

국립환경과학원 대기환경연구부 대기환경연구실

서울시 미세먼지 배출량 조사·분석 및  
관리방안 연구

김운수

국립환경과학원 대기환경연구부 대기환경연구실

시정연  
2004-R-22

# 서울시 미세먼지 배출량 조사·분석 및 관리방안 연구

Study on PM10 Emission Inventories and Management Strategies in Seoul

2004

## 연구진

---

연구책임 김운수 • 도시환경연구부 연구위원  
연구원 홍영실 • 도시환경연구부 위촉연구원

---

### 자문위원 (가나다순)

김동영 • 경기개발연구원 연구위원  
김타균 • 녹색연합 국장  
민만기 • 녹색교통 사무처장  
신예섭 • 한국환경사회정책연구소 실장  
장영기 • 수원대학교 교수  
전의찬 • 세종대학교 교수  
조경두 • 인천발전연구원 연구위원  
채희정 • 서울시 대기과장

---

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서  
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

# 요약 및 정책건의

## I. 연구의 개요

### 1. 연구의 배경 및 필요성

- 서울의 먼지 오염도는 지역내부에서 발생한 먼지, 황사 등 외부에서 유입되어 온 먼지에 의한 부가적인 영향, 그리고 분지형태의 지형조건에 따른 대기정체 영향 등으로 인하여 미세먼지 오염도 수준은 좀처럼 개선되지 못하고, 이로 인한 시정 장애·시민의 체감오염도 악화 및 건강 피해 가능성이 제기되고 있음.
- 대기오염물질 가운데 가장 기본적인 형태의 오염물질인 미세먼지의 발생원은 도로와 공사장, 연소과정, 그리고 생활주변 등과 같이 매우 다양할 뿐만 아니라 배출패턴도 상이한 특성을 보여, 관리전략 수립의 한계요인으로 작용하고 있음.
- 시민의 체감오염도 개선을 위해서는 다양한 미세먼지 배출원에 대한 배출특성을 정량적으로 분석하고, 연후에 먼지오염 영향요인에 대한 보다 체계적이며 효율적인 관리방안의 마련이 필요한 시기임을 알 수 있음.

### 2. 연구목적

- 서울시 미세먼지 배출요인별 자료체계의 구축과 활용
  - 서울시 미세먼지 배출요인 분석 및 미세먼지 오염수준의 공간분포 특성 분석
  - 시민의 미세먼지 체감오염도 개선을 위한 대책수립의 방향설정 및 시책 추진의 유의점 도출
- 미세먼지 오염도 개선전략의 효율성 제고
  - 현재 서울시가 추진하고 있는 미세먼지 오염도 개선대책의 효율성을 제고하기 위한 당면과제와 주요 추진전략의 종합적 판단
  - 특히, 도로변 미세먼지 발생의 실제적 저감을 도모하여 시민건강 피해 가능성을 제어할 뿐만 아니라, 쾌적하고 청정한 도로변 보행공간 조성하고자 함.
- 서울시 미세먼지 오염개선을 위한 전략과제의 실체성 확보
  - 미세먼지 오염원 유형별 전략과제의 우선순위 제시
  - 미세먼지 배출억제와 관련된 법적·제도적 실효성 증진방안 모색

- 미세먼지 오염 개선을 위한 시민참여 및 홍보수단으로 활용
- 미세먼지 예·경보체계의 도입가능성 검토 및 시민참여 공감대 조성

### 3. 연구내용 및 추진체계

#### 1) 연구내용

##### ① 시간적 범위

- 서울시 미세먼지(PM10) 오염도 개선을 위한 배출원 관리정보체계를 구축하기 위해 2002년을 기준연도로 설정하여 진행
- 미세먼지 오염도 개선을 위한 배출원별 단기 및 중장기 관리방안의 제시를 위해 2007년, 2010년의 장래 미세먼지 배출량 전망추이 제시
- 단기적으로는 2005년 서울시 먼지오염 예보제 시행을 위한 근거를 확보하기 위한 기초자료로서 활용

##### ② 내용적 범위

- 서울시 미세먼지 오염도 변화 및 특성분석
  - 미세먼지의 인체·환경 위해도 정도, 서울시 미세먼지 저감을 위한 지역 환경기준 설정 동향 및 먼지오염에 영향을 미치는 요인과 대기오염 자동측정망 자료를 이용한 미세먼지 오염현황 등 분석
  - 서울지역에서 배출되는 미세먼지로 인한 내부 오염도 기여정도를 확산 모델링을 통해 예측하여, 배출량 저감에 따른 대기오염 변화 분석
- 미세먼지 발생원 분류 및 자료체계의 구축
  - 서울시 미세먼지 발생원을 분류하고, 배출량 자료체계(Emission Inventories) 구축
  - 오염원별 배출저감 전략을 모색하고, 또한 장래 오염원별 배출량 변화추이 분석의 기초 자료로 이용
- 기상변화에 따른 오염도 변화 분석
  - 미세먼지 배출량 조사분석 자료를 바탕으로 대기오염도의 변화를 예측하고, 바람(풍향, 풍속), 습도, 강수량 등 기상조건의 변화에 따라 미세먼지 오염도의 변화 정도를 모의 분석하여, 향후 미세먼지 오염도 예측을 통한 먼지 예보제 시행의 기초자료로 활용함.
- 미세먼지 오염저감 및 관리대책 사례분석

-국외의 먼지저감대책, 먼지저감관리기법, 먼지관리의 실효성 확보방안 등을 중점적으로 분석

○서울시 미세먼지 오염도 예·경보 체계 도입방안

-외국의 미세먼지 오염 예·경보 관련사례를 분석하여, 예보방법을 강구하고, 경보발령 단계별 농도기준설정, 발령지역구분 등 효율적 운영방안, 경보발령 단계별 시민홍보방안, 차량제한 등 경보 발령과정에서 필요한 조치방안 등 모색

○서울시 미세먼지 오염도 개선을 위한 법적·제도적 실효성 증진방안

-서울시 미세먼지 발생의 저감관리방안의 실효성을 확보하기 위하여 규제 및 관리를 위한 법령조사, 환경보전기금의 활용 가능성, 미세먼지저감 중장기계획 수립에 필요한 제도적 장치 제시

### ③ 대상적 범위

○서울시 미세먼지 배출원을 고정·이동 배출원으로 분류할 경우, 고정 배출원은 1종 ~ 5종으로 구분

-1종 ~ 3종 점오염원에 대해서는 점오염원 배출원 조사목록 자료를 수집·분석하여 배출량을 산정하고, 대기확산 모델링의 점오염원 기초자료로 이용

-기타 4종 ~ 5종 배출원은 면오염원에 포함하여 분석

○이동오염원 자료는 2002년 서울시 교통 O-D 자료 및 2002년 도로망 체계도를 활용하여 이동오염원 유발 미세먼지 배출총량을 격자별 배분의 기초자료로 활용

○기타 미세먼지 오염원 배출량 자료는 1997년 서울시 미세먼지 배출원 DB 자료의 수정 및 보완차원에서 시행하나, 다만 배출계수의 수정, 신규 방법론 적용 검토 등과 같은 배출원 DB 구축자료의 수정에 중점을 둔.

## 2) 추진체계

○서울시 미세먼지 오염도 저감을 위해 일반 시민의 대기환경 개선수요에 맞는 미세먼지 개선전략을 도출하기 위하여 설문조사 실시

○서울시 내부자료 및 국립환경연구원에서 구축한 대기정책지원시스템(Clean Air Policy Supporting System; CAPSS) 자료를 활용하여 미세먼지 오염원별 현황 자료체계 구축

○서울시 미세먼지 개선전략을 도출하기 위하여, 선진 대도시에서 추진하고 있는 다양한 미세먼지 저감전략을 살펴보고, 향후 서울시에 도입·적용가능성 판단함.

## II. 연구의 주요결과

### 1. 서울시 연도별 미세먼지(PM10) 오염도 영향요인 및 변화

#### 1) 자연적 요인

- 서울시는 도봉산, 우면산, 불안산 등의 크고 작은 26개 산이 도시의 외곽을 둘러싸고 있을 뿐만 아니라 북한산 ~ 관악산간 많은 구릉과 산악이 산재하여 전형적인 분지형태를 이루어 대기오염물질의 확산에 불리하게 작용함.
- 대기오염도 제어요인으로 작용하고 있는 강수량은 연평균 1,517.6mm를 기록하였고, 7·8월에 집중적인 강우현상을 보여 이 시기에 전체 강수량의 57.8%의 강수량을 차지하는 반면 겨울에는 전체 강수량의 3.6%의 불과해 미세먼지의 계절별 오염도가 이를 반영하고 있음.

#### 2) 인위적 요인

##### ① 인구

- 서울시의 인구는 2003년 현재 10,276,968명으로 1992년까지 꾸준한 증가율을 보였으나, 1993년부터는 감소 경향을 보이고 있음.
- 고밀·과밀도시가 갖는 규모의 불경기에 의한 외곽도시로의 주거이동이 원인으로 볼 수 있음.

##### ② 대기배출업소 현황

- 서울시의 대기배출업소는 2003년 총 1,094개로써, 그 가운데 1종~3종 배출업소는 전체의 3.1%인 34개소이며, 연료소비가 적은 4종~5종 배출업소는 96.9%인 1,060개로 대부분 아파트 등 난방시설 및 소규모 사업장이 포함됨.
- 서울 도시지역을 5개 권역으로 분류할 경우 1종~3종 대기배출업소는 동북권과 서남권에 편중되어 있어, 풍향과 같은 자연적 영향요인에 의해 미세먼지 오염도가 확산과정을 통해 권역별 차별화가 발생하는 요인이 됨.

##### ③ 에너지 사용

- 유류와 석탄류의 소비량은 감소 추세인 반면 가스 공급량은 증가하고 있음. 이는 청정연료의 사용 의무화와 일반 주택의 도시가스(LNG) 보급의 영향으로 보임.

#### ④ 교통

- 2003년 현재 서울시 자동차 등록대수는 284만대이며, 꾸준한 증가추세에 있음.
- 경유차가 전체 차량의 26%를 차지하고 있으며, 이 가운데 시내버스·청소차 등 대형 경유자동차에 의한 미세먼지 오염영향이 가장 많음.

#### 3) 미세먼지 오염도 변화추이

- 연평균 미세먼지 오염도는 점차 감소하다가 1999년을 기점으로 점차 증가 추세에 있으며, 특히 2002년에는 고농도의 황사와 가을 황사로 오염도가 높게 나타났으며, 2003년 이후부터는 점차 미세먼지 오염도가 감소 경향을 보이고 있으나, 여전히 선진 외국도시에 비해 높은 오염도를 보이고 있음..
- 월별 미세먼지 오염도는 건조한 동절기는 높고, 강우량이 많은 하절기는 낮은 추세를 보임.
- 일별 미세먼지 오염도는 통행량이 증가하는 출퇴근시간에 약간 높아지는 경향을 보이며, 계절별로 살펴보면 계절 특성상 총량의 변화만 있을 뿐 시간적 변화에는 별다른 차이점이 없는 것으로 나타남.

#### 4) 기상조건과 미세먼지 오염도 상관분석

- 서울시 미세먼지 오염도 수준을 결정하는 제반 사회·경제적 영향요인의 기여도 분석에 중점을 두지 않고, 미세먼지 오염도 수준에 간접적·부가적으로 영향을 미치는 기상조건을 분석함.
- 기상조건과 미세먼지 오염도 상관분석(사당동, 자동측정망 자료)
  - 시간평균 회귀분석 결과, 결정계수( $R^2$ )는 0.477 종속변수에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 47.7%로 나타남.
  - 일평균 회귀분석결과, 결정계수( $R^2$ )는 0.523으로 종속변수에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 52.3%로 나타남.
- 기상조건과 미세먼지 오염도 상관분석(사당동, 서울기상대 자료)
  - 시간평균 회귀분석결과, 결정계수( $R^2$ )는 0.482로 종속변수에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 48.2%로 나타남.
  - 일평균 회귀분석결과, 결정계수( $R^2$ )는 0.584으로 종속변수에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 58.4%로 나타남.

## 2. 서울시 미세먼지 배출량 산정 및 오염수준 예측

### 1) 분석개요

- 국내외 배출량 산정기법을 적용하여 자료의 신뢰도를 높이고자 하였고, U.S EPA EIIP(Emission Inventory Improvement Program)의 방법론과 배출계수를 적용하였음.
- 점오염원은 이동오염원과 달리 고정된 곳에서 오염물질을 배출하는 단위 배출원으로서 대형배출시설과 소각시설에 대해 배출량을 산정함.
- 면오염원 배출량은 연료소비량에 연료별 오염물질 배출계수를 적용하여 산정함.
- 이동오염원은 차종별 주행거리(VKT) 및 주행거리별 배출계수를 이용하여 산정하였고, 도로 이동오염원에 대한 배출계수는 최근 환경부에서 정립한 자동차 차종별 속도배출계수를 적용하였음.

### 2) 서울시 미세먼지 배출량 산정결과

- 서울시 2002년 배출원별 미세먼지 배출량 산정결과 연간 33,577톤이 배출되며, 연료연소에 의한 배출량은 4,781톤/년 (14.2%), 비산먼지 배출량은 28,796톤/년 (85.8%)으로 나타남.
- 도로교통부분에 의한 미세먼지 배출량은 서울시 총 배출량 33,577톤/년의 77%인 25,991톤/년을 차지하고 있으며, 부문별로 살펴보면 도로 재비산에 의한 배출비율이 72%, 연료연소에 의한 배출비율이 15%, 타이어마모에 의한 배출비율이 13%를 차지하는 것으로 나타남.

### 3) 서울시 장래배출량 산정

- 기준 년도(2002년) 배출량에 각 부문별 증가율(growth factor)를 반영하여 구체적인 저감대책을 위하여 장래배출량을 산정
- 에너지산업, 비산업, 제조업연소, 도로이동오염부분의 배출량은 GRDP에 의한 에너지 증가추이 또는 자동차 증가추이에 따라 산정하였으며, 비도로 이동오염원은 부문별 에너지 수요전망에 따라 산정
- 폐기물 소각은 환경부의 제2차 폐기물 관리 종합계획에서 제시한 소각량 증가율을 적용하여 산정

<표 1> 현행 기준 유지시 서울시 미세먼지 배출전망 (단위 : 톤/년)

배출원	2002년	2007년	2010년
에너지 산업연소	12.6	9.5	6.4
비산업연소	280.5	294.6	302.9
제조업연소	9.4	9.5	9.6
폐기물소각	3.9	7.4	9.2
도로이동	3,850.3	3407.6	3,686.7
비도로이동	624.3	713.0	734.4
전체 배출량	4,781.0	4441.7	4,749.1

#### 4) 미세먼지 오염도 영향분석

- 전체 오염원을 고려한 농도분포에서 서울시의 미세먼지 오염도는 서울시 전역에서 골고루 분포되며, 특히 이동오염원에 의한 농도가 높게 나타나 이동오염원에서 배출되는 미세먼지 관리가 요구됨.
- 장래배출량을 근거로 한 모델링 수행결과 현 기준 유지시(현재 배출량 수준 및 장래 배출량 전망 수치 적용 시나리오)와 저감대책 시행시(2007년 예측 배출량의 30% 총량 삭감 및 2010년 예측 배출량의 50% 총량 삭감 시나리오)의 미세먼지 오염도 수준 전망 결과, 현 기준 유지시 2002년에 비해 2007년 및 2010년의 미세먼지 오염도는 큰 편차를 나타내지 않았으나, 자동차 미세먼지 저감대책 등을 시행시 미세먼지 오염도는 약 65% 수준으로 개선되는 것으로 나타남.

### 3. 서울시 대기환경 인식도 설문조사

#### 1) 시민인식 설문조사 표본조사 설계

- 서울시 대기환경에 대한 서울시민의 인식도를 살펴보기 위해 설문조사 실시 (2004년 6월 11일 ~ 21일)
- 설문조사 결과의 신뢰성을 제고하기 위하여, 서울시 모집단에 대한 표본지역 및 조사대상가구의 선정
  - 표본지역의 비확률 추출(할당표본추출방법)
  - 표본지역 분류에 따라 조사대상가구의 무작위 추출과정을 통해 표본조사 설계

## 2) 대기환경 관심과 인식 및 미래전망

- 서울시 대기환경 인식을 묻는 설문에서 “매우 심각” 35.4%, “대체로 심각” 59.5%로 전체적으로 94.9% 수준을 보여, 서울 시민들이 대체로 대기 환경을 심각하게 인식하고 있는 것으로 나타남.
- 장래의 대기환경 전망에 대한 설문에는 “현재와 비슷” 34.7%, “대체로 악화” 33.4% 수준을 보임.

## 3) 미세먼지 예보제도 인식도

- 2005년부터 미세먼지 오염에 의한 서울시민의 건강피해 가능성을 사전에 예방하기 위해 도입예정인 ‘먼지 예보제도’에 대한 시민 인지도를 묻는 질문에는 과반수 이상이 모른다고 응답하여 예보제도 시행에 대한 홍보가 다소 미흡한 것으로 나타남.
- 먼지 예보제도의 시행을 전제로, 이의 효과를 묻는 질문에 51.4%가 “대체적으로 효과적”이라고 응답하여 미세먼지 예보제도에 대한 시민들의 반응은 대체적으로 긍정적인 것으로 나타났으나, 미세먼지 예보제도의 시행에 대해 일부 “부정적인 견해” (17.7%)가 제시된 이유는 대기오염 개선의 어려움, 자동차 운행억제의 한계, 실외활동 단축 어려움, 예보의 부정확성 문제 등에 의한 것으로 판단되므로, 향후 서울시 미세먼지 예보제도의 보다 효율적인 시행을 위하여 해결해야 할 제약요인으로 나타남.

## 4) 대기환경 개선대책 및 자동차 배출가스 저감정책의 우선순위 인식

- 대기환경 개선정책의 우선 순위를 묻는 질문에서 50% 이상의 심들이 자동차 배출가스 저감대책을 선택하였으며, 서울시 대기환경이 심각하지 않다고 응답한 시민들은 자동차 배출가스 외에 별다른 관심을 보이지 않음.
- 자동차 배출가스 저감정책의 우선순위를 묻는 설문에는 대부분의 시민들이 자동차 배출가스 검사와 친환경 자동차 기술개발, 연료품질 향상, 오염물질 과다배출 노후차량관리, 천연가스(CNG) 시내버스 확대운행 등 다양한 의견을 제시하였으며, 소수의견으로는 운전자 스스로 소유차량의 유지관리, 버스전용차로 확대, 환경주행세 도입 등의 다양한 의견이 제시되었음.

## 5) 맑고 깨끗한 공기를 만들기 위한 선행조건 및 대기환경 개선편의

- 맑은 서울하늘, 깨끗한 공기를 만들기 위해 가장 먼저 선행·선행되어야 할 조건

으로 대기질 향상을 위한 효과적인 규제 정책마련, 환경문제와 관련된 행정관리 및 각종 규제의 철저한 시행 등이 필요하다고 보고 있으며, 이와 병행하여 환경 문제에 대한 시민참여 의식의 제고가 바람직한 것으로 인식하고 있음.

- 일상생활에서 사용에 불편함이 없으며, 항상 깨끗한 공기를 호흡할 수 있도록 하는 청정 마스크 상품이 개발된다면 구매할 의향이 있는지를 묻는 설문에서 80% 이상의 응답자가 구매의사가 있는 것으로 나타났으며, 적정 가격은 78,500원 수준으로 서울시민이 생각하는 청정 하늘의 가치는 약 7.8조원에 이르는 것으로 추정됨.

