

광주광역시 대기오염측정소 주변 교통량이 대기질에 미치는 영향

이대행[†] · 안상수 · 송형명 · 박옥현 · 박강수 · 서광엽 · 조영관 · 김은선

광주광역시 보건환경연구원

The Effect of Traffic Volume on the Air Quality at Monitoring Sites in Gwangju

Dae-Haeng Lee[†], Sang-Su An, Hyeong-Myeong Song, Ok-Hyun Park, Kang-Soo Park,
Gwang-Yeob Seo, Young-Gwan Cho, and Eun-Sun Kim

Health and Environment Research Institute of Gwangju, Gwangju 502-243, Korea

ABSTRACT

Objectives: Vehicular emissions are one of the main sources of air pollution in urban areas. Correlation analysis was conducted between air pollutants and traffic volume in order to identify causes of air pollution in Gwangju.

Methods: Using traffic volumes and air quality monitoring data from 2002 to 2012 from nine stations (seven urban areas, two roadside areas), especially at three sites where traffic volumes were high, the correlation coefficients were obtained between air pollutants as PM-10 (particulate matter), NO₂, SO₂, CO and O₃ at the stations and traffic volumes near the air monitoring stations.

Results: Due to traffic volume and distance between the station and the traffic road, concentrations of pollutants at roadside areas were higher than at urban areas, with the exception of O₃. The concentration of O₃ showed statistically significance with those of other gas materials as NO₂, SO₂, and CO in winter (p<0.001) and spring (p<0.05). During the period of October 7 to 20, 2012, excluding periods of yellow dust, smog and rainy season, the ratio of NO/(NO+NO₂) showed the highest value 0.57 and 0.40 at Unam and Chipyeong of two roadside stations, followed by 0.35 at Nongseong with vehicular effects. The correlation coefficient between traffic volume and O₃, CO, NO₂ became higher when the data on mist and haze days were excluded, than when all hourly data were used in that period, at the three sites of Unam, Chipyeong, and Nongseong.

Conclusions: Air quality showed a considerable effect from vehicles at roadside areas compared to in urban areas. Air pollutant diminishment strategies need to be aggressively adopted in order to protect atmospheric environment.

Keywords: Air pollutants, Correlation coefficient, Roadside area, Traffic volume, Urban area

I. 서 론

공단이 많은 지역을 제외한 대도시의 경우 대기오염의 주 요인은 주로 자동차가 차지하고 있다. 환경부 환경백서의 통계자료에 의하면, 우리나라의 도로연장(1 km) 당 자동차 수는 2010년 기준 170대로, 미국 38대, 프랑스 39대, 일본 63대와 비교하면 국토면

적 대비 자동차의 밀도가 2배 이상 높고, 수송수단 중 자동차 의존율(74.8%)이 상당히 높은 실정이다.¹⁾

광주지역의 차량 등록대수도 2002년부터 매년 평균 3.4% 증가하여 2011년에는 535,812대, 2012년에는 550,821대 이었다. 광주지역은 화학, 조선업, 철강 산업 보다는 대기오염물질 배출량이 상대적으로 적은 자동차 및 첨단산업이 발달해 있어, 대부분 도

[†]Corresponding author: Health and Environment Research Institute of Gwangju, 149 Hwajungdong, Gwangju 502-243, Korea, Tel: +82-62-613-7581, Fax: +82-62-613-7629, E-mail: ldh0928@korea.kr

Received: 2014, Revised: 2014, Accepted: 2014

Table 1. Location of air quality monitoring sites and four traffic junctions in Gwangju

	Air quality monitoring sites	Location of air quality monitoring sites	Location of traffic junctions	Distance
Urban	Geonguk	Bukgu Cheomdan gwagi -ro 333	Imbangwul-ro Mail center	1.5 km
	Oseon	Gwangsangu Hanam sandan-ro 6-107	Hanam-ro Sanjeong-ro	1.35 km
	Songjeong	Gwangsangu Gwangsang -ro 70	Sangmu-ro Songjung station vicinity	395 m
	Nongseong	Seogu Sangmu dae-ro 1189 - 23	Sangmu-ro Nongseong station	650 m
	Duam	Bukgu gunwang-ro 141 - 6	Dongmun-ro Mudeung library	490 m
	Seoseok	Donggu Seonam-ro 1	Philmun-ro Chosun university entrance	290 m
	Juwol	Namgu whoiseo-ro 21 -13	Hweje-ro Juwol police substation	170 m
Roadside	Unam	Bukgu Bukdaemun-ro 79	Bukmun-ro Unam	95 m
	Chipyeong	Seogu Sangmu Jayu-ro 170	Sangmu-ro Wuncheon reservoir	340 m

로이동오염원에서 대기오염물질이 배출되고 있다. 2012년도 광주시 대기오염물질 배출량 중 41.5%를 자동차가 차지하고 있고, 항목별로는 PM-10이 59.6%, CO는 69.8%, 질소산화물은 50.9%, 황산화물은 2.0%가 로이동오염원에서 배출되었다.²⁾

광주시에서는 2003~2007년까지 환경보전중기종합계획을 수립하여 환경보전 기본조례를 제정하는 등 대기질 개선을 위해 천연가스 시내버스 교체, 저황유 및 청정연료자동차 사용 의무화, 전기 및 수소 등의 저공해연료 자동차 보급 등 각종 전략사업을 추진함에 따라, NO₂와 PM-10은 2006년 이후 계속 감소하고 있으며, SO₂와 CO는 변화가 거의 없는 실정이다.³⁾

