

■ 論 文 ■

기존 교통량/대기질 모니터링 시스템 구축 자료를 활용한 상관성 분석

Exploration of the Relationship between Traffic Volume and Air Quality Using
Existing Monitoring Data

고 준 호

(서울시정개발연구원 부연구위원)

최 유 진

(서울시정개발연구원 부연구위원)

이 세 희

(서울시정개발연구원 연구원)

이 태 경

(한양대 도시대학원 박사과정)

— 목 차 —

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> I. 서론 II. 자료 및 대기오염 물질 특성 <ul style="list-style-type: none"> 1. 교통 모니터링 자료 2. 대기질 모니터링 자료 3. 대기오염 물질 특성 III. 교통량-대기질 상관성 분석 <ul style="list-style-type: none"> 1. 조사지점 선정 2. 분석 방법 | <ul style="list-style-type: none"> IV. 분석 결과 <ul style="list-style-type: none"> 1. 전체 데이터 활용한 상관성 분석 2. 교통량과 대기오염물질의 시간대별 3년 평균값 적용한 상관성 분석 3. 도로변대기측정망 vs. 도시대기측정망 상관성 분석 V. 결론 및 향후 연구과제 참고문헌 |
|---|--|

Key Words : 교통량, 대기질, 모니터링, 교통관리, 상관성분석
Traffic Volume, Air Quality, Monitoring, Transportation Management, Correlation

— 요 약 —

대기환경의 중요성에 대한 인식이 커지면서, 교통관리 전략 수립에 대기질 개선여부를 반영시키고자 하는 많은 노력이 진행되고 있다. 그러나, 자료수집의 어려움 등으로 인해서 교통량과 대기질의 관계를 실증적으로 파악하고자 하는 연구는 많이 찾아볼 수 없는 상황이다. 이에, 본 연구에서는 서울시에서 구축해온 2005년~2007년 3년간의 대기 및 교통 모니터링 자료들을 활용하여 그 상관성을 살펴보았다. 이를 위해 두 모니터링 시스템간의 이격거리가 반경 1km이내의 지점만을 선별하고 그룹화하여 분석을 실시하였다. 분석대상 오염물질로는 CO, NO, NO₂, PM₁₀을 그 대상으로 하였으며, 분석결과 현재 구축된 두 자료의 상관성이 전반적으로 낮은 것으로 나타났다. 그러나, 타 오염물질에 비해 NO₂는 상대적으로 교통량과 높은 상관관계를 보였으며, 오전시간대, 강수 다음날의 자료를 사용한 경우 그 상관성이 높아지는 것을 확인하였다.

As the level of the ambient air quality becomes increasingly important, transportation management strategies tend to incorporate air quality standards into their measure of effectiveness. However, previous research efforts did not pay much attention to the empirical relationships between traffic volume and air quality, potentially due to the lack of data. With this background, this study investigates the relationship using Seoul's existing traffic and air quality monitoring data collected over the period of three years, from 2005 through 2007. In particular, those paired monitoring sites with a distance of less than one kilometer apart were utilized, targeting the emissions of CO, NO, NO₂, and PM₁₀. As a result, in general the data of two monitoring systems exhibited lower correlations, NO₂ showing a relatively higher correlation with traffic volumes than other emissions. In addition, it was found that the degree of correlation can be higher for the data obtained over the morning time period, 6am-9am, and the day after rainy days.

본 논문은 "교통-대기질 연계데이터 구축 및 관리 활용방안 연구"(서울시정개발연구원, 2008)의 내용 중 일부를 발췌, 정리해서 작성된 논문임.

I. 서론

서울의 대기환경은 OECD 국가의 주요도시와 비교할 때 열악한 수준이다. 특히, 미세먼지와 이산화질소의 경우 세계주요도시에 비해 1.2배~3.5배정도 높은 수준으로 보고된바 있다. 대도시 대기환경에 영향을 미치는 주요한 요인이 자동차라는 것은 지속적으로 지적되고 있는 사항이며, 서울의 경우에도 자동차가 대기질 악화의 주요원인으로 분석되고 있다.

이러한 상황을 감안하여 최근에는 대기질을 고려하여 교통운영 관리전략을 수립하고자 하는 노력들이 많이 진행되고 있는데, 이를 위해서는 교통상황과 대기질간의 연관성을 적절하게 이해할 필요가 있을 것이다 (Costabile & Allegrini, 2008). 특히, 다양한 인자에 의해 영향을 받을 수 있는 실제 도로상에서 수집되고 있는 교통-대기질 자료간의 연관성을 이해하는 것이 현실적인 교통운영 관리전략 수립의 첫걸음이 될 수 있을 것이나 관련 연구를 찾아보기는 매우 힘들다(권우택, 1997; 권우택, 2005; 박성규, 2001; 홍민선, 1993). 따라서, 교통-대기질간의 상관성을 실증적으로 파악해보는 시도는 매우 의미 있으며 시급한 일이다.

본 연구에서는 서울시에서 이미 구축되어 수집되고 있는 대기 및 교통 모니터링 자료들을 활용하여 그 상관성을 살펴보고자 한다. 이를 위해 2005년~2007년 3년간의 교통 및 대기측정 자료를 이용하였으며, 교통관련 변수로는 교통량을 사용하였다. 또한, 대기오염물질로는 이동오염원과 연관성이 있는 것으로 알려져 있는 CO, NO, NO₂, PM₁₀을 선정하여 비교·분석하였다.