#### 6) 대기환경 인식조사 시사점

- 서울시 대기환경 개선을 위한 실효성 있는 「로드 맵」 작성 및 추진, 도로변 먼지 저감을 위한 서울시 도로청소 시스템 구축, 서울 녹색교통 인증제도의 추진, 먼지 예보제도의 효과적 시행 등과 같은 시민의 대기환경 인식 및 기대수준에 부응하기 위한 맞춤형 대책 수립이 요구됨.
- 서울시 대기환경 개선을 위하여 2005년 시행 예정인 수도권 대기환경 개선 특별 대책 추진과 함께, ‘서울시 대기환경 개선시행 10개년 계획」 「로드 맵」 작성에 보다 많은 관심과 투자가 병행되어야 함.
- 미세먼지의 인체 위해성에 대한 경각심이 고조되고 있는 가운데, 정부·시민간 활발한 연대를 통해 “건강싶은 도시 만들기”와 같은 보행환경 개선을 위하여 도로청소 시스템과 같은 도로변 미세먼지 저감대책을 추진하여야 함.
- 서울시 미세먼지 및 이산화 질소 배출저감과 오염도 개선을 위해서는 자동차 중심의 차별화된 전략이 바람직하며, 청정엔진 도입과 연료 사용뿐만 아니라 자동차 배출가스 배출허용기준보다 적게 배출하는 자동차를 대상으로 ‘서울시 녹색교통 인증’을 부여하여 각종 인센티브를 제공하는 등 시민들에게 제공해 자동차 구입 및 운행차의 적정유지관리의 동기를 부여할 수 있어야 함.

#### 4. 외국도시의 미세먼지 저감 및 관리사례

- 선진국은 신뢰성 있는 과학적인 실태자료 조사에 기초하여 사전오염 예방원칙과 통합전략을 철저히 실행하고 있음.
- 선진외국에서 대기정책 목표를 효과적으로 달성할 수 있었던 이유는 첫째, 지방 정부와 지역주민의 적극적인 참여, 둘째, 과학적으로 축적된 신뢰할 수 있는 자

료의 공개, 셋째, 산업체의 자발적인 저감대책으로 평가될 수 있음.

- 최악상태(episode)의 대기질 관리 : 대부분 선진국에서는 대기질이 수용할 수 없을 정도로 악화될 수도 있는 특성조건을 파악하여 이에 대한 저감대책을 수립하고 있음.
- 통합계획 : 미래의 성장에 수반되어 증가되는 대기오염을 효율적으로 해결하기 위해 토지이용, 수송, 대기질 계획은 반드시 통합되어 수립되어야 함을 강조.
- 지역의 협조방안 및 중앙과 지방정부와의 역할구분 : 같은 영향권 범위 내 지역의 환경관리는 공동으로 수립, 이행하여야 하며 최소한의 중복노력으로 효과를 증대시키고 있음.
- 지역 대기질과 지구 기후변화 대책을 동시에 고려 : 지역적인 대기오염에 대한 대응은 지구적 환경대책으로 이어지고, 에너지 보존대책은 생산효율증가 뿐만 아니라 환경대책으로도 이어질 수 있다는 win-win approach를 강조하고 있으며, 이에 따라 지역 대기질 개선을 위해 에너지 감소와 에너지 효율 개선정책 및 프로그램을 추진하고 있음.

### Ⅲ. 결론 및 정책건의

#### 1. 서울시 미세먼지 종합대책 추진의 효율성 제고

- 서울시 미세먼지 주요 발생원은 자동차, 발전시설, 산업체, 공사장, 대형건물과 아파트 보일러 등 매우 다양한 분포를 보이고 있음.
- 서울지역에서 발생하는 미세먼지의 77% 정도가 도로교통에 의하여 발생하고 있으므로, 시민의 체감오염도를 개선하기 위하여 자동차에 의한 미세먼지 저감방안 수립이 당면과제로 대두되고 있음.
- 서울시에서 추진중이거나 시행예정인 먼지저감대책은 우선순위 선정과 추진대책의 실효성 제고를 위한 전략적 계획이 다소 미흡한 수준임.
- 도로교통 부문에 의한 미세먼지 발생요인 가운데 차량운행에 의한 미세먼지 발생 비중이 상대적으로 높음을 감안하여 이에 적합한 저감대책 수립에 우선순위를 두어야 함.

#### 1) 도로변 미세먼지 저감대책의 수립·추진

- 도로청소 강화 : 물청소차의 연차별 확충계획을 수립하여 도로 물청소를 강화하

며, 지하철 배수를 이용한 급수전을 주요 지점별로 충분히 확보함.

- 도로굴착공사 중점관리 : 도시가스, 상하수도 등 다양한 도로굴착 공사의 중복 시행을 지양하고 동일시기에 실시할 수 있도록 관련 부서와의 사전 협의 절차를 제도화함.
- 도로 중앙분리 녹지대 경계석 설치방법 개선 : 토사가 도로에 유실되지 않도록 경계석 상단기준 5cm 이하로 복토하고, 잔디 식재를 통해 표면노출 상태를 최대한 억제함.
- 비포장 도로의 포장율 제고 : 도로 포장율을 상향조정하여, 도로운행 과정에서의 미세먼지 발생을 억제함
- 도로변 나대지의 녹화

## 2) 도로청결 시스템의 체계적 도입

- 도로에서 발생하는 먼지의 저감, 그리고 발생 후 노변 적치(積置)시 자동차 통행에 의한 재비산 등을 억제함으로써, 도로변 환경개선을 통해 서울하늘의 시정거리 증대와 청정공기 유지를 도모하기 위해서는 기본적으로 도로청결시스템(Roadways Cleaning System)의 체계적 도입이 바람직함.
  - 도로변 미세먼지 저감 특화전략의 일환인 도로청결 시스템 도입에 따른 도로·교통부문에서의 발생량(타이어 마모 및 차량운행으로 인한 재비산 먼지) 저감효율은 2002년 11.2%, 2003년 12.7% 정도 저감효과가 있는 것으로 추정되어, 향후 도로변 환경개선의 주된 기능을 담당할 수 있을 것으로 판단됨.
- 도로청결 시스템은 여타 자동차 배출허용기준 강화, 매연여과장치 부착, 교통수요관리, 그리고 연료품질 개선 등과 연계되면, 향후 서울시 도로변 미세먼지 관리에의 전환점이 될 수 있을 것임.

## 3) 공사장·사업장 먼지저감 대책

- 공사장 먼지 오염관리의 효율성을 재고하기 위한 방편으로 공사단계별 먼지 저감 이행계획서를 공사 시방서와 별도로 작성하게 유도하고 이에 따라 공사 단계별 세부 미세먼지 오염관리가 이루어지도록 유도함.

## 2. 서울시 미세먼지 배출요인별 자료체계 구축과 증장기 시행계획 수립 및 추진

- 현재 서울시는 미세먼지를 저감하기 위해 도로변, 공사장, 사업장, 그리고 생활주변 등 다각적인 발생원별 저감대책을 수립·추진하여 일부 성과를 나타내고 있

으나, 도로변 미세먼지 발생에 관한 실제적 먼지저감대책의 추진은 다소 미약한 것으로 분석됨.

- 이에 미세먼지 발생원별 정확한 정보체계 구축을 통해 발생원별 저감대책의 실효성을 확보할 수 있는 체계적인 접근이 필요함.
- 자동차 연료연소 및 도로이용에 따른 도로변 미세먼지의 발생량을 추정된 결과, 특히 자동차 연료연소에 비해 차량운행과정에서 과생된 미세먼지의 발생기여도가 높게 나타나, 향후 도로변 미세먼지 저감을 위한 특화전략이 필요한 것으로 분석됨. 다만, 도로변 미세먼지 발생량 추정의 정확성을 한층 제고하기 위한 과학적인 배출계수의 산정작업이 향후 추가보완되어야 할 것임.
- 미세먼지 배출저감을 위해서는 자동차 부문 중심의 차별화 저감 전략이 바람직하며, 이의 추진내용으로는 ① 경유사용 시내버스를 모두 저공해 시내버스(CNG)로 대체 ②경유사용 승합차 및 화물차의 엔진기술 향상 ③ 자동차 배출가스 저감강화 및 중간검사체제 구축 ④ 노후 자동차 폐차유도 ⑤ 청정 연료차 의무관매제 도입 등이 있음.

<표 2> 삭감목표에 의한 서울시 미세먼지 배출전망 (단위 : 톤/년)

배출원	2002년	2007년	2010년
에너지 산업연소	12.6	9.5	6.4
비산업연소	280.5	290.6	297.2
제조업연소	9.4	9.5	9.6
폐기물소각	3.9	7.4	9.2
도로이동	3,850.3	2,419.5	1,666.0
비도로이동	624.3	372.6	386.3
전체 배출량	4,781.0	3,109.2	2,374.6

### 3. 미세먼지 저감 실천전략 점검표 작성과 활용

- 자동차에 의한 먼지 오염도는 전체 미세먼지 발생량의 77%를 차지하고 있어 자동차 먼지 대책이 매우 시급하며, 이에 의한 먼지를 저감하기 위하여 교통부분 중심의 특화된 실천 전략의 추진이 시급함.
- 하지만 교통부분 중심의 실천전략 추진만으로는 서울시 미세먼지 오염목표 수치인 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  달성에는 다소 미흡한 것으로 추정되므로, 다양한 유형의 미세먼지 저감 실천전략이 종합적으로 추진되어야 함.

<표 3> 미세먼지 저감 실천전략 점검표

실천전략	내용
자동차 배출가스 저감대책	·경유사용 시내버스를 모두 저공해 시내버스(CNG)로 대체 ·제작차 배출허용기준 강화 ·자동차 배출가스 검사강화 및 중간검사체제 구축 ·오염물질 과다배출 노후 자동차 폐차 유도 ·경유차 배출가스 저감장치(DPF) 부착 ·청정 연료차 의무판매제
녹색 자동차 인증마크 부착	·녹색교통 인증 발급 ·녹색교통 인증 미취득·미부착 차량의 수시검사 확대 ·자동차 유발 오염물질의 배출저감을 위한 자동차 검사 및 유지관리
교통수요 관리대책	·저배출 지역(Low Emission Zone) 지정 ·교통 혼잡세 부과 ·대중교통 기반확충 ·기업체 교통수요관리 강화 ·주차수요관리 ·자전거 이용을 제고
건설기계 배출규제 대상 확대 및 단계적 기준강화	·등록대수 1,000대 이상의 건설장비를 대상으로 엔진출력 19~550kW의 건설기계에 대한 배출규제 실시 ·2004년 1월부터 Tier- I, 2005년~2007년 Tier- II 수준
면오염원 관리대책	·민수용 무연탄의 청정연료 전환 ·소각시설관리 및 소각시설 폐쇄유도 ·무단 소각행위에 대한 감시 및 신고체계 강화
사업장 오염물질 총량관리 및 배출권 거래제 실시	·대규모 배출시설에 대하여 오염물질 총량관리를 실시 ·삭감목표량은 오염저감기술 발전정도, 배출삭감노력 등을 고려하여 5년마다 갱신

#### 4. 서울시 미세먼지 예·경보체계의 도입

○일반적으로 미세먼지 노출에 의한 시민건강 영향은 황사 유입시 형성되는  $350\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 농도를 제외하더라도,  $150\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 350\mu\text{g}/\text{m}^3$  농도의 노출 수준에서도 피해 가능성은 있는 것으로 보고됨에 따라, 서울시 먼지주의보 예·경보 발령체계의 구축은 미세먼지(PM10)에 의한 시민건강 위해 가능성의 제어 및 현행 먼지오염 경보체계에서 누락된 오염농도의 임계수준 관리의 효율화 측면에서 의의를 찾을 수 있음.

○미세먼지 농도 단계별 조치사항 및 시민행동 요령 지침제시

## 5. 법적·제도적 실효성 증진방안

- 생활주변 먼지 발생원 및 도로변 비산먼지 관리의 체계적·종합적 관리를 제도적으로 확보할 뿐만 아니라 먼지저감대책의 일관성 유지를 위한 장치로서 서울시 먼지저감 조례 제정과 운용이 바람직함.
- 자동차 배출가스 배출허용기준을 만족하는 운행차를 대상으로 환경성 충족을 의미하는 녹색자동차 인증마크를 부여하여 차량 앞 유리에 부착하고 운행하는 운행차량의 환경적합성 평가 제도를 시행함.
- 인증서 미부착 차량에 대하여는 수시 검사를 확대·실시하여 오염물질 초과배출 자동차의 상시 관리할 수 있는 효과를 도모하고, 또한 과적화물차량의 운행검사 지점에서 배출가스 검사를 병행 실시함.
- 개인 승용차 운행을 실천협약을 통해 억제하고, 대중교통이용을 우선하는 교통수단 선택 시민행동을 총괄하는 Travel Blending 제도의 활용을 적극적으로 고려하여야 함.
- 2005년 이후부터 서울시에서는 서울의제 21 목표를 달성하기 위하여 시민환경 실천단을 구성·운영할 예정임에 비추어, 이미 외국에서 시행하고 있는 자동차 주행거리 감축(21%), 교통량 감축(23%) 효과를 나타내는 Travel Blending 제도를 신중하게 검토하는 것이 바람직함.

# 목 차

제 I 장 서론 .....	1
제 1 절 연구배경 .....	1
제 2 절 연구목적 .....	2
제 3 절 연구내용 .....	4
제 4 절 연구방법 .....	7
제 II 장 미세먼지 영향요인 및 변화특성 .....	11
제 1 절 미세먼지 오염과 건강영향 .....	11
1. 미세먼지의 개념 및 인체영향 .....	11
2. 미세먼지의 환경기준 .....	13
3. 미세먼지의 성분 및 물리·화학적 반응 .....	13
제 2 절 미세먼지 배출 및 오염도 영향요인 .....	16
1. 자연적 영향요인 .....	16
2. 인위적 영향요인 .....	17
제 3 절 미세먼지 오염도 변화추이 .....	23
1. 대기오염 자동측정소 분포현황 .....	23
2. 서울시 미세먼지 오염도 변화 .....	24
3. 서울시 미세먼지 환경기준 초과현황 .....	31
제 4 절 기상조건과 미세먼지 오염도 상관분석 .....	33
1. 분석방법의 정립 .....	33
2. 기상조건과 미세먼지 오염도 상관분석 .....	35
제 III 장 미세먼지 배출량 산정 및 오염도 영향분석 .....	57
제 1 절 분석개요 .....	57
1. 배출원 구분 .....	57
2. 배출량 산정방법 .....	57
3. 조사의 대상 및 분석범위 .....	58
제 2 절 미세먼지 배출량 산정 .....	59
1. 점오염원 .....	59
2. 면오염원 .....	61

3. 이동오염원 .....	62
4. 비산먼지 .....	66
5. 서울시 미세먼지 배출량 산정결과 .....	76
6. 장래배출량 산정 .....	77
제 3 절 미세먼지 오염도 영향분석 .....	79
1. 분석모델 개요 .....	79
2. 미세먼지 오염도 예측 .....	84

#### 제 IV 장 외국도시의 미세먼지 저감 및 관리사례 ..... 91

제 1 절 사례분석의 기본전제 .....	91
제 2 절 외국 도시별 미세먼지 저감 및 개선사례 .....	91
1. 미국 .....	91
2. 영국 .....	95
3. 캐나다 .....	98
4. 일본 .....	100
5. 스웨덴 .....	100
6. 벨기에 .....	101
제 3 절 정책적 시사점 .....	101

#### 제 V 장 서울시 미세먼지 저감 및 관리전략 ..... 105

제 1 절 기본방향 .....	105
제 2 절 대기환경 시민인식 설문조사 .....	105
1. 표본조사 방법 .....	105
2. 서울시민 인식조사 결과분석 .....	106
3. 서울시민 대기환경 인식조사 시사점 .....	114
제 3 절 미세먼지 저감 실천전략 .....	116
1. 대기환경개선 관련 주요 추진계획 .....	116
2. 서울시 먼지저감 종합대책의 효율성 제고 .....	120
3. 미세먼지 저감 실천전략 점검표 작성과 활용 .....	125
제 4 절 미세먼지 예·경보제도 도입 .....	136
1. 미세먼지 예·경보제도의 개요 .....	136
2. 미세먼지 예·경보제도의 해외사례 .....	137
3. 국내의 미세먼지 예·경보시스템 .....	140
4. 황사 예·특보제 .....	140

제 VI 장 결론 .....	147
제 1 절 요약 .....	147
제 2 절 정책건의 .....	149
○ 참고문헌 .....	155
○ 부록	
【부록1】 서울시 미세먼지 오염확산 모델링 자료 .....	161
【부록2】 기상요인별 미세먼지 상관분석 .....	175

## 표 목 차

〈표 2-1〉 미세먼지 노출정도에 따른 위해 가능성 .....	12
〈표 2-2〉 미세먼지(PM10) 오염수준에 따른 예방조치 .....	12
〈표 2-3〉 국내·외 미세먼지(PM10) 대기환경기준 비교 .....	13
〈표 2-4〉 미세먼지 성분비교(1995년) .....	13
〈표 2-5〉 서울시 인구 현황(2002) .....	18
〈표 2-6〉 서울시 대기배출시설 현황(2002년) .....	19
〈표 2-7〉 서울시 가스 공급량 .....	20
〈표 2-8〉 서울시 차종별 연료별 등록대수 추이 .....	22
〈표 2-9〉 서울시 대기오염 자동측정소 현황 .....	23
〈표 2-10〉 서울시 연도별 미세먼지 오염도 비교 .....	25
〈표 2-11〉 측정소별 월별 미세먼지 오염도 변화(2003년) .....	30
〈표 2-12〉 장기환경기준 초과지점 및 오염도 .....	32
〈표 2-13〉 단기환경기준 초과지점 및 횟수 .....	32
〈표 2-14〉 미세먼지 시간평균 오염도 영향요인별 회귀분석(사당동 자동측정망) ..	36
〈표 2-15〉 미세먼지 시간평균 오염도 영향요인별 회귀분석(궁동 자동측정망) ..	36
〈표 2-16〉 미세먼지 시간평균 오염도 영향요인별 회귀분석(사당동 서울기상대) ..	37
〈표 2-17〉 미세먼지 시간평균 오염도 영향요인별 회귀분석(궁동 서울기상대) ..	37
〈표 2-18〉 미세먼지 일평균 오염도 영향요인별 회귀분석(사당동 자동측정망) ..	38
〈표 2-19〉 미세먼지 일평균 오염도 영향요인별 회귀분석(궁동 자동측정망) ..	38
〈표 2-20〉 미세먼지 일평균 오염도 영향요인별 회귀분석(사당동 서울기상대) ..	39
〈표 2-21〉 미세먼지 일평균 오염도 영향요인별 회귀분석(궁동 서울기상대) ..	39
〈표 2-22〉 화곡동 자동측정망 시간자료 습도와 미세먼지와의 상관분석결과 ..	40
〈표 2-23〉 화곡동 자동측정망 시간자료 기온과 미세먼지와의 상관분석결과 ..	42
〈표 2-24〉 화곡동 자동측정망 시간자료 자외선과 미세먼지와의 상관분석결과 ..	44
〈표 2-25〉 화곡동 자동측정망 시간자료 풍속과 미세먼지와의 상관분석결과 ..	46
〈표 2-26〉 화곡동 자동측정망 일자료 습도와 미세먼지와의 상관분석결과 ..	48
〈표 2-27〉 화곡동 자동측정망 일자료 기온과 미세먼지와의 상관분석결과 ..	50
〈표 2-28〉 화곡동 자동측정망 일자료 자외선과 미세먼지와의 상관분석결과 ..	52
〈표 2-29〉 화곡동 자동측정망 일자료 풍속과 미세먼지와의 상관분석결과 ..	53