수도권 지역이나 일부 대도시의 경우 도로변 자동차로 인한 대기오염물질 오염 특성 연구를 수행하여 교통량이 밀집한 지역에서 대기오염 농도가 높다는 연구결과를 제시하였는데, 배 등은 서울 도심 지역 도로변에서 극미세입자와 NO_x, O₃를 측정하여 주간 및 일변화를 관찰하고 오염물질간의 상관관계를 분석하였고, 조 등은 대구와 서울, 부산 등 3개 도시의 도로변지역에서 대기오염물질 농도를 비교 분석 하였다.⁴⁻⁸⁾ 또한 김은 차량 2부제나 차량속도 변화 등의 교통정책이 대기환경 개선효과에 영향을 준다는 연구를 수행하였다.⁹⁾ 조 등은 도로 특성인자, 교통량, 실시간 대기오염 배출량 등을 적용하여 자동차와 대기오염물질에 관한 연구를 수행하였다.¹⁰⁾ 권 등은 성남시에서 교통량 특성에 따른 대기오염물질의 영향을 연구하였고,¹¹⁾ 이 등은 서울지역에서 자동차 배출가스에 의한 교차로에서의 대기오염 특성을 연구하였다.¹²⁾ 서울지역에서 교통량과 대기질 모니터링 자료를 이용한 상관성 분석결과 도로변지

역이 약간 높은 것으로 나타났다. 그러나 광주광역시에서 자동차 등의 도로이동오염원과 대기오염물질간의 상관성 연구는 상대적으로 미흡하고, 교차로의 차량 통행량 및 이격거리에 따른 대기오염물질과의 농도변화 및 상관성을 분석한 연구는 전무한 실정이다.^{13,14)}

따라서 본 연구에서는 광주광역시 도로변지역과 일반 도시지역의 대기오염측정소에서 얻어진 대기환경기준물질의 농도자료에 대한 추이 변화를 분석하고, 측정소에 인접한 교차로의 차량검지기에서 관측된 교통량으로부터 이격 거리별 및 기상조건별 대기질과 교통량과의 상관관계를 분석함으로써 주변 교통량이 광주지역 대기질에 미치는 교통량의 영향을 평가하고자 하였다. 특히 황사나 강우 등의 환경요인으로부터 도시대기질에 미치는 영향을 배제한 상태에서 주변 교통량에 따른 도시대기질의 상호 관련성을 파악할 수 있도록 시간별 대기오염물질의 농도를 비교 분석하였으며, 교통량 자체에 따른 도시 대기질의 영향을 보다 구체적으로 파악할 수 있도록 특정기간의 교통량 자료를 선정하여 분석하였다.

II. 연구방법

1. 연구범위 및 방법

광주광역시 도로변지역과 일반 도시지역의 대기오염측정소에서 얻어진 자료의 연구범위는 2002년부터 2012년까지이다. 일반 도시지역의 경우 7개 지점(도시대기 측정소)을, 도로변지역의 경우 2개 지점(도로변대기 측정소)을 대상으로 하여 이들 지역간

의 대기질 특성을 평가할 수 있도록 가스상 물질(CO, SO₂, NO₂, O₃)과 입자상 물질(PM-10)의 농도 변화를 비교 분석하였다. 통계자료를 활용한 연도별 차량대수 증가와 광주지역 대기오염물질 농도를 비교 분석하고, 연도별, 월별 및 시간별 평균농도 변화를 분석하였다. 또한 광주지방기상청(<http://web.kma.go.kr/aboutkma/intro/gwangju/>)의 기상자료를 활용하여 박무, 연무 등이 대기질에 미치는 영향을 파악할 수 있도록 하였다. 대기오염측정소의 대기질 측정지점과 인근 교차로의 교통량 조사지점은 Table 1과 같다. 대기환경기준물질의 항목별 측정은 대기오염측정망 설치·운영지침 및 대기오염공정시험기준에 따라 실시하였다.^{15,16)}

2. 교차로 교통량 조사 및 상관분석

교통량은 대기오염측정소 인근 교차로 중 광주지

방경찰청에서 운영하는 광주교통정보센터의 교통량 조사가 이루어지는 지점에 대하여 Loop 차량검지기로부터 얻어진 실시간 관측자료를 활용하였다. 도시대기 측정지점은 건국동(Geonguk, 공업지역), 오선동(Oseon, 공업지역), 송정동(Songjeong, 상업지역), 농성동(Nongseong, 주거지역), 두암동(Duam, 주거지역), 서석동(Seoseok, 상업지역), 주월동(Juwol, 주거지역)으로 7개소이고, 도로변대기 측정지점은 운암동(Unam, 상업지역)과 치평동(Chipyeong, 상업지역)으로 2개소이다. 이들 교통량을 측정한 교차로 지점과의 이격거리 및 각 관측지점별 위치는 Table 1과 같다.

교통량과 대기질 자료와의 상관성 분석은 차량통행이 많은 도로변대기 측정지점이나 도시대기 측정지점 중 도로변의 영향을 많이 받는 지역을 선정하여 수행하였다. 교통량 조사기간은 황사와 강우의 영