II. 자료 및 대기오염물질 특성

1. 교통 모니터링 자료

본 연구에서는 대기질 모니터링 자료와 연계 분석이 가장 효과적으로 이뤄질 수 있는 교통모니터링 자료로서, 서울지방경찰청 정기교통량 조사 자료를 활용하였다. 이 자료는 서울시 전역에 걸쳐 118개 지점에서 검지기통해 얻어지는 지점교통량, 속도, 점유율 등의 교통특성을 포함하고 있다. 관측 지점군은 4개의 유형으로 구분되며, 이는 사대문 중심의 도심지를 진출입하는 지점에 설치한 도심, 한강교량의 통과교통 측정을 위한 교

량, 서울시와 경기도간의 시경계 지점의 진출입 지점에 설치한 시계, 기타 서울시내의 주요가로와 터널 등에 설치한 간선지점군이다.

2. 대기질 모니터링 자료

우리나라의 대기질 측정망은 설치목적에 따라 대기환경 기준물질을 측정하는 일반 대기오염 측정망과 대기환경 기준물질 이외의 물질을 측정하는 특수 대기오염측정망으로 구분된다(환경부 2005; 환경부 2006).

본 연구에서는 서울시내에서 상시적으로 기준성 대기오염물질의 농도를 자동 모니터링하는 도시 대기측정망과 도로변 측정망을 중점적으로 활용하고자 한다. 서울의 경우 도시대기 자동측정망은 TM 좌표법에 의거 가로, 세로 약 5km 간격으로 서울시 전역에 걸쳐 27개 지점에 설치되어 있으며, 대도시의 주요 대기오염물질 배출원인 이동오염원(차량)이 직접적으로 측정에 영향을 미치지 않도록 주요도로로부터 어느 정도의 거리를 유지한 지점에 대부분 위치하고 있다. 일반적으로 동사무소와 관공서의 옥상에 설치되어 있으며, 지역별로는 주거지역에 21개소, 준공업지역 3개소, 녹지지역에 1개소, 상업지역에 2개소가 설치되어 있다(환경부, 2005; 서울시 2006).

도로변 측정소는 자동차로부터 배출되는 오염물질이 일반 대기질에 미치는 영향을 파악하고, 교통공해 방지 대책의 시행효과 분석을 목적으로 설치되었다. 서울시에서는 교통량이 많은 시내 주요지점 7개소에 도로변 측정망을 설치하여 운영하고 있다.

도로변 측정소는 자동차에 의한 배출량 즉 배출특성을 관찰하기 위해서는 자동차 통행량 산출이 용이하도록 교차로로부터 25m를 이격하여 위치해야하나 (환경부 2006; 환경관리공단 2004), 국내 도로변 측정소의 대부분은 설치부지의 확보가 쉬운 교차로에 설치되어 있다. 이로 인해 측정된 배출량은 교차로 전체의 교통운영 특성을 반영하므로, 교통량과 대기질 수준을 직접적으로 연계시키는데 한계가 있을 것으로 예상될 수 있다.

3. 대기오염 물질 특성

1) 일산화탄소 (CO)

CO는 연료와 바이오매스 연소 산화과정의 중간 생성

물로, 대도시 지역에서는 차량운행과 같은 이동오염원에 의한 배출이 전체 CO 배출량의 상당 부분을 차지한다 (대기환경연구회, 2003). 국립환경과학원에서 실시한 2003년도 배출량 산정자료에 따르면, 서울시 CO 배출량의 73%가 도로이동오염원으로부터 배출되는 것으로 추정되고 있다.

2) 산화질소 (NOx)

NO₂는 NO의 광화학적 산화에 의해 주로 생성되며, NO는 화석연료의 연소에 의해 배출된다. 일반적으로 도시지역에서 NO의 농도는 오전시간대 (오전 6~9시)에 최고값을 갖고, 이후 산화에 의해 빠르게 희석되어 NO₂가 되는 것으로 알려져 있다(테드 고디쉬, 2005). 2003년 배출량 자료에 따르면, 서울시 NO_x (NO와 NO₂를 통칭) 배출량의 61% 정도가 이동오염원으로부터 배출된 것으로 산정되었다.

3) 미세먼지 (PM₁₀)

PM₁₀ (공기역학적 직경이 10 μ m 이하인 먼지입자)은 가스상 물질에 비해 더욱 다양한 배출, 생성 메커니즘으로부터 발생된다. 직접적으로 화석연료 및 바이오매스의 연소과정에서 배출되거나, 도로변, 나대지, 건설현장의 먼지가 재비산되어 발생되기도 하며, SO_x, NO_x, VOC 등 가스상 물질들이 다양한 화학적 반응 및 물리적 과정을 거쳐 생성되기도 한다. 연소과정이나 가스상 물질들의 1차 변형에 의해 생성된 미세먼지 (2차 생성 미세먼지)는 대부분이 PM_{2.5} (공기역학적 직경이 2.5 μ m 이하인 먼지입자)에 속하며, 도로변, 나대지, 건설현장의 재비산먼지는 입자의 크기가 2.5 μ m보다 큰 조대입자에 속한다. 조대입자는 입경이 크고 1차 배출의 비중이 크기 때문에 국지 변화가 크며, PM_{2.5}는 입경이 작고 2차 생성의 비중이 커 반응에 필요한 시간 때문에 광역 규모의 공간적 변화 특성을 보인다(서울시, 2007). 또한, PM_{2.5}는 다양한 유해성분을 포함하여 조대입자보다 더욱 인체에 유해한 것으로 연구되고 있다.

