,610,43	346,101,73
I	개	29,324	26,080	89	0
O	ppm	0.015	0.004	0.023	0.006
N	ppm	0.038	0.008	0.057	0.028

(RA)이 그 분포범역이 가장 크고, 교통시설지(TA)가 상대적으로 작은 것으로 나타났다.

연평균 NO_2 의 공간적 분포를 전체적으로 확인하기 위해 「2020서울도시기본계획」의 중생활권 구분을 기준으로 34개 오염측정소를 구분하고, 각 권역별로 평균오염도를 계산하였다(〈표 3〉 참조). 그 결과, 도심권의 오염도가 가장 높고 그 다음으로 동북1생활권, 동남1생활권 등의 순으로 나타났으며, 동북2생활권(강북, 노원, 도봉, 성북구)은 오

〈표 3〉 권역별 2005 연평균 NO₂ 오염도(ppm)

중생활권	측정소명	NO ₂ 연평균	권역평균	중생활권	측정소명	NO ₂ 연평균	권역평균
도심권	서울역	0.054	0.043	동북2권	강북구	0.035	0.031
	용산구	0.032			노원구	0.030	
	종로구	0.032			도봉구	0.030	
	중구	0.039			성북구	0.028	
	청계4가	0.057		서남1권	강서구	0.034	0.035
동남1권	강남구	0.036	양천구		0.035		
	서초구	0.036	서남2권	구로구1	0.036	0.036	
	신사	0.050		구로구2	0.028		
동남2권	강동구	0.035		금천구	0.034		
	송파구1	0.037		영등포	0.050		
	송파구2	0.035	영등포구	0.032			
동북1권	광진구	0.032	0.042	서남3권	관악구	0.038	0.035
	동대문	0.047			동작구	0.032	
	동대문구	0.048		서북권	마포구	0.036	0.038
	성동구	0.034			서대문구	0.037	
	중랑구	0.035			신촌	0.052	
	청량리	0.053			은평구	0.028	

* 중생활권의 구분은 「2020서울도시기본계획」에 의함.

** 측정소명은 <http://air.seoul.go.kr>에서 사용되는 명칭임.

염도가 가장 낮은 권역으로 나타났다. 이는 일반적으로 시민이 생각하고 있는 대기오염분포의 양상과 크게 다르지 않으며, NO₂의 주발생원이 차량임을 감안할 때 이해할 만한 결과라고 판단된다.

2. 분석공간범위 설정

한 지점의 NO₂ 농도에 미치는 영향범위에 관한 실증적 선행연구는 거의 전무한 상태이다. 다만, 몇 개의 측정지점으로부터 Kriging법을 이용하여 NO₂의 동일 농도 지점을 추정하거나(유은철·박옥현, 2004; Stevenson et al., 2001; Bhugwant and Hoareau, 2003), 도로로부터 발생된 오염물질

(CO, HC, NO_x)에 관한 확산모델의 시뮬레이션으로(권우택, 2005) 농도의 지역적 분포양상을 예측하는 연구가 대부분의 선행연구 유형이다.

본 연구에서는 한지점의 NO₂ 농도는 최대 1,500m의 권역으로부터 영향을 받는다고 가정하고, 대기오염자동측정망을 기준으로 500m, 1,000m, 1,500m의 세 가지 범위를 정하여 그 범위내의 도시특성요소들을 추출하여 NO₂와의 관계를 분석하였다.

그 결과 500m의 경우 반경범위가 좁아 누락되는 도시특성요소들이 다량으로 발생되어²⁾ 샘플을 최대한 활용하는데 어려움이 있었다. 그리고 1,000m와 1,500m의 경우는 유사한 결과를 보였으나 1,000m의 경우가 상대적으로 높은 설명력이

1) 측정소 주변 500m 반경내의 토지이용 자료의 경우, 일부 측정소는 몇 개의 특정 토지이용에만 집중되어 있어 회귀모형의 독립변수에 다량의 결측치가 발생되어 샘플의 수가 급감됨.

나타나 이에 대기오염측정소를 중심으로 1,000m의 반경지역을 최종적인 분석공간범위로 설정하였다(〈그림 1〉 참조).



〈그림 1〉 측정소 반경 설정

3. NO₂ 오염도와 도시특성요소의 상관분석

선행연구의 분석결과를 토대로 추출된 변수들과 NO₂와의 관계는, 녹지면적 및 O₃을 제외하고는 모두 양(+)의 관계를 나타내는 것으로 예상하였다.