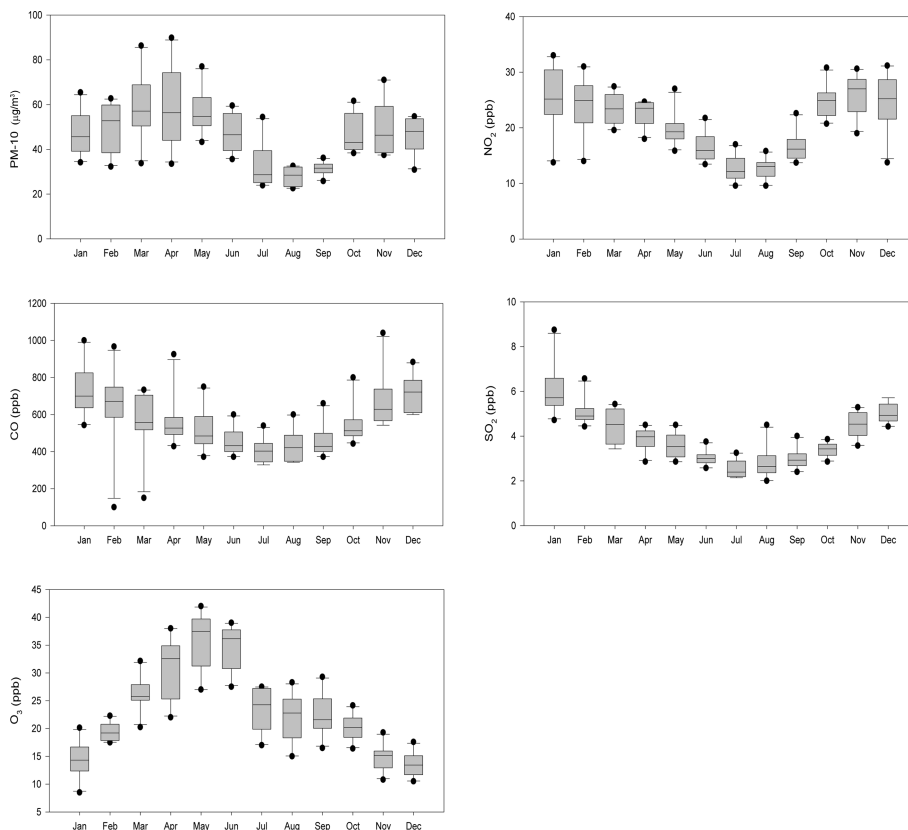


Fig. 1. Variation of monthly mean concentration of PM-10, NO₂, CO, SO₂ and O₃ at urban area of Gwangju during 2002 to 2012.

향을 배제할 수 있는 가을철 중에서 교통량과 대기 질 농도의 연속측정자료 활용이 가능한 기간으로 2012년 10월 7일부터 20일까지이다. 교통량의 증감에 따른 대기질 영향을 보다 구체적으로 파악할 수 있도록 조사기간 중 연무나 박무 등의 영향을 포함한 경우와 이를 제외한 경우를 분류하여 일별자료의 상관성 분석을 실시하였다. 대기오염물질 농도와 교통량의 일변화 자료를 활용한 상관성 분석은 Pearson 상관식을 사용하였고, SPSS(Ver. 20)를 이용하여 분석하였다.

III. 연구결과

1. 지역별 대기오염물질의 농도변화

Fig. 1은 도로변대기 측정지점 2개소와 일반 도시 대기 측정지점 7개소에서 얻어진 대기오염물질의 연평균 농도에 대한 추이변화를 나타낸 것이다. 여기에서 PM-10, CO, NO₂의 연평균농도는 차량에 의한 영향을 상대적으로 강하게 받을 수 있는 도로변 측정지점이 일반 도시대기 측정지점보다 높았으며, O₃의 경우 도로변보다 일반 도시대기 측정지점에서 높은 경향을 나타내었다.¹⁷⁾ PM-10의 지역별 농도추이를 살펴보면 차량의 통행량이 가장 적은 주거지역이 최소치를 기록하였으며, 상업지역, 공업지역, 도로변지역 순으로 높아져 교통량과 연관성이 높게 나타났다. 광주광역시에 등록된 차량대수는 2003년부터 2012년까지 해마다 3.4% 증가하였다. 이동오염원 중 디젤자동차의 영향을 직접 받는 것으로 알려진 NO₂는 도로변지역이나 주거지역 모두 2006년 이래 감소하였다. 주거지역보다는 도로변지역에서 NO₂ 농도가 높아 교통량의 영향을 많이 받은 것으로 보인다.^{8,18)} 조사기간 중 대기오염물질의 월평균 농도 변화를 살펴보면, 도시대기 측정지점에서 PM-10의 경우 황사가 발생하는 3~5월에는 57.5~62.2 µg/m³으로 높았으며, 6~9월은 여름철 강우의 영향으로 28.1~33.1 µg/m³으로 낮았다.

2002~2012년까지 광주광역시의 11년간 황사발생 일수를 살펴보면, 3월에 37회로 가장 높은 빈도를 나타내었으며, 4월 26회, 5월 14회, 12월 11회, 11월 9회, 2월 6회, 1월 3회, 10월 1회이었다. PM-10 평균농도는 황사발생일수가 가장 많은 3월에 평균농도가 가장 높았지만, 4월에 75~25 percentile 범위는

Table 2. Correlation coefficient among air pollutants at Unam during 2005 to 2012

Month	PM-10	CO	NO ₂	SO ₂	
January	PM-10	1.000			
	CO	0.181	1.000		
	NO ₂	0.189	0.697***	1.000	
	SO ₂	0.213	0.535***	0.624***	1.000
	O ₃	-0.320*	-0.662***	-0.776***	-0.654***
April	PM-10	1.000			
	CO	0.230	1.000		
	NO ₂	0.274 ⁺	0.645***	1.000	
	SO ₂	0.221	0.082	0.438**	1.000
	O ₃	-0.250 ⁺	-0.496***	-0.650***	-0.392**
July	PM-10	1.000			
	CO	-0.089	1.000		
	NO ₂	0.569***	0.339*	1.000	
	SO ₂	0.098	0.027	0.354 ⁺	1.000
	O ₃	0.450**	-0.234 ⁺	0.138	0.186
October	PM-10	1.000			
	CO	0.084	1.000		
	NO ₂	-0.158	0.788***	1.000	
	SO ₂	-0.081	0.217	0.315 ⁺	1.000
	O ₃	0.051	-0.538***	-0.534***	-0.237 ⁺

p-value : +< 0.1, * < 0.05, ** < 0.01, *** < 0.001, "-" means negative correlation

가장 넓었다. NO₂와 SO₂의 평균농도는 1월에 가장 높았으며, 7월에 가장 낮았다가 점차 증가하였다. NO₂는 동절기에 농도분포 폭이 가장 넓고, SO₂는 1월에 농도분포의 폭이 가장 넓었다. 따라서 황사 등의 영향을 배제한 교통량 자체의 대기질에 대한 영향을 파악하기 위해 10월 중의 자료를 선정하여 분석하였다.