2003년 PM₁₀ 배출량 자료에서는 직접배출원(2차 생성 미세먼지 제외) 중 비산먼지를 제외했을 경우 서울시 PM₁₀의 73%정도가 이동오염원에서 배출되는 것으로 나타났다. 하지만, 2차적으로 발생하는 미세먼지와 비산먼지가 추가되었을 경우 이동오염원의 직접배출에 의한 기여율은 크게 달라질 수 있다. 참고로, 비산먼지 배출량

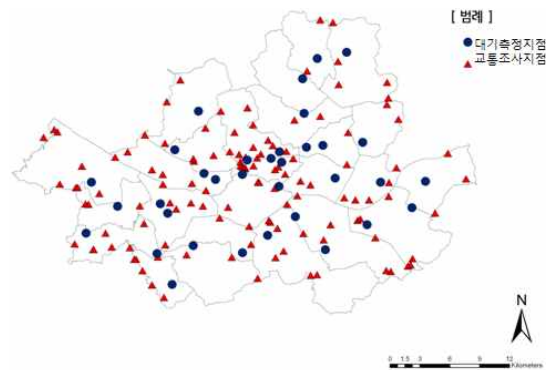
이 연소/생산공정에 의한 배출량의 5~10배로 추정되고 있어(환경부, 2007), 비산먼지가 포함될 경우 이동오염원 연소배출에 의한 PM₁₀ 배출 비중은 70% 정도가 아닌 20% 정도로 낮아 질 수도 있다.

III. 교통량-대기질 상관성 분석

1. 조사지점 선정

차량운행과 같은 이동오염원의 오염물질 배출변화가 대기질에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 차량운행이 유일한 직접 오염물질 배출원이며 다른 오염물질 배출원이 인접하지 않은 지점에서 대기와 교통관련 다양한 인자들의 관측을 동시에 실시하는 것이 가장 바람직하다. 하지만, 기존의 교통-대기질 모니터링 체계는 각각의 다른 목적을 가지고 구축되어 두 측정소가 동시에 같은 장소에서 운영되는 지점은 전무하다.

기존 교통-대기질 모니터링 시스템의 연계 가능성을 검토하기 위해, 34개의 대기측정소(도시 대기측정소 27개소, 도로변 측정소 7개소)와 118개의 교통조사지점간의 이격거리를 계산하였으며, 이 중 대기측정소를 기준으로 반경 1km내에 교통측정지점이 운영되고 있는 측정지점만을 선별하였다. 이러한 1km라는 거리기준은 분석결과에 영향을 미칠 수도 있을 것이나, 도시부에서의 풍향, 고층건물의 영향을 감안한다면 단순히 거리만을 갖고 결과를 해석하는데는 한계가 있다. 또한, 본 연구의 목적이 교통량, 대기질간의 상관성을 살펴보는데 있음을 감안하면 이러한 자료 선정방식은 큰 무리가 없을 것으로 판단하였다. 측정지점간의 거리 및 도시내 다양한 인자에 의한 교통과 대기질간의 연계성 파악은 후



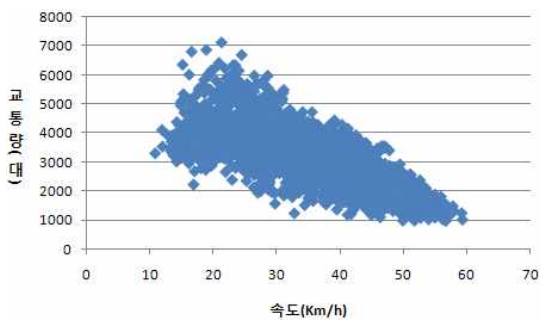
<그림 1> 서울시 교통-대기질 측정지점 위치도

<표 1> 선별된 대기-교통 측정지점 그룹

대기측정지점		교통조사지점	대기-교통 지점 이격거리(km)	
구분	측정소명	측정지점명		
도시 대기 측정망	서소문동	시청역	0.34	
		서소문	0.56	
		소파길	0.75	
		서울역	0.77	
		칠패길	0.77	
		퇴계로입구	0.79	
		을지로3가	0.81	
		정동MBC앞	0.85	
	효제동	소월길	0.90	
		동대문	0.55	
	효제동	혜화전화국	0.82	
		당산동	여의2교	0.79
	사당동	낙성대역	0.95	
	도곡동	매봉터널	0.98	
	잠실동	종합운동장	0.79	
		종합운동장	0.87	
	변동	창동전화국	0.86	
한남동	남산1호터널	0.39		
구의동	친호대교	0.67		
구로동	시흥IC	0.35		
도로변 대기 측정망	청계천	종로3가	0.91	
	영등포	서울교남단	0.80	
		서울역	소월길	0.58
			퇴계로입구	0.70
			서울역	0.78
	칠패길	0.88		
	동대문	장충체육관	0.51	
		장충단길	0.88	
		성동여상	1.00	

속연구에서 구체적으로 다루어질 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 14개의 대기측정지점과 이 영향권에 포함되는 것으로 가정(반경 1km 내)된 29개소의 교통조사 지점들을 <표 1>과 같이 그룹화하여 분석을 실시하였다.



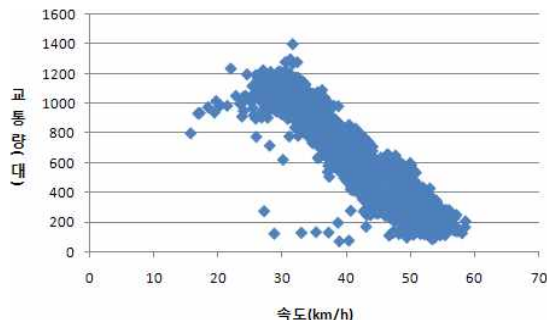
2. 분석방법

각 대기-교통 지점 그룹별로 1시간 단위로 집계된 자료를 활용하여 조사대상 대기오염물질과 교통량과의 상관관계를 조사하였고(특수한 현장 상황에 의한 이상치의 제거를 목적으로 비교적 많은 자료를 사용하는 것이 유리할 것으로 판단하여 3년간의 자료를 이용하여 분석), 교통량과 각각의 대기오염물질을 매 시간대별로 평균한 값을 적용하여 시계열 도표(24시간)를 작성하고 시간대별 변화 또한 비교 분석하였다.

