

## 2005년 7월 서울시 미세먼지 고농도 현상에 대한 분석

이형민<sup>1)</sup> · 김정연<sup>2)</sup> · 김용표<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>이화여자대학교 환경공학과, <sup>2)</sup>ERM Korea

(2011년 5월 25일 투고, 2011년 6월 21일 게재확정)

## Analysis of the high PM10 concentration episode on July 2005 at Seoul

Hyung-Min Lee<sup>1)</sup> · Jung Youn Kim<sup>2)</sup> · Yong Pyo Kim<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>*Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University*

<sup>2)</sup>*ERM Korea*

(Received 25 May 2011; accepted 21 June 2011)

### Abstract

High concentration of PM10 was reported on late July, 2005 in Seoul along with high particulate ion concentrations in PM2.5. To identify the reason for the severe air pollution episode, time series analysis of the PM10 concentration in the monitoring sites over Korea, wind sector analysis, trend analysis of the ion concentrations, and air mass trajectory analysis were carried out. It was found that the episode could be classified into two separate periods; first one between July 22 and 27 and second one between July 28 and 31. During the first period, the PM10 concentrations at Seoul were in good correlation with the PM10 concentration three hours before at Chuncheon. Trajectory analysis showed that air mass moved from north and turned to west at Kangwon province to Seoul. The concentrations of PM10 mass and ionic species were lower than the second period. During the second period, air mass moved from northern China to Seoul directly and the PM10 concentrations all over the mid-Korean peninsula showed the same trend. These observations suggest that the air pollution during the second period was affected by direct transport of air pollutants from northern China. Thus, the air quality at Seoul during both periods were influenced by long-range transport from outside rather than by local sources, but with different transport patterns.

**Keywords** : Air pollution episode, Time series analysis, Air mass trajectory, Long-range transport

---

\* Corresponding author.

Tel : +82-2-3277-2832, E-mail : yong@ewha.ac.kr

## 1. 서 론

수도권의 면적은 우리나라 전체의 12%에 불과하지만, 인구의 40%, 자동차 등록대수의 45%가 밀집되어 있으며, 그 중에서도 서울은 좁은 면적 안에 인구가 자동차가 특히 집중되어 대기환경 개선이 어렵다. Kim (2006)에 따르면, 1990년대 중반에 시행된 정부의 연료 개선 정책으로 인해 아황산가스(SO<sub>2</sub>)의 농도가 획기적으로 줄어들었지만 자동차 대수의 증가로 이산화질소의 농도는 오히려 증가했고, 미세먼지 농도를 비롯한 다른 오염 성분의 경우는 몇 년째 답보 상태이다. 또한 과거에 비해 크게 나아졌다고는 하나 상대적인 것일 뿐 대기오염 물질의 절대 농도는 여전히 미국이나 일본, 유럽 등 외국의 대도시에 비해 높다.

서울의 대기환경은 서울과 수도권의 배출에 의한 국지적인 영향뿐만 아니라 중국을 비롯한 외부의 영향을 받을 수도 있다. 또한 국지적인 대기오염물질 배출량 변화에 습도 등의 기상조건의 영향이 더해져 농도의 변화폭이 매우 크다. 예를 들어 Choi and Kim (2004)는 온도와 상대습도의 변화가 먼지의 수분 흡수도와 기체/먼지 간 화학평형의 변화를 일으켜 미세먼지의 질량농도와 조성에 영향을 미칠 가능성이 높음을 계산을 통해 보인 바 있다. 따라서 서울의 대기오염을 개선하기 위해서는 대기오염물질의 발생원과 생성 과정에 대한 정확한 정보가 제공되어야 한다.

2005년 7월 하순에 서울에서 매우 높은 에어로졸 농도가 관측되었다 (Kim and Kim, 2007). 이와 같은 대기오염 사례가 국지적인 것인지, 또는 외부에서의 이동에 의한 것인지를 밝히는 것은 정책 수립에 중요한 역할을 할 수 있다. 본 연구에서는 이 대기오염 사례의 원인을 규명하기 위해 우리나라 도시대기 측정소의 미세먼지 농도의 시계열 분석과, 국지적인 기상상황, 서울에서 관측한 PM<sub>2.5</sub> (직경이 2.5 μm 이하인 에어로졸)의 이온 성분 분석 결과, 그리고 역 궤적분석을 수행하였다.

## 2. 연구 방법 및 자료

2005년 7월에 PM<sub>2.5</sub> 시료를 채취하여 질량과 이온 농도를 분석하였다. 측정은 한국과학기술연구원

L3동 3층 옥상에서 분리입경이 2.5 μm인 사이클론을 장착한 디누더(annular denuder)와 필터팩(filterpack)을 사용하여 하루를 낮과 밤으로 나누어 대기 중 미세입자와 휘발성 기체를 채취하였다. 주간 시료는 아침 9시부터 밤 9시까지, 야간 시료는 밤 9시부터 다음날 아침 9시까지 각각 12시간 동안 10 L/min의 유량으로 채취하였다. 측정기간 동안 비가 왔던 날들을 제외하고 2005년 7월 22일~2005년 7월 31일 사이에 총 16개의 시료를 얻었다.

1% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 용액으로 코팅한 두 단의 디누더와 2% 구연산(citric acid) 용액으로 코팅한 한 단의 디누더로 기체성분(SO<sub>2</sub>, HNO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, HCl, NH<sub>3</sub>)을 제거하였다. 기체성분이 제거된 미세입자는 테플론 필터(Gelman Zefluor, 2.0 μm)로 포집하였는데, 테플론 필터 후단에는 나일론 필터(Gelman Nylasorb, 1 μm)와 1% 구연산(citric acid) 용액으로 함침한 석영 필터(Whatman QMA)를 장착하여 테플론 필터로부터 휘발되는 질산과 염산, 암모니아를 포집하였다.

채취한 기체상과 입자상의 시료는 증류수로 추출하여 음이온 성분(Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)은 이온크로마토그래피(Dionex 2000i/sp)로 분석하였고, 양이온 성분(Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>)은 원자흡광광도계(Hitachi ZR8200)로 분석하였다. 암모늄 이온은 인도페놀법으로 발색시킨 후 흡광광도계(Spectronic Genesys2)로 분석하였다. 자세한 측정, 분석 방법은 Kim and Kim (2007)에 제시되어 있으며, Table 1에 분석 결과를 보였다. 7월 22일부터 31일까지 결과는 전체 결과이며, 7월 22~27일 기간을 기간 1이라 하고, 7월 29~31일 기간을 기간 2라고 정의하였다.

PM<sub>10</sub>(미세먼지) 질량 농도는 환경부의 도시대기 측정소의 PM<sub>10</sub> 1시간 평균 농도 자료를 활용하였다. 측정방법은 베타선 흡수법을 이용한 측정법( $\beta$ -ray absorption method, BAM)으로 대기 중에 부유하고 있는 직경 10 μm이하의 입자를 1시간동안 여과지 위에 채취하여 베타선을 투과시켜 조사된 베타선이 여과지 위의 입자를 통과할 때 흡수소멸되는 베타선의 차로써 질량농도를 측정하는 방법이다 (Shin et al., 2011).

궤적분석은 미국 해양대기국(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)에서 제공하는 the Hybrid Single-Particle Lagrangian Intergrated Trajectory(HYSPLIT4) model(<http://www.arl.noaa.gov/>)

Table 1. Temporal and diurnal mean concentration of fPM2.5 in Seoul, 2005 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ).

Date <sup>a</sup>	T(°C)	RH (%)	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Mass	HCl	HNO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	N <sup>b</sup>
7.22~7.31	D	29.4	63	0.4	8.7	48.7	0.1	0.5	0.3	17.0	115.0	1.4	14.1	5.8	9
	N	26.1	79	0.6	12.1	43.2	0.1	0.0	0.4	16.1	128.3	0.7	3.2	6.6	7
7.22~7.27	D	30.2	62	0.2	0.9	35.7	0.1	0.0	0.3	11.9	97.3	1.2	14.5	6.3	6
	N	26.8	77	0.2	2.6	31.0	0.1	0.0	0.3	10.2	102.5	0.4	2.9	7.5	5
7.29~7.31	D	27.7	65	0.3	2.4	74.7	0.2	0.1	0.8	23.1	150.4	1.8	13.2	4.7	3
	N	24.6	86	0.5	15.8	73.6	0.2	0.1	0.8	26.0	192.7	1.3	4.0	4.4	2

<sup>a</sup>Daytime(D) and Nighttime(N), <sup>b</sup>N : Number of data.

ready/hysplit4.html)을 사용하였다. 기상 자료는 FNL 자료 (FiNaL run meteorological data)를 사용하였으며 96시간의 역궤적을 그렸다. 그리고 1500 m 높이에서의 공기괴의 이동을 기준으로 그 결과를 분석하였다. 궤적분석의 자세한 내용은 Park et al. (2004)에 제시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 시계열분석

Fig. 1에서 보듯이 PM2.5 에어로졸 성분분석 연구를 수행한 서울시 하월곡동 KIST에서 관측한 PM2.5 질량농도와 KIST와 가장 인접한 길음동 도시대기측정소에서 관측한 PM10의 농도가 비슷한 추이를 보이며 변화하고 있다. 일평균 PM10 질량농도가 100  $\mu\text{g m}^{-3}$  이상인 고농도 사례가 두 번 나타났는데, 첫 번째 고농도가 나타난 7월 22-27일 기간을 기간 1이라

하고 두 번째 고농도가 나타난 7월 29~31일 기간을 기간 2라고 정의하였다. 전국적으로 100~500 mm의 강수가 있었던 7월 28일은 분석에서 제외하였다.