34개의 샘플을 이용해 NO₂와의 상관분석을 수행한 결과, 주거지면적(RA) 변수의 경우를 제외하고, 모두 초기예상과 동일한 결과를 보였다. 이 중 변수 TA와 CA 및 I에서 상대적으로 높은 일차적 관계를 나타내어 NO₂의 주 발생원이 차량에 의한 것임을 직·간접적으로 보여주는 것으로 분석된다.

〈표 4〉 NO₂ 측정값과 도시특성요소간의 상관분석

변수		상관계수	
유동인구수	P	0.482	***
사업체수	B	0.433	**
주거지면적	RA	-0.325	*
상업업무면적	CA	0.624	***
녹지면적	GA	-0.408	**
교통시설지면적	TA	0.700	***
교차로지점수	I	0.571	***
건폐면적	F	0.371	**
O ₃ 오염도	O	-0.772	***

* 유의수준 10%

** 유의수준 5%

*** 유의수준 1%

한편, 예상과 달리 RA는 음(-)의 관계를 나타냈는데, 그 이유는 본 연구의 방법에 기인된 것이라고 볼 수 있다. 본 연구의 공간분석구조가 일정한 반경 안에서 토지이용면적을 추출하는 방법을 사용함으로써, 하나의 토지이용면적의 증가는 다른 토지이용면적의 감소를 의미한다. 다시 말하면, 본 연구에서는 반경 1,000m의 동일한 면적의 지역들을 샘플로 사용하므로, 특정 토지이용면적이 많다는 의미는 곧 다른 용도가 차지하고 있는 면적이 적다는 것을 의미하게 된다. 따라서 높은 주거지 면적비율은 낮은 상업·업무지역비율과 연결되고, 이는 다시 낮은 NO₂의 오염도로 이어짐으로써, 예상하지 못한 결과를 얻은 것으로 판단된다. 특히, 이러한 현상은 다른 측정소보다 상대적으로 높은 오염도를 보이는 도로변 측정소들에서 두드러지게 나타난다. 이들 도로변 측정소 주변은 주거지 면적이 적고, 오염발생이 높은 교통시설지 및 상업·업무지역을 포함하고 있어 오염도와 음(-)의 상관관계가 나타난 것으로 분석된다.

O₃의 경우, 연평균 NO₂와 가장 강한 상관관계를 보이고 있는데, 이것은 O₃이 질소산화물과의 순환관계를 형성하고 있다는 대기화학적 사실을 설명하고 있는 결과로 보인다.

4. 도시대기오염에 미치는 영향분석

1) 단순회귀모델의 추정 및 결과분석

NO₂ 연평균에 대하여 다음과 같은 회귀모형을 이용하여(샘플수=34개) 단순회귀분석을 수행하고, 각 회귀모델의 독립변수별 영향력을 분석한다.

$$P = f(X) \quad (2)$$

여기서, P = 자동측정망 NO₂의 2005연평균 벡터,

X = 1km 반경 내의 도시특성요소 벡터,

각 ($P, B, RA, CA, TA, I, F, O$) 적용

단순회귀분석 결과는 상관분석결과와 유사할 것으로 예상되며, 이 중 주거지면적과 녹지면적, O_3 의 경우에는 음(-)의 영향을, 나머지 변수 모두는 양(+)의 영향을 보일 것으로 예상된다.

(1) 결과분석

먼저, NO_2 연평균에 대한 단순회귀분석의 결과를 살펴보면(〈표 5〉), 모든 회귀모델 및 각 설명변수의 회귀계수가 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다.

O_3 을 제외한 변수들 중 가장 설명력이 높은 독립변수는 교통시설면적(TA)이며, 이 변수 하나만으로 NO_2 연평균 오염도를 약 49%가량을 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 그 다음으로 상업·업무면적(CA), 교차로지점수(I), 유동인구수(P)가 도입된 회귀모델의 순으로 나타나, 회귀모델의 도입변수들 모두가 NO_2 오염에 직·간접적으로 기여하고 있는 것으로 보여주고 있다. 한편 이와는 반대로 녹지면적(GA)의 증가는 낮은 NO_2 농도와 연관되어 있는 것으로 나타났다. 이러한 상기의 결과를 종합하여 볼 때, 각 회귀모델의 설명력은 NO_2 의 주요 발생원에 해당하는 자동차 배기가스의 발생가능성 및 차량에 의해 변화되는 것으로 분석된다.