대기오염물질 배출량에 영향을 줄 수 있는 변수로는 교통량 이외에도 속도가 있으나, 교통량과 속도는 일반적으로 상관관계가 높다는 점과 교통량이 좀 더 직접적으로 배출량에 영향을 주기 때문에 본 연구에서는 교통량과 대기오염물질 배출량과의 관계만을 살펴보았다. 실제로, 성동여상 및 칠패길에서 관측된 교통량과 속도와 상관계수는 각각 -0.73, -0.94로 높은 음의 상관성을 보여주고 있다.<그림 2> 참고)

한편, 교통정체시 검지기로 측정되는 교통량은 적은 반면, 실제적으로 오염물질은 지속적으로 배출될 수 있음을 고려하여, 속도 20km/h (자료수집 지점별 1시간 평균 속도) 이하의 정체상황하의 자료를 제외한 분석을 시도하였다. 속도 20km/h라는 기준은 <그림 2>와 같은 교통량과 속도와의 관계를 토대로 설정되었는데, 관측지점의 특성에 따라 다르긴 하나 20km/h 이하에서는 거의 정체상황인 것으로 판단하였다. 다시 말해, 속도 20km/h 이하의 자료는 속도와 교통량이 선형관계를 벗어나는 범위, 즉 도로의 용량상태를 넘어서는 상황으로 간주하였다.

대기 중 관측되는 오염물질의 농도는 주변 배출원으로부터의 직접배출 뿐만 아니라 오염물질의 장거리 이



<그림 2> 교통모니터링 자료의 교통량-속도 관계
(좌 : 성동여상 지점, 우 : 칠패길 지점)

동, 광화학반응 등에 의한 2차적 생성으로부터도 영향을 받는다. 도시지역에서 하루 24시간 중 오전 6시~9시는 자동차가 주요한 대기오염물질 배출원으로 여타 오염원의 배출도 적고 광화학반응에 의한 2차생성도 미비하며, 혼합고도의 발달이 진행되기 시작하는 시점으로 장거리 이동오염물질의 영향도 상대적으로 적게 관찰되는 시간대이다. 따라서, 24시간 모든 시간별 자료를 이용한 분석뿐만 아니라, 오전 6시~9시 사이의 자료만을 이용한 분석도 실시하였다.

별도로, 가장 상관성이 높게 나타난 지점에 대해, 강우에 의한 오염물질의 제거로 외부 영향이 적을 것으로 판단되는 강우발생 다음날의 자료만을 추출하여 위와 동일한 상관분석을 실시하였다.

IV. 분석결과

1. 전체 데이터 활용한 상관성 분석

3년 전체의 개별 시간대별 자료를 이용하거나, 오전 6시~9시 사이의 자료만을 이용하였고, 오전 6시~9시 자료에서도 1시간 평균속도가 20km/h 이상일 경우의 자료들을 이용한 분석을 시도하였다. 또한, 교통량과 NO, NO₂의 상관성이 가장 높게 나타난 지점인 동대문(도로변)-성동여상을 대상으로, 관측되는 대기오염농도의 변화에 영향을 미치는 외부요인을 더욱 최소화하여 교통량과 대기오염도와의 상관성을 찾고자, 2007년 중 강우발생 다음날의 자료만을 추출하여 위와 동일한 상관 분석을 실시하였다.

1) 대기오염물질과 교통량과의 상관관계

선정된 29개 대기-교통 측정지점 그룹에 대한 각 대기오염물질과 교통량과의 상관관계 분석 후 NO, NO₂와 교통량과의 상관계수가 0.3이상으로(오전6시~9시 경우) 일관되게 관찰된 서소문동~칠패길, 동대문~장충체육관, 동대문~장충단길, 동대문~성동여상 지점에 대해 보다 자세하게 결과를 분석하였다.

전체 데이터를 이용한 교통량과 오염물질간의 상관관계를 분석한 결과, 대체적으로 상관계수 값이 NO₂가 가장 크고, 그 다음 NO가 큰 것으로 관찰되었다. 그 외의 오염물질들은 상관계수 값이 작아 상관성을 찾기가 어려웠다.

속도 20km/h 이하 데이터를 제외하고 분석한 결과,

<표 2> 2005년~2007년 평균 상관계수

오염물질	전체		비혼잡교통상황		비혼잡교통상황 +6~9시 사이		
	r	표본수	r	표본수	r	표본수	
1	NO	-0.09	14382	0.11	10503	0.36	1794
	NO ₂	0.04	14382	0.24	10503	0.34	1794
	CO	-0.16	14151	0.13	10395	0.31	1776
	PM ₁₀	-0.04	14401	0.05	10522	0.01	1797
2	NO	0.23	23877	0.24	23833	0.37	3988
	NO ₂	0.33	23881	0.34	23837	0.31	3922
	CO	0.15	23931	0.16	23837	0.17	4000
	PM ₁₀	0.09	23395	0.09	23351	0.10	3922
3	NO	0.22	21665	0.22	21623	0.38	3613
	NO ₂	0.33	21672	0.33	21630	0.31	3617
	CO	0.11	21701	0.11	21659	0.13	3621
	PM ₁₀	0.06	21180	0.06	21139	0.07	3546
4	NO	0.06	19664	0.26	14958	0.37	2647
	NO ₂	0.26	19668	0.38	14955	0.37	2647
	CO	-0.001	19673	0.18	14962	0.21	2642
	PM ₁₀	0.05	19461	0.12	14921	0.13	2640

주 : 측정지점(1=서소문동~칠패길, 2=동대문~장충체육관, 3=동대문~장충단길, 4=동대문~성동여상)
비혼잡교통상황=속도 20km/h 제외 분석

속도가 낮은 정체시 교통량과 오염물질간의 상관관계가 떨어지기 때문에 제외되는 데이터가 많은 경우인 정체가 심한 지역은 정체시 데이터를 제외하지 않았을 경우보다 상관성이 크게 커지는 것을 볼 수 있었다. 하지만 제외되는 데이터가 많지 않은 경우인 정체가 심하지 않은 지역은 교통량과 오염물질간의 상관성이 크게 커지지 않았다.