Table 2는 2005~2012년 기간 중 차량의 영향을 많이 받는 운암동 측정지점을 대상으로 월별 대기오염물질간 상관분석 결과를 나타낸 것이다. O₃은 강우기인 7월을 제외하고는 대부분의 대기오염물질과 음의 상관성을 보여주었다. 기온이 가장 낮은 1월에는 O₃과 다른 가스상 물질의 상관성이 p<0.001 이내에서 유의하였고, O₃과 다른 가스상 물질은 음의 상관

Table 3. Average and standard deviation value of traffic volume and air pollutants during 7th~20th Oct 2012

Sites	Traffic volume	PM-10 (µg/m ³)	CO (ppb)	NO ₂ (ppb)	SO ₂ (ppb)	O ₃ (ppb)	
Urban	Nongsung	2626.4±189.6	37.1±13.2	513.7±134.5	26.3±7.6	2.7±0.6	19.1±5.0
	Duam	1153.8±59.1	34.6±11.5	540.8±101.5	28.4±7.6	2.9±0.7	26.9±5.5
	Seoseok	1429.3±145.5	31.5±10.5	584.8±113.4	28.0±7.0	4.7±0.9	18.9±4.2
	Songjeong	1736.4±188.7	38.4±11.9	406.5±89.9	19.9±5.8	3.2±0.5	20.6±5.5
	Juwol	1221.1±125.7	39.5±12.2	646.1±124.0	30.2±8.7	3.2±0.6	17.9±4.8
Roadside	Unam	2895.3±223.8	55.6±18.5	852.3±215.4	43.8±9.5	3.9±0.5	14.8±4.0
	Chipyeong	3675.1±307.9	55.9±18.5	662.7±156.4	29.5±7.4	3.7±0.4	17.3±5.7

성을 보여주었다. 4월에도 오존과 가스상 물질은 음의 상관성이 $p < 0.05$ 이내에서 유의하였다. 차량의 영향을 가장 많이 받는 NO₂와 CO는 서로 양의 상관성을 보이는데, 모든 시기에 $p < 0.05$ 이내에서 유의하였다. 입자상 물질인 PM-10은 월별 상관성이 상이한데, 7월의 경우 NO₂나 O₃의 2가지만 양의 상관성($p < 0.01$)을 나타내었으며, 1월과 4월은 매우 낮은 상관성을 보이고 있다.³⁾

2. 교통량이 대기질에 미치는 영향

1) 지점별 교통량과 대기오염물질 농도

봄철 황사, 여름철 강우, 겨울철 스모그 등의 외부 영향요인을 배제할 수 있는 가을철 중에서 교통량에 대한 자료활용이 가능한 2012년 10월 7일부터 20일까지 도시대기 및 도로변대기 측정지점 인근의 교통량 일변화를 비교 분석한 결과, 주말보다 주중에 많았고, 도로변지역인 치평동에서 하루 평균 3,675대/hr로 가장 많았다. 다음으로 도로변지역인 운암동 2,895대/hr, 도시대기 측정지점 인근의 농성동 2,626대/hr 순이었다. 차량통행이 많은 도로변지역인 운암동에서 교통량의 시계열 분석결과, 평일은 오전 7시경에 급격히 증가하였다가 오전 10시경에 감소한 후 다시 오후 5시를 기점으로 증가한 후 밤 8시 이후 감소하는 경향을 보였다. 토요일은 오전 9시부터 오후 6시까지 유사한 경향을 나타내었으며, 일요일에는 최소치를 기록하였는데 오후 3~5시에는 증가하는 경향을 보여주었다. 대기측정소와 최대한 인접한 곳에서 교통량 자료를 활용하여야 하나, 고 등은(2009) 도시부에서 1 km 내에 있는 교통량 측정지점을 선별하여 대기질과의 관계를 규명함에는 무리가 아니라고 판단하였다. 따라서 본 연구에서도 건국동

(1.5 km)과 오선동(1.35 km) 지점이 인근 교통량 관측지점과 이격거리가 1 km 이상 떨어져 있어 교통량을 대표할 수 없다고 판단하였고, 그 외의 지점을 대상으로 교통량과 대기오염물질 농도를 비교하였다 (Table 3). 도로변지역인 운암동과 치평동은 상업지역으로 교통량이 가장 많았고, 도시대기 지역 중에서는 농성동에서 교통량이 많았다. 도시대기 측정지점의 경우 PM-10, CO, NO₂의 농도는 주일동에서 각각 39.5 µg/m³, 646 ppb, 30.2 ppb로 높았으며, SO₂는 서석동에서 4.7 ppb, O₃는 두암동에서 26.9 ppb로 높았다. 도로변지역인 치평동에서는 PM-10이 55.9 µg/m³, O₃ 17.3 ppb로 운암동보다 높았고, 운암동에서는 SO₂ 3.9 ppb, CO 852.3 ppb, NO₂ 43.8 ppb로 치평동에서 보다 높았다.

2) 이격거리별 교통량과 대기오염물질 농도

지점별 질소산화물 농도에 미치는 교통량의 영향을 파악하기 위해 2012년 10월 7~20일 중 박무 2회, 연무 3회, 강우 1회가 발생하였는데, 이에 따른 영향을 배제할 수 있도록 하여 대기오염물질에 대한 교통량의 영향을 이격거리별 질소산화물 비율로 분석하였다. 측정지점과 도로와의 이격거리가 95 m로 가장 짧은 운암동은 질소산화물의 비율 즉, NO/(NO+NO₂)가 0.40~0.79(평균 0.57)로 최대치를 기록하였으며, 오전 7~9시에 0.75~0.79로 가장 높는데, 교통량 또한 4,717대/hr로 가장 많았다.²⁰⁾ 교통량 관측지점과의 이격거리는 340 m이나 대기오염측정소 바로 옆에 도로가 있어 차량의 영향을 직접 받을 수 있는 치평동 지점의 경우도 NO/(NO+NO₂)가 0.20~0.64(평균 0.40)이었다. 도시대기 측정지점으로 교통량 관측지점과는 650 m 떨어져 있지만 주변

Table 4. Correlation coefficient between traffic volume and air pollutants during 11th~16th Oct 2012