주거지면적(RA)이 음(-)의 결과를 나타내는 이유는 상관분석에서 전술된 이유와 더불어 종속변수 및 독립변수의 비선형적인 관계, 주거지내의 세부토지이용상태 등 다양한 원인을 생각할 수 있으며, 향후 이에 대한 심도있는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

O_3 의 경우, 연평균 NO_2 변이의 약 60%가량을 설명하고 있는데, 이는 연평균 NO_2 가 연평균 O_3 의 오염도와 밀접한 일차적 관계가 있음을 보여주는 것이다. 여기서 주지해야 할 사항은 이러한 관계를 일반적인 인과관계로 이해함으로써 O_3 을 증가시켜 NO_2 를 저감시키자는 것으로 분석해서는

안 된다는 것이다. 즉 전술된 바와 같이 O_3 과 NO_2 는 단지 반대현상을 나타내는 물질로써 인식돼야 하고, 하나의 오염물질을 다른 하나의 오염도의 증감을 통하여 관리돼야하는 것으로 인식돼서는 안 된다는 것이다. 따라서 두물질은 단지 상호간의 설명변수로써 이해돼야 하며, 관련정책의 모색에 있어서는 두물질의 전반적인 오염수준을 낮추어 전체적인 상호순환반응을 저감시키는 방향으로 진행되어야 한다고 분석된다.

한편 각 변수들의 단순회귀분석의 상수항은 대기중의 배경농도 및 주변효과라고 볼 수 있으므로 이를 저감시키기 위한 종합적인 대기관리수단이 필요한 것으로 판단된다.

〈표 5〉 단순회귀모델의 추정결과

변수	연평균			R^2
	회귀계수	t-통계량		
상수항	0.030	***	10.74	0.232
유동인구(P)	2.741X10-8	***	3.11	
상수항	0.032	***	13.19	0.187
사업체수(B)	3.885x10-7	**	2.72	
상수항	0.042	***	14.52	0.105
주거지(RA)	-6.581x10-9	*	-1.95	
상수항	0.032	***	19.25	0.389
상업업무지(CA)	1.291x10-8	***	4.52	
상수항	0.043	***	17.63	0.166
녹지(GA)	-8.479x10-9	**	-2.53	
상수항	0.020	***	6.52	0.490
교통시설지(TA)	3.893x10-8	***	5.55	
상수항	0.027	***	5.47	0.137
건폐면적(F)	1.153x10-8	**	2.26	
상수항	0.032	***	18.28	0.326
교차로(I)	1.798x10-4	***	3.93	
상수항	0.059	***	18.06	0.596
$O_3(O)$	-1.448	***	-6.88	

* 유의수준 10%

** 유의수준 5%

*** 유의수준 1%

(2) 시나리오 분석 및 정책적 함의

단순회귀모델의 분석결과를 토대로, 모델에 도입된 각 변수들의 평균치로 부터 10% 증가 혹은 감소가 대기중 NO₂ 오염도에 얼마나 영향을 미치는지 분석하고자 한다.

각 변수들의 평균에서 10% 증가를 가정하고 연평균 모델의 변수별 회귀계수를 이용하여 NO₂의 변화량을 계산하였다(〈표 6〉 참조). 비록 단순회귀모델의 설명력이 모델별로 높지 않아 각 변수의 변동에 따른 NO₂의 변화를 분석하는 것이 통계학적으로 문제가 될 수 있으나, 변화의 영향정도를 상대적으로 비교검토하여 정책적 활용가능성을 논의하는 것은 나름의 의미가 있을 것으로 판단된다. 아울러 본 회귀결과는 서울시에서 제한적으로 나타나는 결과일 수 있기 때문에 다른 지역으로까지 일반화시키는 것은 어려울 것으로 분석된다.