<표 3-1> 배출원 구분 및 조사내용 .....	58
<표 3-2> 점오염원에 의한 미세먼지 배출량(2002년) .....	59
<표 3-3> 폐기물 소각 PM 배출계수 .....	60
<표 3-4> 폐기물 소각에 의한 PM 배출량(2002년) .....	60
<표 3-5> 연료별 PM 배출계수 및 PM 배출량(2002년) .....	61
<표 3-6> 자동차 차종별 PM 배출계수 .....	62
<표 3-7> 도로이동오염원에 의한 미세먼지 배출량(2002년) .....	62
<표 3-8> 철도 차량의 PM 배출계수 .....	63
<표 3-9> 서울시 철도운행에 의한 PM 배출량(2002년) .....	64
<표 3-10> 서울시 건설장비 현황 및 PM 배출량(2002년) .....	65
<표 3-11> 서울시 농기계 현황 및 PM 배출량(2002년) .....	66
<표 3-12> 비산먼지 오염원별 발생량 산정방법 .....	67
<표 3-13> 산업공정별 비산먼지 배출계수 .....	67
<표 3-14> 산업공정별 비산먼지 배출량(2002년) .....	67
<표 3-15> 서울시 도로현황(2002년) .....	68
<표 3-16> 타이어 마모에 의한 차종별 비산먼지 배출계수 .....	69
<표 3-17> 입자 크기에 따른 보정계수(k) 및 PM10 배출량 .....	69
<표 3-18> 서울시 구별 도로에서의 미세먼지 배출량(2002년) .....	70
<표 3-19> 건설활동에 의한 미세먼지 배출량(2002년) .....	71
<표 3-20> 입자 크기에 따른 보정계수(k) .....	72
<표 3-21> 농업활동에 의한 미세먼지 배출량(2002년) .....	72
<표 3-22> 서울시 나대지 현황(2002년) .....	73
<표 3-23> 나대지에서의 비산먼지 발생량(2002년) .....	74
<표 3-24> 비산먼지 발생량(2002년) .....	75
<표 3-25> 서울시 미세먼지 배출량(2002년) .....	76
<표 3-26> 서울시 도로교통 부문에 의한 미세먼지 배출량(2002년) .....	77
<표 3-27> 현행 기준 유지시 미세먼지 배출량 전망 .....	78
<표 3-28> 삭감목표에 의한 미세먼지 배출량 전망 .....	78
<표 3-29> ISC 모델의 기본 입력자료 .....	80
<표 3-30> 안정도별 wind profile exponent .....	82
<표 3-31> 미세먼지 오염도 예측전망 .....	87

<표 4-1> 코첼라밸리의 먼지(PM10)저감 이행계획(CVSIP) .....	93
<표 4-2> GVRD의 관심대상 오염물질 우선순위 .....	99
<표 5-1> 서울시 대기환경에 대한 시민인식조사 지역별 분포 .....	106
<표 5-1> 서울시 대기환경에 대한 시민인식조사 지역별 분포 .....	106
<표 5-2> 연령분포 .....	106
<표 5-3> 직업별 분포 .....	107
<표 5-4> 생활수준 분포 .....	107
<표 5-5> 학력분포 .....	108
<표 5-6> 연령 분포별 대기환경 관심도 .....	108
<표 5-7> 연령 분포별 대기환경 수준 인식 .....	108
<표 5-8> 연령 분포별 대기환경 미래 전망 .....	109
<표 5-9> 대기환경 관심도와 대기환경 수준인식 교차분석 .....	109
<표 5-10> 대기환경 관심도와 대기환경 미래전망 교차분석 .....	110
<표 5-11> 연령 분포별 먼지예보제도 인지도 인식 .....	110
<표 5-12> 연령 분포별 먼지예보제도 시행효과 인식 .....	111
<표 5-13> 대기환경 관심도와 먼지예보제도 인지도 교차분석 .....	111
<표 5-14> 대기환경 관심도와 먼지예보제도 시행효과 교차분석 .....	111
<표 5-15> 대기환경 수준 인식과 대기환경 미래전망 교차분석 .....	112
<표 5-16> 대기환경 수준 인시고가 대기정책 우선순위 .....	112
<표 5-17> 제3차 환경보전 중기 종합계획(2003 ~ 2007) .....	116
<표 5-18> 대기환경규제지역 지정고시 현황 .....	117
<표 5-19> 서울시 대기환경개선 실천계획(2000년) .....	118
<표 5-20> 수도권 대기질 개선 특별대책의 주요 계획내용 .....	119
<표 5-21> 서울시 먼지저감 종합대책의 주요내용 .....	120
<표 5-22> 도로살수차량 도입·운영에 의한 미세먼지 저감효과 .....	124
<표 5-23> 서울시 비산먼지 배출사업장 현황 .....	125
<표 5-24> 천연가스 자동차의 오염물질 저감효과 .....	126
<표 5-25> 제작차 배출허용기준강화에 따른 대기오염물질 저감률 .....	126
<표 5-26> 운행차 검사 계획 .....	127
<표 5-27> 차종별 배기가스 감소량 .....	127
<표 5-28> 차령별 오염물질 배출계수 비교 .....	128
<표 5-29> DPF 부착시 오염물질 저감률 .....	128

<표 5-30> 녹색자동차 인증마크 부착 .....	129
<표 5-31> 건설기계 배출가스 규제에 따른 대기오염물질 저감량 .....	131
<표 5-32> 민수용 무연탄 및 LNG 배출계수 .....	132
<표 5-33> 방지시설별 효율 .....	132
<표 5-34> 미세먼지 저감 실천전략 저감목표 .....	134
<표 5-35> 자동차에 의한 미세먼지 저감대책 .....	135
<표 5-36> 미국 환경청의 AQI 기준 .....	137
<표 5-37> 영국의 대기오염물질 등급 .....	138
<표 5-38> 서울지역 연도별 황사 발생현황 .....	141
<표 5-39> 황사포함 미세먼지 농도와 황사제외시 미세먼지 농도 비교 .....	141
<표 5-40> 황사예보 발표기준 .....	144
<표 5-41> 황사특별 발령 단계별 행동요령 .....	144

## 그림 목 차

---

<그림 1-1> 연구추진 체계도 .....	6
<그림 2-1> 도로변 미세먼지와 황산화물 농도간 상관성 분석(2003년) .....	14
<그림 2-2> 도로변 미세먼지와 질소산화물 농도간 상관성 분석(2003년) .....	15
<그림 2-3> 서울시 월별 강수량 및 미세먼지 농도 변화(2003년) .....	17
<그림 2-4> 서울시의 인구수 변화 .....	17
<그림 2-5> 서울시 가스 공급량 변화 .....	20
<그림 2-6> 서울시 유류 소비량 변화 .....	21
<그림 2-7> 서울시 연도별 자동차 등록대수 변화 .....	22
<그림 2-8> 서울시 대기오염 자동측정소 분포도 .....	24
<그림 2-9> 서울시 연도별 미세먼지 오염도 변화 .....	26
<그림 2-10> 서울시 미세먼지 오염도 공간분포(2003년) .....	26
<그림 2-11> 서울시 미세먼지 오염도 현황(1997년) .....	27
<그림 2-12> 서울시 미세먼지 오염도 현황(1998년) .....	27
<그림 2-13> 서울시 미세먼지 오염도 현황(2002년) .....	28
<그림 2-14> 서울시 미세먼지 오염도 현황(2003년) .....	28
<그림 2-15> 서울시 미세먼지 오염도의 월별 변화(2003년) .....	29
<그림 2-16> 미세먼지의 시간별 농도변화(2003년) .....	31
<그림 3-1> 비산먼지 부문별 미세먼지 배출기여도(2002년) .....	75
<그림 3-2> 배출원별 미세먼지 기여율(2002년) .....	76
<그림 3-3> 배출원별 미세먼지 기여율(비산먼지 제외, 2002년) .....	76
<그림 3-4> 서울시 도로교통 부문에 의한 미세먼지 배출량(2002년) .....	77
<그림 3-5> 서울시 연평균 바람장미(2002년) .....	84
<그림 3-6> 서울시 점오염원에 의한 미세먼지 오염도 공간분포 .....	85
<그림 3-7> 서울시 면오염원에 의한 미세먼지 오염도 공간분포 .....	85
<그림 3-8> 서울시 이동오염원에 의한 미세먼지 오염도 공간분포 .....	86
<그림 3-9> 서울시 전체 오염원에 의한 미세먼지 오염도 공간분포 .....	86
<그림 3-10> 시나리오별 미세먼지 오염도 변화 .....	87
<그림 3-11> 서울시 현행기준 유지시 미세먼지 오염도 공간분포(2007년) .....	87
<그림 3-12> 서울시 30% 삭감시 미세먼지 오염도 공간분포(2007년) .....	87

<그림 3-13> 서울시 현행기준 유지시 미세먼지 오염도 공간분포(2010년) .....	88
<그림 3-14> 서울시 50% 삭감시 미세먼지 오염도 공간분포(2010년) .....	88
<그림 4-1> 자동차 미세먼지에 의한 시정장애 및 미세먼지 현상 .....	95
<그림 5-1> 자동차 배출가스 관리정책의 우선 순위 .....	113
<그림 5-2> 서울시 녹색교통 인증 스티커(안) .....	115
<그림 5-3> 동경의 경유차 배출가스 인증표 .....	115
<그림 5-4> 프랑스 파리의 차도·보도간 공간에 쌓인 먼지저감을 위한 도로변 급수전 활용과 보도청소를 위한 소규모 청소차량 이용 .....	121
<그림 5-5> 가로식재에 의한 먼지저감 효과 증진 .....	123
<그림 5-6> 2000년 황사발생 .....	142
<그림 5-7> 2001년 황사발생 .....	142
<그림 5-8> 2002년 황사발생 .....	142
<그림 5-9> 2003년 황사발생 .....	143

# 第 I 章 서 론

제 1 절 연구배경

제 2 절 연구목적

제 3 절 연구내용

제 4 절 연구방법

# 제 I 장 서 론

## 제 1 절 연구배경

현재 서울시가 직면하고 있는 다양한 유형의 환경문제는 궁극적으로 환경질에 관한 문제이며, 지속가능한 도시발전의 걸림돌로서 작용하고 있다. 그러나 환경질의 악화는 다양한 원인에서 비롯되며, 그 양상 또한 복잡하기 때문에 환경문제의 핵심을 올바르게 파악하기에는 항상 많은 어려움이 뒤따른다. 이는 인구규모의 증대, 도시기능의 집중, 시민의 경제활동 및 생활패턴의 변화에 기인한 환경오염 정도가 상이할 뿐만 아니라 이러한 문제들이 총체적으로 도시생태계 파괴 및 인간의 건강피해 등으로 연계되어 광범위하게 나타나기 때문이다. 우리나라의 경우 1990년대 이후 집중적으로 추진되고 있는 대기오염 규제정책에도 불구하고, 대기환경 수준은 여전히 답보상태에 있으며, 이로 인한 의료비용 증가와 노동력의 상실 등과 같은 사회적 비용이 증대되는 요인이 되고 있다.

최근 들어 시민의 건강을 위협하고, 또한 시정장애(視程障礙)를 유발하는 요인인 미세먼지(PM10)의 인체·환경 위해 가능성에 대한 경각심이 한층 고조되고 있다. 미세먼지는 단기·장기노출에 의해 인체에 해를 미칠 수 있으며, 서울을 포함한 수도권 지역에서 자동차 통행 수요 증대에 따라 미세먼지 오염농도가 전반적으로 점차 높아지는 경향을 나타내고, 특히 단기환경기준 초과빈도가 일부 지점에서 보고되고 있기 때문이다.<sup>1)</sup> 이러한 사례는 현재 미국·유럽 등 선진외국에서 진행되고 있는 미세먼지 환경기준의 강화와 기본맥락을 같이하고 있다.

서울의 먼지 오염도는 지역내부에서 발생한 먼지, 황사 등 외부에서 유입되어 온 먼지에 의한 부가적인 영향, 그리고 분지형태의 지형조건에 따른 대기정체 영향 등으로 인하여 미세먼지 오염도 수준은 좀처럼 개선되지 못하고, 이로 인한 시정장애·시민의 체감오염도 악화 및 건강 피해 가능성이 제기되고 있다. 그러나 대기오염물질 가운데 가장 기본적인 형태의

---

1) 우리나라의 경우 먼지오염에 대한 관심은 주로 미세먼지(PM10)에 집중되고, 먼지에 대한 대기환경기준 및 대기오염 측정항목도 법규개정(2001.1.1)으로 총먼지(TSP)에서 직경이 10 $\mu$ m 이하의 먼지인 미세먼지로 전환되었음. 이는 10 $\mu$ m 이하 미세먼지의 경우 대부분 호흡기내로 흡입되어 걸러지지 않아, 먼지오염으로 인한 건강장해 또는 대기오염 위해도 평가의 기준항목으로 인식되고 있기 때문임.

오염물질인 미세먼지의 발생원은 도로와 공사장, 연소과정, 그리고 생활주변 등과 같이 매우 다양할 뿐만 아니라 배출패턴도 상이한 특성을 보여, 관리전략 수립의 한계요인으로 작용하고 있다.

한편 “걷고 싶은 건강도시(walkable healthy city) 만들기” 와 같이 정부-시민간 활발한 연대를 통해 보행환경 개선을 위한 다양한 시도가 행해지고 있으나, 도로변 미세먼지 발생요인과 접근방안에 대하여는 실질적인 관리가 이루어지지 않는 사각지대로 남게 되어, 걷고 싶은 보행환경의 조성은 그다지 성과를 나타내지 못하고 있다. 이의 근본원인은 먼지발생 사업장 관리와 달리 도로변 미세먼지 발생원에 관한 정확한 정보의 부족과, 이로 인한 접근체계의 미흡에서 비롯된다.

이에 시민의 체감오염도 개선을 위해서는 다양한 미세먼지 배출원에 대한 배출특성을 정량적으로 분석하고, 연후에 먼지오염 영향요인에 대한 보다 체계적이며 효율적인 관리방안의 마련이 필요한 시기임을 알 수 있다.

## 제 2 절 연구목적

세계 대도시마다 도시에서 깨끗한 공기를 마음껏 호흡하고 싶은 시민의 환경욕구는 강력하며, 이는 당연한 기초수요라고 할 수 있다. 서울에서도 마찬가지이다. 그러나 최근 서울시 정책수요의 우선 순위를 묻는 설문조사(한국환경정책·평가연구원, 1997; 김운수, 2002)에서, 대기환경 개선에 대한 시민의 열의는 매우 높으나, 향후 개선될 가능성에 대해서는 확실한 예단을 하지 못하는 것으로 나타났다. 그 만큼 서울의 공기가 쉽게 치유되기 어려운 상태일 뿐만 아니라, 앞으로도 개선 가능성은 낮은 것으로 시민들은 인식하고 있다.<sup>2)</sup>

이러한 시민의 대기환경 기대의식은 선진 대도시에서 현재 공통적으로 직면하고 있는 대기오염 패턴을 반영하고 있는 것으로 추정된다. 즉 서울의 환경은 과거의 일산화탄소(CO), 이산화황(SO<sub>2</sub>), 총먼지(TSP) 등과 같은 단순화된 대기오염 양상에서 벗어나, 고도 산업사회의 생활양식에서 비롯되어 발생하는 것으로 알려지고 있는 미세먼지(PM10), 이산화질소

---

2) 본 연구에서 서울시민을 대상으로 실시한 설문조사(2004년 6월)에서, “서울의 대기환경 개선 가능성” 응답은 약 25.5%인 반면에, “현재와 비슷” 34.6%, 그리고 “악화 가능성”은 39.7% 수준을 보여, 여전히 청정 하늘 조성에 대해 확실한 예단을 하지 못하는 것으로 나타나고 있어(제5장 참조), 향후 시민의 대기환경 기대수준에 상응하는 ‘원인진단 및 처방능력’ 제고를 위해서는 보다 체계적인 관리대책의 수립·추진이 필요한 것으로 나타났다.

(NO<sub>2</sub>), 오존(O<sub>3</sub>) 오염 등으로 변모된 단계이다. 이 가운데 시민의 일상생활 공간에서 체감하고, 시민이 우려하는 대기환경은 미세먼지로 직결되고 있다. 이의 원인으로는 먼지오염원의 다양성 및 배출패턴의 상이함을 제외한다고 하더라도, 먼지오염원을 관리하기 위한 기본 자료체계가 효과적으로 정비되지 못하여, 사전 예방적 먼지오염 관리의 한계가 나타나고 있기 때문이다.

이를 예증하듯, 서울의 미세먼지 오염수준은 OECD 선진국 수도 가운데 가장 열악한 수준으로 평가받고 있다. 즉 서울의 미세먼지(PM10) 오염도는 런던의 3.5배, 도쿄의 1.7배를 기록하여 경제협력개발기구(OECD) 30개 회원국의 수도 중에서 가장 열악한 수준인 것으로 조사된 바 있다. 시민의 기본적인 환경수요 충족에 시정의 우선순위를 두어야 하나, 최근 도시의 경쟁력 결정은 환경가치가 전제조건이 될 만큼 중요한 의미를 지니고 있음을 감안하면 더욱더 도시의 환경가치 증대에 배전의 노력을 기울여야 함을 대변하고 있다.

이에 본 연구에서는 서울시 미세먼지 오염원의 공간적 분포현황 및 배출요인 특성분석, 미세먼지 배출량 산정과 DB구축, 미세먼지 오염원 유형별 오염농도의 기여도 분석, 그리고 미세먼지 오염 예보제를 포함하여 오염농도 목표수준 달성에 상응하는 비용 효과적인 먼지 오염원 관리방안의 모색 등에 주된 목적을 두고 있다. 본 연구에서 의도하고 있는 연구목적은 개략적으로 분류 정리하면 다음과 같다.

#### 첫째, 서울시 미세먼지 배출요인별 자료체계의 구축과 활용

서울시 먼지 배출원에 대한 배출요인을 분석하고, 미세먼지 오염의 공간분포 특성을 분석하여, 서울시민의 미세먼지 체감오염도 개선을 위한 대책수립의 방향설정 및 시책추진의 유의점을 도출하고자 한다.

#### 둘째, 미세먼지 오염도 개선전략의 효율성 제고

현재 서울시가 추진하고 있는 미세먼지 오염도 개선대책의 효율성을 제고하기 위한 당면 과제와 주요 추진전략을 종합적으로 모색하며, 특히 도로변 미세먼지 발생의 실제적 저감을 도모하여 시민건강 피해 가능성을 제어할 뿐만 아니라, 쾌적하고 청정한 도로변 보행공간 조성에 관심을 두고자 한다.

#### 셋째, 서울시 미세먼지 오염 개선을 위한 전략과제의 실체성 확보

서울시 미세먼지 배출원을 대상으로 하는 배출규제 및 억제 유도 방안을 보다 구체화하기

위해 미세먼지 오염원 유형별 전략과제의 우선순위를 제시하고, 한편으로는 미세먼지 배출 억제와 관련된 법적·제도적 실효성 증진방안 등을 모색하고자 한다.

넷째, 미세먼지 오염 개선을 위한 시민참여 및 홍보수단으로 활용

미세먼지 오염 수준에 따른 시민건강 피해의 사전 예방조치 일환으로써 2005년부터 도입시행 예정인 미세먼지 예경보 제도에 대한 공감대를 조성하여, 향후 먼지오염 개선을 위한 홍보 및 시민참여 유도수단으로서 활용 가능성을 제시하고자 한다.

## 제 3 절 연구내용

### 1. 시간적 범위

서울시 미세먼지(PM10) 오염도 개선을 위한 배출원 관리정보체계를 구축하기 위해 2002년을 기준연도로 설정하여 진행한다. 다만, 미세먼지 오염도 개선을 위한 배출원별 단기 및 중장기 관리방안의 제시를 위해 2007년, 2010년의 장래 미세먼지 배출량 전망추이를 제시하고, 이를 바탕으로 향후 중장기 미세먼지 관리대책수립에의 원용이 가능하도록 한다.

한편 단기적으로는 2005년 서울시 먼지오염 예보제도 시행에 대비하여, 이의 활용 가능성을 확보하기 위한 기초자료로서 활용하고자 한다.

### 2. 내용적 범위

선진 서울 환경모범도시를 조성하기 위해 본 연구에서 다루고 있는 주요 연구내용을 제시하면 다음과 같다.

#### 가. 서울시 미세먼지 오염도 변화 및 특성분석

미세먼지 오염수준에 따른 시민건강 피해 가능성, 서울시 미세먼지 저감을 위한 지역 환경기준 설정 동향 및 먼지오염에 영향을 미치는 요인, 그리고 대기오염 자동측정망 자료를 이용한 미세먼지 오염현황 등을 분석한다. 한편으로는 서울지역에서 배출되는 미세먼지로 인

한 내부 오염도 기여정도를 확산 모델링을 통해 예측하여, 미세먼지 배출량 저감에 따른 대기오염도 변화도 함께 분석한다.