Table 1에서 볼 수 있듯이 기간 1과 기간 2에 PM2.5의 이온 농도가 다른 분포를 나타낸다. 총 질량농도를 비롯한 주요 이온 농도가 모두 기간 2에 높게 나타났는데, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 기간 2동안 기간 1에 비해 낮에는 약 2.7배, 밤에는 약 6.6배 높았고, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>는 낮과 밤에 모두 2배 이상 높았다. 이와 같은 기간 2의 높은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 농도는 일반적으로 장거리이동의 지표로 생각되지만 (Park et al., 2004), 높은 온도와 습도로 인한 국지적인 생성 가능성도 배제할 수 없다 (Lee et al., 2005). 또 하나 특징적인 것은 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 두 기간 모두 밤에 농도가 높았다. 이는 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>의 기온에 따른 평형 특성의 변이로 인한 것으로 보인다 (Kim et al., 1993ab). 한편, 입자상 물질의 농도와 달리 기체상 물질의 농도는 기간 1에 높게 나타난 경우가 있었다. 낮 동안의 HNO<sub>3</sub>와 낮과 밤 모두

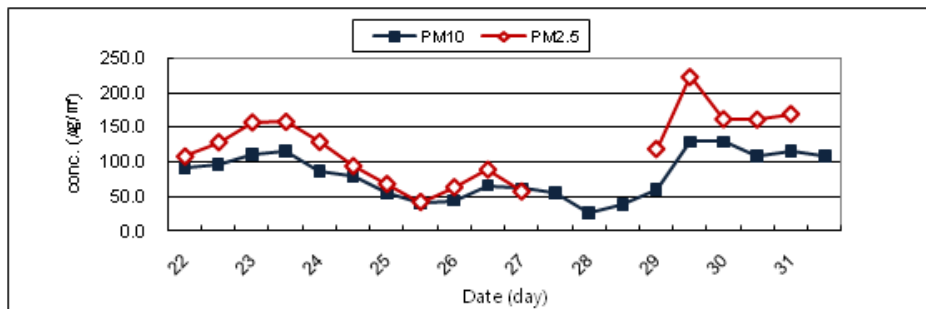


Fig. 1. Daily average concentration of PM2.5 observed at Hawolgok-dong and PM10 observed at Gilum-dong, Seongbuk-gu, Seoul (July 2005).

Table 2. Correlation coefficients of PM10 mass concentration between Gilum-dong and other sites in Seoul(22~31 July 2005).

Region (-dong)	Sinlim	Dangsan	Chunho	Banghak	Banpo
Correlation coefficient (R)	0.89	0.89	0.90	0.92	0.90

의 NH<sub>3</sub>는 기간 1동안 기간 2에 비해 조금 높았다. 우선 이와 같은 고농도 대기오염 사례가 서울 동북부의 국지적인 현상인지 서울 전체 현상인지를 파악하기 위해 서울의 5개 지역 도시대기측정소와 길음동 측정소의 PM10 농도 사이의 상관관계를 살펴보았다(Table 2). 상관계수가 0.9 정도로 이 기간에 서울 전역에서 PM10 농도가 높았음을 알 수 있다. 이는 서울 전역에서 대기오염이 동시에 심하였음을 의미한다.

Table 3은 우리나라 여러 지역의 도시대기관측소에서 그 기간에 측정한 PM10 농도와 서울의 길음동 측정소의 PM10 농도 사이의 상관관계를 보인 것이다. 상관계수가 0.5 이상인 지역은 경기, 강원, 대전, 인천, 충남으로 이 기간에 우리나라 중부지방이 같은 대기오염 영향권에 들어있었음을 의미한다. 즉, 서울을 포함한 중부지방이 분석기간 동안에 같은 오염원으로부터 영향을 받아 PM10 고농도를 나타낸 것으로 보인다.

이를 확인하기 위해 중부지방의 여러 도시대기측정소의 PM10 농도와 길음동 측정소의 PM10 농도 사이의 시계열분석을 수행하였다. 시계열분석을 통해 길음동 측정소의 PM10 농도가 중부 지방 다른 측정소의 PM10 농도와 몇 시간이나 차이 나게(time

lag) 상관관계가 좋은지를 살펴볼 수 있다.