X	Traffic volume											
	NO				NO ₂				PM-10			
Y	0 hr	1 hr	2 hr	3 hr	0 hr	1 hr	2 hr	3 hr	0 hr	1 hr	2 hr	3 hr
Unam	0.211	0.178 ⁺	0.118	0.068	0.268**	0.325***	0.334***	0.336***	0.069	0.039	0.094	0.100
Chipyeong	0.356***	0.296**	0.181 ⁺	0.084	0.451***	0.533***	0.526***	0.479***	0.122	0.144	0.097	0.050
Nongsung	0.107	0.112	0.325***	0.447***	0.055	0.028	0.050	0.046	0.096	0.120	0.060	0.054

P-value : +< 0.1, *< 0.05, **< 0.01, ***< 0.001

Table 5. Correlation coefficient between traffic volume and air pollutants during 7th to 20th Oct 2012 containing mist, haze and rainy days

Nongsung	Traffic volume	PM-10	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃
Traffic volume	1.000					
PM-10	-0.084	1.000				
CO	0.068	0.932	1.000			
NO ₂	0.549	0.720	0.855	1.000		
SO ₂	0.181	0.840	0.791	0.737	1.000	
O ₃	-0.779	-0.346	-0.438	-0.774	-0.451	1.000
Duam	Traffic volume	PM-10	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃
Traffic volume	1.000					
PM-10	-0.120	1.000				
CO	-0.170	0.874	1.000			
NO ₂	0.237	0.663	0.658	1.000		
SO ₂	0.145	0.756	0.443	0.435	1.000	
O ₃	-0.347	-0.072	-0.263	-0.670	0.194	1.000
Unam	Traffic volume	PM-10	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃
Traffic volume	1.000					
PM-10	-0.061	1.000				
CO	0.340	0.800	1.000			
NO ₂	0.577	0.575	0.716	1.000		
SO ₂	0.368	0.662	0.789	0.756	1.000	
O ₃	-0.752	-0.240	-0.492	-0.793	-0.440	1.000
Chipyeong	Traffic volume	PM-10	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃
Traffic volume	1.000					
PM-10	-0.169	1.000				
CO	0.130	0.855	1.000			
NO ₂	0.423	0.635	0.889	1.000		
SO ₂	-0.212	0.745	0.683	0.512	1.000	
O ₃	-0.824	-0.250	-0.538	-0.753	-0.101	1.000

70 m 지점에 도로가 있으면서 600 m 지점의 백화점 이용차량의 영향이 예상되는 농성동 지점은 NO/(NO+NO₂)의 비율이 0.12~0.68(평균 0.35)로서 3번

째 수준이었으며, 주거지역인 서석동은 0.15~0.61(평균 0.29)으로 교통량의 영향이 낮았다.

Table 4는 연무와 박무 등이 없는 2012년 10월

Table 6. Correlation coefficient between traffic volume and air pollutants during 7th to 20th Oct 2012 except mist, haze and rainy days

Nongsung	Traffic volume	PM-10	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃
Traffic volume	1.000					
PM-10	0.471	1.000				
CO	0.574	0.905	1.000			
NO ₂	0.737	0.874	0.952	1.000		
SO ₂	0.294	0.841	0.645	0.603	1.000	
O ₃	-0.842	-0.652	-0.732	-0.882	-0.499	1.000
Unam	Traffic volume	PM-10	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃
Traffic volume	1.000					
PM-10	0.460	1.000				
CO	0.397	0.861	1.000			
NO ₂	0.559	0.952	0.705	1.000		
SO ₂	0.446	0.748	0.820	0.602	1.000	
O ₃	-0.396	-0.830	-0.519	-0.914	-0.446	1.000
Chipyong	Traffic volume	PM-10	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃
Traffic volume	1.000					
PM-10	0.618	1.000				
CO	0.330	0.845	1.000			
NO ₂	0.436	0.911	0.967	1.000		
SO ₂	0.172	0.596	0.589	0.638	1.000	
O ₃	-0.698	-0.796	-0.766	-0.856	-0.441	

11~16일까지 대기오염물질 (NO, NO₂, PM-10)과 교통량과의 상관성분석을 실시한 결과이고, 시간별 자료를 사용하였다. 도로변지역인 운암동과 치평동, 도시 대기지역이지만 도로의 영향을 받는 농성동 지점에서 차량이 통과한 후 경과시간에 따른 대기오염물질 농도변화와 교통량의 상관성에 대한 유의성 검정을 실시하여 확산의 영향을 고찰하였다. 도로변지역인 운암동에서 NO₂는 교통량과 동일한 시간대(0 hr)에 매우 낮은 상관성을 보이나 통계적으로 유의하였는데($p < 0.01$), 교통량과 1 hr 경과 후의 NO₂ 농도와 비교하면 상관성이 다소 증가하였다($p < 0.001$). 반대로 NO의 경우 교통량과 동일한 시간대에 상관성이 매우 낮지만($p < 0.05$), 1 hr 경과 후에는 더 낮아졌으며($p < 0.1$), 시간이 흐를수록 감소하였다. 교통량이 가장 많은 치평동에서 NO₂는 교통량과 동일한 시간대에 낮은 상관성을 보였는데($p < 0.001$), 1~2시간이 경과한 때에 NO₂ 농도와와의 상관성이 높아졌다($p < 0.001$). NO는 교통량과 동일한 시간대에 낮은

상관성이 있고($p < 0.001$), 시간이 경과한 후의 NO와 는 상관성이 더 낮아졌다($p < 0.05$). 도시대기 측정지 점인 농성동은 이격거리가 650 m로 멀어 동일 시간 대에 NO₂나 NO와 교통량과의 상관성이 거의 없었 다. PM-10은 경과시간과 상관없이 교통량과의 상관 성이 거의 없는 것으로 나타났다.

3) 기상조건에 따른 교통량과 대기오염물질의 상관성

2012년 10월 7일부터 20일까지의 교통량 자료에 대하여 연무와 박무를 포함한 경우와 이러한 기상조 건을 배제함으로써 교통량 자체의 보다 직접적인 영 향을 비교할 수 있도록 교통량과 대기질의 수준을 분석하였다. 이를 위하여 도로변 차량 통행량이 가 장 많은 3개 지점에서 교통량과 대기오염물질간의 상관성 분석을 수행하였다(Table 5).