#### 나. 미세먼지 발생원 분류 및 자료체계의 구축

서울시 미세먼지 발생원을 분류하고, 그에 따른 배출량 자료체계(Emission Inventories)를 구축하여, 오염원별 배출저감전략을 모색하고, 또한 장래 오염원별 배출량 변화추이 분석의 기초 자료로 이용하고자 한다.

#### 다. 기상변화에 따른 오염도 변화 분석

미세먼지 배출량 조사분석 자료를 바탕으로 대기오염도의 변화를 예측하고, 바람 (풍향, 풍속), 습도, 강수량 등 기상조건의 변화에 따라 미세먼지 오염도의 변화정도를 모의 분석하여, 향후 미세먼지 오염도 예측을 통한 먼지예보제도 시행의 기초자료로 활용한다.

#### 라. 미세먼지 오염저감 및 관리대책 사례분석

현재 추진되고 있는 국외의 미세먼지 저감·관리 사례를 분석한다. 특히, 외국사례의 경우 먼지저감대책, 먼지저감 관리기법, 그리고 먼지관리의 실효성 확보방안 등을 중점적으로 분석한다.

#### 마. 서울시 미세먼지 오염도 예·경보 체계 도입방안

외국의 미세먼지 오염 예·경보 관련 사례를 분석하여, 효과적인 예보방법을 강구하고, 경보발령 단계별 농도기준설정, 발령지역구분 등 운영방안, 경보발령 단계별 시민홍보, 그리고 자동차 운행제한 등 경보 발령과정에서 필요한 제반 조치사항 등을 모색한다.

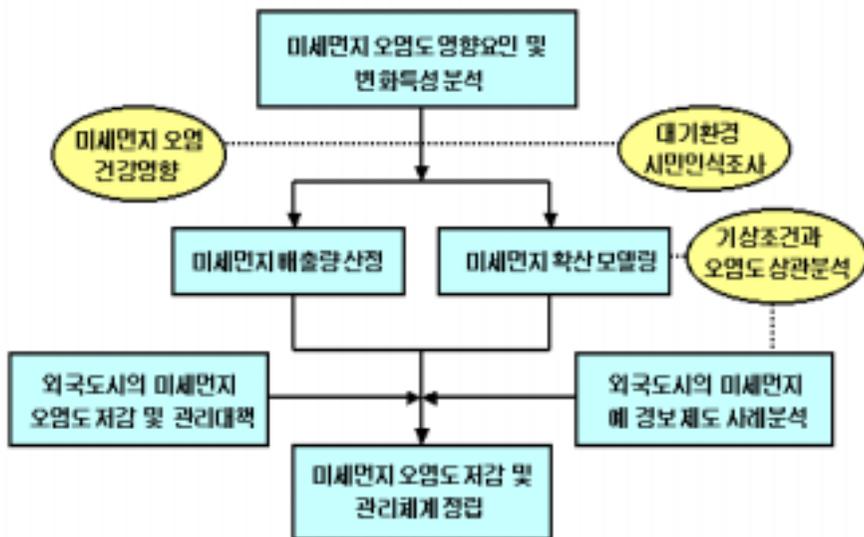
#### 바. 서울시 미세먼지 오염도 개선을 위한 법적·제도적 실효성 증진방안

서울시 미세먼지 발생의 저감·관리방안의 실효성을 확보하기 위하여 미세먼지 배출원별 오염기여도를 감안한 배출저감 전략과제의 우선순위를 제시한다. 또한 이를 바탕으로, 향후 서울시 미세먼지 저감 중장기계획 수립에 필요한 제도적 장치 등을 종합적으로 다루고자 한다.

### 3. 대상적 범위

서울시 미세먼지 배출원을 고정·이동 배출원으로 분류할 경우, 고정배출원은 1종 ~ 5종 배출원으로 구분된다. 이 가운데 배출원 관리대상에 해당되는 1종 ~ 3종 점오염원에 대해서는 점오염원 배출원 조사목록 자료를 수집·분석하여 배출량을 산정하고, 대기확산 모델링의 점오염원 기초자료로 이용하며, 기타 4종 ~ 5종 배출원은 면오염원에 포함하여 분석한다. 다만, 대기확산 모델링을 위한 기초자료의 신뢰도를 제고하기 위하여, 현재 국립환경연구원에서 수행하고 있는 대기정책지원시스템(Clean Air Policy Supporting System; CAPSS)에서 구축된 점오염원 자료를 원용한다.

그리고 이동오염원 자료는 2002년 서울시 교통 O-D 자료 및 2002년 도로망 체계도를 활용하여 이동오염원에 의한 미세먼지 배출총량을 격자별 배분의 기초자료로 활용한다. 기타 미세먼지 오염원 배출량 자료는 1997년 서울시 미세먼지 배출원 DB 자료의 수정 및 보완차원에서 시행하나, 다만 배출계수의 수정, 신규 방법론 적용 검토 등과 같은 배출원 DB 구축 자료의 수정에 중점을 둔다.



<그림 1-1> 연구추진 체계도

## 제 4 절 연구방법

### 1. 설문실태조사 및 문헌조사

본 연구에서는 일차적으로 서울시 미세먼지 오염도 저감을 위해 일반 시민의 대기환경 개선수요에 맞는 미세먼지 개선전략을 도출하기 위하여 설문조사를 실시한다. 특히 2005년 서울시에서 도입 예정인 먼지오염 예보제도 시행에 앞서, 시민의 대기환경 개선 인식에 상응하는 미세먼지 예보제 도입을 위한 기초정보를 살펴보고자 한다.

한편으로는 미세먼지 오염원별 배출량 산정을 위한 기초자료를 수집하고자 배출량 산정과 관련되어 수행된 국내 문헌연구를 최대한 활용하며, 서울시 내부자료 및 국립환경연구원에서 구축한 대기정책지원시스템(Clean Air Policy Supporting System; CAPSS) 자료를 활용하여 미세먼지 오염원별 현황 자료체계를 구축하고자 한다.

### 2. 외국 사례조사

서울시 미세먼지 개선전략을 도출하기 위하여 선진 외국 도시의 사례를 분석하기로 한다. 특히 선진 대도시에서 추진하고 있는 다양한 미세먼지 저감전략을 살펴보고, 향후 서울시의 도입적용 가능성을 판단하고자 한다.

## 第 II 章    미세먼지 배출요인                   및 오염도 변화특성

제 1 절    미세먼지 오염과 건강영향

제 2 절    미세먼지 배출 및 오염도 영향요인

제 3 절    미세먼지 오염도 변화추이

제 4 절    기상조건과 미세먼지 오염도 상관분석

## 제 II 장 미세먼지 배출요인 및 오염도 변화특성

### 제 1 절 미세먼지 오염과 건강영향

#### 1. 미세먼지의 개념 및 인체영향

일반적으로 대기 중에 존재하는 먼지는 공사장과 사업장 연료의 연소과정에서 발생하는 먼지(입자직경이 10 $\mu$ m 이상), 자동차의 배출가스 및 이의 연소과정에서 직접 발생하는 미세먼지(PM10)의 두 가지로 분류된다. 전자의 경우, 인체 유입시 코의 섬모나 기도 등에서 걸러져 폐 깊숙이 침투되지 못하는 것이 보통이다. 그러나 직경 10 $\mu$ m 미만인 미세먼지의 경우, 자체로서의 인체피해 뿐만 아니라 금속유기물산-이산화질소 그리고 기타 다른 오염물질 등과 결합하여 2차 오염물질로 변화한 후 인체 흡입시 기관지 또는 폐포부위에 침착하기 쉬운 특징으로 인하여, 미세먼지는 인체의 폐기능을 저하시키고 폐암 발생율을 증가시키는 요인이 된다.<sup>1)</sup>

최근의 연구결과에 따르면, 현재의 PM10 기준치 이하 먼지 농도에서 단기(1일 ~ 5일 이하)와 장기(1년 ~ 수년) 노출에 따른 인체 건강상의 피해가 있음이 입증되고 있다(표 2-1) 참조). 건강상의 피해로는 조기사망, 병원-응급실 출입빈도의 증가(주로 심폐질환을 가진 노약층) 등이 대표적이며, 이의 내용으로는 호흡기 증상관련 질환(어린이와 천식과 같은 심폐질환을 가진 환자)의 증가, 어린이와 천식환자의 폐기능 감소, 허파조직과 구조 그리고 호흡기 계통의 방어기작의 이상변화 등을 지적할 수 있다.

미국 151개 대도시의 성인 55만 명을 대상으로 조사한 결과에 의하면, 미세먼지 오염수준 순위가 최상위인 도시는 최하위의 도시보다 사망율이 17%나 높은 것으로 분석되고 있다. 미국 캘리포니아주 지역에서는 자동차 미세먼지로 인하여 인구 100만명 당 약 1,000명 정도가 매년 암에 걸려 추가 사망하는 것으로 추정되고 있다. 참고로 미세먼지의 오염수준에 따른

---

1) 미세먼지는 크기가 작은 대신 상대적으로 표면적이 크기 때문에 각종 중금속과 유해 대기오염물질과의 흡착이 용이하여 호흡기 계통의 질병을 유발할 가능성이 높은 것으로 보고되고 있음. 이에 미국 환경청은 국가 대기환경 기준에서 국민건강과 환경영향을 보전하기 위해 1997년에 PM<sub>2.5</sub> 기준(24시간 평균 65 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 연평균 15 $\mu$ g/m<sup>3</sup>)을 신설하여 PM<sub>10</sub>과 함께 관리하고 있음.

예방조치 권고사항은 <표 2-2>와 같다.

<표 2-1> 미세먼지 노출정도에 따른 위해 가능성

영향정도	노출정도	단기·직접 기준	장기·간접 기준
소아 폐기능 저하	24시간 농도기준	140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
기관지염의 악화 및 사망률 증가		350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
폐기능 저하	1년 농도기준	140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
기관지염의 악화			
사망률 증가		350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

주 : 1) 인체영향의 안정수준 : 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ~ 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (일), 40 ~ 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (년)  
 2) 한국기준 : 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (연평균), 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (일평균)

<표 2-2> 미세먼지(PM10) 오염수준에 따른 예방조치

구 분	환경기준	예방조치
건강위해 (위험)	500	·위험수준: 500 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ ·예방조치: 모든 실외활동억제 및 실내 체류 또는 육체활동 최소화
	400	·경고수준: 420 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ ·예방조치: 실외활동 삼가며, 심장·폐질환 가능성이 있는 사람은 실내체류 권고
건강위해 (아주나쁨)	300	·건강 위해수준: 350 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ ·예방조치: 활발한 실외활동 자제 및 심장·폐·호흡기질환자의 실내체류 권고
	200	
건강위해 (나쁨)	100	·환경기준 초과: 150 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ ·예방조치: 심장·폐질환, 그리고 호흡기계통 환자의 실외활동 자제
적당	50	·인체건강상 영향무시
양호	0	·인체건강상 영향무시

자료: South Coast Air Quality Management District(1996).

## 2. 미세먼지 환경기준

일반적으로 대도시 대기중에 존재하는 미세먼지(PM10)는 큰 먼지(dust)에 비해 인체건강과 대기중의 스모그 형성에 더 큰 영향을 미치게 된다. 미국의 경우 1987년부터 환경기준을 설정하고, 이의 오염도를 측정하고 있다. 우리나라의 경우 미세먼지의 오염영향을 인식하여, 1994년 PM10 환경기준 설정하고 1995년부터 측정·관리하고 있다. <표 2-3>에서 우리나라 및 외국의 미세먼지(PM10) 환경기준을 비교하였다.

<표 2-3> 국내·외 미세먼지(PM10) 대기환경기준 비교 (단위 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

구분	연평균	일평균	1시간 평균
한국	70	150	-
서울	60	120	-
인천	60	120	-
대전	50	100	-
미국	50	150	-
일본	-	100	200

자료 : 환경부 [www.me.go.kr](http://www.me.go.kr)

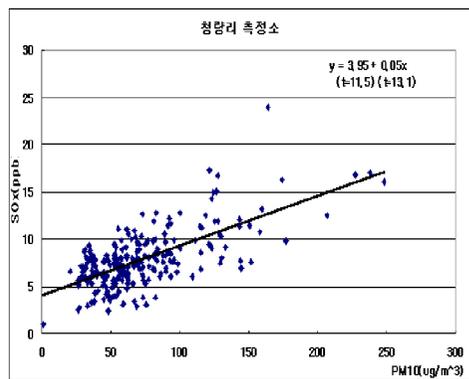
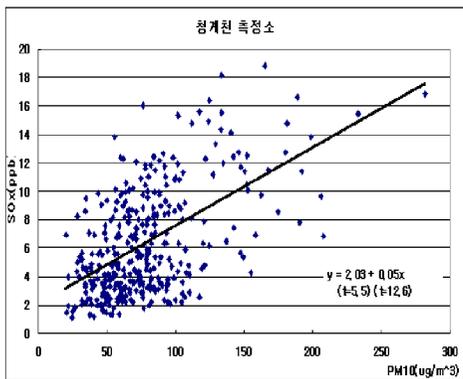
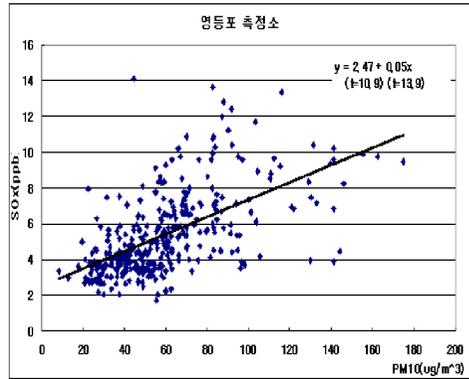
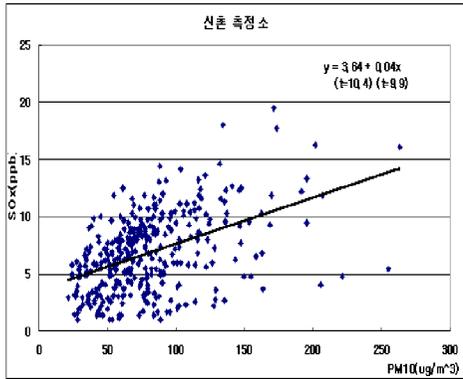
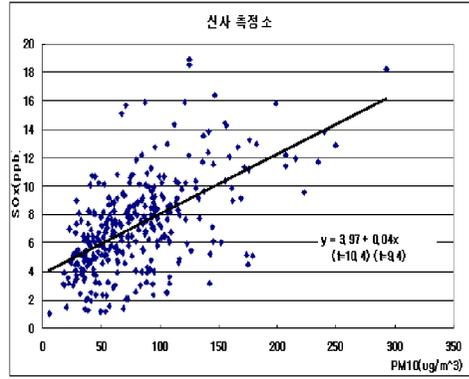
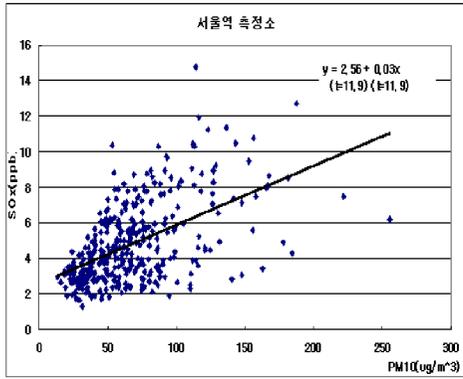
## 3. 미세먼지의 성분 및 물리·화학적 반응

서울시 미세먼지 가운데 자동차 배출가스와 연료의 연소과정에서 주로 배출되는 탄소화합물과 황산염, 질산염 등이 많이 포함되어 있는 것으로 보고되고 있다(환경부, 1996). 이를 미국 남부 캘리포니아주 지역의 미세먼지 성분과 비교하여 보면 탄소화합물의 성분이 비교적 많이 포함되어 있음을 알 수 있다. (<표 2-4> 참조)

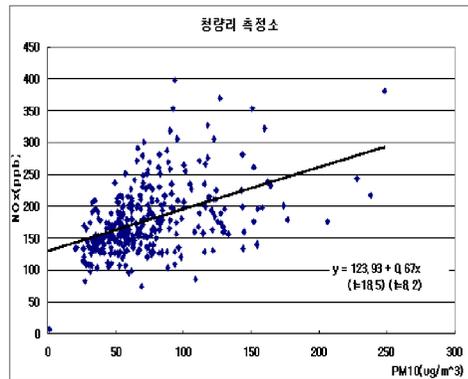
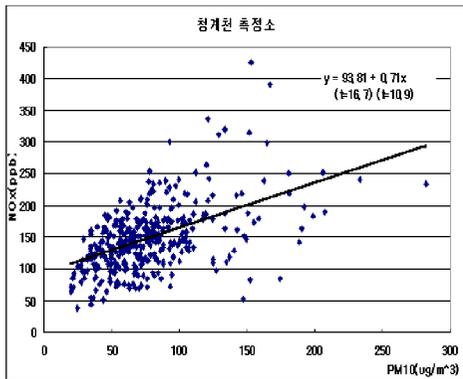
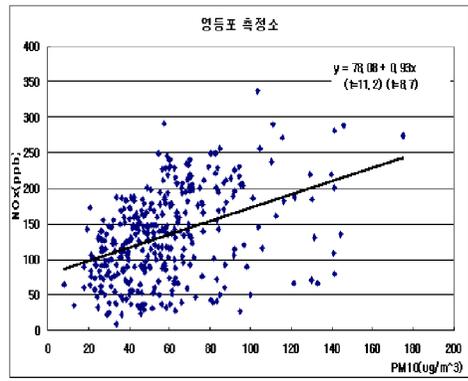
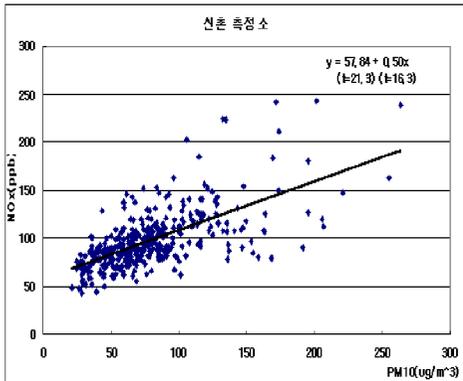
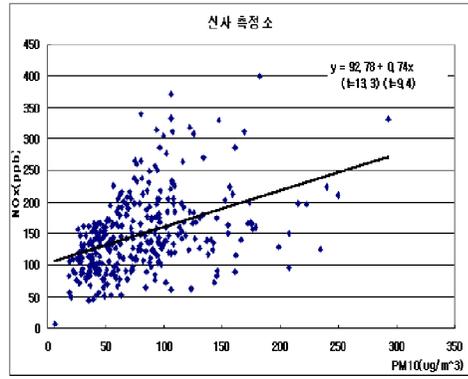
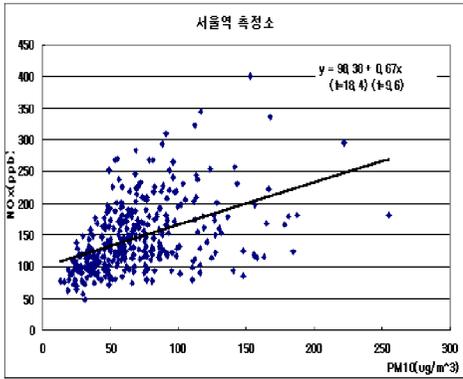
<표 2-4> 미세먼지 성분비교(1995년)

구분	탄소화합물	황산염	질산염	기타
서울시	54	15	10	21
남부 캘리포니아	30	9	15	46

자료 : 환경부 내부자료.



<그림 2-1> 도로변 미세먼지와 황산화물 농도간 상관성 분석(2003년)



<그림 2-2> 도로변 미세먼지와 질소산화물 농도간 상관성 분석(2003년)

서울시의 미세먼지 성분 중 탄소화합물은 주로 자동차 배출가스로부터 발생되며, 황산염·질산염 등의 입자상 물질들은 배출된 아황산가스와 이산화질소 등이 물리·화학적으로 변화하여 2차적으로 발생된다. 서울시 미세먼지 발생량의 대부분은 자동차에서 배출되고 있으나, 특히 전체 차량의 3.7%에 불과한 시내버스·트럭 등의 중대형 경유차가 총 자동차 미세먼지 발생량의 54.3%를 차지하고 있어 그 대책이 시급한 실정이다.

