

## 기상조건 및 교통량에 따른 도로변 대기질 영향

자동차공해연구팀

조수석 · 신도철 · 윤호균 · 고한성 · 하현주 · 김호만 · 정종흠 · 엄석원 · 채영주

# The Effect of Weather Conditions and Traffic Flow on Roadside Air Quality

*Automobile Pollution Research Team*

**Soo-seock Cho, Do-chul Shin, Ho-kyun Yoon, Han-sung Go, Hyun-ju Ha,  
Ho-mann Kim, Jong-heub Jung, Seok-won Eom and Young-zoo Chae**

### Abstract

This study was conducted to investigate the effect of weather conditions and traffic flows on roadside air quality at the Jongno roadside air monitoring station in 2010. The concentrations of O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> during times of rainfall decreased by approximately 20~40%. However, the concentration of NO<sub>x</sub> during rainfall increased by 25 %. During misty conditions, the concentrations of air pollutants other than O<sub>3</sub> were approximately 10~140% higher than in normal conditions. In particular, the concentration of PM<sub>2.5</sub> was the most affected. Under Asian dust conditions, PM<sub>10</sub> was increased by 94%, though NO<sub>x</sub> and NO<sub>2</sub> were decreased by approximately 10%. Traffic flow trends were similar to those of air pollutants(except O<sub>3</sub>) from midnight to morning, after which different patterns were observed. The correlation coefficients of the traffic count and air pollutants in descending order are: CO > NO<sub>x</sub> > NO<sub>2</sub> > CO > SO<sub>2</sub> > PM<sub>10</sub> > PM<sub>2.5</sub>. From 05:00~09:00, values for NO<sub>x</sub> and NO<sub>2</sub> were increased, but others decreased during this time.

**Key words** : traffic, roadside, mist, rainfall, asian dust

### 서 론

『대기환경보전법』에서는 ‘대기오염으로 인한 국민 건강이나 환경에 관한 위해를 예방하고 대기환경을

적정하고 지속가능하게 관리·보전하여 모든 국민이 건강하고 쾌적한 환경에서 생활할 수 있도록 하는 것을 목적으로 한다.’ 라고 언급하고 있다. 그 목적을 달성하기 위한 방법 중 하나가 대기오

염측정소를 설치하는 것으로, 설치된 장소에 따라 크게 주거지역에 위치한 도시대기측정소와 도로지역에 위치한 도로변대기측정소로 구분하여 대기질 변화를 상시 측정하고 있다. 서울시의 경우, 이런 대기질 변화에 영향을 주는 요인들 중 강수 및 박무와 같은 기상 조건의 변화(1, 2, 3)와 지리적으로 동북아시아의 편서풍지대 중심에 위치하고 있어, 중국 및 몽골 등에서 발생하는 황사의 영향을 들 수 있다(4). 또 다른 요인은 서울시 및 주변지역에 있는 소규모 공장, 주택 및 자동차 등과 같은 내부적인 오염원들을 들 수 있다. 특히 자동차에 의해 발생하는 대기오염물질들은 도시대기측정소보다는 도로변대기측정소에 더 많은 영향을 미치고 있는데, 이는 이동오염원인 자동차와 더 근접한 곳에서 모니터링을 하고 있기 때문에 도로변대기측정소의 대기질은 기상조건과 더불어 교통량과도 밀접한 관계를 가지고 있다.

2010년 기준으로 서울시에 등록된 차량대수는 298만대로 2002년 261만대에서 지속적으로 증가하였지만, 차량 1대당 1일 평균주행거리는 03년 60.6 km/대에서 09년 48.9 km/대로 꾸준히 감소하고 있으며, 도심을 통과하는 교통량도 지속적으로 감소추세를 보이고 있다(5). 또한, 서울시의 천연가스차량보급 및 노후경유차저공해사업 등의 시행으로 자동차 한 대당 도로변대기질에 미치는 영향력은 2002년 때보다는 감소하였지만, 증가된 차량대수로 인해 자동차는 여전히 중요한 대기오염원

으로 작용하고 있다(6).