오전 6시~9시 시간대의 데이터를 가지고 분석한 결과, 대체적으로 NO, CO, PM₁₀은 상관계수 값이 증가하는 반면, NO₂는 다소 감소하는 경향을 보였다. 하지만 오전 6시~9시의 표본수가 적어 NO₂의 상관계수가 다소 감소하긴 하지만 거의 차이가 없다고 판단된다. 따라서 전반적으로 전체시간대 중 오전 6시~9시 사이가 교통량과 오염물질간의 상관성이 크다는 것을 알 수 있었다.

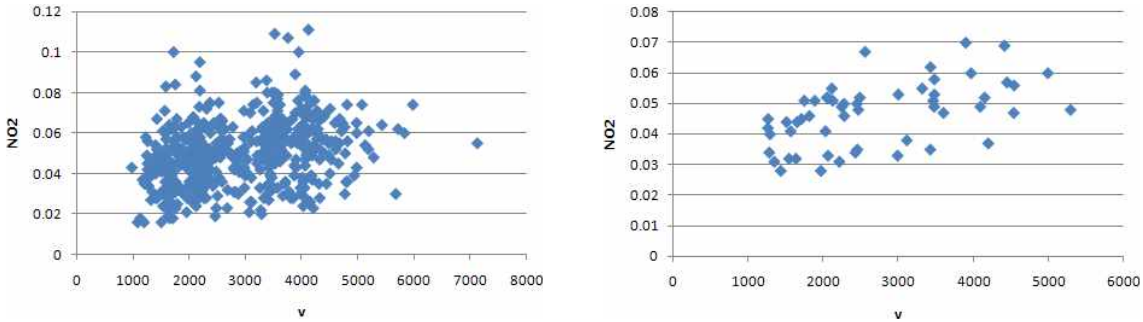
2) 강우발생 다음날 대기오염물질과 교통량과의 상관관계

2007년 중 강우발생 다음날의 자료를 이용한 교통량과 오염물질간의 상관관계를 분석한 결과, 날씨를 고려하지 않은 데이터를 가지고 분석한 경우에 비해 전체적으로 상관계수 값이 커지는 것을 볼 수 있었다. 그 예로,

<표 3> 2007년도 비온 다음날의 상관관계수 (동대문, 성동여상)

오염물질	전체				비혼잡교통상황				6~9시 사이			
	날씨 고려 ×		강우 다음날		날씨 고려 ×		강우 다음날		날씨 고려 ×		강우 다음날	
	r	표본수	r	표본수	r	표본수	r	표본수	r	표본수	r	표본수
NO	-0.03	4559	0.18	474	0.26	2863	0.32	288	0.33	530	0.34	54
NO ₂	0.30	4559	0.59	474	0.27	2863	0.47	288	0.30	530	0.51	54
CO	-0.06	4542	0.12	474	0.07	2850	0.06	288	0.08	521	-0.03	54
PM ₁₀	-0.02	4379	0.03	437	0.001	2829	-0.14	274	-0.05	522	-0.23	54

비혼잡교통상황=속도 20km/h 제외 분석



<그림 3> 06~09시 날씨 고려 전후의 교통량-NO₂ 농도와의 관계
(좌 : 강우일 고려안함, n=530, 우 : 강우다음날 자료, n=54)

NO₂의 상관관계수 값은 0.30에서 0.59로 증가하였다.

속도 20km/h 이하의 데이터를 제외한 경우와 오전 6시~9시 시간대의 데이터를 가지고 분석한 결과, 날씨를 고려하지 않은 데이터를 가지고 분석한 경우에 비해 상관관계수 값이 NO와 NO₂는 커지는 반면 CO와 PM₁₀은 작아지는 것을 볼 수 있었다(<표 3> 및 <그림 3> 참고).