현재 서울시에 설치되어 있는 자동차 배출가스 측정소의 측정자료를 활용하여 수행된 2003년 서울시 도로변 미세먼지와 황산화물·질소산화물 농도간 상관성 분석결과는 미세먼지의 물리·화학적 반응 가능성을 시사하는 것으로 추정된다(〈그림 2-1〉, 〈그림 2-2〉 참조). 이러한 미세먼지 발생기여도 및 물리·화학적 반응성은 자동차에 의한 시민 건강 영향 및 대기오염 기여도와 동일한 맥락을 보이는 것으로서, 결국 미세먼지 저감의 일차적 대상은 도로 부문(자동차)이라고 할 수 있다.

## 제 2 절 미세먼지 배출 및 오염도 영향요인

### 1. 자연적 영향요인

서울시는 도봉산, 우면산, 불안산 등의 크고 작은 26개 산이 도시의 외곽을 둘러싸고 있을 뿐만 아니라 북한산 ~ 관악산간 많은 구릉과 산악이 산재하여 토지의 기복이 심한 전형적인 분지형태를 이루어 대기오염물질의 확산에 불리하게 작용하여 대기오염이 심화되는 지형상의 특성을 내포하고 있다.

또한 대기오염도 간접 제어요인으로 작용하고 있는 강수량은 연평균 1,517.6mm를 기록하였고, 월평균이 강수량이 가장 많은 달은 8월(533.1mm)이며, 가장 적은 달은 12월(16.1mm)이다. 특히 7·8월에 집중적인 강우현상을 보여 이 시기에 전체 강수량의 57.8%의 강수량을 차지하는 반면 겨울에는 전체 강수량의 3.6%의 불과해 건기와 우기가 비교적 뚜렷하게 나타나고 있다. 이는 미세먼지 배출에도 많은 영향을 미칠 것으로 파악되며 실제 서울시 미세먼지의 계절별 오염도는 이를 일부 반영하고 있다. 예를 들면, 강수량이 많은 7월~8월 기간도안의 미세먼지 오염도는 다른 기간에 비해 상대적으로 낮게 나타나고 있음을 볼 수 있다(〈그림 2-3〉 참조).

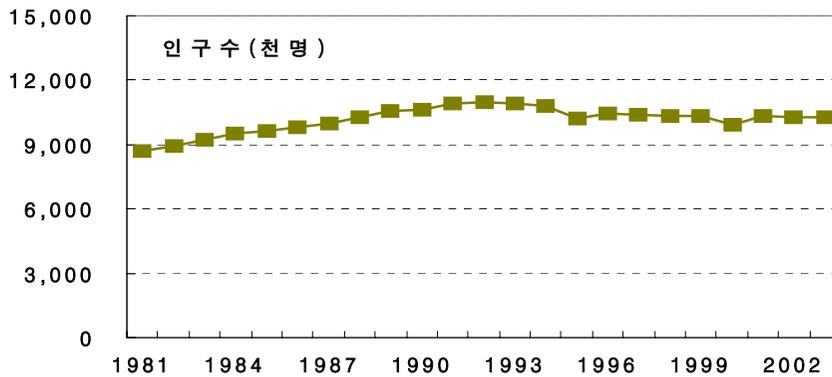


<그림 2-3> 서울시 월별 강수량 및 미세먼지 농도 변화(2003년)

## 2. 인위적 영향요인

### 1) 인구

서울시의 인구는 2003년 현재 10,276,968명으로 1992년까지 꾸준한 증가율을 보였으나, 1993년부터는 감소 경향을 보이고 있다. 이는 고밀·과밀도시가 갖는 규모의 불경기에 의한 외곽도시로의 주거이동이 원인으로 볼 수 있다. 또한 구별 인구현황을 보면 송파구가 전체 서울 인구의 6.32%인 649,888명으로 가장 많은 인구수를 보이고 있는 반면 단위 면적당 인구수인 인구밀도는 양천구가 27,951명/km<sup>2</sup>으로 가장 높았다.



<그림 2-4> 서울시의 인구수 변화

<표 2-5> 서울시 인구 현황(2002)

구분	세대	인구	면적(km <sup>2</sup> )	인구밀도(명/km <sup>2</sup> )
서울시	3,623,929	10,280,523	605.52	16,978
종로구	70,113	184,224	23.91	7,705
중구	54,521	141,603	9.96	14,217
용산구	91,735	245,218	21.87	11,213
성동구	123,394	343,018	16.85	20,357
광진구	141,367	388,478	17.05	22,785
동대문구	143,014	384,356	14.22	27,029
종랑구	154,085	443,246	18.50	23,959
성북구	159,810	446,968	24.57	18,192
강북구	126,252	362,906	23.60	15,377
도봉구	122,201	373,086	20.80	17,937
노원구	209,521	643,585	35.42	18,170
은평구	164,981	471,873	29.72	15,877
서대문구	134,023	368,001	17.60	20,909
마포구	142,790	378,777	23.87	15,868
양천구	158,639	486,350	17.40	27,951
강서구	181,422	530,169	41.40	12,806
구로구	142,342	415,789	20.11	20,676
금천구	93,056	264,004	13.00	20,308
영등포구	147,838	412,152	24.57	16,775
동작구	144,854	404,872	16.35	24,763
관악구	197,578	524,560	29.57	17,740
서초구	138,627	393,583	47.16	8,346
강남구	193,857	540,813	39.54	13,678
송파구	223,754	649,888	33.89	19,176
강동구	164,155	483,004	24.58	19,650

## 2) 대기배출업소 현황

일반적으로 대기배출시설은 연료사용량에 따라 1종~5종으로 분류하고 있으며, 비교적 규모가 큰 1종~3종 배출업체는 점오염원으로 분류된다. 그리고 면오염원은 점오염원에서 제외된 소형 고정 배출원(4종~5종)들로 주거, 상업, 산업 등에 의한 배출이 해당된다. 또한 면오염원에는 배출시설의 연료연소에 의한 것 외에 일정한 배출구를 통한 배출이 아닌 분쇄 및 파쇄, 기류의 난류 등 먼지입자들의 부유현상에 의한 비산먼지도 포함된다. 2002년 현재 서울시 구별 대기배출시설 현황은 <표 2-6>과 같다.

<표 2-6> 서울시 대기배출시설 현황(2002년)

구분		계	1종	2종	3종	4종	5종
총계		1,094	15	7	12	43	1,017
도심권	종로구	7	-	-	-	-	7
	중구	14	-	-	-	1	13
	용산구	12	-	-	-	2	10
동북권	성동구	172	-	1	1	6	164
	광진구	17	-	-	-	-	17
	동대문구	16	-	-	-	-	16
	중랑구	32	-	-	-	-	32
	성북구	12	-	-	-	-	12
	강북구	16	-	1	2	-	13
	도봉구	28	-	-	1	-	27
	노원구	29	2	1	1	1	24
서북권	은평구	8	-	-	-	-	8
	서대문구	6	-	-	-	1	5
	마포구	36	2	-	-	-	34
서남권	양천구	17	2	-	-	-	15
	강서구	83	2	-	-	4	77
	구로구	107	1	1	-	5	100
	금천구	145	1	1	3	17	123
	영등포구	155	1	-	1	3	150
	동작구	4	-	-	-	1	3
	관악구	10	-	-	-	-	10
동남권	서초구	32	1	-	1	2	29
	강남구	35	2	1	-	-	32
	송파구	69	1	1	2	0	65
	강동구	32	-	-	-	1	31

자료 : 서울시, 「서울의 환경」, 2003.

서울시의 대기배출업소를 규모별로 살펴보면, 총 1,094개로써, 그 중 1종~3종 배출업소는 전체의 3.1%인 34개소이며, 연료소비가 적은 4종~5종 배출업소는 96.9%인 1,060개로 대부분 아파트 등 난방시설 및 소규모 사업장이 포함된다. 그리고 서울 도시지역을 도심권, 동북권, 서북권, 서남권, 동남권의 5개 권역으로 분류할 경우 1종~3종 대기배출업소는 동북권과 서남권에 편중되어 있어, 풍향과 같은 자연적 영향요인에 의해 미세먼지 오염도가 확산과정을 통해 권역별 차별화가 발생하는 요인이 되고 있다.

### 3) 에너지 사용

서울시의 에너지 수요를 살펴보면 유류와 석탄류의 소비량은 감소 추세인 반면 가스 공급량은 증가하고 있는데, 이는 청정연료의 사용 의무화와 일반 주택의 도시가스(LNG) 보급에 의한 영향인 것으로 추정된다.

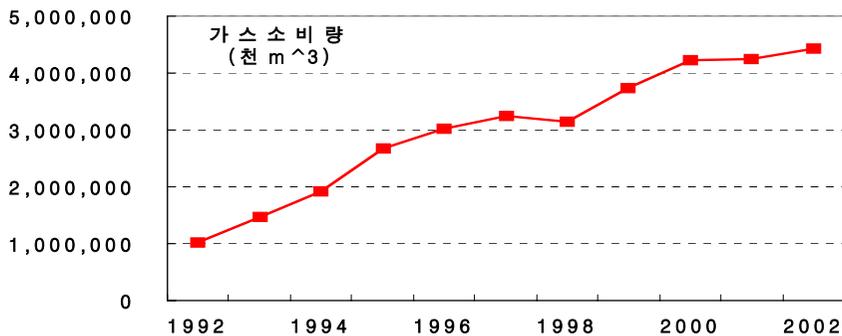
서울시 연도별 도시가스 보급계획에 의하면 2003년 현재 96.3%의 보급률을 2007년에는 98.3%로 늘릴 것으로 계획되어 있으므로 도시가스(LNG)보급은 더욱더 증가할 것으로 예상된다. 또한 지역난방의 공급확대로 인하여 에너지 사용에 의한 미세먼지 배출량은 점차 개선될 것으로 전망된다.

<표 2-7> 서울시 가스 공급량

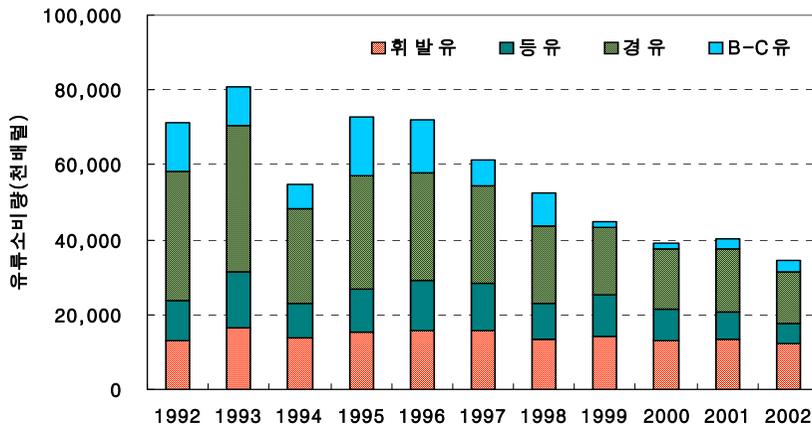
(단위 : 천<sup>m<sup>3</sup></sup>, 가구)

년도	가스공급량	사용가구수				
		계	주택	영업	업무공공	산업
1992	1,025,484	920,849	904,229	11,513	4,956	151
1993	1,473,519	1,304,487	1,282,121	15,451	6,755	160
1994	1,925,203	1,680,000	1,647,546	22,107	10,048	167
1995	2,664,611	1,906,000	1,869,341	24,109	12,293	257
1996	3,016,958	2,161,979	2,116,455	28,173	17,078	273
1997	3,251,702	2,408,428	2,354,709	32,326	21,074	319
1998	3,142,893	2,632,943	2,560,368	42,259	29,975	341
1999	3,736,345	2,835,074	2,753,154	46,930	34,556	434
2000	4,218,642	3,030,833	2,931,099	59,143	40,086	507
2001	4,253,526	3,201,015	3,081,127	70,077	48,786	1,025

자료 : 서울시 홈페이지 [www.seoul.go.kr](http://www.seoul.go.kr)



<그림 2-5> 서울시 가스 공급량 변화



<그림 2-6> 서울시 유류 소비량 변화

#### 4) 교통

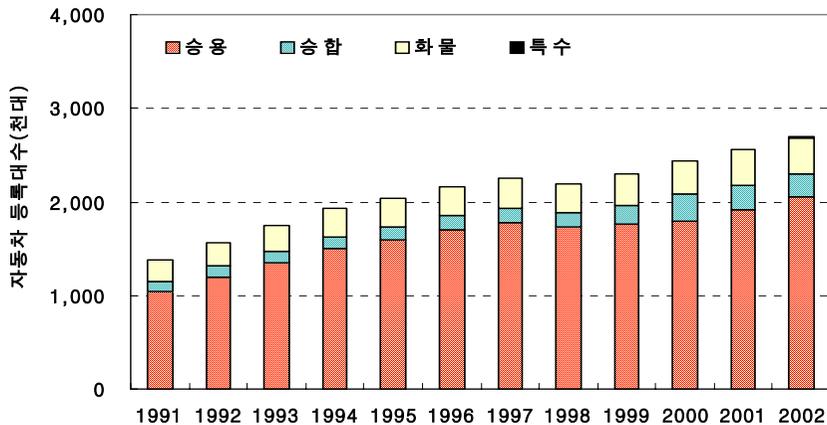
2003년 현재 서울시 자동차 등록대수는 284만대이며, 꾸준한 증가추세를 보이고 있다. 특히 경유자동차가 전체 차량의 26%를 차지하고 있으며, 이 가운데 시내버스·청소차 등 대형 경유자동차에 의한 미세먼지 오염영향이 가장 많다. 또한 향후 경유승용차 도입으로 경유자동차의 총량 증가에 따른 미세먼지 오염도 수치도 더욱 증가할 것으로 예상된다.

<표 2-8> 서울시 차종별 연료별 등록대수 추이

(단위 : 천대)

구 분	1990	1995	2000	2001	2002	2003		
총 계	1,193.6	2,043.5	2,441.0	2,550.4	2,691.4	2,842.1		
승용차	소계	873.7	1,541.1	1,731.1	1,752.5	1,792.5	1,882.6	
	휘발유	818.3	1,471.0	1,616.9	1,625.8	1,651.1	1,733.1	
	택시(LPG)	55.4	70.1	114.1	126.7	141.4	149.6	
버스	소계	112.4	189.0	355.0	425.1	478.0	509.0	
	소형	계	96.2	169.1	335.5	404.4	454.5	484.2
		휘발유	-	7.2	17.4	7.3	7.4	7.8
		LPG	-	-	131.1	153.2	170.9	180.8
	경유	96.2	161.9	187.0	243.9	276.2	295.6	
	중형	2.0	3.3	7.9	7.8	8.9	9.5	
	대형	14.2	16.7	11.6	12.9	14.6	15.3	
트럭	소계	206.3	313.3	355.1	372.9	421.0	450.1	
	소형	계	127.9	231.4	290.5	306.1	345.3	369.1
		휘발유	-	-	5.7	8.9	9.0	9.5
		LPG	-	-	15.9	17.9	20.0	21.1
		경유	-	-	268.9	279.3	316.3	338.5
	중형	42.3	36.3	36.5	41.8	47.4	50.7	
대형	36.1	45.6	28.1	25.0	28.3	30.3		

자료 : 서울시 대기과 제공(2004년).



<그림 2-7> 서울시 연도별 자동차 등록대수 변화

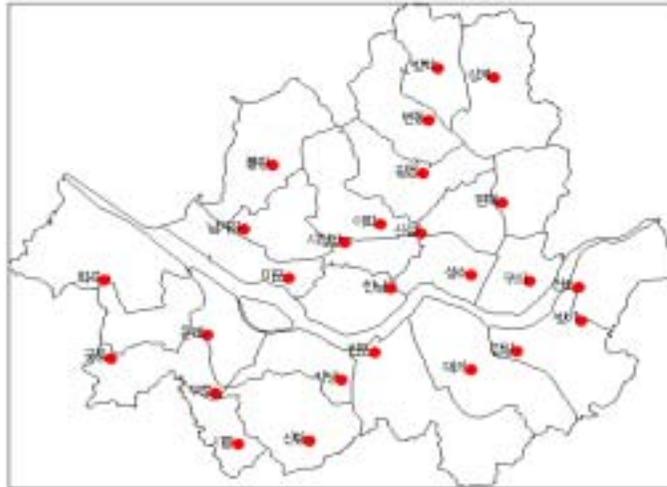
### 제 3 절 미세먼지 오염도 변화추이

#### 1. 대기오염 자동측정소 분포현황

서울시는 2003년 현재 총 27개의 대기오염 자동측정소에서 1995년을 시작으로 미세먼지 오염도를 측정하고 있다. 자동측정소의 분포현황 및 위치는 <표 2-9>, <그림 2-8>과 같다.

<표 2-9> 서울시 대기오염 자동측정소 현황

측정소	위 치	용도	관할기관
시청앞	중구 정동 5-1(덕수궁내 태평로 파출소옆)	상업	환경부
이화동	종로구 이화동 149-1(이화동사무소 옥상)	주거	서울시
면목동	중랑구 면목 2동 192(중랑초등학교 양호실 옥상)	주거	환경부
신설동	동대문구 신설동 109-5(송인여중동부 연금매점 옥상)	주거	환경부
불광동	은평구 불광동 280-17(국립환경연구원 전기실1층 옥상)	주거	환경부
마포	마포구 염리동 150(동도중학교 5층옥상)	주거	환경부
문래동	영등포구 문래2동 4가 6-9(문래2동사무소 옥상)	준공업	환경부
사당동	동작구 사당4동 300-8(사당4동사무소 옥상)	주거	서울시
신림동	관악구 신림동 산 56-1(서울대 학군단 건물내)	녹지	환경부
대치동	강나구 대치동 642-2(대치1동사무소 옥상)	주거	환경부
잠실동	송파구 잠실본동 230-1(본동사무소 2층 옥상)	주거	환경부
시흥동	금천구 시흥5동 832-14(시흥5동사무소 옥상)	주거	서울시
천호동	강동구 천호1동 76-25(천호1동사무소 옥상)	주거	서울시
번동	강북구 번1동 417-11(번1동사무소 옥상)	주거	서울시
길음동	성북구 길음3동 1064-1(길음 3동사무소 옥상)	주거	환경부
한남동	용산구 한남동 726-78(한강관리사업소내)	주거	서울시
구의동	광진구 구의동 164(구의수원지내)	주거	서울시
성수동	성동구 성수동 성수2가 299-240(성수3동사무소 옥상)	준공업	서울시
방학동	도봉구 방학1동 687-27(방학1동사무소 4층 옥상)	주거	서울시
남가좌동	서대문구 남가좌동 250-6(남가좌1동사무소 3층)	주거	서울시
구로동	구로구 구로동 222-16(한국수출사업공단 정수장내)	준공업	서울시
반포동	서초구 반포동 355(반포2동사무소 4층 옥상)	주거	서울시
화곡동	강서구 화곡동 1019-1(화곡3동사무소 3층 옥상)	주거	서울시
방이동	송파구 방이동 88(올림픽공원내)	녹지	서울시
신정동	야천구 신정4동 957-9(신정4동사무소 옥상)	주거	서울시
상계동	노원구 상계2동 389-483(상계2동사무소 옥상)	준공업	서울시
공동	구로구 공동 157(공동 청소년독서실 옥상)	주거	서울시



<그림 2-8> 서울시 대기오염 자동측정소 분포도

## 2. 서울시 미세먼지 오염도 변화

### 1) 연평균 미세먼지 오염도 추이

서울시의 연간 미세먼지 오염도의 변화추이를 분석하기 위해 공식적으로 측정이 시작된 1995년 ~ 2003년 기간동안의 대기오염 자동측정망 자료를 이용하였으며, 분석 결과는 <표 2-10>, <그림 2-9>와 같다. 미세먼지(PM10) 오염도는 점차 감소하다가 1999년을 기점으로 점차 증가추세를 보였다. 특히, 2002년에 미세먼지 오염농도가 급격히 높아졌음을 볼 수 있는데, 이는 고농도의 황사가 발생하였고, 이례적으로 없었던 가을황사의 발현에 의한 영향인 것으로 추정되고 있다. 그리고 2003년 이후부터는 점차 미세먼지 오염도가 감소 경향을 보이고 있으나, 여전히 선진 외국도시에 비해 높은 오염도를 보이고 있다.