Fig. 2는 기간 1동안 신림동과 길음동의 PM10 농도에 대한 이동시간 분석 결과이다. 여기서 ‘신림동 -3h vs. 길음동’이란 세 시간 전에 신림동에 있었던 오염물질이 그로부터 세 시간 후에 길음동에서 나타났다고 가정하면 둘의 상관관계가 어떻게 나타났는가를 의미하고, 여기서는 세 시간, 두 시간, 한 시간, 그리고 시간차이 없이 동시에 나타난 경우, 다음으로 길음동에 있던 오염물질이 한 시간 후에 신림동에서 나타난 것이라면 어떻겠는가, 두 시간 후, 세 시간 후라면 어떻겠는가를 보인 것이다. 그림 위에 나타난 상관계수를 보면, 신림동과 길음동의 경우는 세 번째 그림, 즉 이동시간이 없이 동시에 나타났다고 볼 경우에 상관계수가 가장 높다. 신림동과 길음동이 같은 서울 안에 있으므로 이는 타당한 결과로 보이고, 기간 1에는 서울 안에서 원활한 혼합이 이루어 졌으며 같은 오염원으로부터 동시에 영향을 받았을 것이라고 생각할 수 있다.

전체기간에 대한 상관계수 분석결과 중부 지방이 같은 경향을 보이며 변화하고 있으므로, 서울과 같이 중부 지방에 속해 있는 춘천의 자료를 좀 더 여러 가지 방법을 통해 분석함으로써 중부 지방에서 PM10이 어떻게 이동했는가를 알아보았다. Fig. 3

Table 3. Correlation coefficients of PM10 mass concentration between Gilum-dong (Seoul) and other sites located alllover the South Korea (22~31 July 2005).

Region	Corr. coeff. (R)	Region	Corr. coeff. (R)
Sinlim* (Seoul)	0.89	Padori (Taean)	0.58
Ingye* (Suwon)	0.88	Sunggun* (Gyungju)	0.46
Joongangro (Chunchun)	0.70	Bokchun* (Busan)	0.38
Moonchang* (Daejeon)	0.70	Yongdang* (Mokpo)	0.20
Joongang* (Wonju)	0.66	Jeoguri (Geoje)	0.02
Seokmori (Ganghwa)	0.66	Gosanri (Jeju)	-0.07
Okcheon* (Gangreung)	0.60		

\* : -dong

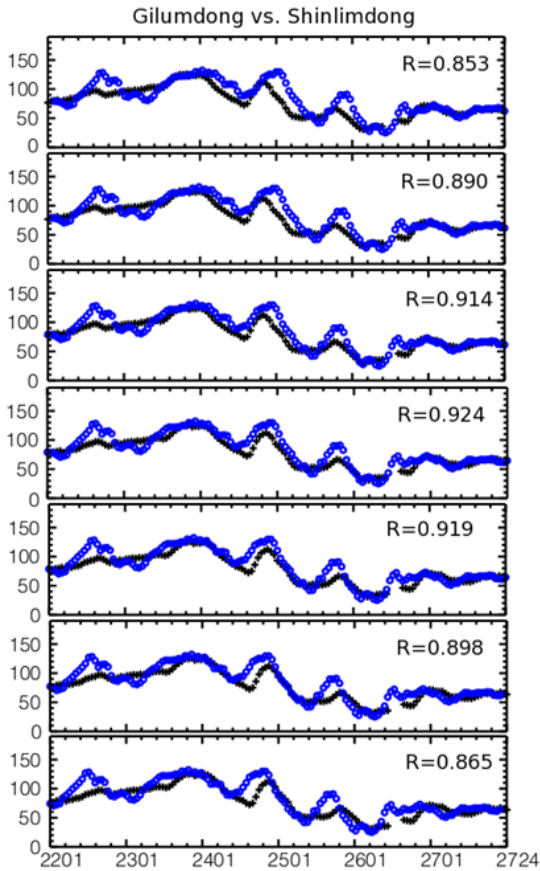


Fig. 2. Time-lag considered time series analysis between sites (22~27 July 2005). From top to bottom, Sinlimdong-3hr vs. Gilumdong, Sinlimdong-2hr vs. Gilumdong, Sinlimdong-1hr vs. Gilumdong, Sinlimdong vs. Gilumdong, Sinlimdong+1hr vs. Gilumdong, Sinlimdong+2hr vs. Gilumdong, Sinlimdong+3hr vs. Gilumdong (Unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Black plus : Giluog, Bluecircle : Shinlimdong, X axis : date (DDHH)).

에서 기간 1 동안 서울과 춘천(중앙로)의 PM10농도의 시간차를 구하였다. 앞뒤로 세 시간까지 한 시간씩 시간지연을 고려해 상관계수를 구하고 상관계수가 가장 높은 지연시간이 언제인가를 알아보는 방식이다. PM10 농도 최고치를 보면 중앙로-3h의 경우가 길음동과 가장 비슷한 시간과 값으로 겹쳐지고 있음을 알 수 있다. 이는 기간 1에 오염물질이 춘천에서부터 길음동 방향으로 3시간에 걸쳐 이동하였다고 해석할 수 있다. 즉, 이 기간에 서울에서 관