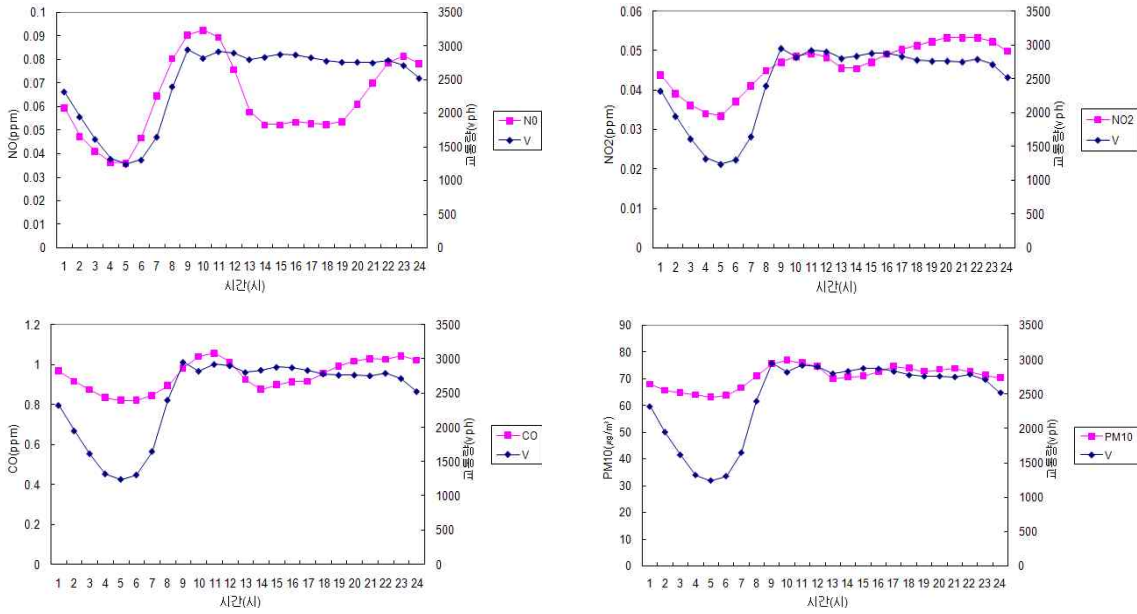
또한, 기상변수 중 강우를 고려한 경우에도 NO와 NO₂는 교통량과의 상관성을 보여주는 반면, CO와 PM₁₀은 여전히 교통량과의 상관성을 기존의 교통-대기 측정망 체계로부터는 찾기 어려웠다.

2. 교통량과 대기오염물질의 시간대별 3년 평균값 적용한 상관성 분석

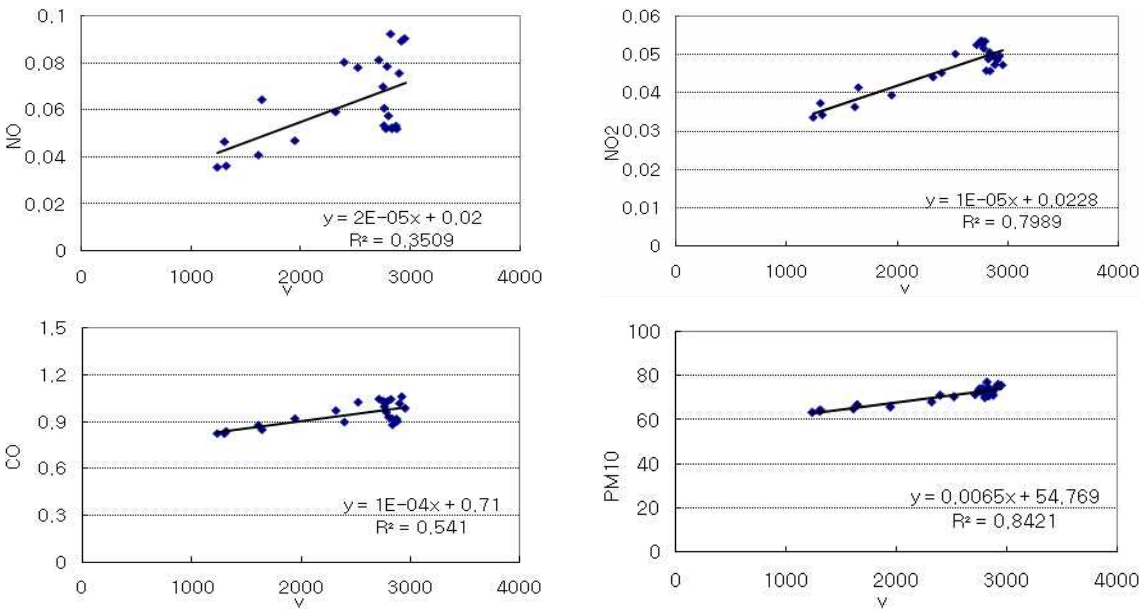
시간대별로 평균적인 교통량과 대기오염물질간의 상관성을 비교적 그 패턴이 잘 나타나는 동대문-성동여상 지점을 대상으로 검토하였다(<그림 4> 참고). 전체 시간대의 교통량과 오염물질과의 상관성을 살펴본 결과, 오전 1시에서 9시까지는 전반적으로 교통량 변화와 오염물질 배출량이 비슷한 패턴을 보이고 있는 것으로 나타났다. 특히 NO의 경우는 교통량의 변화정도에 매우 민감하게 반응하는 것으로 나타나고 있다. 그러나 PM₁₀과

CO의 경우는 교통량 변화패턴을 따르기는 하나 상대적으로 그 민감도가 낮은 것으로 보인다. 그러나, 오후시간대에는 교통량과 오염물질 배출량의 상관관계를 찾기가 힘든 것으로 보이는데, NO의 경우는 교통량이 일정 수준을 유지함에도 불구하고 오히려 그 농도가 낮아지는 것으로 나타나고 있다. 이러한 이유는 앞서 설명한 바와 같이 오염물질의 생성기작에 따른 특성에 기인한 것으로 볼 수 있으므로 오염물질 배출량과 교통량의 상관성 해석에 주의할 필요가 있을 것으로 보인다.

