



서울시의 대기질 및 대기오염 감시 시스템 현황

Air quality and air pollution monitoring system of Seoul Metropolitan Government



김은연 >>
서울특별시 맑은서울추진본부

1. 서론

한 도시의 대기오염 잠재력은 그 도시의 자연적인 조건인 기후 및 지형 조건뿐만 아니라 대기오염물질의 본성과 배출량을 결정짓는 인위적인 조건인 인구수, 산업 활동, 교통량, 건물의 냉·난방 방식 등 경제수준과 밀접한 관련이 있다. 수질이나 토양오염과는 달리 주변공기를 호흡하면서 살 수밖에 없기 때문에 한 도시의 대기오염 문제는 이제 그 도시에 거주하는 시민들의 삶의 질을 나타내는 한 지표이자 시민들의 큰 관심사인 것이다 (European Environment Agency, 2006).

편서풍대에 위치하고 있는 서울은 북쪽으로는 북한산과 도봉산, 남쪽으로는 관악산, 동쪽으로는 아차산 등 비교적 높은 산으로 둘러싸여 있는 ㄷ자형 분지로 대기오염물질 확산이 어려운 지형조건을 가지고

있으며 최근에는 중국 동부지역의 공업화로 인하여 이 지역에서 발생한 대기오염 물질에 의한 영향도 많이 받고 있는 것으로 알려져 있다 (한진석 등, 2006). 또한 지난 몇십년간 우리나라의 빠른 경제성장과 인구의 도시집중으로 2005년 말 현재 서울의 인구는 1030만 여명에 달하며 자동차 수는 280만대에 이르는 등 대기질에 부정적인 요소들이 크게 증가하였다. 그러나 동시에 석탄사용의 감소, 청정연료 사용 비중의 증가, 대단위 배출업소의 지방이전 등 대기의 질을 개선하는데 긍정적인 요인들도 있었다 (서울특별시, 2006; 서울특별시 통계관리시스템).

대기오염은 여러 가지 급성 및 만성 질환을 유발할 수 있으며 그 영향력은 대기오염의 농도와 노출 기간에 의해 좌우된다고 한다. 최근의 연구 중에는 국가나 지방자치단체들이 제시하는 기준치 보다 오염 농도가 낮아 일반적으로 안전하다고 생각되는 오염 농도에서도 인간의 건강이 위협받을 수 있다는 내용도 있다 (Katsouyanni et al., 1995).

본 고에서는 서울시가 운영 중인 대기오염 감시 및 관리 시스템에 대해 소개하고 2005년 서울시의 개괄적인 대기질 현황과 이들을 결정짓는 여러 가지 자연적 및 인위적 요소들을 제시하고자 한다.

표 1. 한국, 서울시 및 미국의 대기환경기준 비교

구 분	SO ₂ (ppm)	PM ₁₀ (μg/m ³)	O ₃ (ppm)	NO ₂ (ppm)	CO(ppm)
국가 환경기준	0.02/년	70/년	-	0.05/년	-
	0.05/일	150/일	-	0.08/일	-
	-	-	0.06/8시간	-	9ppm/8시간
	0.15/시간	-	0.1/시간	0.15/시간	25ppm/시간
서울시 환경기준	0.01/년	60/년	-	0.04/년	-
	0.04/일	120/일	-	0.07/일	-
	-	-	0.06/8시간	-	9ppm/8시간
	0.12/시간	-	0.1/시간	0.14/시간	25ppm/시간
미국 국가 환경기준	0.03/년	50/년	-	0.053/년	-
	0.14/일	150/일	-	-	-
	-	-	0.08/8시간	-	9ppm/8시간
	-	-	0.12/시간	-	35ppm/시간

년, 일, 시간은 각각 연평균, 일평균, 시간평균을 나타냄

2. 서울시의 대기환경기준

환경정책기본법(환경부, 1999)에 의해 설정된 환경기준은 그 자체로서는 규제적 의미를 갖고 있지 않지만 국민의 건강을 보호하고 쾌적한 생활환경을 유지하기 위한 국가 환경행정의 목표이자 척도로 사용되고 있다. 우리나라에서는 현재 표 1에 제시한 5개 항목에 납(Pb)을 더한 총 6개 항목에 대해 국가대기환경기준을 설정하고 있으며 미국의 국가환경기준에 비해 더욱 강화된 상태임을 알 수 있다. 서울시에서는 서울의 지역적 특성과 여건에 적합하게 국가 환경기준보다 엄격한 환경기준을 설정하여 시행하고 있다.