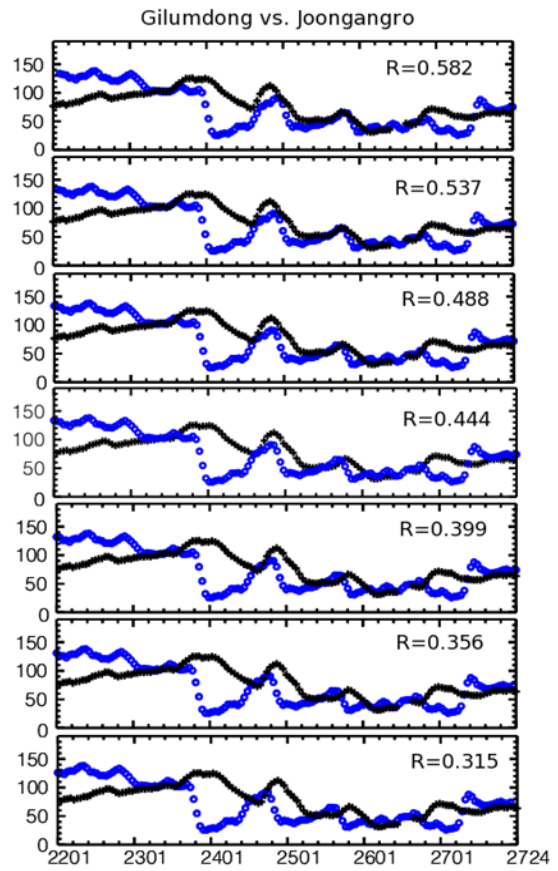


Fig. 3. Time-lag considered time series analysis between sites (22~27 July 2005). From top to bottom, Joongangro-3hr vs. Gilumdong, Joongangro-2hr vs. Gilumdong, Joongangro-1hr vs. Gilumdong, Joongangro vs. Gilumdong, Joongangro+1hr vs. Gilumdong, Joongangro+2hr vs. Gilumdong, Joongangro+3hr vs. Gilumdong (Unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Black plus : Gilumdong, Bluecircle : Joongangro, X axis : date(DDHH)).

측된 고농도 PM10은 춘천으로 대표되는 서울의 동부(강원도)로부터 이동해왔을 가능성이 있다.

그러나 기간 2 동안에는 길음동과 신림동, 춘천(중앙로) 사이의 이동시간 분석 결과, 0-3시간 차이 모두 높은 상관관계(상관계수 0.5 이상)을 보이고 있다. 이 기간에는 고농도의 오염원으로부터 장시간에 걸쳐 영향을 받은 것이라는 해석이 가능하다. 그리고 서울 내부에서 공기가 잘 혼합된 것으로 생각되는 기간 1과 달리 기간 2에는 중부 지방에서 공기가 정

체되었을 가능성도 있다.

### 3.2 풍속 분석

Kim and Oh(1999)에 따르면, 만일 국지배출 영향이 클 경우 풍속이 커질수록 확산이 원활하여 오염물질의 농도가 감소하고, 장거리 이동의 영향이 클 경우 풍속이 커질수록 오염물질 농도가 증가하거나 최소한 농도가 뚜렷이 감소하지는 않는다.

시간 별 풍속과 PM10농도를 나타낸 Fig. 4를 보면, 기간 1의 풍속이 오후 중에 최고속도를 나타내고 새벽과 저녁에는 낮게 나타나는 일변화를 보이는데 전체적인 경향은 점차 증가하고 있음을 알 수 있다. 그에 따라 초기에는 높았던 PM10농도가 기간 1 후반에는 낮아졌다. 이는 23~24일 사이에 최고치를 나타낸 PM10이 추가적인 유입 없이 희석되고 있다고 해석할 수 있다. 반면 28일 강수 이후 기간 2를 보면, 30일경에 강한 풍속과 함께 PM10 농도 최고치가 나타났는데, 그 후에 풍속이 작아짐에도 불구하고 계속 PM10농도가 높게 유지되고 있다. 이는 28일 강수로 인해 대기 중 PM10이 제거되었는데 이후에 외부로부터 바람을 타고 유입된 PM10이 31일까지 계속 정체하고 있거나 이 기간에 계속적으로 PM10을 배출하는 국지오염원이 있었던 것으로 보인다.

### 3.3 이온분석

이 기간에 KIST에서 측정된 PM2.5의 이온 성분 분석 결과를 Table 1에 보였다. 국내청정지역에서 이루어진 여러 연구를 바탕으로 한반도 입자상 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 배경농도가 5 μg m<sup>-3</sup>내외이고 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 배경농

도는 1 μg m<sup>-3</sup>이하(Lee et al., 2005)인 것을 고려할 때, 측정 기간 동안 대기가 오염된 상태라는 것을 알 수 있다.