〈표 6〉 독립변수별 10% 증감에 따른 변화분석

변수	변수 평균값	평균에서 10% 증가에 따른 NO ₂ 변화(ppm)	증가된 오염도 상쇄에 필요한 녹지면적(m ²)
P	284,163	7.79×10^{-4}	91,861
B	14,506	5.64×10^{-4}	66,467
CA	436,146	5.63×10^{-4}	66,407
GA	616,464	-5.23×10^{-4}	-
TA	434,315	1.69×10^{-3}	199,409
F	934,377	1.08×10^{-3}	127,059
I	29	5.27×10^{-4}	62,182
O	0.015	-2.18×10^{-3}	-

주) 2005년 NO₂ 연평균 오염도 : 0.038

그 변화량의 계산 결과, 절대값 기준으로 변수별로 5.23×10^{-4} ppm ~ 1.69×10^{-3} ppm 정도(O₃ 제외)의 증감효과를 보이는 것으로 나타났다. 10% 변화에 대하여 비교적 커다란 영향을 미치는 변수로는 토지이용변수(CA, GA, TA)의 TA와 건폐면

적(F)으로 나타났고, 상대적으로 적은 영향을 미치는 변수로는 녹지면적(GA)과 교차로수(I) 변수로 나타났다.

이러한 결과는 도시의 대기관리정책에 여러 가지 시사점을 제공할 수 있으며 이를 예를 들어 설명하면 다음과 같다. 만약 성목의 수관폭이 3m 정도 되는 나무를 식재한다고 가정하면 나무 1그루당 7.1m² 정도의 면적($1.5^2 \times \pi$)을 차지하게 된다. 이 때 약 10,000그루의 식재를 하면 71,000m² 정도의 녹지면적을 확보하게 되고 그로 인해 연평균 오염도의 6.0×10^{-4} ppm 정도 저감 효과를 볼 수 있다. 물론 이러한 결과는 다른 모든 도시특성상황에는 변함이 없고, 녹지로 인한 저감효과가 녹지면적에 따라 일정하게 유지된다는 가정하에서 예상할 수 있는 결과이다.

또 다른 예로 교통시설지의 평균에서 10% 줄이고 그 줄어든 면적을 모두 녹지면적으로 대체했다고 가정을 한다면, 43,432m² 가량의 교통시설지면적의 감소로 인해 약 1.69×10^{-3} ppm의 오염도 감소 효과와 더불어 녹지면적의 증가로 인해 약 3.68×10^{-4} ppm(= $43,432 \times -8.48 \times 10^{-9}$)의 추가적인 오염도 감소효과가 예상된다. 따라서 전체적으로 약 2.07×10^{-3} ppm의 NO₂ 오염도 감소의 효과를 보일 것으로 예상할 수 있다. 다만 이 경우에도 앞서 설정된 가정들이 모두 만족되어야만 한다.

이와는 반대의 경우로써, 그 면적만큼(43,432m²) 녹지면적을 줄여 교통시설지를 증가시켰다고 할 경우로 예상되는 오염도 상승분은 2005년 NO₂의 연평균(0.038ppm)에 더해져 연간환경기준치(0.040ppm/년)를 초과하는 심각한 결과를 초래할 수 있을 것으로 예측된다.

한편, 하나의 변수의 증가로 인한 NO₂ 오염부하를 경감하기위하여 확보되어야 할 녹지면적을 나타내기 위하여, 녹지변수의 회귀계수를 이용하여

타 변수들의 10% 증가로 인한 오염도 증가를 상쇄하는데 필요한 녹지면적을 계산하였다(〈표 6〉 참조). 그 결과를 이용하면, 지방자치단체가 도시관리·개발정책에 따라 고려할 ‘녹지부담’ 정도를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 결과를 종합해 보면, 대기관리정책에 있어서는 각 변수들의 한계효과 및 인위적 통제 용이성을 고려하여 보다 효과적인 정책수립이 가능하리라 생각된다. 특히 교통과 연관이 있는 인자들에 대한 적절한 정책적 수단과 더불어 녹지에 관한 식재정책으로 대기중 NO₂ 오염도를 저감하는데 활용이 가능하다. 더욱이 새로운 녹지의 확보가 어려운 서울시의 경우, 옥상녹화 또는 벽면 녹화 등을 장려할 수 있는 정책을 마련하여 녹지를 입체적으로 증대시킴으로써 대기오염저감에 기여하도록 해야 한다. 아울러 식재시에는 수관폭 뿐만 아니라 지하고나 나무의 키 등을 고려하여 식재를 하여야 그 효과를 더욱 높일 수 있다는 선행연구를 활용하여 식재계획을 수립하는 것이 바람직하다.

2) 다중회귀분석

단순회귀분석의 결과를 바탕으로 하여 다중회귀분석을 수행하였다. 이 때 초기예상한 결과와 달라 향후 추가적인 연구가 필요한 주거지면적 변수는 본 분석에서 제외하였다.