일반도로변대기측정소들은 주로 교통량이 많은 교차로에 위치하고 있지만, 종로도로변대기측정소는 직선차로에 위치하고 있다. 그리고 종로도로변대기측정소는 도심에 위치하고 있음에도 불구하고 주변에 대기오염물질을 배출하지 않는 공원이나 종묘가 있어, 다른 도로변측정소들보다 교통량이 대기오염도에 미치는 영향을 파악하기 좋은 조건을 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 종로도로변대기측정소에서 생성된 자료를 이용하여 교통량 및 기상조건에 의한 도로변 대기질 영향을 파악하고자 한다.

## 2. 연구방법

본 연구는 2010년 서울시에 위치한 도로변대기측정소들 중 종로도로변측정소에서 대기오염자동측정기 및 영상식교통량측정기에서 측정된 1년간의 데이터를 사용하였다. 측정된 교통량 데이터는 종로4가에서 종로2가 방향으로 4차선을 통과하는 총 차량대수를 사용하였다. 그리고 2010년 10월 11일~17일의 1주일 동안 종로4가에 설치된 영상식교통량측정기로 생성된 데이터와 종로2가의 루프식교통량측정기에서 생성된 데이터를 비교하였다(그림 1). 사용된 측정자료는 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> 및 교통량의 1시간 측정 자료를 이용하였으며, 강우/비강우, 황사/비황사 및 평일/박무와 같은 기상 관련 자료는 기상청 방



□ : Roadside Air monitoring Station(Jongno) ○ : Traffic collection point (Jongno 4-ga)  
● : Traffic collection point (Jongno 3-ga)

**Fig. 1.** Locations of the roadside air monitoring station and traffic collection points.

재기상 정보시스템의 시간 기상 자료에서 강수량 자료를 바탕으로 강수를 '강수'로 그 외의 경우를 '비강수'로 정하고, 매 3시간 기상 자료로 안개, 박무, 연무를 '박무'로 하고 그 외의 경우를 '평일'로 정하였다. 황사에 따른 대기질 변화는 황사발생일 기준으로 '황사일'과 '비황사일'로 정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 1) 기상조건에 따른 대기오염도의 영향

2010년 기상조건을 보면 강수/비강수시간은 732/8028시간, 박무/평일시간은 553/2367시간 및 황사/비황사일 15/350일이었다. 표 1은 기상조건에 따른 종로도로변측정소에서 측정된 대기오염물질들의 연평균농도이다.

강수에 의한 영향을 보면, NO<sub>x</sub>에서만 비강수시간평균농도보다 강수시간평균농도가 0.030 ppm 높은 농도를 보였지만, NO<sub>2</sub>는 같은 농도를 보였다. 이는 대기 중에 존재하는 O<sub>3</sub> 등과 같은 산화물질의 양의 감소로, 자동차에서 배출되는 질소산화물 중 NO와 반응이 활발히 일어나지 않아 NO<sub>x</sub>만 증가한 것으로 보인다. O<sub>3</sub>의 경우는 강수에 의한 기온하락, 구름의 자외선 차단으로 오존 생성에 필요한 라디칼을 감소시켜 광화학 반응이 활발히 일어나지 못하게 하여, 44% 감소한 농도를 보였다(1). 입자상 오염물질인 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>는 강수에

의한 세정효과로 비강수시간농도보다 강수시간농도가 28% 및 19% 낮은 농도를 나타냈다. 강수에 의한 농도 감소 영향은 O<sub>3</sub> > PM<sub>10</sub> > PM<sub>2.5</sub> 순이었다. 강수에 따른 교통량은 강수시간에 비강수시간보다 14%정도 적었다.

박무시에는 O<sub>3</sub>을 제외한 모든 대기오염물질들에서 높은 농도를 보였다. 특히 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>는 박무시간에 평일시간보다 177% 및 236%로 PM<sub>10</sub>보다는 PM<sub>2.5</sub>가 더 큰 농도변화를 나타냈다. 이는 강 등(2)의 04년~05년 서울시 일반대기농도와 다른 결과였는데, 박무 발생시 혼합고의 감소와 함께 이동오염원인 자동차가 인접하여 PM<sub>2.5</sub>가 더 많은 영향을 받은 것으로 사료된다. O<sub>3</sub>을 제외한 가스상 오염물질들은 약 10~40%정도 높은 농도를 나타냈다. 박무에 의한 농도 증가는 PM<sub>2.5</sub> > PM<sub>10</sub> > CO > NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> > SO<sub>2</sub> 순이었다.