Kim and Kim(2007)에 의하면, 우리나라는 7월과 8월은 기온이 높아 광화학 반응이 활발할 수 있지만 강우에 의한 세정과 오호츠크해로부터 청정 공기가 유입되는 경우가 잦아 오염도가 낮은 편이다. 그러나 본 연구에 사용된 결과는 측정이 이루어진 2006~2007년 사계절 가운데 가장 높은 미세먼지 질량(121.7 μg m<sup>-3</sup>) 및 이온 농도를 나타냈다. 이는 건국대학교에서 2001년 가을에 관측된 고농도 사례의 미세먼지 질량 농도(131 μg m<sup>-3</sup>)와 연세대학교에서 Lee et al.(2005)이 2003년 9월과 12월에 관측한 고농도 사례(총 이온 농도로서 100 μg m<sup>-3</sup> 이상)와 비교할만한 값이었다. Lee et al.(2005)이 2003년 4월부터 2004년 1월 사이에 서울에서 측정한 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>은 최대 69.54 μg m<sup>-3</sup>으로 높았고, 9월 15~17일 사이에는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>농도가 60 μg m<sup>-3</sup> 이상이였다. 이는 SO<sub>2</sub> 연평균 농도가 5~6 ppb 정도인 서울에서도 조건만 맞으면 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 농도가 단기간에 크게 증가할 수가 있다는 것을 보여주며, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 외부 유입 가능성이 높음을 의미한다. 또한 PM2.5 질량농도는 Hong et al. (2008)이 보인 서울의 평균보다 훨씬 높음을 알 수 있다.

### 3.4 궤적분석

기간 1에 서울로 불어온 바람은 Fig. 5에서 보듯이 중국 산둥성에서 북한을 거쳐 오거나 혹은 한반도 남부지역을 거쳐 왔다. 기간 1 중 최고 고농도가 나타난 시간은 7월 23일 12시~24일 06시 이다. Fig. 5는 농도의 시계열분석 결과와 같이 공기덩어리가

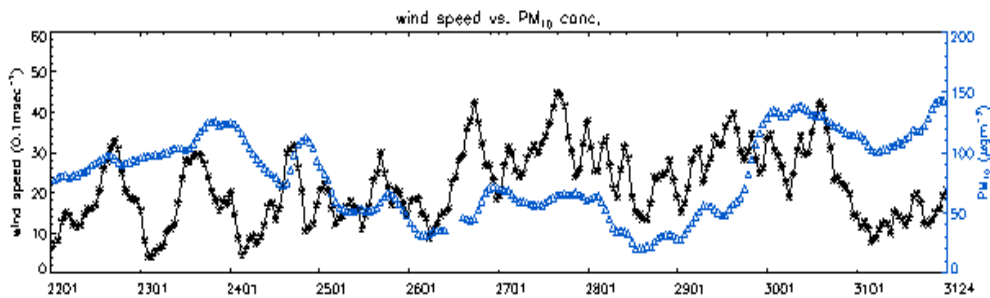


Fig. 4. Hourly wind speed and 1-hr average PM10 concentration of Seoul over time (July 2005). Asterisk: wind speed, Triangle: PM10.

북한을 거쳐 강원도에서 서울로 이동한 것을 보여 주고 있다. Fig. 6은 서울에 도착한 공기덩어리가 어디로 이동하였는지를 분석한 것이다. 볼 수 있다. 따라서 기간 1의 대기오염은 중국의 오염물질이 북한과 강원도를 지나 서울로 유입된 것으로 판단할 수 있다.

기간 2에는 Fig. 7에서 보듯이 고비사막이 있는 중국 내몽골 지역에서부터 한국의 서해를 거쳐 서울로 바람이 이동하였다. 서울에 도착한 공기는 서풍을 타고 한반도를 관통한 이후에 동해를 거쳐 북쪽으로 이동하였다.

궤적분석을 통한 분석 결과는, 기간 1과 기간 2에 서울에서 관측된 고농도 PM10은 위치는 다르지만 중국에서 비롯된 공기의 영향을 받았다는 것이다. 이들은 한반도 중부지역에 국한된 영향을 미치고 다시 중국으로 날아가거나 멀리 러시아까지 날아갔다. 하지만 기간 1에는 북한을 거쳐 강원도를 통해 서울로 이동한 반면, 기간 2에는 중국에서 서울로 직접 이동하였다. 입자 상 물질의 농도가 중국의 직접적인 영향을 받은 기간 2에 더 높게 나타났으나,

RH 또한 기간 1에 비해 기간 2에 높았기 때문에 기상의 영향과 중국으로부터의 이동영향을 구별하기에는 어려움이 있다.

#### 4. 요약

서울의 대기오염, 특히 고농도 대기오염 사례는 시민 건강에 매우 부정적일뿐만 아니라, 일반 시민들이 서울시에 대해 느끼는 체감오염도에도 중요한 변수이다. 따라서 이러한 고농도 대기오염 사례의 원인을 규명하는 것은 과학적으로 중요할 뿐만 아니라 사회적으로도 중요한 문제이다.