3. 서울시의 대기오염측정망 설치 및 운영 현황

서울시에서는 서울의 대기오염 상태를 감시하기 위해 환경부와 협력 하에 표2와 같이 여러 가지 기능의 대기오염 측정망을 설치, 운영하고 있다(서울특별시, 2006a).

도시대기측정망은 가로, 세로 약 5km 간격으로 서울시 전역에 걸쳐 각 지역의 특성을 대표할 만한 27개 지점에 설치되어 있다(그림 1). 이곳에서는 대기환경기준에 명시되어있는 오존 등의 항목과 기초적인 기상항목들에 대한 관측을 연속적으로 측정하여 1시간 평균 자료를 생산하고 있다. 이들 관측 설비들은

표 2. 서울시의 대기오염측정망 설치 및 운영현황

측정망	측정항목	측정목적	측정주기	측정소수
도시대기측정망	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , CO, PM ₁₀ , 풍향, 풍속, 온도 등	도시지역의 평균 대기질 농도를 파악하여 환경기준 달성여부판정	연속/1시간	27개소 (2개소는 환경부에서 운영)
도로변측정망	NO ₂ , O ₃ , CO, THC, SO ₂ , PM ₁₀ , 풍속, 풍향, 온도 등	자동차 통행량과 유동인구가 많은 간선도로변에서 자동차 오염물질에 의한 영향 파악	연속/1시간	7개소
산성강하물 측정망	pH, 이온성분	산성강하물의 침적량 파악	강수시	10개소
중금속 측정망	납, 카드뮴, 크롬, 구리, 망간, 철, 니켈	대기중 중금속 오염도 파악	매 월	6개소



그림 1. 서울시 도시대기측정망의 27개 대기오염측정소 위치 (●). 굵은 회색 선으로 구분된 4개 지역 (북서, 북동, 남서, 남동)은 오존경보 발령구역을 나타냄.

대부분 그 지역 동사무소 건물(1-5층)의 옥상에 위치하고 있다.

도로변 측정망은 국내 처음으로 교통량이 많은 로타리 및 사거리 등 시내 주요지점 7개소(영등포, 신촌, 청계천, 신사동, 청량리, 동대문, 서울역)에 관측소를 설치하여 가동 중에 있으며 도시대기측정망과 같은 항목들을 관측하고 있다.

산성강하물 측정망은 도시대기측정망의 27개 측정소 중 10개소에서 강수 시 시료를 채취하여 강수의 산도와 이온성분 등을 측정하고 있다.

4. 2005 서울시 오염물질별 대기오염도 현황

본 장의 대기오염도는 서울시의 도시대기측정망 27개 관측소에서 측정한 자료들을 평균하여 나타낸 것이다(서울특별시, 2005b).

미세먼지(PM₁₀)는 공기 중에 떠다니는 고체 및 액적 상태의 입자를 총칭한다. 미세먼지는 자동차 등 배출원으로부터 직접 배출되거나 아황산가스나 질소산화물과 같은 가스상 물질이 대기 중에서 변환되어 2차적으로 생성되기도 한다. 미세먼지는 호흡기계 질병을 유발하며 시정을 악화시키고 식물의 신진대사를 방해하는 것으로 알려져 있다. 2005 서울시 평균은 58 μ g/

m³으로 서울시 환경기준 60 μ g/m³보다 낮았으며 지점별로는 그림 2 (a)에 나타난 것과 같이 마포, 강남, 동대문 등이 가장 낮았으며(44~47 μ g/m³) 중구, 도봉구, 은평구 등이 가장 높게 나타났다(70~73 μ g/m³).

지표가까이의 오존(O₃)은 발생원으로부터 대기로 직접 배출되는 것이 아니라 대기 중에 배출된 질소산화물(NO_x)과 휘발성유기화합물 등이 광화학반응을 거쳐 생성되는 2차 오염물질이다. 이들 오존의 전구물질들은 자동차와 휘발성 유기용매로부터 주로 발생한다. 오존은 눈과 호흡기 등을 자극하며 식물에도 영향을 미쳐 농작물 수확량을 감소시키기도 한다. 2005 서울시 평균은 0.017ppm이었고 계절별로는 일사량이 많고 기온이 높은 하절기에 높아 6월에 최고값인 0.025ppm를 나타내었고 일사량이 적은 11, 12, 1월에 가장 낮아 0.009ppm을 나타내었다. 오존 농도가 가장 높은 지점은 노원구(0.023ppm)와 은평구(0.022ppm)등 고농도 배출원의 풍하지역으로 지형적으로 확산이 어려운 지역이었으며 가장 낮은 지점은 구로2측정소로 0.012ppm으로 나타났다(그림 2 (b)).