1일 중 측정된 오염물질 농도의 변화정도를 최소값에 대한 최대값의 비율로 살펴보면 NO 2.6, NO₂ 1.6, CO 2.0, PM₁₀ 1.2로, 교통량의 변화정도가 2.4임을 감안하면 교통량 변화에 따른 다양한 오염물질 배출량의 변화정도를 현재의 서울시 교통-대기질 모니터링 체계로 관측하는 데는 어려움이 따를 것으로 판단된다. 특히, PM₁₀의 경우는 일중 변화정도가 교통량 변화정도의 절반에 그쳐 현재의 모니터링 체계로 교통정책의 효과를 측정하는데 한계가 존재할 것으로 예상된다. 교통량과 각각의 대기오염물질을 매 시간대별로 평균한 값을 사용하여 <그림 5>와 같이 산점도를 그려 선형식의 R² 값을 살펴본 결과, 최저 0.35(NO)에서 최대 0.84(PM₁₀)까지 대체적으로 교통량과 대기오염물질간의 상관성이 높은 것



<그림 4> 교통량과 대기오염물질 24시간 그래프 (동대문, 성동여상)

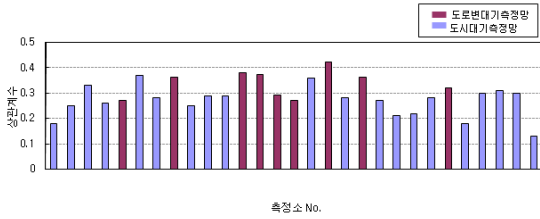


<그림 5> 교통량 vs. 대기오염물질 산점도 (동대문, 성동여상)

으로 나타났다. 하지만 이 분석은 시간대별로 평균한 값 (관찰점 24개)을 가지고 분석하였기 때문에 자료내 변이 등 자료가 본래 갖고 있는 특성을 반영하지 못하는 한계가 있다. 따라서, 단순히 도출된 R^2 값만을 갖고 상관성의 높고 낮음을 판단하는에는 주의가 필요하다.

3. 도로변대기측정망 vs. 도시대기측정망 상관성 분석

조사지점으로 선정된 대기-교통 지점 그룹에서 상관성이 가장 높게 나타난 대기오염물질 NO와 NO₂를 가지고, 2005년~2007년 오전 6시~9시 시간대의 상관



<그림 6> 오전 6시~9시 시간대의 NOx와 교통량과의 상관계수

<표 4> 대기-교통 측정지점 그룹의 2005~2007년 오전 6시~9시 시간대의 상관계수

구분	측정소명	측정지점명	NO	NO ₂	
			vs.교통량 상관계수	vs.교통량 상관계수	
도시 대기 측정망	서소문동	시청역	0.29	0.30	
		서소문	0.33	0.29	
		소파길	0.25	0.26	
		서울역	0.26	0.23	
		칠패길	0.36	0.34	
		퇴계로입구	0.28	0.30	
		을지로3가	0.29	0.30	
		정동MBC앞	0.29	0.29	
	소월길	0.28	0.29		
	효제동	동대문	0.25	0.29	
		혜화전화국	0.27	0.26	
	당산동	여의2교	0.30	0.24	
	사당동	낙성대역	0.22	0.25	
	도곡동	매봉터널	0.28	0.23	
	잠실동	종합운동장	0.30	0.24	
		종합운동장	0.31	0.25	
	변동	창동전화국	0.13	0.11	
	한남동	남산1호터널	0.18	0.20	
구의동	천호대교	0.21	0.19		
구로동	시흥IC	0.18	0.16		
상관계수 평균 값			0.27	0.25	
도로변 대기 측정망	청계천	종로3가	0.27	0.37	
	영등포	서울교남단	0.32	0.27	
		소월길	0.36	0.22	
	서울역	퇴계로입구	0.36	0.23	
		서울역	0.27	0.22	
		칠패길	0.42	0.23	
	동대문	장충체육관	0.37	0.31	
		장충단길	0.38	0.31	
		성동여상	0.37	0.37	
	상관계수 평균 값			0.34	0.28

주 : NO, NO₂의 3년간 오전 6시~9시 표본수는 지점별로 최소 1468개에서 최대 4084개임.

계수를 도로변대기측정망과 도시대기측정망으로 분류하여 비교·분석하였다(<그림 6> 및 <표 4> 참고).

분석결과 NO와 교통량과의 상관계수 값이 도시대기측정망은 평균 0.27, 도로변대기측정망은 평균 0.34로

도로변에 대기오염측정망이 있는 경우가 교통량과 대기오염물질간의 상관관계가 상대적으로 높게 나타났다.

NO₂와 교통량과의 상관계수 값이 도시대기측정망은 평균 0.25, 도로변대기측정망은 평균 0.28로 NO에 비해서는 크게 차이를 보이지 않았지만, 도로변에 대기오염측정망이 있는 경우가 교통량과 대기오염물질간의 상관관계가 큰 것으로 나타났다.

V. 결론 및 향후 연구과제

기존의 교통과 대기 모니터링체계가 각각 교통흐름과 대기질상태를 관측할 개별적 목적으로 구축되어 있어서, 각 모니터링망의 측정소가 동일 장소에 위치하여 운영되고 있는 사례는 없었으며, 두 측정소사이의 이격거리가 340m정도가 가장 근접한 사례였다. 따라서, 기존의 두 모니터링의 자료분석 결과는 측정지점의 불일치로부터 발생할 수 있는 한계성을 내포함을 미리 밝히고자 한다.

이런 한계성을 염두에 두고 기존 측정망으로부터 수집된 자료를 분석한 결과, 소수의 관측지점에서 NO와 NO₂가 교통량과 어느 정도 양의 상관성을 보인 반면, CO와 PM₁₀의 경우는 교통량과의 상관성을 관찰하기가 어려웠다. NO_x, CO, PM₁₀이 차량배출과 관련이 있는 것으로 알려져 있음에도 불구하고 NO_x에 대해서만 소수지점이지만 상대적으로 높은 상관성을 관찰할 수 있었던 이유는, 교통과 대기측정 지점사이의 공간에 NO_x의 주요 발생원이 관측시간대 주변지역의 자동차운행인 반면, CO와 PM₁₀의 경우 자동차외의 다른 발생원이 두 측정지점 사이의 공간에 존재하여 나타나는 현상으로 추론할 수 있다. 따라서, 향후에는 교통자료 수집 지점과 대기측정 지점을 일원화시켜 교통정책의 효과를 대기질 측면에서 직접적으로 관측할 수 있는 기반을 마련할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

CO의 경우 NO_x와 PM₁₀에 비해 물에 난용성으로 강우에 의한 제거가 적으며 대기 중의 다른 오염물질과의 반응도 미비하여 대기 중에 오랜 기간 머물 수 있으므로 공간적으로도 바람에 의한 장거리 이동이 가능하다. 그러므로 관측지점 이전에 발생되어 제거되지 않고 남아있던 CO가 이동되어 관측농도에 크게 영향을 미친 것으로 생각된다.