황사에 의한 영향을 보면, 가스상 오염물질인 NO<sub>2</sub>와 NO<sub>x</sub>는 비황사일보다 황사일에 낮은 농도를 나타냈지만, 입자상오염물질인 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>에서는 194% 및 113% 높은 농도를 나타냈다. 이는 황사의 영향은 가스상 일반오염물질들보다는 입자상오염물질에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 기류에 의한 영향으로 발생한 황사는 입자상오염물질의 대기오염도를 증가시키지만, 가스상 대기오염물질농도에는 큰 영향을 미치지 않았다.

**Table 1.** The concentration of pollutions at Jongno roadside air station

	SO <sub>2</sub>			NO <sub>2</sub>			NO <sub>x</sub>			CO			O <sub>3</sub>			PM <sub>10</sub>			PM <sub>2.5</sub>		
	Mean	S.D.	Median	Mean	S.D.	Median	Mean	S.D.	Median	Mean	S.D.	Median	Mean	S.D.	Median	Mean	S.D.	Median	Mean	S.D.	Median
Rainy (N=732)	0.006	0.001	0.006	0.046	0.021	0.045	0.151	0.094	0.141	0.6	0.4	0.6	0.008	0.009	0.004	42	29	35	23	17	18
Normal (N=8028)	0.006	0.002	0.006	0.046	0.022	0.044	0.121	0.090	0.094	0.7	0.4	0.6	0.014	0.014	0.009	59	42	49	29	23	23
Mist (N=553)	0.007	0.002	0.006	0.053	0.024	0.051	0.144	0.099	0.121	0.8	0.5	0.8	0.011	0.012	0.005	89	48	79	53	36	43
Normal (N=2367)	0.006	0.002	0.006	0.044	0.021	0.042	0.119	0.087	0.093	0.6	0.3	0.6	0.014	0.014	0.009	50	38	44	23	13	20
Asian dust (N=360)	0.006	0.003	0.006	0.040	0.022	0.036	0.109	0.102	0.066	0.7	0.5	0.6	0.017	0.015	0.014	107	109	74	32	30	20
Normal (N=8400)	0.006	0.002	0.006	0.046	0.022	0.044	0.124	0.090	0.098	0.7	0.4	0.6	0.013	0.013	0.008	55	34	48	28	23	22

2) 교통량에 따른 대기오염도의 영향

(1) 일반도로변대기측정소와 도시대기측정소의 연평균농도 및 시간별 경향.

표 2는 일반 도로변대기측정소와 도시대기측정소의 대기오염물질들의 연평균농도이다. 도로변대기농도와 도시대기농도 차이의 주요인은 자동차로, O<sub>3</sub>을 제외한 모든 대기오염물질들에서 일반 도로변대기측정소가 도시대기측정소보다 높은 농도를 나타냈다. 일반 도로변대기측정소의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 연평균농도는 도시대기측정소보다 5 μg/m<sup>3</sup> 높은 농도를 보였는데, 이는 10~20%정도 높은 수준이었다. 가장 큰 차이를 보이는 항목은 자동차 배출가스와 관련된 NO<sub>x</sub>로, 그림 2와 같은 시간별 경향을 나타냈다. 일반 도로변대기측정소와 도시대기측정소의 시간별 오염도 경향은 비슷하였으며, 새벽시간과 출근시간에 큰 변동 폭을 나타냈다. 종로도로변대기측정소는 일반 도로변대기측정소보다 PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub> 및 O<sub>3</sub>은 높은 농도를, PM<sub>2.5</sub>,

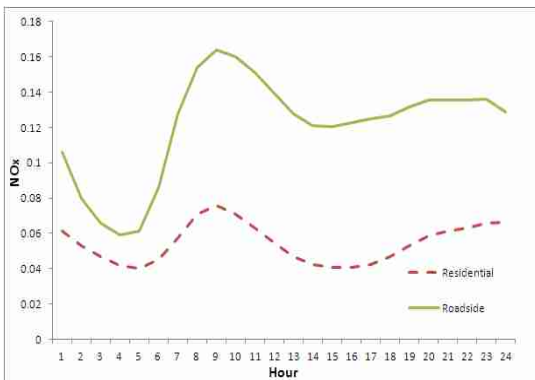
NO<sub>2</sub> 및 CO는 낮은 농도를 나타내는 특징이 있었다.