2005년 7월 22일부터 31일 사이에 고농도 대기오염 사례가 관측되었다. 이 대기오염 사례에 대해 측정소 간의 시계열분석, 에어로졸 성분 분석, 궤적 분석 등의 종합적인 해석을 통해, 대기오염 사례가 국지적인 것이었는지, 외부 영향에 의한 것인지 규명하였다.

측정 결과를 바탕으로 이 사례를 7월 22~27일(기

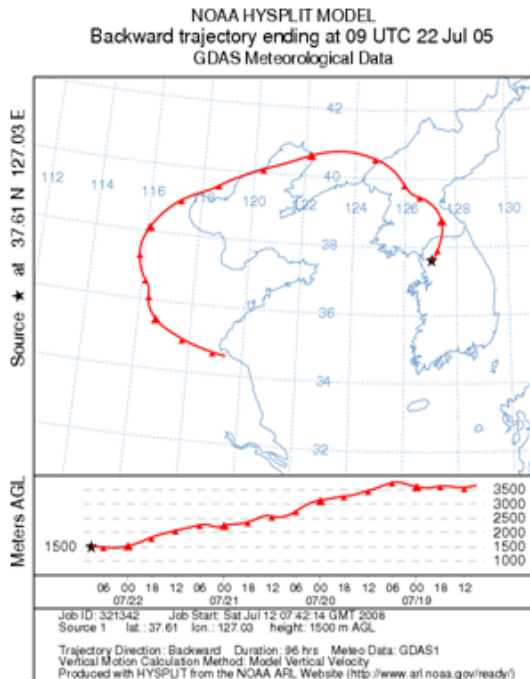


Fig. 5. Backward trajectory analysis of air mass arriving at Seoul on July 22, 2005.

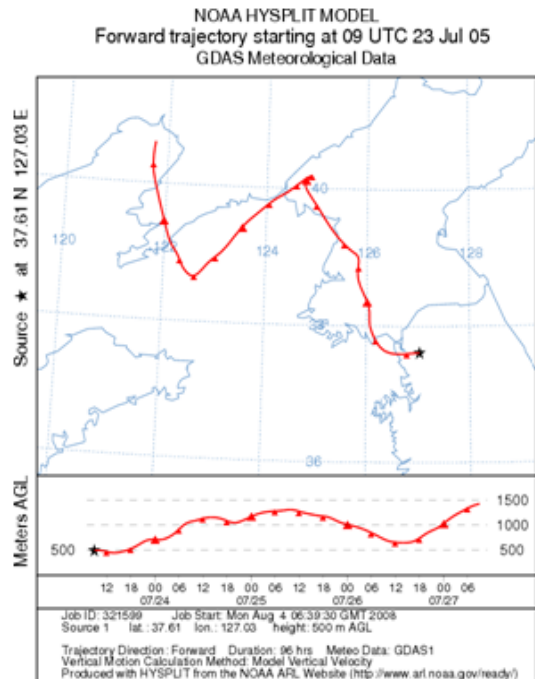


Fig. 6. Forward trajectory analysis of air mass departing from Seoul on July 23, 2005.

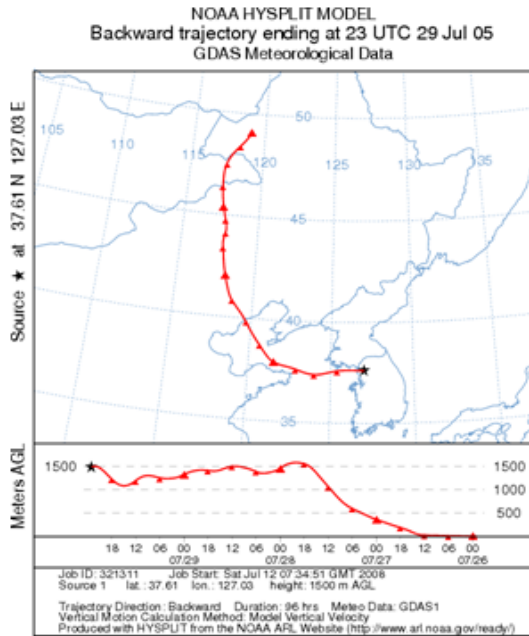


Fig. 7. Backward trajectory analysis of air mass arriving at Seoul on July 29, 2005.

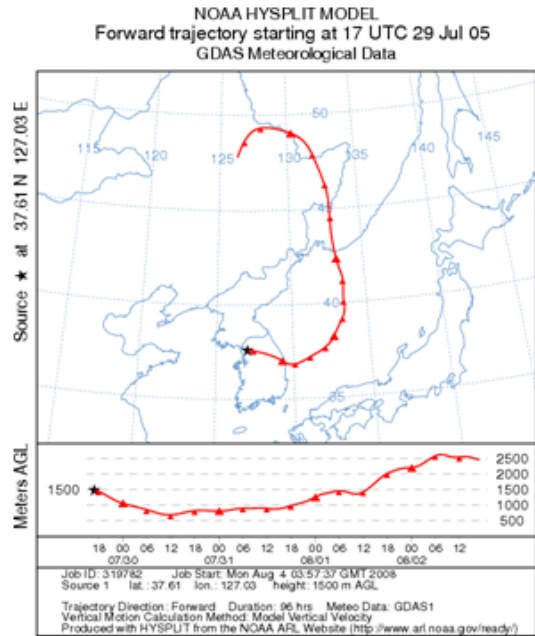


Fig. 8. Forward trajectory analysis of air mass departing from Seoul on July 29, 2005.