PM₁₀의 경우 관측된 PM₁₀의 농도에 영향을 미치는 주요배출원이 자동차운행에 따른 연료연소배출 뿐 아니라 도로나 건설현장의 비산먼지 일수도 있다. 서울시 도시대기 측정지점에서 관측되는 PM₁₀의 약 30~60% 정

도가 PM_{2.5}인 것으로 추정되며, 대부분이 PM_{2.5}의 형태로 배출되는 자동차 연료연소가 전체 PM_{2.5}에 기여하는 정도는 여러 모델기법을 적용하여 연구되고 있으나 아직까지는 서울시 상황에 대한 일반적 결론을 내리기는 어려운 실정이다. 그러므로, 향후에는 미세먼지와 교통과의 관련성은 PM₁₀보다는 PM_{2.5}를 이용하여 같은 공간에서의 연료별 교통자료와 분리하여 조사하는 것이 필요할 것으로 보이며, 이를 통해 다양한 연료별 교통정책에 따른 PM_{2.5}의 저감 효과를 보다 면밀히 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

NO₂ 기준성 대기오염물질의 경우, 제시된 4곳의 대기-교통 지점에서 오전 6시-9시 사이의 NO₂오염도와 교통량의 변화경향을 조사하여 교통량변화에 따른 NO₂증감을 관찰하고 정책효과 및 개발에 간접적인 참고자료로는 활용할 수 있으나, PM₁₀과 CO에 대해서는 기존의 대기-교통 모니터링체계로는 교통과의 관련성을 관찰할 수 없을 것으로 사료된다.

분석방법에서 교통량 증가와 대기오염간 선형관계에 중점을 두었기 때문에 일정속도 (1시간 평균속도 20km/h) 이하의 정체상황은 배제하였지만, 보다 정밀하게 기존 교통현황자료에서 정체를 판단할 수 있는 교통량과 속도에 대한 대기오염의 상관관계에 대한 분석도 필요할 것으로 판단된다. 또한, 도시 대기오염은 교통요인과 더불어 기상요인도 중요한 역할을 하기 때문에 향후 교통-기상-대기질 연계 시스템 구축에 대한 연구도 수행이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 그 동안 거의 수행되어 오지 못한 실제 교통 및 대기질 자료를 활용하여 그 관련성을 다각적으로 분석했다는데 큰 의의가 있다고 판단되며, 본 연구를 토대로 교통-대기질의 관계가 보다 체계적으로 분석되어 교통운영관리 전략에 대기질 변수가 적절히 사용되기를 기대해 본다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제60회 학술발표회(2009. 2.21)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 권우택·김형철(1997), “교통량특성과 거리에 따른 대기오염물질 분포에 관한 연구(성남시의 NOX CO를 중심으로)”, 대한위생학회지, 제12권 제3호, 대한위생학회, pp.41~49.

2. 권우택(2005), “교통 및 미기상에 의한 대기오염 물질의 확산분포에 관한 연구”, 환경관리학회지, 제11권 제4호, 환경관리학회, pp.249~261.
3. 대기환경연구회(2003), “대기환경개론”.
4. 박성규·김신도·이영인(2001), “자동차 대기오염 물질 산정 방법론 설정에 관한 비교 연구(강남구의 실시간 교통량 자료를 이용하여)”, 대한교통학회지, 제19권 제4호, 대한교통학회, pp.35~47.
5. 서울시(2006), “수도권 대기환경 개선 기본계획 추진을 위한 서울특별시 시행계획”.
6. 서울시(2007), “서울시 미세먼지 특성분석”.
7. 태드 고디쉬 (한화진 외 3인 옮김)(2005), “대기 환경론”.
8. 환경관리공단(2004), “측정망 설치·운영실태 평가 및 기본계획 조정을 위한 연구 용역”.
9. 환경부(2005), “대기오염측정망 기본계획(2006~2010)”.
10. 환경부(2006), “대기오염측정망 설치·운영지침”.
11. 환경부(2007), “비산먼지의 효율적 저감방안 마련을 위한 워크숍”.
12. 홍민선·우완기·최종인(1993), “대도시 교통신호 시스템에 따른 대기오염물질 배출량 변화에 관한 연구”, 대한대기보전학회지, 제9권 제1호, pp.93~100.
13. Costabile, F and Allegrini, I (2008). A new approach to link transport emissions and air quality: An intelligent transport system based on the control of traffic air pollution, Environmental Modelling & Software, 23, pp.258~267.

♣ 주 작 성 자 : 고준호
 ♣ 교 신 저 자 : 고준호
 ♣ 논문투고일 : 2009. 3. 22
 ♣ 논문심사일 : 2009. 6. 18 (1차)
 2009. 8. 24 (2차)
 ♣ 심사판정일 : 2009. 8. 24
 ♣ 반론접수기한 : 2010. 2. 28
 ♣ 3인 익명 심사필
 ♣ 1인 abstract 교정필