(2) 교통량 비교

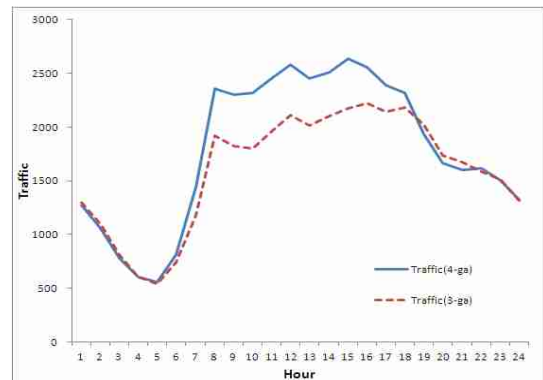
종로 도로변측정소에 설치된 영상식 교통량측정기에서 측정된 자료를 사용하기 위해, 종로3가와 2가 사이에 있는 루프식 교통량측정기 자료와 비교하였다. 그림 3는 종로4가와 종로3가의 시간별 교통량을 나타낸 것으로, 비교기간은 2010년 10월 11일~17일 이었다. 이 기간 동안 비교 측정된 종로4가와 종로3가에서 시간평균대수는 각각 1794대 및 1607대로 약 10%차이를 나타냈다. 이는 종로3가의 교차로에서 우회전 차량에 의한 영향에 기인하는 것으로 생각되며, 이런 교통량차이는 7~18시 사이에 크게 나타났고, 그 이외의 시간대에서는 비슷한 경향을 나타냈다. 측정소 주변 교통량의 특징은 새벽 5시에 최소 대수를 나타냈고, 오후 15~16시에 최대 대수를 나타냈다. 두 교통량측정기의 상관관계를 보면 0.955로 높은 상관성을 나

**Table 2.** The yearly mean concentration of pollutions at residential and roadside air stations in 2010

	SO <sub>2</sub>			NO <sub>2</sub>			NO <sub>x</sub>			CO			O <sub>3</sub>			PM <sub>10</sub>			PM <sub>2.5</sub>		
	Mean	S.D.	Median	Mean	S.D.	Median	Mean	S.D.	Median	Mean	S.D.	Median	Mean	S.D.	Median	Mean	S.D.	Median	Mean	S.D.	Median
Residential	0.005	0.003	0.004	0.034	0.017	0.031	0.055	0.047	0.040	0.5	0.3	0.5	0.019	0.018	0.015	49	41	41	25	18	21
Roadside	0.006	0.003	0.005	0.050	0.020	0.049	0.121	0.074	0.107	0.8	0.4	0.7	0.012	0.012	0.008	54	41	46	30	22	25
Jongno (Roadside)	0.006	0.002	0.006	0.046	0.022	0.044	0.124	0.091	0.097	0.7	0.4	0.6	0.013	0.014	0.008	58	41	48	28	23	22