다중회귀모델을 구축하는 과정은, 단순회귀분석에서 회귀계수의 유의성 및 설명력이 높은 변수를 우선적으로 모델에 도입하는 방식을 취하였다. 또한 모델 특정화(Model Specification)의 오류를 고려하여 선형모형 이외에 이중로그함수, 역세미로그함수 및 세미로그함수를 이용하여 추정하였

다.³⁾ 그 결과 최종적으로 추정된 회귀식을 통하여 각 변수들과 NO₂ 오염도와와의 관계를 설명하고 정책적 시사점을 분석하였다.

(1) 결과분석

NO₂ 연평균 오염에 대한 다중회귀분석 결과를 통하여, 회귀모델 M1~M4의 통계적으로 유의한 회귀식을 추정할 수 있었다(〈표 7〉 참조). 추정된 회귀식 중 O₃ 오염도를 포함한 회귀식의 설명력은 O₃ 오염도를 포함하지 않는 회귀식에 비해 높게 나타나고 있다. 변수가 3개 이상 도입되면, 다중공선성 등의 이유로 변수별 회귀계수가 유의한 통계치를 보이는 경우가 없어 그 결과는 생략하였다.

〈표 7〉 NO₂ 연평균 다중회귀모델

모델	변수	NO ₂ 연평균				
		회귀계수	t 통계량	Tol	F 통계량	R ²
M1	상수항	0.0229***	6.96			
	CA	6.02X10 ⁻⁹ *	1.81	0.574	18.13***	0.539
	TA	2.84X10 ⁻⁸ ***	3.17	0.574		
M2	상수항	0.0351***	8.93			
	P	2.22X10 ⁻⁸ **	2.47	0.896	6.76***	0.304
	GA	-5.86X10 ⁻⁹ *	-1.78	0.896		
M3	상수항	0.0622***	20.04			
	GA	-6.15X10 ⁻⁹ ***	-2.89	0.976	33.31***	0.682
	O	-1.3624***	-7.10	0.976		
M4	상수항	0.0515***	10.70			
	F	7.49X10 ⁻⁹ **	2.24	0.968	29.15***	0.653
	O	-1.3675***	-6.78	0.968		

* 유의수준 10%

** 유의수준 5%

*** 유의수준 1%

추정된 모델들은 F 검증의 결과, 회귀식의 유의수준 1%에서 유의함이 인정되었으며, 각 변수의 부호는 예상했던 결과를 나타냈다. 변수에 관한 t-검정값도 GA와 CA(유의수준 10%)를 제외하고

3) 추정결과, 선형모형보다 모델의 설명력과 회귀계수의 유의성 측면에서 양호하지 못한 결과가 얻어짐에 따라 본문의 설명에서 제외시킴.

모두 유의수준 5%에서 유의미한 것으로 나타났다.

모델 M1은 NO₂ 변이의 약 54%를 설명하는 것으로 나타나고 있으며 O₃이 포함된 식을 제외하고는 가장 높은 설명력을 보이고 있다. 모델 M2는 설명력이 약 30% 정도로 다른 회귀식에 비해 설명력이 떨어지나, NO₂ 오염도에 양(+)의 효과를 미치는 변수(P)와 음(-)의 효과를 나타내는 변수(GA)로 구성되어 상호비교가 가능한 이점이 있다.

O₃이 포함된 모델 M3와 M4는 그 설명력이 65%이상을 보여주고 있으며, 두 모델에 도입된 O₃의 회귀계수의 크기도 일관성이 있는 것으로 확인되었다. 단순회귀분석에서 제시된 것처럼, 비록 O₃의 결과를 활용하여 직접적인 관리수단을 수립하기는 곤란하지만, 본 결과는 NO₂ 오염의 발생특성을 이해하고 변이량을 설명하는데 유용할 것으로 보인다.

(2) 변수별 탄력성 분석

각 모델의 설명변수의 1% 변화에 대한 NO₂ 연평균 오염도의 % 변화량을 분석하기 위해서 각 설명변수의 평균에서의 탄력성을 계산하였다(〈표 8〉).