조사기간 중 황사는 없었지만 박무 2회(10월 7일, 20일), 연무 3회(10월 10일, 14일, 20일) 등이 발생 하였다. 연무와 박무를 포함한 경우 농성동, 운암동,

치평동에서 NO₂와 교통량의 상관계수는 지점별로 각각 0.549, 0.577, 0.423이었다. O₃과 교통량의 상관계수는 지점별로 각각 -0.779, -0.752, -0.824로 높은 음의 상관성을 보였는데, 이것은 도로변에서 NO₂가 높아지면 O₃의 농도가 낮아지기 때문이다.^{17,20)} PM-10, CO, SO₂가 교통량과 상관성이 낮은 것은 조사기간 중 연무와 박무의 영향 때문인 것으로 판단된다.²⁷⁾ 농성동에서 PM-10과 CO, NO₂, SO₂의 상관계수는 각각 0.932, 0.720, 0.840으로 높은 양의 상관성을 보이고 있으나 O₃의 경우 -0.346으로 다소 낮은 음의 상관성을 나타내었다.

연무와 박무 등의 기상조건을 배제한 상태에서 농성동, 운암동, 치평동 측정지점에서 PM-10과 교통량의 상관계수는 각각 0.471, 0.460, 0.618이었으며, CO와 교통량의 상관계수도 각각 0.574, 0.397, 0.330으로 양의 상관성을 보였다. NO₂와 교통량의 상관계수는 각각 0.737, 0.559, 0.436로 운암동을 제외하고는 대체적으로 높아졌다.(Table 6)

IV. 고 찰

1. 차량에 의한 대기오염물질의 농도변화

광주지역 차량등록수는 증가하는데, 대기오염측정소에서 대기오염물질(NO₂, SO₂, CO, O₃)의 연평균 농도가 2002년부터 증가하다가 2006년 이후 감소하는 이유는 광주광역시에서 시행한 천연가스버스 보급확대, 배출가스저감장치 설치, 저공해 엔진개조 등의 자동차 배출가스 저감사업 추진 효과인 것으로 판단된다.¹⁴⁾ 도로변대기 측정지점에서는 자동차 배출가스에 의해 PM-10이나 NO₂ 농도가 증가하였으며, 도로변에서 떨어져 있는 도시대기 측정지점에서는 도로변에서 차량에 의해 발생한 질소산화물이나 탄화수소 성분이 자외선에 의한 광화학반응으로 O₃을 생성하고 바람의 영향으로 도시대기 쪽으로 이동하면서 O₃ 농도가 높아진 것으로 판단된다.²²⁾

PM-10은 자연배출원 뿐만 아니라 자동차 배출가스의 이동배출원, SO₂나 질소산화물에 의해 2차적으로 생성되기도 하며, 도시지역 내 자체오염원 이외에도 중국이나 몽골 지역에서 장거리 이동된 대기오염물질에 의한 영향을 받는 것으로 알려져 있다.²³⁾ 광주지역에서 2002~2011년 중 장거리 이동에 따른 PM-10 농도에 대한 오염물질의 기여도가 평상시에

는 20~30% 수준이나, 황사의 영향이 있을 때는 40~60% 수준에 이르는 것으로 조사된 바 있다.²³⁾ PM-10 연평균농도는 도시대기 7개소의 경우 38.1 µg/m³, 도로변대기 2개소의 경우 50.5 µg/m³으로 도로변대기/도시대기의 농도 비율이 132%이었다. 이것은 PM-10에 대한 자동차 등의 이동오염원에 의한 영향이 다소 높음을 의미한다. NO₂는 도로변대기 측정지점에서 평균값이 0.029 ppm으로 도시대기 측정지점의 0.021 ppm보다 38%가 높아 차량의 영향이 큰 것을 알 수 있다. 전국적으로 CO는 73% 이상이 자동차 등의 이동오염원에서 발생하고 있으나¹⁾ 과속에 의한 불완전 연소시 발생하므로 도심에서 연도별 농도변화는 매우 낮으며, 도로변대기 측정지점에서는 CO 평균이 0.9 ppm으로 도시대기 측정지점의 0.6 ppm보다 60%가 높은 것으로 나타나 자동차의 영향이 큰 것으로 사료된다. O₃의 경우, 도로변대기 지역에서 평균값은 0.017 ppm으로 도시대기 지역의 0.022 ppm보다 24%가 낮은 것으로 나타났는데, 이는 O₃ 생성에 영향을 주는 NO₂의 농도변화에 반비례하는 경향을 보여 주기 때문이다.⁸⁾ 그러나 고농도 O₃인 오존주의보 발령횟수가 2012년에 전국 78회 중에서 광주광역시의 경우 1건도 없었는데, 이는 O₃ 생성에 관여하는 전구물질이 오존주의보 발령횟수가 많은 수도권 지역(서울 6, 경기 16, 인천 6회)에 비해 고농도로 존재하지 않는다는 것은 의미한다.²⁴⁾

PM-10과 NO₂, SO₂등이 7~8월에 낮아지는 이유는 장마와 여름 몬순기후의 영향을 받은 것으로 보인다.³⁾ NO₂는 자동차 등의 에너지 소비량과 관련이 있으나, 일사량이 많은 여름철에는 NO₂의 광화학분해와 강우의 씻김 효과로 인해 농도가 낮아진다. 반대로 4~6월까지는 급격한 기온의 증가와 광산화반응으로 O₃ 발생량이 증가하지만, 기온이 낮아지는 동절기에는 O₃이 0.013 ppm까지 낮아졌다. SO₂도 NO₂와 유사한 경향을 보여 여름철에는 강우로 인해 농도가 낮아지고 겨울철에는 연료사용의 증가로 인해 높아졌다. 광주광역시 대기질의 NO₂와 CO의 월별변화는 경기도 도시지역이나 멕시코시와 유사한 경향을 보였다.^{25,26)} PM-10은 도로변대기와 도시대기 측정소에서 5월에 각각 70.5 µg/m³, 56.0 µg/m³으로 가장 높았는데, 이는 2010~2012년까지 광주광역시에서 봄철에 25회 발생한 황사의 영향으로 불

수 있다. 8월에는 각각 $23.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $22.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 1년 중 가장 낮았는데, 이는 강수량이 가장 많았기 때문이다.