한편 서울시 27개 대기오염 자동측정망 수치를 이용한 미세먼지 오염농도의 공간분포 및 강남강북, 그리고 남동·남서·북동·북서권역 등의 권역별 미세먼지 오염농도 비교는 <그림 2-11> ~ <그림 2-14>와 같다. 이에 의하면, 서울지역에 전지역에 걸쳐  $70\mu\text{g}/\text{m}^3$  수준 내외의 미세먼지 오염농도를 나타내고 있음에 비추어, 국지적인 미세먼지 오염관리의 한계가 있으며, 서울전역을 하나의 공간단위로 설정하고 관리하여야 함을 시사하고 있다. 이는 서울시 미세먼지 오염은 비록 인근 자치단체에서 발생된 미세먼지 유입의 영향도 있지만, 기본적으로 자동차 이동오염원에 의해 기인되고 있음을 대변하는 것으로 판단된다.

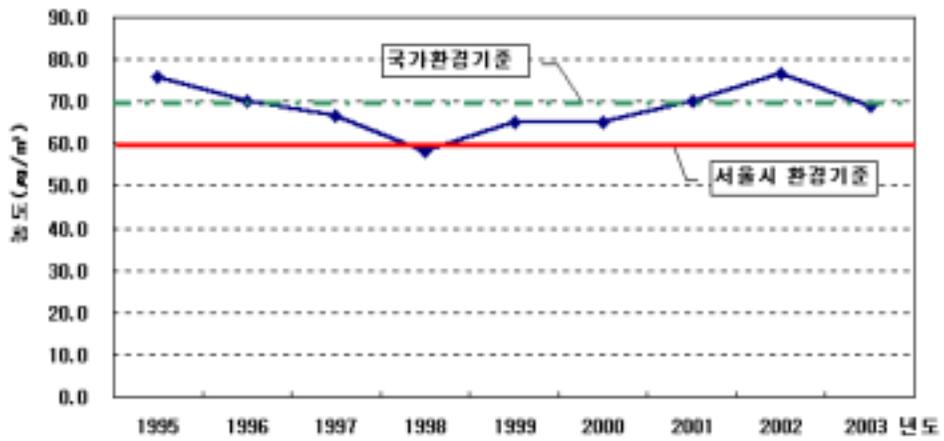
<표 2-10> 서울시 연도별 미세먼지 오염도 비교

(단위 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

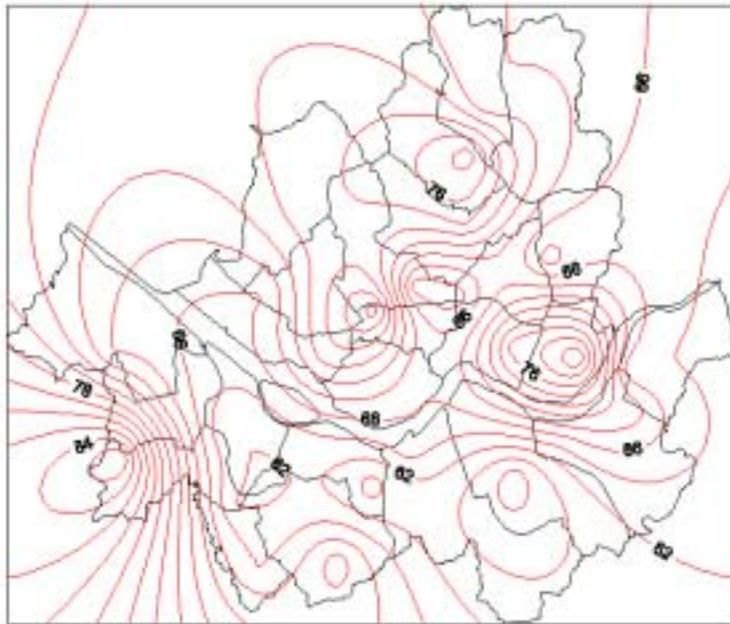
측정소	4개 권역	구위치	PM10								
			1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
반포동	남동	서초구	81	78	62	53	59	48	53	71	65
방이동	남동	송파구	59	59	56	46	47	45	61	76	69
잠실동	남동	송파구	-	-	-	55	51	48	51	-	64
대치동	남동	강남구	-	-	-	57	60	78	83	-	73
천호동	남동	강동구	-	-	-	71	75	73	90	72	64
화곡동	남서	강서구	73	67	62	58	56	57	67	75	68
오류동	남서	구로구	-	-	-	43	-	74	83	92	86
구로동	남서	구로구	62	64	74	57	58	52	61	68	65
신정동	남서	양천구	-	-	-	73	77	70	76	73	69
사당동	남서	동작구	-	-	-	68	59	57	61	57	59
문래동	남서	영등포구	-	-	-	78	80	65	52	-	77
관악산	남서	관악구	-	-	-	-	-	-	-	74	69
시흥동	남서	금천구	-	-	-	67	64	62	59	66	64
구의동	북동	광진구	-	-	-	62	-	75	83	85	82
방학동	북동	도봉구	-	-	81	65	59	67	65	76	68
성수동	북동	성동구	-	-	-	65	-	75	84	86	77
번 동	북동	강북구	-	-	-	76	68	90	85	80	79
상계동	북동	노원구	-	-	-	73	72	71	75	77	69
길음동	북동	성북구	-	-	-	44	-	-	64	70	75
면목동	북동	중랑구	88	83	68	62	95	82	85	76	63
신설동	북동	동대문구	96	91	79	63	64	64	74	74	71
한남동	북서	용산구	-	-	-	51	-	70	63	78	66
남가좌동	북서	서대문구	-	-	-	59	63	55	62	66	66
이화동	북서	종로구	-	-	-	80	74	77	95	-	73
시청앞	북서	중 구	86	78	57	48	69	59	57	97	79
불광동	북서	은평구	66	59	55	52	50	47	58	77	73
마 포	북서	마포구	73	52	86	77	70	70	74	78	73

자료 : 환경부, 대기환경연보 (2002년).

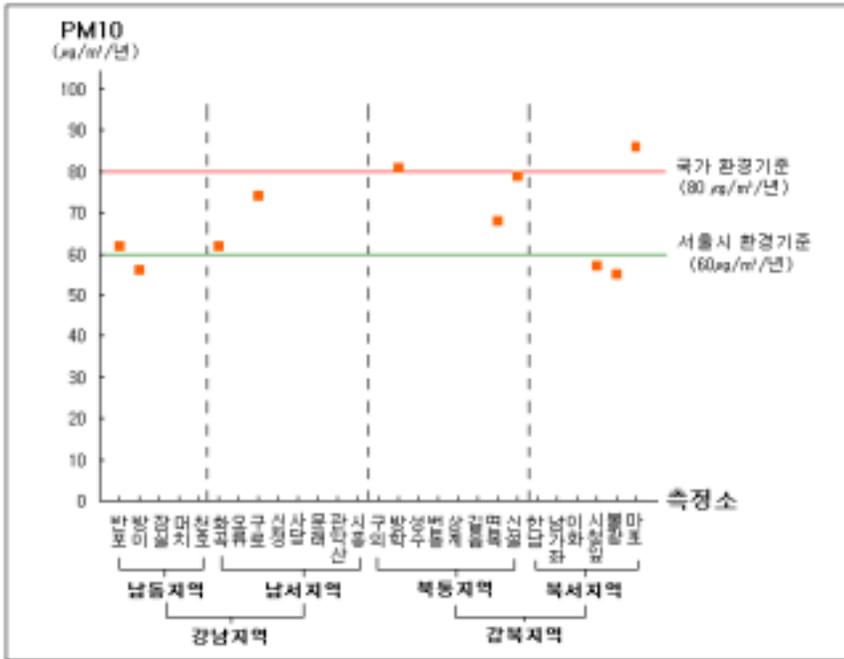
서울시 보건환경연구원 자료제공(2003년).



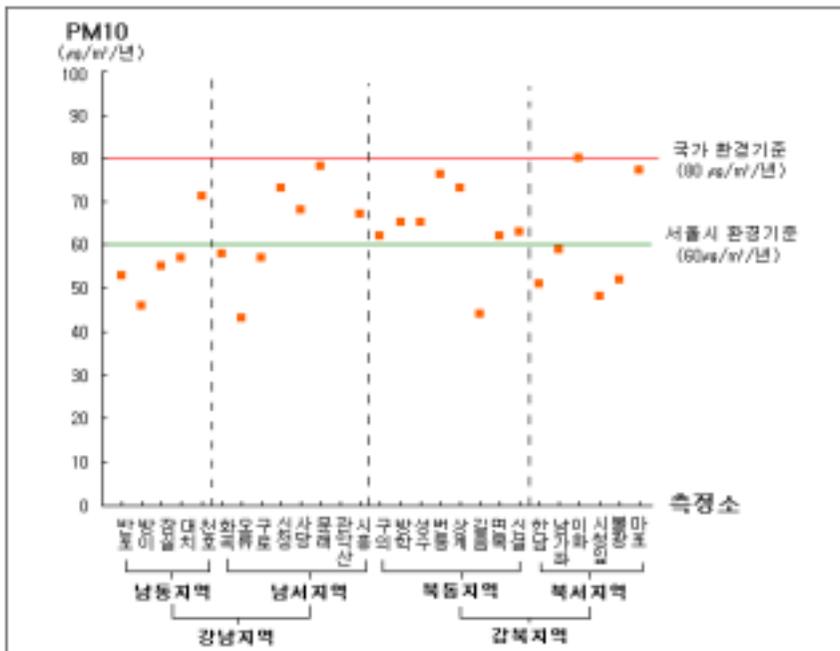
<그림 2-9> 서울시 연도별 미세먼지 오염도 변화



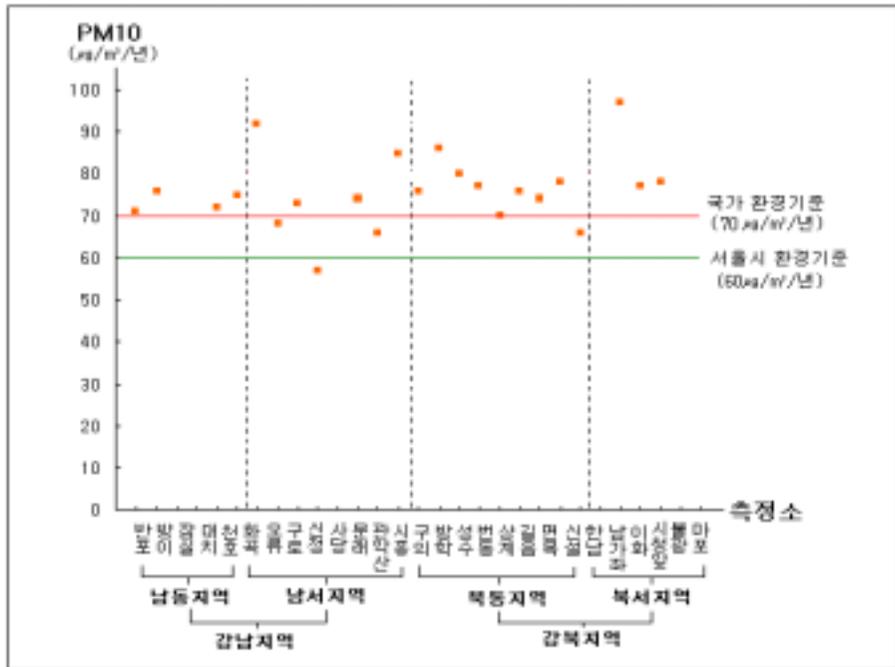
<그림 2-10> 서울시 미세먼지 오염도 공간분포(2003년)



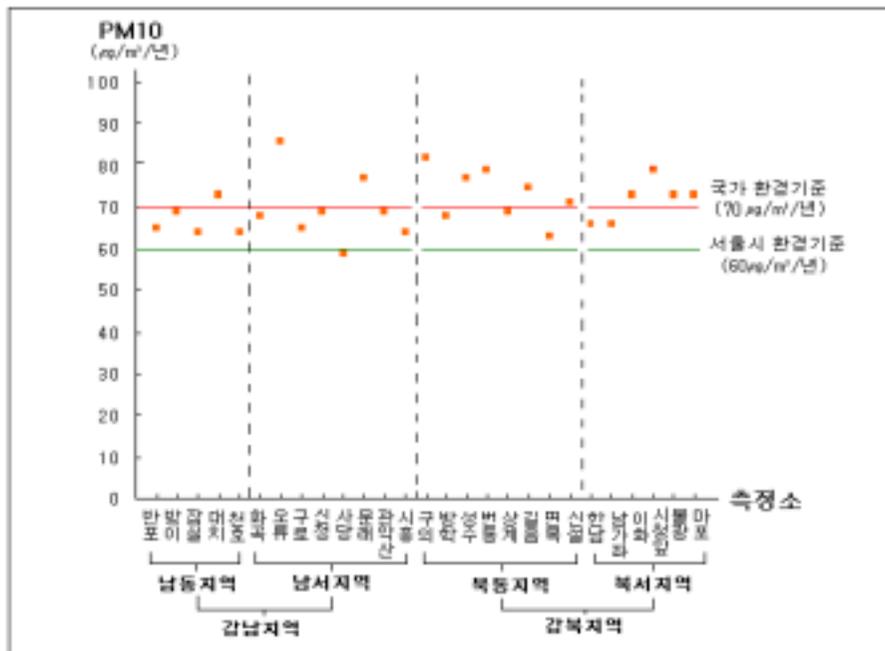
<그림 2-11> 서울시 미세먼지 오염도 현황(1997년)



<그림 2-12> 서울시 미세먼지 오염도 현황(1998년)



<그림 2-13> 서울시 미세먼지 오염도 현황(2002년)

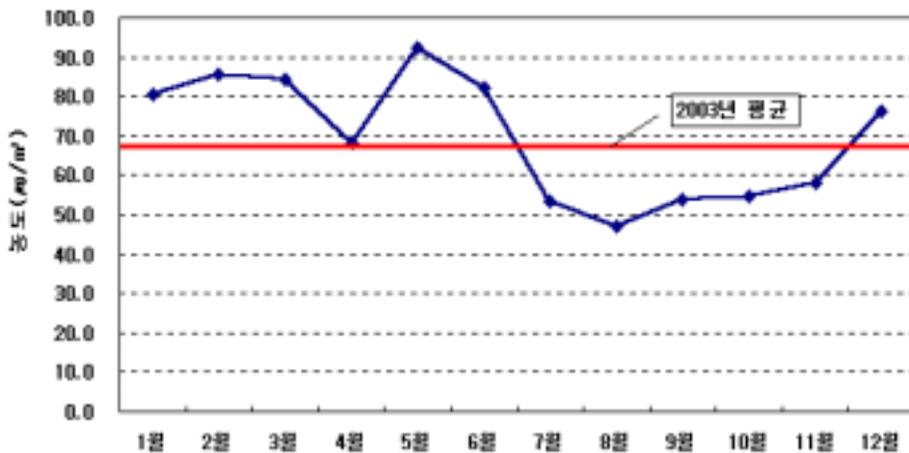


<그림 2-14> 서울시 미세먼지 오염도 현황(2003년)

## 2) 월별 미세먼지 오염도 추이

미세먼지의 오염도는 계절에 따라 변화가 최대  $45\mu\text{g}/\text{m}^3$  수준에 이를 만큼 편차가 크게 나타나고 있다(그림 2-15) 참조). 대체적으로 건조한 동절기는 높고 강수량이 많은 하절기는 낮은 추세를 보이고 있다. 그러나 이와 같은 편차는 황사수준에 따라 더욱 편차가 크게 나타날 수도 있다. 즉, 2002년에 비해 2003년에는 황사의 영향을 받는 3,4월의 농도가 매우 낮고 5월과 12월의 농도는 매우 높음을 볼 수 있는데, 이는 3,4월의 황사강도가 약했으며, 특히 4월에는 황사 발원지 부근의 강수량 증가 및 녹화로 인하여 황사 발생이 대폭 감소한 영향으로 보인다.

또한 5월은 이상고온현상과 대기전체 현상, 그리고 전국적으로 안개 현상 발생으로 오염도가 증가한 것으로 보이며, 12월은 강수량이 감소하였으며 대기안정도의 중립조건이 감소하고 안정한 조건이 증가했기 때문으로 판단된다.



<그림 2-15> 서울시 미세먼지 오염도의 월별 변화(2003년)

<표 2-11> 측정소별 월별 미세먼지 오염도 변화(2003년)

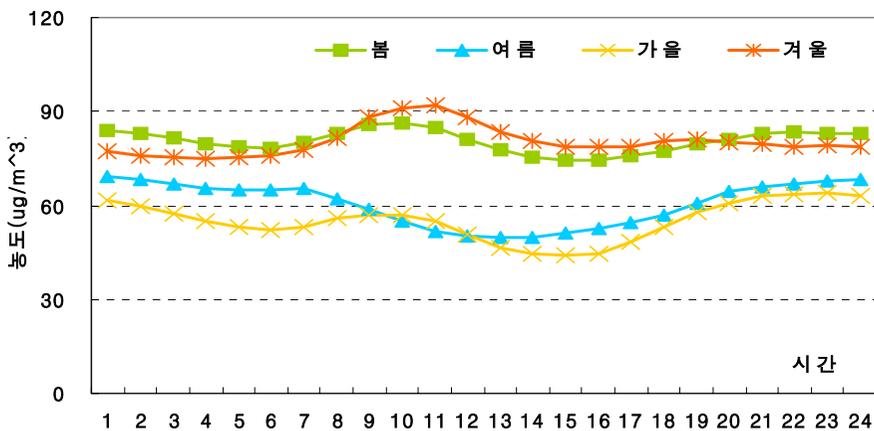
(단위 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
시청앞	101	108	103	82	103	87	55	50	59	61	64	78
이화동	-	-	-	-	91	79	55	44	53	56	58	67
면목동	76	79	71	59	79	74	47	53	52	47	51	67
신설목	87	85	-	50	76	67	42	36	47	50	70	88
불광동	73	84	97	81	102	80	57	54	65	61	51	73
마포	84	88	86	77	102	94	55	42	56	46	-	-
문래동	-	-	-	-	103	93	61	54	44	43	49	52
사당동	61	61	61	49	79	78	45	38	48	54	56	81
신림동	79	84	79	64	87	80	54	51	56	55	60	74
대치동	-	-	-	-	99	90	39	35	37	45	50	62
잠실동	-	-	-	-	90	86	68	48	52	48	52	71
시흥동	71	79	78	61	84	75	49	47	56	54	53	59
천호동	67	83	85	67	80	70	49	43	47	48	52	80
번동	91	95	91	77	98	87	64	59	67	65	66	88
길음동	-	-	-	79	105	95	65	52	60	61	68	88
한남동	82	86	84	68	86	68	42	39	48	52	54	84
구의동	101	103	106	79	111	97	63	54	52	59	62	99
성수동	86	85	87	74	109	97	57	51	67	64	68	79
방학동	89	89	86	72	87	66	41	36	48	55	61	83
남가좌동	75	78	73	57	94	95	57	50	53	46	51	57
구로동	68	72	71	57	81	77	55	53	51	47	51	64
반포동	66	72	72	60	78	74	50	45	56	58	60	88
화곡동	79	84	83	71	89	77	50	40	49	57	60	73
방이동	72	84	77	62	78	73	55	53	66	68	60	80
신정동	80	87	85	69	96	81	56	51	50	51	52	67
상계동	81	82	80	65	84	76	52	41	56	55	67	91
궁동	98	116	116	90	123	104	63	56	60	68	68	95

자료 : 서울시 보건환경연구원 제공(2004년).