**Fig. 2.** Trend of hourly average concentration of NO<sub>x</sub> at residential and roadside air monitoring stations.



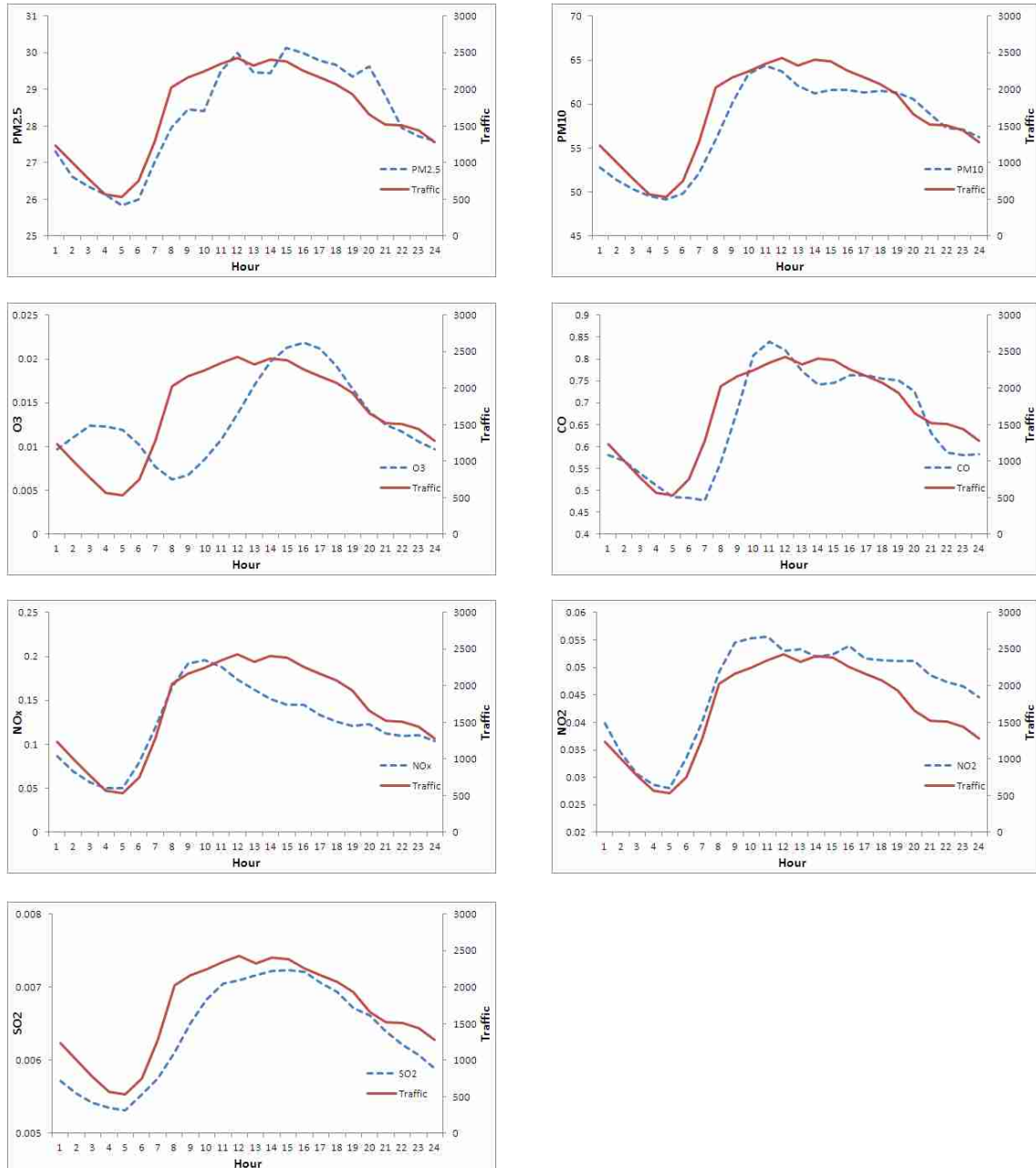
**Fig. 3.** Comparison of hourly traffic counts at Jongno 3-ga and Jongno 4-ga.

타냈다.

(3) 교통량과 대기오염도 시간별 변화

대기오염물질과 교통량의 시간별 변화는 그림 4와 같다. 종로도로변대기측정소의 교통량 패턴은 김

등(7)의 아침과 저녁에 두 개의 피크가 나타나는 일반적인 교통량 패턴과 달리 출근시간이후부터 낮시간 동안 꾸준히 많았던 교통량이 퇴근시간의 피크 없이 지속적으로 감소하였다. 시간별로 대기오염도 변화를 보면, O<sub>3</sub>을 제외한 나머지 오염



**Fig. 4.** Trend of hourly average concentration of pollutants and traffic count at Jongno roadside air monitoring station.