이산화질소(NO₂)는 고온의 연소공정, 즉, 자동차나 발전소 등에서 배출된다. 이 기체는 눈, 코 등의 점막 이상에서 만성 기관지염, 폐렴, 폐출혈, 폐수종의 발병 등을 일으키는 것으로 보고되고 있다. 2005년 서울시 평균은 0.034ppm으로 국가환경기준인 0.05ppm 보다 낮았으며 모든 측정소의 연평균 농도도 이 기준이내였다. 지점별로는 동대문구(0.048ppm)와 중구(0.039ppm)가 가장 높았으며 성북구, 은평구, 구로2 측정소는 0.028ppm으로 가장 낮게 나타났다(그림 2 (c)). 월별로는 오존으로의 전환율이 가장 큰 8월이 0.022ppm으로 가장 낮았으며 11월이 0.041로 가장 높게 나타났다.

아황산가스(SO₂)는 물에 잘 녹는 무색의 자극성이 있는 기체로 황을 함유하고 있는 연료(주로 석탄과 석유)를 연소할 때 배출된다. 이 가스는 인체의 점막을 자극하며 심할 경우 호흡곤란, 기관지염, 폐렴 등을 초래하기도 한다. 아황산가스는 질소산화물과 함께 산성비의 주요 원인 물질이며 시정장애를 일으키

는 미세먼지의 주요 원인물질이기도 하다. 2005 서울시 전체 평균은 0.005ppm으로 서울시 환경기준 0.01ppm 보다 훨씬 낮은 수준을 유지하고 있으며 공간적으로는 종로, 동대문, 강북이 0.007ppm으로 높았고 중구, 성동, 광진, 성북, 은평, 강서, 구로2 지점이 0.004ppm으로 낮게 나타났다(그림 2 (d)).

일산화탄소는 무색, 무취의 유독성 가스로서 연료가 불완전 연소되었을 때 발생한다. 배출원은 주로 수송부이며 고농도의 일산화탄소는 유독성이 있어 건강한 사람에게도 치명적인 해를 입힌다. 2005년 연평균 농도는 0.6ppm으로 환경기준에 비해 매우 낮은 편이다(그림 2 (e)).