〈표 8〉 회귀모델별 설명변수 탄력성

모델	변수	NO ₂ 변화량(%)	모델	변수	NO ₂ 변화량(%)
M1	CA	0.069 ⁴⁾	M3	GA	-0.100
	TA	0.326		O	-0.542
M2	P	0.177	M4	F	0.185
	GA	-0.095		O	-0.544

모델 M1의 탄력성의 경우, 상업·업무면적(CA)의 1% 상승은 NO₂ 연평균 오염도에 약

0.069%의 상승을, 교통시설지면적(TA)은 0.32%의 상승에 기여하는 것으로 나타났다. 이는 TA의 영향력이 CA의 영향보다 4.7배가량 크다는 것을 보여주는 것으로써, NO₂의 저감을 위해서는 CA와 관련된 인자를 다루기보다는 TA와 연관된 인자를 조정하는 것이 더 효과적임을 보여주고 있다. 사용된 두 독립변수가 NO₂ 오염도에 직접적으로 연관되어 있다고 보고, NO₂ 저감을 위하여 각 토지이용의 면적자체를 변화시키는 방법을 고려할 수 있다. 그러나 이 보다는 해당 토지이용과 연관있는 여러 세부인자들이 NO₂에 관련되어 있을 가능성이 높을 것이므로, 이에 대한 체계적인 관리가 보다 합리적인 대기관리정책인 것으로 판단된다. 따라서 각 토지이용에 관련이 있는, 예를 들어 해당 토지이용의 에너지 소비량 및 교통량, 교통신호체계, 차량혼잡도, 친환경 교통수단 등의 세부내용을 고려하여 보다 실질적인 대책수립이 필요할 것으로 분석된다.

모델 M2의 경우, 유동인구수(P)의 1% 상승은 NO₂ 농도의 0.18% 상승에, 녹지면적(GA)은 0.1% 저감에 기여하는 것으로 확인되었다. 즉 P에 관한 제어가 GA의 관리보다 더 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 NO₂의 저감을 위해서는 직주근접형 도시구조로의 개편, 시설들의 복합화, 혼합토지이용 등을 유도하는 정책으로 유동인구량을 저감시킬 수 있는 방안을 모색할 필요가 있다고 판단된다. 아울러 GA의 측면에서는, 녹지의 추가확보, 녹지의 입체화(벽면녹화·옥상정원 등) 혹은 자투리 식재공간의 활용 등이 추진될 수 있는 녹지관리정책으로 사료된다.

O₃이 포함된 모델인 M3와 M4는 전술한 바와

4) $\frac{\partial NO_2}{\partial CA} \frac{\overline{CA}}{\overline{NO_2}}$ 를 활용하여 계산함. 여기서 $\frac{\partial NO_2}{\partial CA}$ = CA의 회귀계수, \overline{CA} = CA 샘플의 평균값, $\overline{NO_2}$ = 각 측정소의 연평균 NO₂ 평균치임.

같이 NO₂ 오염의 변이를 설명하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 즉 평균에서의 O₃ 오염 1% 증가현상은 NO₂ 연평균 0.54%의 감소와 연관이 있다는 것이며, 이는 O₃과 NO₂의 대기화학적 관계를 잘 표현하는 것이라 분석된다. 한편 모델 M4에서 건폐면적(F)의 탄력성이 0.19%로 나타난 결과를 보면, NO₂의 저감을 위해서는 건축물의 바닥면적을 줄이고 시설물의 적정한 고층화를 유도하는 것도 하나의 시사점이라고 생각된다. 이러한 정책은 오픈스페이스의 확대를 유도하여 공기의 흐름이나 바람의 이동통로를 확보하게 됨으로써 오염의 정체를 막고 그 확산을 증진시키는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

III. 결 론

본 연구는 개선되고 있지 못한 대표적인 대기 환경기준물질인 NO₂를 대상으로, 영향인자를 이용한 회귀모델을 구축·분석하여 도시 대기질의 개선방안을 모색하고자 하였다. 이를 위하여 한 지점의 오염수준은 그 주변을 둘러싸고 있는 도시 특성인자에 의해 영향을 받을 것이라는 기본 가정 아래에서, 자동오염측정소 주변의 1,000m 반경내의 도시특성요소(유동인구, 사업체수, 주거지면적, 상업·업무지면적, 녹지면적, 교통시설지면적, 건폐면적, 교차로수 등)를 추출하여 독립변수로 활용하였다.