물질들은 교통량의 패턴과 유사한 경향을 나타냈다. 새벽 1에서 5시까지 지속적으로 감소하다가 5시를 최저 농도로 하여 상승한 후 오후부터 감소하는 경향을 나타냈다. CO의 경우는 7시를 최저 농도, 11시를 최대농도로 나타냈다가 감소하기 시작하여 퇴근시간에 다시 증가하는 경향을 나타냈다. 입자상오염물질인 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 경우 다소 다른 경향을 보였는데, PM<sub>2.5</sub>는 12시, 15시 및 20시에서 높은 농도를 나타냈지만, PM<sub>10</sub>은 11시를 기점으로 교통량의 증가구간에서도 지속적으로 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 김 등(7)의 결과인 9시의 최대농도이후 감소하다가 다시 상승하는 패턴과도 차이를 나타냈다. NO<sub>2</sub>는 김 등(7)의 결과에서 나타난 것과 같이 퇴근시간에 더 높은 농도를 보이고 난 후에 감소하는 경향과 달리 11시에 최대농도로 나타냈다가 감소하는 경향을 나타냈다. NO<sub>x</sub>는 5시에서 9시까지 급격하게 상승하여 9시에 최고농도로 나타냈다가 이후 지속적으로 감소하는 경향이 나타났다. 이는 그림 2의 일반 도로변측정소들의 시간별 변화와도 다른 패턴이었다. SO<sub>2</sub>의 경우에도 5시 이후 지속적으로 증가하여 16시를

기점으로 감소하는 경향은 김 등(7)의 10시와 16시의 피크를 보이는 경향과 달랐다. O<sub>3</sub>은 새벽시간과 16시에 피크를 보이는 패턴이 김 등(7)의 결과와 유사하였다. 대기오염물질들이 15시 이후부터 지속적으로 감소하는 경향을 보이는 것은 종로 도로변대기측정소 주변에 대기오염물질을 발생시키지 않는 공원과 종묘가 주변에 있고, 일과시간 이후에는 도심 공동화 현상으로 자동차 이외에는 다른 대기오염원들의 영향이 감소되어 퇴근시간대 피크가 발생하지 않은 것으로 사료된다.

### 3) 교통량과 대기오염물질 상관관계

표 3은 24시간동안의 교통량과 대기오염물질들의 상관관계로, CO > NO<sub>x</sub> > SO<sub>2</sub> > NO<sub>2</sub> > O<sub>3</sub> > PM<sub>10</sub> > PM<sub>2.5</sub> 순으로 감소하였다. 교통량과 대기오염물질의 상관관계는 입자상 오염물질보다는 가스상오염물질에서 더 높은 상관성을 나타냈다. 하지만 대기오염물질들간의 상관성보다는 낮은 값을 나타냈다. 이는 대기오염물질의 농도가 교통량보다는 기상조건에 더 많은 영향을 받는 것으로 사료된다. 오 등(8)의 NO<sub>x</sub>와 교통량의 상관관계는

**Table 3.** Correlation analysis of the pollutants and traffic count

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	Traffic
SO <sub>2</sub>	1	0.464**	0.423**	0.487**	0.002	0.532**	0.474**	0.345**
NO <sub>2</sub>		1	0.848**	0.710**	-0.277**	0.447**	0.425**	0.303**
NO <sub>x</sub>			1	0.709**	-0.433**	0.287**	0.276**	0.355**
CO				1	-0.310**	0.468**	0.492**	0.380**
O <sub>3</sub>					1	0.017	-0.128**	0.252**
PM <sub>10</sub>						1	0.781**	0.168**
PM <sub>2.5</sub>							1	0.052**
Traffic								1

**Table 4.** Correlation analysis of the pollutants and traffic count from 5 A.M. to 8 A.M.

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	Traffic
SO <sub>2</sub>	1	0.355**	0.3350*	0.430**	-0.159**	0.448**	0.392**	0.163**
NO <sub>2</sub>		1	0.848**	0.638**	-0.454**	0.393**	0.352**	0.360**
NO <sub>x</sub>			1	0.570**	-0.584**	0.222**	0.223**	0.479**
CO				1	-0.512**	0.525**	0.544**	0.132**
O <sub>3</sub>					1	-0.092**	-0.192**	-0.159**
PM <sub>10</sub>						1	0.811**	0.101**
PM <sub>2.5</sub>							1	0.068*
Traffic								1

0.183으로 이번 연구보다는 낮은 값을 나타냈다. 교통량의 증가와 더불어 대기오염물질의 농도가 상승하는 구간인 5시에서 8시까지 상관관계는 표 4와 같이  $\text{NO}_x > \text{NO}_2 > \text{SO}_2 > \text{CO} > \text{PM}_{10}$  순으로 감소하였다. 5시에서 8시까지  $\text{NO}_2$  및  $\text{NO}_x$ 와 교통량의 상관성은 24시간 동안의 상관성보다는 증가하였다.