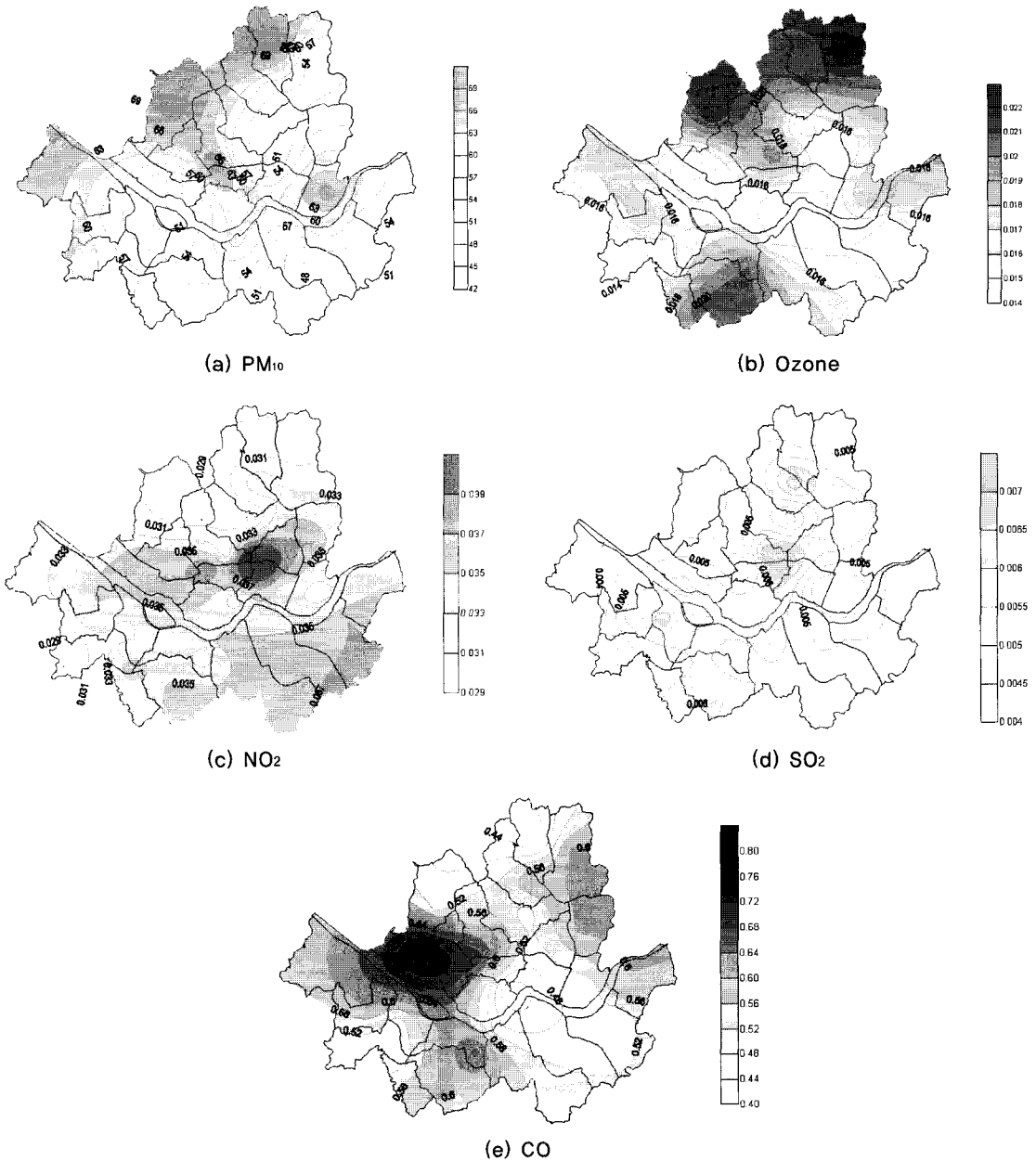


그림 2. 오염물질별 2005 연평균 대기오염도의 공간 분포 (지표 수준의 농도임)

표 3. 서울시 연도별 대기오염도

구 분	SO ₂ (ppm)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O ₃ (ppm)	NO ₂ (ppm)	CO(ppm)
1990	0.051	-	0.009	0.030	2.6
1995	0.017	78	0.013	0.032	1.3
2000	0.006	65	0.017	0.035	1.0
2003	0.005	69	0.014	0.038	0.6
2004	0.005	61	0.014	0.037	0.6
2005	0.005	58	0.017	0.034	0.6

표 4. 서울, 동경, 파리 및 런던의 기후현황

평년(1961~1990)	기 온(°C)	강수량(mm)	강수일(1mm이상)	풍 속(m/s)	일조시간
서울	11.8	1371	79	2.4	2108
동경	15.6	1406	99	3.4	1811
파리	10.6	650	113	3.3	1750
런던	9.6	754	119	3.8	1574

2005년 서울의 대기오염도는 그동안 추진된 여러 가지 대기질 개선 대책으로 과거에 비해 개선된 것으로 나타났다(표 3). 아황산가스의 경우 청정연료 및 저유황유의 공급 확대, 도시가스 및 지역난방 보급 확대 등으로 1990년에 비해 10분의1 수준으로 떨어졌으며, 미세먼지도 지속적인 자동차 배출가스 저감 대책 등으로 그 농도가 감소하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 오존 및 이산화질소는 질소산화물 및 VOC의 배출억제정책에도 불구하고 자동차 수의 증가 등으로 그 농도가 줄어들지 않고 있으며 오히려 증가하는 경향을 나타내고 있다.

서울의 대기질은 선진국 대도시들에 비해서는 여전히 열악한 편이다. 미세먼지(PM₁₀)의 경우 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 동경(32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 파리(21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 런던(20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)과 비교했을 때 여전히 매우 높은 편이며 NO₂의 경우도 34ppm으로 동경(27ppm), 파리(22ppm), 런던(25ppm)에 비해 비교적 높은 편이다. 이는 서울의 높은 인구밀도와 오염물질 배출량이 주 원인이나 자연 조건인 지형, 기상 및 기후 조건 등도 기여한다는 것을 알 수 있다. 표 4에 나타난 바와 같이 서울의 강수량은 동경과 함께 파리 및 런던의 2배 수준이다. 그러나 1mm 이상 강수일수를 비교해 보면 서울이 가장 적어 여름장마철에 강수가 집중되어있음을 알 수 있

다. 또한 풍속은 서울이 2.4m/s인 반면 다른 3도시들은 이보다 훨씬 큰 3m/s를 넘는 것으로 나타났다. 즉, 강수에 의한 대기오염의 세정효과 측면과 오염물질의 확산측면에서 보았을 때 서울은 동경, 파리 및 런던에 비해 기후조건이 매우 나쁘다고 할 수 있다(기상청 기후정보시스템 홈페이지 <http://kma.go.kr>).