간 1)과 28~31일(기간 2)의 두 기간으로 구분하였다. 우리나라의 도시대기측정소의 PM10 농도 추이를 분석한 결과, 기간 1에는 춘천의 PM10 농도와 3시간 후에 서울의 PM10 농도가 상관관계가 높았으며, 기간 2에는 중부 지방 전체의 PM10 농도 사이에 상관관계가 높았다. 기간 1에는 풍속이 점차 강해져서 오염물질이 희석되는 경향을 보였으며, 기간 2에는 풍속이 점차 약해져 정체성 특성을 보여 고농도가 계속 유지되었다. 관측한 PM2.5 이온 조성은 기간 1 보다는 기간 2에 높았으며, 두 기간 모두, 서울의 평균 농도보다는 매우 높았다. 궤적분석 결과 기간 1에는 시계열 분석 결과와 일치하게, 공기덩어리가 중국에서 북한과 강원도를 거쳐 서울로 이동하였고, 기간 2에는 중국에서 직접 서울로 이동하였다. 현재는 북한의 대기오염물질 배출 정도나 대기오염도에 대한 자료가 부족하여 보다 상세한 분석이 힘들다. 그러나 북한의 영향이 상당할 것으로 보이므로 이에 대한 연구가 필요하다 (Kim et al., 2011).

이 연구 결과는 2005년 7월 하순에 서울에서 발생한 대기오염 에피소드는 외부 영향, 특히 중국 영향에 의한 것임을 보여준다. 그러나 같은 외부 영향이

라도 공기의 이동 경로와 풍속에 따라 오염 특성이 달라지는 것을 확인하였다.

### 사사

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0016297).

### 참고 문헌

Choi, E.K. and Kim, Y.P. (2004). Major factors affecting PM2.5 water content in Seoul and Gosan (in Korean), *J. Korean Society for Atmospheric Environment*, 20, 803-810.

Hong, S.Y., Lee, J.J., Lee, J.Y., and Kim, Y.P. (2008). Comparison of the fine particle concentrations in Seoul and other foreign mega-cities (in Korean), *Particle and Aerosol Research*, 4, 1-7.



- Kim, I.S., Lee, J.Y., and Kim, Y.P. (2011). Energy usage and emissions of air pollutants in North Korea (in Korean), *J. Korean Society for Atmospheric Environment*, in press.
- Kim, J.Y. and Kim, Y.P. (2007). PM<sub>2.5</sub> inorganic ions in Seoul measured at 2004-2005 (in Korean), *Particle and Aerosol Research*, 3, 57-66.
- Kim, Y.P. (2006) Air pollution in Seoul caused by aerosols (in Korean), *J. Korean Society for Atmospheric Environment*, 22, 535-553.
- Kim, Y.P., Seinfeld, J.H., and Saxena, P. (1993a) Atmospheric Gas-Aerosol Equilibrium I. Thermodynamic Model, *Aerosol Science and Technology*, 19, 157-181.
- Kim, Y.P., Seinfeld, J.H., and Saxena, P. (1993b) Atmospheric Gas-Aerosol Equilibrium II. Analysis of Common Approximations and Activity Coefficient Calculation Methods, *Aerosol Science and Technology*, 19, 182-198.
- Kim, Y.S. and Oh H.S. (1999). Studies of high-ozone episodes in the greater Seoul area between 1990 and 1997 (in Korean), *J. Korean Society for Atmospheric Environment*, 15, 267-280.
- Lee, B.K., Im, Y.H., Ha, J.Y., and Lee, D.S. (2005). Development of an automated and continuous analysis system for PM<sub>2.5</sub> and chemical characterization of PM<sub>2.5</sub> in the atmosphere at Seoul (in Korean), *J. Korean Society for Atmospheric Environment*, 21, 439-458.
- Park, M.H., Kim, Y.P., and Kang, C.H. (2004). Aerosol composition change due to dust storm: Measurements between 1992 and 1999 at Gosan, Korea, *J. Geophysical Research*, 109, D19S13, doi:10.1029/2003JD004110.
- Shin, S.E., Jung, C.H., and Kim, Y.P. (2011). Analysis of the measurement difference for the PM<sub>10</sub> concentrations between Beta-ray absorption and gravimetric methods at Gosan, *Aerosol and Air Quality Research*, in presee.