2. 교통량과 대기오염물질의 상관성

교통량이 가장 많은 도로변대기 측정지점에서 대기오염물질의 농도가 대체적으로 높았고, 도시대기 측정지점의 경우 교통량이 많은 지점에서 농도가 높았는데 이는 자동차 배출가스가 주변 대기질에 영향을 주었기 때문으로 사료된다.¹²⁾ 도로변 지역 측정지점인 운암동은 광주광역시의 관문이면서 차량통행이 많은 대표적인 지역으로 평일 오전 7~9 시와 오후 5~8시는 출·퇴근 및 외부 유·출입 차량이 많아 증가하고, 주말에는 시간대별로 차량이 분산되어 영향을 주는 것으로 판단된다. 운암동이 치평동보다 가스상 물질의 농도가 높은 이유는 도로변에서 가깝고 풍속이 낮아 대기 중으로 확산속도가 느리므로 대기오염물질의 농도에 직접 영향을 주었을 것으로 판단된다. 대기 중의 질소산화물은 연소과정에서 90~95%가 NO로 배출되고, 산화되어 NO₂를 생성한다.²¹⁾ 따라서 도로변에서는 차량의 영향으로 대체적으로 질소산화물(NO+NO₂) 중의 NO 농도가 높다. 교통량 측정지점과 측정소 간의 이격거리가 200 m 이상이면 확산으로 인해 대기오염물질의 농도가 낮아진다고 하였는데, 운암동과 치평동은 도로변대기 측정소로 도로변 200 m 이내에 위치해 있어 질소산화물 중 NO 농도 비율이 높게 나타났다.^{11,21)}

자동차에서 배출된 오염원 중 NO₂, NO는 자동차 통과 후 경과된 시간에 따라 농도가 변하는데, 초기에는 두 물질이 함께 배출되지만 시간이 지나면 NO는 광산화 반응에 의해 NO₂ 농도가 증가하므로, 초기에는 교통량과 NO의 상관성이 높고, 1~2시간이 경과한 후에는 교통량과 NO₂의 상관성이 높아진 것을 회귀분석 결과를 통해서 확인할 수 있었다. 그러나 시간별 대기오염물질 농도에 영향을 주는 인자가 풍향, 풍속, 습도나 기압 등의 여러 요인이 작용하므로 복합적인 분석이 필요하다. 그래서 문헌에 의하면 자동차로 인한 PM-10농도에 미치는 영향이 있음에도, 기상이나 다른 요인의 영향을 많이 받기에 시간별 자료인 교통량이 PM-10농도와 상관성이 없는 것처럼 나타난 것이다.

3. 기상조건에 따른 교통량과 대기오염물질의 상관성

도시지역 대기질 농도에 영향을 주는 인자로 풍향, 풍속이나 황사뿐만 아니라 연무, 박무 등이 있는데, 이를 고려한 교통량의 대기질에 대한 영향을 조사하였다. 황사는 중국이나 몽골지역에서 3~5월 중에 한반도에 영향을 주어 미세먼지의 경우 40~60% 정도 기여한 것으로 밝혀지고 있으며, 스모그는 중국의 동북부에서 겨울철에 영향을 주는데,²³⁾ 황사, 스모그와 강우의 영향이 가장 없는 시기임에도 박무와 연무가 있으면 교통량과 상관없이 대기오염물질을 증가시키므로²⁷⁾ 교통량과 대기오염물질의 상관성 분석에 영향을 주게 된다. 따라서 박무와 연무가 있는 날의 자료를 모두 포함한 경우 보다는 박무와 연무가 없는 날만을 비교한 경우에 대기오염물질에 대한 교통량의 상관성이 더 높음을 알 수 있었다. 따라서 정체 등으로 확산이 잘 되지 않아 생기는 연무나 박무가 발생하지 않도록 바람길을 만든다거나 자동차로 인한 오염원을 줄이기 위해 자동차 배출가스 감축정책을 지속적으로 추진해야 한다. 또한 도시대기 측정소의 측정지점 선정에 관한 사전 조사시 도로변과의 이격거리나 질소산화물의 농도 비율을 미리 조사하여 대표성 있는 지점을 선정하도록 정책적인 반영이 필요하다고 본다.

V. 결 론

본 연구에서는 광주광역시 도로변지역과 일반 도시지역의 대기오염측정소에서 얻어진 대기오염물질의 농도자료에 대한 추이분석과 함께 대기질에 미치는 교통량의 영향을 파악하기 위하여 상관분석을 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 일반 도시지역보다는 도로변지역의 대기질이 교통량의 영향을 많이 받았으며, 대표적인 2차대기오염물질인 O₃을 제외한 PM-10, NO₂, SO₂, CO농도의 경우 도로변지역이 일반 도시대기에서 보다 높게 나타났다.

2. 도로변지역(운암동)에서 2005년부터 2012년 중 1월($p < 0.001$)과 4월($p < 0.01$)의 오존 농도는 NO₂, SO₂, CO와 음의 상관성을 보였고, 차량의 영향을 많이 받는 가스상 물질인 NO₂와 CO는 1월, 4월, 7월, 10월 모두 양의 상관성을 보였다($p < 0.05$).

3. 2012년 10월 7~20일 기간 중 교통량은 도로변

지역이 도시대기 지역보다 2배 이상 높았다. 박무와 연무 등이 있는 날을 제외한 경우, 도로변과 이격거리가 95 m인 운암동에서 질소산화물 NO/(NO+NO₂)의 비율이 평균 0.57로 가장 높았고, 도로변인 치평동 지점도 평균 0.40로 높아 교통량의 영향을 많이 받았다.