5. 서울시 대기오염 예·경보 시스템

대기오염 경보제도는 대기오염의 농도가 환경기준을 초과하여 일정기준 이상 높게 나타났을 때 신속히 경보를 발령함으로써 고농도의 오염에 노출될 경우 피해를 입을 수 있는 취약집단에게 오염농도가 높음을 알려 그 피해를 최소화하고 또한 시민들 스스로 오염물질 배출을 자제해 대기오염농도를 낮추고자 하는 것이 그 목적이며, 예보제는 오염농도를 미리 알려주어 시민들이 생활하는데 참고할 수 있게 하는 것이 그 목적이다. 서울시에서는 현재 오존 경보제, 미세먼지 예·경보제 및 황사특보제를 실시하고 있다(서울특별시b, 2006).

표 5. 서울시의 오존경보 발령 기준 및 조치사항

구 분	발령기준	조치사항
주의보	대기중 오존농도가 시간당 0.12ppm 이상	· 주민의 실외활동 자제요청 · 자동차의 사용자제 요청
경 보	대기중 오존농도가 시간당 0.3ppm 이상	· 주민의 실외활동 제한요청 · 자동차의 사용제한명령 · 사업장의 연료사용량 감축권고
중대경보	대기중 오존농도가 시간당 0.5ppm 이상	· 주민의 실외활동 금지요청 · 자동차의 통행금지 및 사업장의 작업시간 단축명령 등

5.1 오존 경보제

서울시의 오존경보 발령 기준 및 조치사항은 표 5와 같으며 그림 1에 나타낸 바와 같이 서울 전역을 북서, 북동, 남서 및 남동 등 4개 구역으로 나누어 발령하고 있다. 오존경보 발령은 매시간 측정결과와 기상자료를 검토하여 발령하며 방송매체, 음성·팩스 등 보장치, 휴대폰 SMS, 전광판 등을 활용하여 전파하고 있다. 2005년 오존주의보 발령일수는 모두 5일이며 발령지역은 모두 17곳이었다.

5.2 미세먼지 예·경보제

미세먼지 경보제는 2005년 2월 전국에서 처음으로 서울시에서 시행하고 있는 제도로 서울시를 단일

권역으로 발령하고 있으며 그 발령기준 및 그에 따른 시민행동요령은 표 6과 같다(서울특별시, 2005).

미세먼지 예보제는 시민들에게 미세먼지 농도를 전일 혹은 당일 아침에 미리 알려주어 실외활동 등에 참고하고 자동차 운행 자제 등 대기오염 저감에 기여할 수 있게 하고자 한 것으로 매시간 측정결과와 기상자료를 검토하여 발령하고 있다. 예보의 내용은 서울시 먼지 예경보제 홈페이지(<http://dust.seoul.go.kr>)에서 확인할 수 있으며 미세먼지의 농도에 따라 6단계로 구분하여 좋음($0\sim 50\mu\text{g}/\text{m}^3$), 보통($51\sim 100\mu\text{g}/\text{m}^3$), 민감한 사람에게 나쁜영향($101\sim 150\mu\text{g}/\text{m}^3$), 약간 나쁨($151\sim 200\mu\text{g}/\text{m}^3$), 나쁨($201\sim 300\mu\text{g}/\text{m}^3$), 매우 나쁨($301\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상) 등으로 발표하고 있으며 고농도 예보 (시간평균 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상이 2시간이상 지속되는 때)시 외출 및 차량운행 자제, 학교 실외

표 6. 서울시의 미세먼지경보 발령 기준 및 시민행동요령

구 분	발령 및 해제기준	시민행동요령
주의보	시간평균 미세먼지농도가 · $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간이상 지속될 때 발령 · $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하인 때 해제	· 노인·어린이·호흡기 및 심혈관질환자 외출자제 · 유치원·초등교 실외수업 자제 · 과격한 실외활동 자제 홍보 · 불요불급한 차량운행 자제 · 미세먼지 배출업소 조업단축 · 도로물청소 시행 · 차량운행 자제 홍보
경 보	시간평균 미세먼지농도가 · $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간이상 지속될 때 발령 · $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하인 때 해제	· 노인·어린이·호흡기 및 심혈관질환자 외출금지 · 유치원·초등교 수업단축 또는 휴교 · 중·고등학교 실외수업 자제 · 과격한 실외활동 자제 · 불요불급한 차량운행 금지 · 미세먼지 배출업소 조업중지 · 도로물청소 시행 · 차량운행 금지 홍보