단순회귀분석 결과를 보면, NO₂ 오염도에 영향을 주는 영향인자로서 교통시설면적과 상업·업무면적이 오염의 상승에 큰 영향을 주고 있는 것으로 나타났다. 그 외 다른 인자들 역시 NO₂ 오염 수준에 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 교통시설지만으로도 NO₂ 연평균 오염도 변이의 약 절반가량을 설명할 수 있었

다. 이는 차량이 NO₂ 오염의 주된 발생원이라는 것을 통계적으로도 검증하는 것이다. 한편 NO₂ 오염을 줄일 수 있는 특성요소로 녹지면적을 볼 수 있다. 녹지의 단위면적당 NO₂의 저감 효과는 크지 않지만 녹지가 제공하는 다양한 혜택이 존재하므로 녹지 확충 정책 마련에 다각적인 노력이 필요하다고 판단된다.

다중회귀모델의 경우, 비록 두개의 독립변수를 이용해서 설명력이 높지는 않지만 통계적으로 유의미하고 시사성이 높은 모델이 구축되었다. 또한 이를 이용하여 각 독립변수의 % 변화량에 대한 연평균 NO₂의 % 변화량을 계산하였다. 교통시설면적의 탄력성은 상업·업무지면적에 비해 약 4.7배정도 높은 것으로 나타났고, 유동인구 변수의 탄력성은 녹지면적의 탄력성에 비해 1.9배정도 큰 것으로 나타나, NO₂의 관리를 위해서는 교통시설지 및 유동인구수와 관련된 인자들을 통제·관리하는 것이 보다 효과적인 제어수단임을 보여주었다.

NO₂ 오염도에 가장 큰 영향을 주는 것이 차량의 배기가스임을 볼 때, NO₂ 오염도를 저감시키는 1차적인 방법으로는 대중교통수단의 이용으로 개별차량운행의 감소, 청정원료의 사용, 배기가스 저감장치의 사용 등이 있을 수 있다. 도시계획적인 저감방안으로는, 적정 규모이상의 교통시설지를 제거하거나 기존의 교통시설지가 친환경적 교통수단으로 이용될 수 있도록 유도하는 방안이 필요하다. 또한 기타 토지이용변수, 유동인구수 등의 인자들을 고려한다면, 교통유발이 집중적으로 발생되지 않도록 토지용도 배분 및 배치가 환경친화적, 에너지 절약적으로 이루어 질 수 있는 토지이용관리 정책이 필요하다고 사료된다.

한편 건폐면적이 NO₂ 오염에 양(+)의 영향을 보이고 있으므로 적절한 건물의 배치나 건폐율, 용적률의 조절을 통해 바람길을 확보한다면 오염

된 대기의 확산을 용이하게 할 수 있다. 이와 같이 NO₂의 저감을 통한 대기질 향상을 위해서는 오염 발생원에 대한 직접적인 해결책 및 도시계획적 오염저감정책 수립에 관한 다각적인 노력이 필요하다.

비록 본 연구는 도시를 구성하는 요소들이 NO₂ 오염도에 미치는 영향에 대하여 의미있는 결과를 도출하였으나, 본 결과가 서울시에 국한된 제한적인 결과일 수 있으므로 타 지역으로 확대적용하기에는 실증적인 분석이 필요할 것으로 판단된다. 또한 향후 다음과 같은 측면을 고려하여 보다 심층적인 연구를 수행하여 설명력이 높은 모델을 구축할 필요가 있다.

첫째, 도입된 변수들 이외에 교통관련인자(교통체증정도, 연료종류별 차량수, 세부지역별 교통발생량 등), 자연환경변수(표고, 지형, 기상변수 등), 인구특성, 미기후적 요소 등을 추가적으로 도입할 필요가 있다.

둘째, 본 연구에서 수행된 횡단면적 분석 이외에, 시계열자료 및 패널 자료를 구축하여 오염도 변화양상을 입체적으로 분석할 필요가 있다.

셋째, 선형관계뿐만 아니라 비선형모델과 변수들 간의 상호작용에 대한 심도 있는 연구도 필요하다.

마지막으로, 현재 설정된 분석권역은 제한된 지역 및 샘플수로 선정된 것이므로, 향후 샘플수 증가와 다양한 분석권역 설정으로 분석권역 선정의 타당성을 심층적으로 검증할 필요가 있다.