4. 도로변대기 측정지점에서 시간별 자료의 경우 NO₂는 교통량과 동일한 시간대 보다는 1~2 hr 경과 시 상관성이 증가하였으며, NO는 교통량과 동일한 시간대에 상관성이 높고 시간이 경과한 후에는 낮아졌다. 도시대기(농성동)에서는 NO₂나 NO 모두 교통량과 상관성이 없었는데 도로변과의 이격거리와 기상 등의 요인이 영향을 준 것으로 판단된다.

5. 연무와 박무의 기상조건을 포함한 경우 교통량이 많은 도로변대기 측정지점 2개소와 도시대기 측정지점 1개소에서 교통량은 NO₂와 양의 상관성을, 그리고 O₃과는 음의 상관성을 나타내었다. PM-10, CO, SO₂는 교통량과의 상관성이 낮았는데, 연무와 박무가 대기질 농도에 영향을 주었기 때문이다. 반면에 연무와 박무의 영향을 배제한 경우, 3지점에서 PM-10과 교통량의 상관성이 높아졌고, CO나 NO₂의 경우도 교통량과 상관성이 높아졌다. 자동차의 통행량이 도시대기질에 영향을 준다는 본 연구결과의 경우 향후 대기측정소 선정이나 대기보전대책 수립에 큰 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 환경부 “환경분야 시험검사의 국제적 적합성 기반구축” 사업과 광주녹색환경지원센터의 지원으로 완성되었기에 감사 드립니다.

References

1. Ministry of Environment. 2012 Environment White Paper. 2012; 203-222.
2. Gwangju. 2013 City Policy White Paper. 2013; 643-662.
3. Health and Environment Research Institute of Gwangju. 2012 Report for Estimation of Air Quality in Gwangju. 2013; 13-82.
4. Sun WY. The Study on the Influence of Vehicular Air Pollution at Traffic Volume Crowded Area. *Natural Institute of Environmental Research*. 2012; 61-115.
5. Kwon SI, Park YH, Kim JS, et al. The Study on Estimation Characteristics of Diesel Vehicle on Various Driving Condition. *Natural Institute of Environmental Research*. 2012; 10-28.
6. Bae GN, Lee SB. Contamination Level of Vehicle-Related Air Pollutants at a Roadside in the Downtown Area of Seoul. *2009 KSAE Part Total Conference*. 2009; 340-345.
7. Jo WG, Choi SR. Characteristics of Air Pollutant Concentrations Near Major Roadways in Daegu. *J. Environ. Sci.* 2006; 15(8): 737-744.
8. Kwon OY, An YS. Temporal and Spatial Distributions of PM10, NO_x and O₃ around the Road. *J. Korean Society Atmos. Environ.* 2006; 22(4): 440-450.
9. Kim MG. Reduction of Air Pollution by Traffic Regulation Policies, Busan Development Institute. 2002; 25-31.
10. Cho WG, Choi SL. Characteristics of Concentration of Air Pollutants at Main Roadside in Daegu. *J. Korean Environ. Sci.* 2006; 15(8): 737-744.
11. Kwon TK, Kim HC. Distribution of NO_x and CO among the Ambient Air by Traffic Volume Characteristics and Distance from Roadside. *J. Korean Sanitation*. 1997; 12(3): 41-49.
12. Lee SB, Bae GN. Characteristics of Air Pollution at a Junction Area Contaminated with Vehicle Emissions. *Transactions of KSAE*. 2010; 18(4): 48-53.
13. Jeong, WS. A Study on Air Quality Characteristics in Gwangju, Chosun University Doctor Degree Thesis. 2011; 57-124.
14. Bureau of Environment and Ecology in Gwangju. Business Report for Atmospheric Policy Improvement. 2013; 5-111.
15. Ministry of Environment. Instruction of Installation and Operation on Air Pollution Monitoring Network . 2011; 13-358.
16. Ministry of Environment. Test Standards of Air Pollution. 2012; ES 01351.~ES 01355.1.
17. Cheong JP, You SJ. Estimation on the Contribution of VOCs and Nitric Oxides in Creating Photochemical Oxone. *J. Korean Society of Environmental Engineers*. 2010; 32(2): 209-218.
18. Yu SS. Research of Air Quality Improvement in Seoul through Temporal and Spatial Variation Analysis. Konkuk University Doctor Degree Thesis. 2008; 22-171.
19. Kim HG. A Study on Characteristics of the Air Pollutants Emissions by using Biodiesel and DPF. Inha

- University Master Degree Thesis. 2008; 21-30.
20. Kil HG, Kim HG, Kim GS, et al. Estimation of the Contribution of Nitric Oxides and VOCs in Creating Photochemical Ozone. *J. Health and Environment Research Institute of Seoul*. 2003; 39: 333-340.
 21. GO JH, Choi YJ, Lee SH, Lee TG. Exploration of the Relationship between Traffic Volume and Air Quality Using Existing Monitoring Data. *Korean Society of Transportation*. 2009; 27(5): 29-37.
 22. Kang MH, Lee SY, A MJ, Kim DR, et al. Variation of NO₂, O₃, and Particulate Matter in Seoul Area. *J. Health and Environment Research Institute of Seoul*. 2006; 42: 381-386.
 23. Song CH. The Contributions of Long Range Transported aerosol in Gwangju on Air Pollution by comparing/analyzing Satellite-derived aerosol optical Thickness and Air Station Data. Gwangju Green Environment Center. 2013; 32-60.
 24. National Institute of Environmental Research. Annual Report of Air Quality in Korea 2012. 2013; 122-123.
 25. Health and Environment Research Institute of Gyeonggido. 2012 Report for Estimation of Air Quality in Gwangju. 2013; 31-113.
 26. S. Stephens, S. Madronich, F. Wu, J.B. Olson, R. Ramos, A. Retama, and R. Munoz. Weekly patterns of Mexico City on Surface concentrations of CO, NO_x, PM₁₀ and O₃ during 1986 to 2007. *Atmos. Chem. Phys.* 2008; 8: 5313-5325.
 27. Cho HY, Kim CH. Air Quality Characteristics related to Long-range Transport of Haze in Seoul and Busan of Korea. *J. Korean society for Atmospheric Environment*. 2011; 27(1) : 73-86.