표 7. 황사경보 발령 기준 및 시민행동요령

구분	발령 기준	시민행동요령
황사정보	황사로 인해 1시간평균 PM ₁₀ 농도가 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상이 2시간이상 지속될 것으로 예상될 때	
황사주의보	황사로 인해 1시간평균 PM ₁₀ 농도가 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상이 2시간이상 지속될 것으로 예상될 때	· 노인·어린이·호흡기질환자 실외활동 금지 권고 · 유치원·초등교 실외활동 금지 권고 · 일반인 과격한 실외운동 금지 및 실외활동 자제 권고
황사경보	황사로 인해 1시간평균 PM ₁₀ 농도가 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상이 2시간이상 지속될 것으로 예상될 때	· 노인·어린이·호흡기질환자 외출 금지 권고 · 유치원·초등교 실외활동 금지, 수업단축, 휴업 등 권고 · 일반인 실외운동 금지 및 외출 자제 권고

수업 자제, 휴교 등 권고사항도 함께 발표하고 있다.

5.3 황사특보제

주로 봄철에 발령되는 황사특보는 기상청의 황사특보제(황사주의보, 황사경보)와 연계하여 시행하고 있으며 서울시에서는 황사특보 시 지역방송매체 및 산하기관에 발령사항과 시민행동지침을 전파하고 있다. 황사특보는 정보, 주의보, 경보 등 3단계로 구분하며 발령을 위한 PM₁₀ 농도 기준 및 시민행동요령은 표 7과 같다.

6. 결론

서울의 대기질은 지속적인 대기오염 저감대책의 실행으로 1990년대 이후 꾸준히 개선되고 있다. 대기오염물질들의 2005 서울시 연평균 농도는 모두 국가 및 서울시 대기환경기준을 달성한 것으로 나타났다. 그러나 각 지점별 단기환경기준(1시간 및 8시간)을 초과하는 경우는 빈번하며 특히 미세먼지와 오존의 경우가 그러하였다.

서울의 대기오염상태는 동경, 파리, 런던 등 선진국 대도시들에 비해서는 여전히 열악한 편이며 이는 서울이 상대적으로 인구밀도가 높아 인위적인 배출량이 많을 뿐만 아니라 기후 및 지형 등 자연조건도 다른 선진국 도시들에 비해 대기오염잠재력이 크기 때

문인 것으로 판단된다.

또한 미세먼지 예·경보사이트가 서울시 통합홈페이지 중 방문자수가 가장 많은 사이트로 분석되고 있는데 이는 대기오염에 대한 시민들의 관심이 크다는 것을 입증하는 것이라고 할 수 있다.

현재 서울시에서는 2010년 선진국 수준의 대기질을 목표로 자동차 저공해화, 교통량 수요관리, 에너지 절약, 친환경에너지 이용 및 친환경적 도시 관리 등 여러 가지 사업을 수행하고 있다. 그러나 이러한 목표에 도달하기 위해 요구되는 가장 기본적인 사항은 시민들이 대기오염의 위해성을 공감하고 오염물질 배출량 저감사업들에 자발적으로 동참하는 것이라고 할 수 있다.

참고문헌

1. European Environment Agency (2006), Assessment and management of urban air quality in Europe, EEA monographe no.5.
2. 한진석, 김영미, 안준영, 공부주, 최진수, 이상욱, 이석조 (2006), 장거리이동 대기오염물질 이동량의 공간적 분포와 변화추이, 한국대기환경학회지, 22, 99-106.
3. 서울특별시a (2006), 2005 환경백서, 서울의 환경.
4. 서울특별시 통계관리시스템, <http://stat.seoul.go.kr>.

5. Katsouyanni, K., et al. (1995), Short-Term Effects of Air Pollution on Health: A European Approach Using Epidemiological Time-scale Data. *European Respiration Journal*, 8: 1030 -1038.
6. 환경부, 환경정책기본법 제10조 환경기준의 설정, 1999
7. 서울특별시b (2006), 2005년 서울의 대기현황.
8. 서울특별시 (2005), 서울특별시 먼지 예보 및 경보에 관한 조례, 서울특별시조례 제4247호.