### 3) 일별 미세먼지 오염도 추이

미세먼지 일별 변화를 살펴보면 통행량이 증가하는 출퇴근시간에 약간 높아지는 경향을 보이며, 계절별로 살펴보면 계절 특성상 총량의 변화만 있을 뿐 시간적 변화에는 별다른 차이점이 없는 것으로 나타났다. 이와 같은 서울시 일별 미세먼지 오염도 변화를 첫째, 통행량의 집중에 따라 미세먼지 오염도가 상승하게 되는 요인이 되며, 둘째, 자동차 통행량 절대 수준은 어느 정도 포화수준에 도달하였음을 시사하는 것으로 판단된다.



<그림 2-16> 미세먼지의 시간별 농도변화(2003년)

### 3. 서울시 미세먼지 환경기준 초과현황

#### 1) 장기기준 초과현황

2001년~2003년 기간동안의 장기환경기준인  $70\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{년}$ 을 초과한 현황은 <표 2-12>와 같다. 장기환경기준의 초과횟수는 2003년 8개소로 2002년에 비해 대폭 감소하고 있다. 이러한 미세먼지 장기기준 초과횟수의 감소는 2002년의 대규모 황사에 의한 것으로 추정된다.

<표 2-12> 장기환경기준 초과지점 및 오염도

(단위 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{년}$ )

2001년 12개소		2002년 21개소		2003년 8개소	
종로구 95,	강동구 90	종구 96,	강남구 95	종구 79,	성북구 75
중랑구 85,	강북구 85	구로구1 85,	광진구 85	은평구 73	구로구2 88
구로구1 83,	강남구 83	성동구 83,	송파구2 81	마포구 73	성동구 77
양천구 76,	구로구2 83	강북구 79,	마포구 78	강북구 79	광진구 82
동대문구 74,	노원구 75	용산구 77,	송파구1 77		
	마포구 74	은평구 77,	노원구 77		
		중랑구 76,	도봉구 76		
		강서구 75,	동대문구 74		
		관악구 74,	영등포구 73		
		양천구 73,	강동구 72		
		서초구 71,			

## 2) 단기기준 초과현황

단기환경기준인  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ ·일을 초과한 지점은 2003년 27개 지점으로 초과횟수의 대소에 관계없이 모든 측정소에서 초과한 것으로 나타났다. 2003년의 경우, 강북구, 광진구, 구로구 등에서 특히 초과횟수가 30회 이상으로 나타나고 있다.

<표 2-13> 단기환경기준 초과지점 및 횟수

2001년 25개소(518)		2002년 26개소(413)		2003년 27개소(402)	
강동구(50),	종로구(41)	종구(29),	광진구(26)	종구(23),	광진구(30)
강북구(41),	성동구(39)	강북구(27),	구로구2(25)	강북구(30),	구로구2(32)
광진구(35),	구로구2(32)	성동구(22),	도봉구(17)	성동구(24),	도봉구(17)
노원구(33),	양천구(31)	노원구(21),	용산구(17)	노원구(24),	용산구(18)
동대문구(16),	성북구(15)	은평구(17),	관악구(16)	은평구(20),	관악구(10)
마포구(27),	강서구(15)	강서구(16),	마포구(16)	강서구(13),	마포구(16)
동작구(14),	금천구(14)	강동구(15),	강남구(13)	강동구(12),	강남구(5)
구로구1(14),	서대문구(13)	송파구2(14),	송파구1(13)	송파구2(7),	송파구1(13)
강남구(13),	용산구(12)	양천구(13),	금천구(12)	양천구(13),	금천구(12)
중랑구(13),	도봉구(10)	중랑구(13),	서대문구(12)	중랑구(13),	서대문구(17)
송파구1(18),	은평구(6)	서초구(11),	성북구(10)	서초구(10),	성북구(12)
종구(6),	영등포구(5)	동대문구(10),	영등포구(10)	동대문구(7),	영등포구(7)
서초구(5),		구로구1(9),	동작구(9)	구로구1(13),	동작구(6)
				종로구(5)	

## 제 4 절 기상조건과 미세먼지 오염도 상관분석

### 1. 분석방법의 정립

본 절에서는 서울시 미세먼지 오염도 수준을 결정하는 제반 사회경제적 영향요인의 기여도 분석에 중점을 두지 않고, 미세먼지 오염도 수준에 간접적·부가적으로 영향을 미치는 기상조건을 분석하고자 한다. 이러한 분석은 향후 서울시 미세먼지 저감을 위한 실천적 저감수단을 모색하고, 이에 따른 개선효과를 가늠하고자 함에 있다. 이를 위해 서울시 대기오염 자동측정망에서 측정된 미세먼지 오염농도와 기상조건간 상관관계를 다중회귀분석기법을 적용하여 분석하였다.

이에 본 연구에서는 미세먼지(PM10)에 영향을 미치는 영향요인을 분석하기 위하여 강수량, 기온, 습도, 풍속, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, N-CH<sub>4</sub>, THC, O<sub>3</sub>, CO, UV, HUM, WS, TEMP에 대하여 크게 시간평균과 일평균으로 나누고 또한 자동측정망 자료와 서울시 기상대자료로 나누어 SPSS를 이용한 다중회귀분석(multiple regression)을 실시하였다. 다만, 이러한 회귀분석을 실시하기 위해서는 5가지 가정이 전제조건으로 성립해야만 한다.

첫째, 회귀분석에 사용된 함수식이 종속변수에 영향을 미친다고 생각되는 독립변수를 모두 포함하고 있어야 하며, 이들 두 변수간의 관계가 이론적인 측면에서는 물론 관측자료의 적합도 면에서도 타당성이 있어야 한다. 둘째, 분석에 사용되는 모든 변수들의 관측자료에 오류(error)가 포함되어 있지 않아야 한다. 셋째, 독립변수들이 비교적 서로 독립적이어야 한다. 독립변수들이 독립적이라 함은 이들 변수간의 상관관계가 높지 않고 낮아야 한다는 것(상관관계가 낮아야 함)이다. 넷째, 각 관측치가 독립적으로 추출되어 분석에 사용된 표본자료가 무작위표본(random sample)을 구성해야 한다. 다섯째, 종속변수의 관측치와 회귀모형에 의해 예측된 값과의 차이인 잔차에 대한 것으로 이들 잔차가 어떤 것은 크고 어떤 것은 작을 지라도 그들의 평균은 0이 되어야 하며, 각 잔차항목이 서로 독립적이어서 한 관측치로부터 계산된 잔차가 또 다른 관측치로부터 계산되는 잔차에 영향을 미쳐서는 안되며, 잔차의 크기나 분산이 관측값에 영향을 받아서는 안된다는 것이다.

또한 회귀식을 통한 통계적 분석의 적절성을 판단하기 위해서는 다음의 두 가지가 분석내용에 고려되어야 한다.

## 1) 다중공선성

다중공선성(multicollinearity)은 특히 조사자료(survey data)의 회귀분석에서 많이 발생하는데, 이 문제에 대한 해결이 전제되지 않으면 회귀분석의 결과를 신뢰하기 어려워진다.

다중공선성이란 한 독립변수의 값이 증가할 때 다른 독립변수값이 이에 관련되어 증가하거나 감소하는 현상을 말한다. 다중공선성은 그것이 존재하느냐 하지 않느냐보다는 어느 정도 존재하는나가 중요한 문제가 된다. 대부분의 다중회귀분석에 있어서 독립변수들은 어느 정도의 상관관계를 보이고 있으나 문제가 되는 것은 독립변수들이 강한 상관관계를 보이는 경우이다. 독립변수들 사이의 관련성이 미약하다면(폭이 비교적 넓은 타원으로 점들이 감싸질 때) 회귀분석의 결과를 활용하는 데 큰 문제가 되지 않으나, 독립변수들간의 관련성이 높다면(폭이 좁은 타원), 다중공선성을 줄이거나 또는 회귀분석을 실시하지 않아야 한다. 왜냐하면 다중공선성이 심각하다면 회귀식의 기울기와 절편은 별 의미가 없게되기 때문이다. 다시 말해 다중공선성이 심각하다면 회귀분석의 결과는 의미가 없어지게 된다.

실제 조사과정에서는 독립변수의 수치를 통제할 수 없으며 어떠한 수치가 얻어지더라도 그것을 사용할 수밖에 없다. 이와 같은 경우에는 관련이 깊은 변수들을 분석에서 제외시킴으로써 다중공선성을 어느 정도 극복할 수 있으나, 만약 이 과정에서 제외된 독립변수가 종속변수에 사실상 영향을 미친다면 중요한 변수를 제외한 채로 결과를 해석하게 되므로 원래의 의도에서 벗어난 결과를 유도할 수도 있다(박양규, 1999).

## 2) 자동상관

앞에서 설명한 다중공선성의 문제는 회귀분석에 사용된 자료에 기인한 문제이나 자동상관(autocorrelation)은 잔차항에 관한 가정의 조건이 충족되지 못할 때 야기되는 문제이다. 자동상관이란 잔차항들이 정(+)의 방향이나 부(-)의 방향으로 서로 상관되어 있는 현상으로 이러한 현상은 시계열자료(time series data)를 이용하여 회귀분석을 할 경우 연 이은 두 시점의 잔차항 사이에 흔히 나타난다. 자동상관이 발생하는 원인으로서는 여러 가지를 들 수 있으나 주요한 설명변수가 모형에 누락되었을 때 또는 적용한 함수형태가 자료에 적합하지 않을 때(즉, 자료가 비선형 함수에 의해 설명되어야 하는데, 선형함수를 적용하였을 경우) 흔히 발생하며 또는 단순히 종속변수가 주기적으로 변동하는 패턴을 보일 때에도 이러한 현상이 나타난다.

자동상관의 존재유무는 일반적으로 더빈-왓슨(Durbin-Watson)<sup>2)</sup>계수로 불리는 검정통계량을 사용하여 판정하지만 잔차항을 그림으로 그려 육안으로 판별할 수도 있다. 자동상관이 존재할 경우에는 일반 최소자승법(generalized least squares)으로 불리는 방법을 사용하여 회귀식을 추정하여야 한다(박양규, 1999).

본 연구에서는 변수들간의 다중공선성 문제를 제거하기 위하여 “Stepwise” 방식을 사용하였다. Stepwise 기법은 회귀분석에서 독립변수가 증가하면 결정계수( $R^2$ )값이 커지는데, 이런 경우 다중공선성(multicollinearity)의 문제가 발생하며, 이러한 문제와 오차를 줄여 최적화된 회귀선을 찾아내는 방법이다(우수명, 2003). Stepwise 방식을 적용함에 있어, 유의수준은 5% 범위로 하였다.

## 2. 기상조건과 미세먼지 오염도 상관분석

### 1) 시간 평균 회귀분석

#### 가) 사당 (자동측정망)

사당동 자동측정망 자료의 시간 평균 회귀분석 결과, 결정계수( $R^2$ )는 0.477로 본 연구에서 제시된 종속변수에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 47.7%이다.

---

2) 더빈 왓슨(Durbin-Watson)계수: 더빈-왓슨은 자기상관에 대한 검정을 하기 위한 검정통계량으로 더빈-왓슨값이 2에 가까우면 자기상관현상이 무시될 만하지만 0에 가까우면 정의 상관관계를 나타내며 4에 가까우면 부의 상관관계를 나타낸다. 그러므로 DW값이 0이나 4에 가까울수록 잔차들간에 상관관계가 있어 모형이 적합하다고 할 수가 없다(박양규, 1999).

<표 2-14> 미세먼지 시간평균 오염도 영향요인별 회귀분석 (사당동 자동측정망)

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	-78,893	4,688		-16,829	0,000
CO	4,004	0,137	0,457	29,133	0,000
SO <sub>2</sub>	5,310	0,160	0,316	33,184	0,000
O <sub>3</sub>	0,810	0,039	0,251	20,508	0,000
N-CH <sub>4</sub>	0,560	0,038	0,206	14,635	0,000
NO	-0,680	0,030	-0,781	-22,509	0,000
HUM	0,253	0,022	0,132	11,697	0,000
NOX	0,414	0,030	0,578	13,880	0,000
UV	0,071	0,025	0,029	2,785	0,005
CH <sub>4</sub>	0,158	0,023	0,097	6,737	0,000
TEMP	0,031	0,005	0,071	6,126	0,000
WS	0,382	0,063	0,068	6,059	0,000

주: 추정방정식(Y) = -78.90 + 4.0X1 + 5.31X2 + 0.81X3 + 0.56X4 - 0.68X5 + 0.25X6 + 0.41X7  
+ 0.07X8 + 0.16X9 + 0.03X10 + 0.38X11 + ε

나) 공동 (자동측정망)

공동 자동측정망 자료의 시간 평균 회귀분석 결과, 결정계수(R<sup>2</sup>)는 0.495로 49.5%의 설명력을 갖는다.

<표 2-15> 미세먼지 시간평균 오염도 영향요인별 회귀분석(공동 자동측정망)

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	-4.620	3.773		-1,225	0,221
CO	11,520	0,256	0,792	45,063	0,000
NO	-0,540	0,018	-0,443	-30,706	0,000
N-CH <sub>4</sub>	0,359	0,019	0,181	19,159	0,000
SO <sub>2</sub>	2,089	0,168	0,126	12,412	0,000
HUM	-0,262	0,028	-0,104	-9,409	0,000
CH <sub>4</sub>	0,175	0,015	0,113	11,718	0,000
WS	0,714	0,072	0,105	9,887	0,000
UV	-0,415	0,049	-0,087	-8,534	0,000
NO <sub>2</sub>	0,181	0,034	0,066	5,389	0,000

주 : 추정방정식(Y) = -4.62+11.52X1-0.54X2 + 0.36X3 + 2.09X4 - 0.26X5 + 0.18X6 + 0.71X7 - 0.42X8  
+ 0.18X9 + ε

다) 사당(서울기상대 자료)

사당동 미세먼지 농도자료와 서울기상대 자료의 시간 평균 회귀분석 결과, 결정계수(R<sup>2</sup>)가 0.482로 나타났으며, 이를 통해 본 연구에서 제시된 여러 독립변수들이 종속변수 미세먼지의 오염도를 48.2% 설명할 수 있다.

<표 2-16> 미세먼지 시간평균 오염도 영향요인별 회귀분석(사당동 서울기상대)

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	20,266	16,301	-	1,243	0,214
CO	3,220	0,444	0,318	7,247	0,000
습도	-1,131	0,152	-0,234	-7,425	0,000
O <sub>3</sub>	1,112	0,110	0,351	10,103	0,000
THC	0,298	0,040	0,281	7,393	0,000
NO <sub>2</sub>	0,694	0,093	0,324	7,478	0,000
기온	0,052	0,014	0,120	3,678	0,000
NO <sub>x</sub>	-0,151	0,045	-0,183	-3,333	0,001
SO <sub>2</sub>	1,425	0,459	0,097	3,101	0,002

주 : 추정방정식(Y) = 20.27 + 3.22X1 - 1.13X2 + 1.11X3 + 0.30X4 + 0.69X5 + 0.05X6 - 0.15X7 + 1.43X8 + ε

라) 궁동(서울기상대 자료)

궁동 서울기상대 자료의 시간 평균 회귀분석 결과, 결정계수(R<sup>2</sup>)는 0.389로 종속변수들이 독립변수에 관해 갖는 설명력은 38.9%이다.

<표 2-17> 미세먼지 시간평균 오염도 영향요인별 회귀분석(궁동 서울기상대)

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	83,560	25,191		3,317	0,001
SO <sub>2</sub>	4,933	0,876	0,227	5,634	0,000
THC	0,198	0,035	0,212	5,730	0,000
CO	9,344	1,143	0,476	8,176	0,000
습도	-1,380	0,264	-0,193	-5,228	0,000
NO <sub>x</sub>	-0,267	0,068	-0,222	-3,935	0,000
기온	0,067	0,024	0,102	2,797	0,005
O <sub>3</sub>	0,430	0,191	0,088	2,244	0,025

주 : 추정방정식(Y) = 83.56 + 4.93X1 + 0.20X2 + 9.34X3 - 1.38X4 - 0.27X5 + 0.07X6 + 0.43X7 + ε

## 2) 일 평균 회귀분석

### 가) 사당(자동측정망)

사당동 자동측정망 자료의 시간 평균 회귀분석 결과, 결정계수(R<sup>2</sup>)는 0.523으로 본 연구에서 제시된 종속변수에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 52.3%이다.

<표 2-18> 미세먼지 일평균 오염도 영향요인별 회귀분석(사당동 자동측정망)

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	-148.447	17.258		-8.602	0.000
CO	3.492	0.655	0.359	5.334	0.000
SO2	5.152	0.830	0.281	6.203	0.000
O3	1.845	0.238	0.389	7.754	0.000
THC	0.456	0.085	0.359	5.393	0.000
HUM	0.405	0.091	0.195	4.443	0.000
NO	-0.761	0.200	-0.697	-3.806	0.000
NOX	0.492	0.182	0.602	2.700	0.007

주 : 추정방정식(Y) = -148.45 + 3.50X1 + 5.15X2 + 1.85X3 + 0.46X4 + 0.41X5 - 0.76X6 + 0.49X7 + ε

### 나) 공동(자동측정망)

공동 자동측정망 자료의 시간 평균 회귀분석 결과, 결정계수(R<sup>2</sup>)는 0.714로 71.4%의 설명력을 갖는다.

<표 2-19> 미세먼지 일평균 오염도 영향요인별 회귀분석(공동 자동측정망)

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	-4.859	10.557		-0.460	0.646
CO	18.590	0.920	1.102	20.202	0.000
NO	-0.606	0.073	-0.415	-8.278	0.000
O <sub>3</sub>	0.685	0.306	0.111	2.239	0.026
N_CH <sub>4</sub>	0.364	0.064	0.200	5.701	0.000
WS	1.668	0.414	0.182	4.026	0.000
HUM	-0.478	0.125	-0.155	-3.828	0.000
TEMP	0.069	0.024	0.150	2.848	0.005

주 : 추정방정식(Y) = -4.86 + 18.59X1 - 0.61X2 + 0.69X3 + 0.36X4 + 1.67X5 - 0.48X6 + 0.07X7 + ε

다) 사당(서울기상대)

사당동 서울기상대 자료의 시간 평균 회귀분석 결과, 결정계수(R<sup>2</sup>)가 0.584로 나타났으며, 이를 통해 본 연구에서 제시된 여러 독립변수들이 종속변수 미세먼지의 오염도를 58.4% 설명할 수 있다.

<표 2-20> 미세먼지 일평균 오염도 영향요인별 회귀분석(사당동 서울기상대)

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	-122.585	21.637		-5.665	0.000
CO	5.366	0.995	0.486	5.394	0.000
O <sub>3</sub>	1.325	0.307	0.311	4.324	0.000
THC	0.512	0.114	0.408	4.495	0.000
NO	-0.478	0.121	-0.391	-3.942	0.000
SO <sub>2</sub>	3.393	1.316	0.159	2.579	0.011
NO <sub>2</sub>	0.494	0.241	0.205	2.052	0.042

주 : 추정방정식(Y) = -122.59 + 5.37X1 + 1.33X2 + 0.51X3 - 0.48X4 + 3.40X5 + 0.49X6 + ε

라) 공동(서울기상대)

공동 서울기상대 자료의 시간 평균 회귀분석 결과, 결정계수(R<sup>2</sup>)는 0.618로 종속변수들이 독립변수에 관해 갖는 설명력은 61.8%이다.