## 결론

2010년 기상조건에 따른 대기오염도 변화 중 강수 시간은 비강수시간의 약 8%로, 종로도로변대기측정소의 대기오염도는 강수시에  $\text{NO}_x$ 를 제외한 나머지 오염물질들이 낮은 농도를 나타냈으며,  $\text{O}_3 > \text{PM}_{10} > \text{PM}_{2.5}$  순으로 차이를 나타냈다. 그리고 박무시간은 평일시간의 약 19%로, 박무 때에는  $\text{O}_3$ 을 제외한 모든 대기오염물질 농도가 높은 농도를 나타냈다. 특히  $\text{PM}_{10}$ 과  $\text{PM}_{2.5}$ 는 각각 177% 및 236%로 높은 농도를  $\text{PM}_{10}$ 보다는  $\text{PM}_{2.5}$ 가 더 크게 영향을 받았고, 그 다음으로  $\text{CO} > \text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x > \text{SO}_2$  순으로 나타났다. 또한 황사일은 비황사일의 약 4%로, 황사일의  $\text{PM}_{2.5}$ 와  $\text{PM}_{10}$ 은 비황사일보다 높은 농도를 나타냈다. 특히  $\text{PM}_{2.5}$ 보다  $\text{PM}_{10}$ 이 더 큰 차이를 보였다. 그러나  $\text{NO}_2$ 와  $\text{NO}_x$ 는 다른 경향을 나타냈다.

일반적인 서울 도심의 교통량과 대기오염 시간별 패턴은 출퇴근 시간대에 2개의 피크가 나타나는 것과 달리 종로도로변대기측정소 주변의 교통량은 11시에서 15시 사이에 최대대수를 나타낸 이후 지속적으로 감소하였다. 이는 대기오염물질 농도의 시간별 패턴과도 비슷한 결과를 나타냈다.

교통량과 대기오염물질들의 상관성은  $\text{CO} > \text{NO}_x > \text{SO}_2 > \text{NO}_2 > \text{O}_3 > \text{PM}_{10} > \text{PM}_{2.5}$  순으로 감소하였다. 최저 교통량 시간인 5시부터 교통량이 급격하게 증가하는 구간인 8시까지의 교통량과 대기오염물질 사이의 상관성은  $\text{NO}_x > \text{NO}_2 >$

$\text{SO}_2 > \text{CO} > \text{PM}_{10}$  순으로 감소하였고, 이 시간대에  $\text{NO}_x$  및  $\text{NO}_2$ 의 상관성은 0.327 및 0.304에서 0.457 및 0.359로 증가하였지만, 나머지 대기오염물질들은 감소하였다.

## 참고문헌

1. 김영성, 김영진, 윤순창 : 고농도 오존일의 강우와 운량. 한국대기환경학회, 15:747~755, 1999.
2. 강미혜, 윤호균, 박후경, 신덕영, 김영호, 이순희, 정권, 김주형 : 박무기간 중 서울시 대기입자상물질의 분포. 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집, 43:399~400, 2006.
3. 정부전, 박영재, 유승성, 유준영, 선우영 : 대기오염에 미치는 강우의 영향. 환경공동학술대회, 1367~1369, 2007.
4. 이용기, 김종찬, 최승석, 임홍빈, 최양희, 이수문 : 황사현상에 의한 대기오염물질의 농도 분포특성에 관한 연구. 대한위생학회지, 17:71~78, 2002.
5. 정상호 : 2009년 자동차 주행거리 실태조사. 2010.
6. 최유진, 김운수 : 서울의 대기 중 이산화질소 저감 둔화원인 분석 및 대응방안. 서울시정개발연구원, 2011.
7. Kim Y and Guldmann JM : Impact of traffic flows and wind directions on air pollution concentrations in Seoul, Korea. Atmospheric environment, 45:2803~2810, 2011.
8. 오주삼, 김병관 : 차량배출가스로 인한 일반국도  $\text{NO}_x$  대기오염 추정 모형. 한국도로학회 논문집, 13:121~129, 2011.