참고문헌

권우택, 2005, "교통 및 미기상에 의한 대기오염물질의 확산분포에 관한 연구", 『환경관리학회지』, 11(4): 249~261.
김선태·최현규·이범진, 2006, "여름철 대전시 도로변 이산화질소 농도변화 특성", 『한국대기환경학회 2006

추계학술대회 논문집』, 156~157.
서울시정개발연구원, 2000, 『서울 2000 도시생태현황도 제작 및 활용』.
서울시정개발연구원·인천발전연구원·경기개발연구원, 2004, 『수도권 대기환경 영향요인 분석 및 총량관리 정책개발 연구』.
서울특별시, 2002, 『2002서울시가구통행실태조사 제Ⅱ편』.
양원호·배현주·김현용·정문식·전문호, 1999, "주택특성에 관련된 실내 이산화질소 농도에 관한 연구", 『대한위생학회지』, 14(4): 85~92.
양원호·손부순·박종안·김종오, 2002, "도로변 구두수선대 실내·외의 이산화질소 농도 및 거리에 따른 이산화질소 감소", 『대한위생학회지』, 17(2): 85~91.
양원호·이선화·백도명, 2001, "시간가중치 평균모델을 이용한 이산화질소의 노출평가 및 예측", 『한국대기환경학회지』, 17(3): 251~258.
유은철·박옥현, 2004, "부산지역 오존 및 이산화질소 농도의 공간분포해석에 따른 대기오염측정망 배치연구", 『한국대기환경학회지』, 20(5): 583~591.
이범진·김선태, 2003, "Passive sampler를 활용한 교통량에 따른 이산화질소 농도경향 분석", 『한국대기환경학회 2003추계학술대회 논문집』, 126~127.
이운화·장난심·이용희, 1999, "부산광역시에서 회귀모델링에 의한 이산화질소 농도 예측", 『한국대기환경학회 1999 추계학술대회 논문집』.
조창재, 2005, "도시형태요소가 도시 대기오염에 미치는 영향", 한양대학교 석사학위논문.
환경부, 2005, 『수도권대기환경관리기본계획』.
Bhugwant, C. and Hoareau, J., 2003, "Variability of NO₂ in different environments at a moderately polluted island over the southwestern Indian Ocean", *Atmospheric Research* 66: 241~259.
Chow, W. K. and Chan, M. Y., 2003, "Field measurement on transient carbon monoxide levels in vehicular tunnels", *Building Environment* 38: 227~236.
Franklin, P., Runnion, T., Farrar, D., and Dingle, P., 2006, "Comparison of peak and average nitrogen dioxide concentrations inside homes", *Atmospheric Environment*, 40(38): 7449~7454.

- Inoue, T., Hoshi, M., and Taguri, M., 1986, "Regression analysis of nitrogen oxide concentration, *Atmospheric Environment*, 20(1): 71~85.
- Plaisance, H., Piechocki-Minguy, A., Garcia-Fouque, S., and Galloo, J. C., 2004, "Influence of meterological factors on the NO₂ measurements by passive diffusion tube", *Atmospheric Environment*, 38: 573~580.
- Roosbroeck, S. V., Jacobs, J., Janssen, N., Oldenwening, M., Hoek, G., and Brunekreef, B., 2007, "Long-term personal exposure to PM_{2.5}, soot and NO_x in children attending schools located near busy roads, a validation study", *Atmospheric Environment*, 41: 3381~3394.
- Shi, J. P. and Harrison, R. M., 1997, "Regression modelling of hourly NO_x and NO₂ concentrations in urban air in London", *Atmospheric Environment*, 31(24): 4081~4094.
- Son, B., Yang, W., Breyse, P., Chung, T., and Lee, Y., 2004, "Estimation of occupational and nonoccupational nitrogen dioxide exposure for Korean taxi drivers using a microenvironmental model", *Environmental Research*, 94: 291~296.
- Stevenson, K., Bush, T., and Mooney, D., 2001, "Five years of nitrogen measurements with diffusion tube samplers at over 1000 sites in the UK", *Atmospheric Environment* 35: 281~287.
- U.S. EPA, 1997, *Exposure Factors Handbook*, PA/600/P-95/002Fa.
- Yuval and Broday D. M., 2006, "High-resolution spatial patterns of long-term mean concentrations of air pollutants in Haifa Bay area", *Atmospheric Environment*, 40: 3653~3664.

원 고 접 수 일 : 2007년 6월 4일
1차심사완료일 : 2007년 6월 14일
최종원고채택일 : 2007년 6월 27일