<표 2-21> 미세먼지 일평균 오염도 영향요인별 회귀분석(공동 서울기상대)

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	35.650	24.060		1.482	0.141
CO	18.591	1.843	0.991	10.086	0.000
O <sub>3</sub>	0.946	0.438	0.175	2.158	0.033
NO <sub>x</sub>	-0.539	0.125	-0.467	-4.326	0.000
습도	-0.596	0.242	-0.165	-2.466	0.015
N_CH <sub>4</sub>	0.252	0.112	0.140	2.259	0.026

주 : 추정방정식(Y) = 35.65 + 18.59X1 + 0.95X2 - 0.54X3 - 0.60X4 + 0.25X5 + ε

### 3) 기상요인별 미세먼지 오염도 상과분석<sup>3)</sup>

#### 가) 시간자료

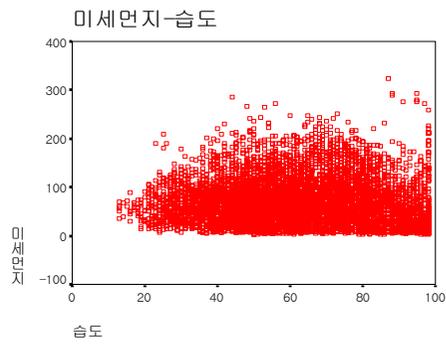
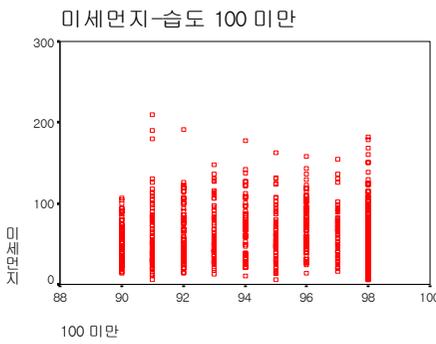
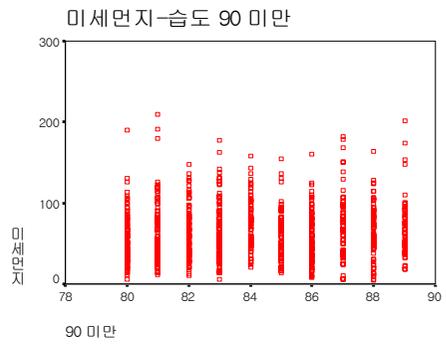
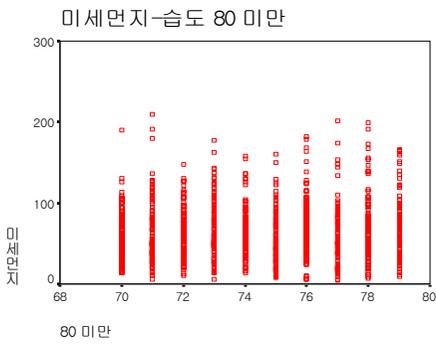
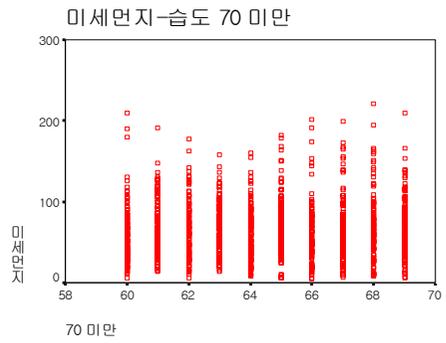
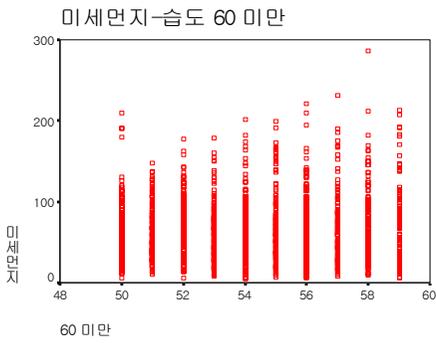
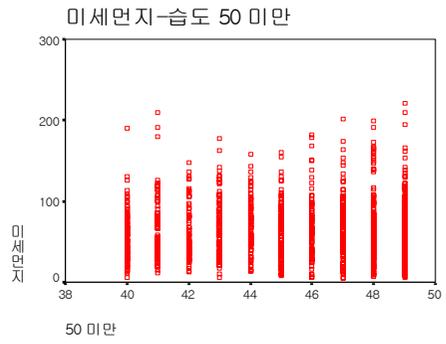
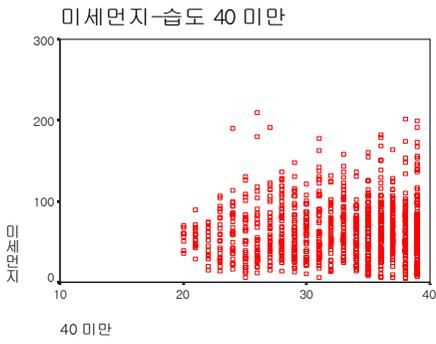
##### ① 습도

화곡동 자동측정망 시간자료의 습도를 구간별로 나누어 회귀분석한 결과, 결정계수(R<sup>2</sup>)는 최고 0.034에서 최저 0.002수준으로서, 본 연구에서 제시된 독립변수에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 3.4%에서 0.2% 수준이다. 또한 습도자료 전체를 대상으로 회귀분석한 결과, 결정계수 값이 0.001로 구간별로 나누어 분석한 경우보다 설명력이 더욱 떨어지는 것으로 추정된다. 이에 일반적인 습도조건은 미세먼지 오염도에 그다지 영향을 미치지 못하는 기상 조건인 것으로 해석된다.

<표 2-22> 화곡동 자동측정망 시간자료 습도와 미세먼지와의 상관분석결과

습도	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
20 미만	$Y = -1.439X + 77.418$ (t=-1.114) (t=3.545)	37	0.034	2.070	1.241
40 미만	$Y = 0.445X + 49.303$ (t=2.178) (t=7.346)	1073	0.004	1.239	4.745
50 미만	$Y = 0.593X + 37.293$ (t=1.808) (t=2.520)	1328	0.002	1.246	3.268
60 미만	$Y = 0.791X + 22.122$ (t=2.516) (t=1.295)	1820	0.003	1.187	6.332
70 미만	$Y = 0.722X + 17.753$ (t=2.212) (t=0.846)	1361	0.004	1.248	4.893
80 미만	$Y = 0.850X + 1.096$ (t=2.431) (t=0.042)	1180	0.005	1.235	5.909
90 미만	$Y = 0.701X + 4.517$ (t=1.857) (t=0.142)	947	0.004	1.246	3.449
100 미만	$Y = 0.593X + 6.850$ (t=1.466) (t=0.179)	833	0.003	1.246	2.148
전체	$Y = -0.064X + 71.453$ (t=-2.508) (t=43.698)	8579	0.001	1.099	6.292

3) 온도, 습도, 자외선량, 풍속 등과 같은 개별 기상요인과 미세먼지 오염도간 상관성을 강서구 화곡동 대기 오염자동측정망 측정자료를 중심으로 분석함.

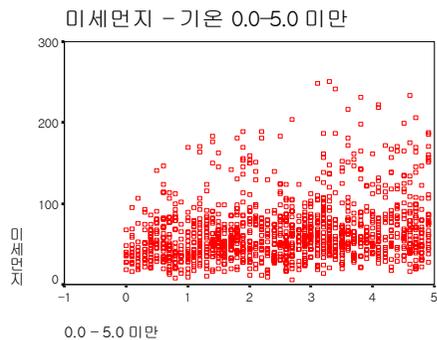
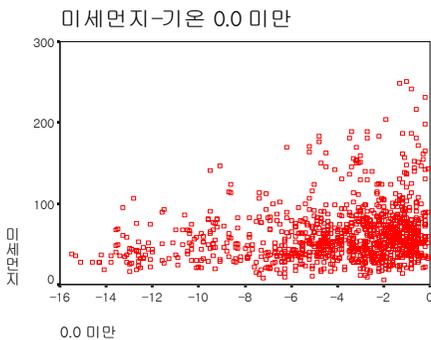


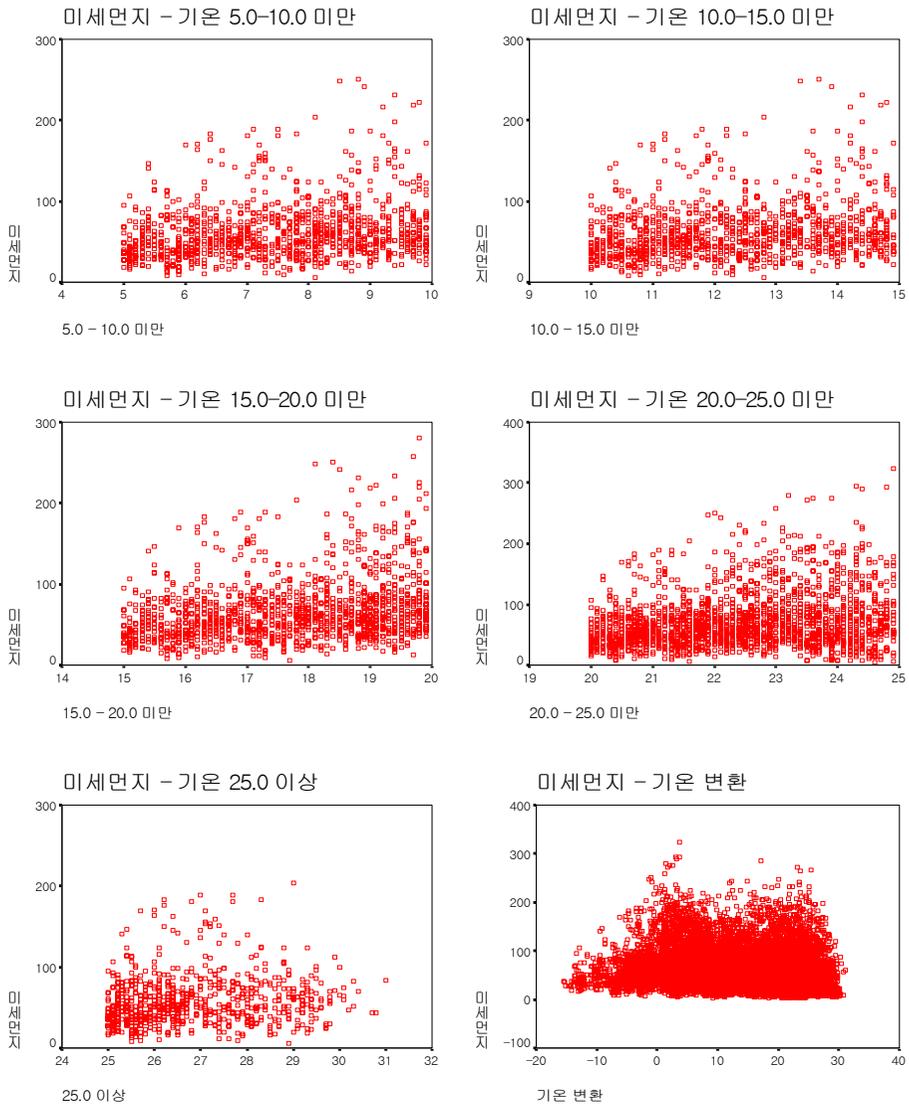
② 기온

화곡동 자동측정망 시간자료의 기온을 일정 구간별로 나누어 회귀분석한 결과, 결정계수 ( $R^2$ )는 최고 0.074에서 최저 0.016으로 본 연구에서 제시된 독립변수에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 7.4%에서 1.6% 수준인 것으로 추정되었다. 또한 기온자료 전체를 대상으로 회귀분석한 결과, 결정계수 값이 0.010수준으로 구간별로 나누어 분석한 경우보다 설명력이 상대적으로 낮음을 알 수 있다.

<표 2-23> 화곡동 자동측정망 시간자료 기온과 미세먼지와의 상관분석결과

기온	추정방정식	통계검증치			
		N	$R^2$	D-W	F
0.0 미만	$Y = 2,326 \cdot X + 71,505$ (t=7.228) (t=42,155)	1004	0.050	1.441	52,243
0.0 ~ 5.0 미만	$Y = 6,767 \cdot X + 48,053$ (t=9,158) (t=22,678)	1262	0.062	1.442	83,870
5.0 ~ 10.0 미만	$Y = 5,381 \cdot X + 22,589$ (t=7,319) (t=4,041)	1095	0.047	1.484	53,567
10.0 ~ 15.0 미만	$Y = 5,268 \cdot X - 1,972$ (t=7,256) (t=-0,219)	1089	0.046	1.481	52,647
15.0 ~ 20.0 미만	$Y = 7,328 \cdot X - 62,642$ (t=10,487) (t=-5,055)	1375	0.074	1.450	109,969
20.0 ~ 25.0 미만	$Y = 7,365 \cdot X - 93,576$ (t=10,674) (t=-6,046)	1996	0.054	1.407	113,930
25.0 이상	$Y = 2,866 \cdot X - 18,556$ (t=3,546) (t=-0,855)	758	0.016	1.524	12,575
전체	$Y = -0,463 \cdot X + 73,475$ (t=-9,530) (t=93,272)	8579	0.010	1.385	90,816



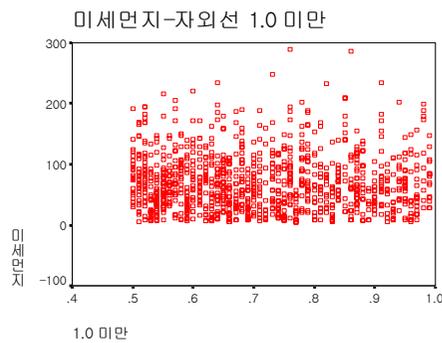
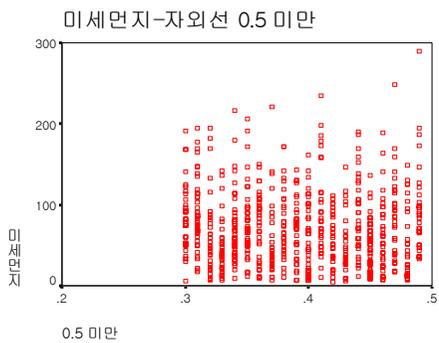
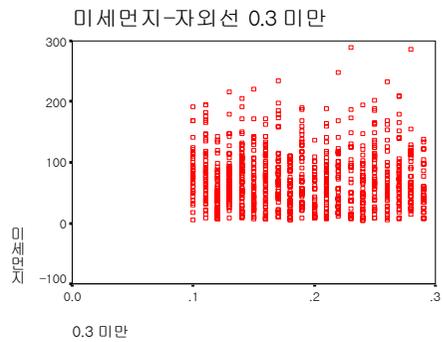
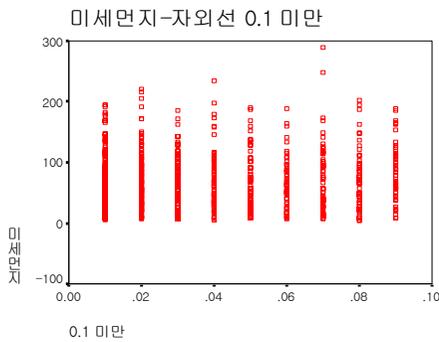


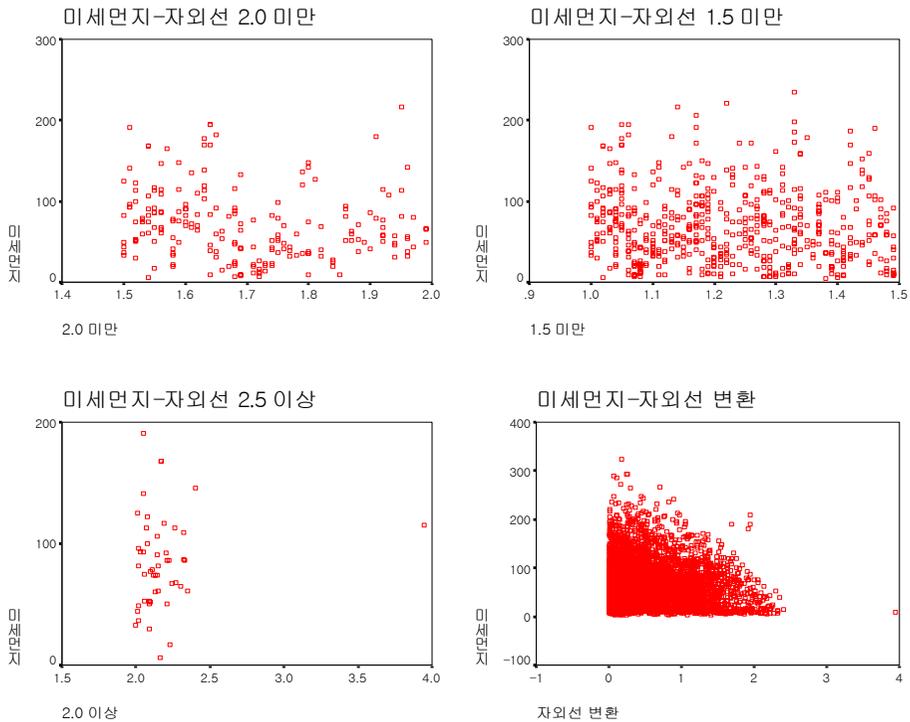
### ③ 자외선

화곡동 자동측정망 시간자료의 자외선을 구간별로 나누어 회귀분석한 결과, 결정계수( $R^2$ )는 최고 0.0253에서 최저 0.0003으로 본 연구에서 제시된 독립변수에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 2.5%에서 0.03% 수준이다. 또한 자외선자료 전체를 대상으로 회귀분석한 결과, 결정계수값이 0.0122로 종속변수 자외선에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 1.2%이다.

<표 2-24> 화곡동 자동측정망 시간자료 자외선과 미세먼지의 상관분석결과

자외선	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
0.1 미만	$Y = 34.851X + 68.444$ (t=0.565) (t=23,121)	805	0.0004	1.315	0.319
0.3 미만	$Y = -13.813X + 72.264$ (t=-0.526) (t=13,952)	953	0.0003	1.363	0.277
0.5 미만	$Y = -29.734X + 81.220$ (t=-1.011) (t=6,968)	712	0.0014	1.337	1.021
1.0 미만	$Y = -5.445X + 73.314$ (t=-0.551) (t=10,237)	1102	0.0003	1.385	0.304
1.5 미만	$Y = -24.120X + 98.955$ (t=-1.796) (t=6,004)	555	0.0058	1.384	3.227
2.0 미만	$Y = -49.359X + 154.388$ (t=-2.305) (t=4,235)	207	0.0253	1.267	5.315
2.0 이상	$Y = 19.460X + 41.602$ (t=0.974) (t=0,948)	49	0.0198	1.485	0.949
전체	$Y = -10.172X + 73.481$ (t=-7.352) (t=71,728)	4383	0.0122	1.552	54.050





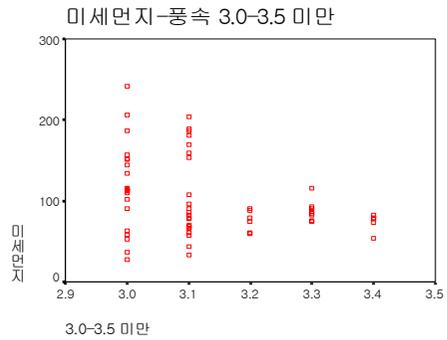
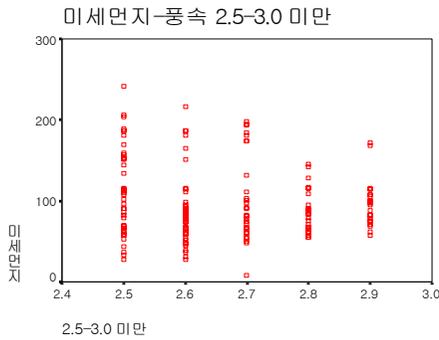
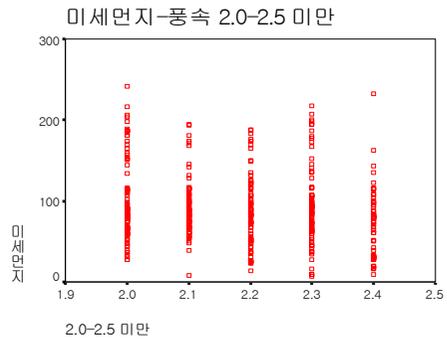
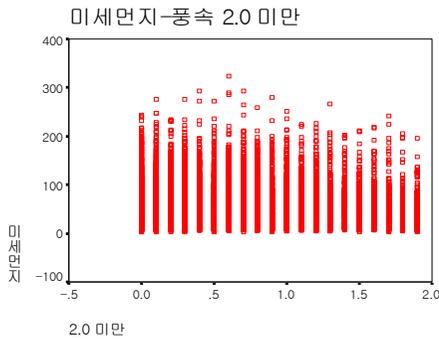
#### ④ 풍속

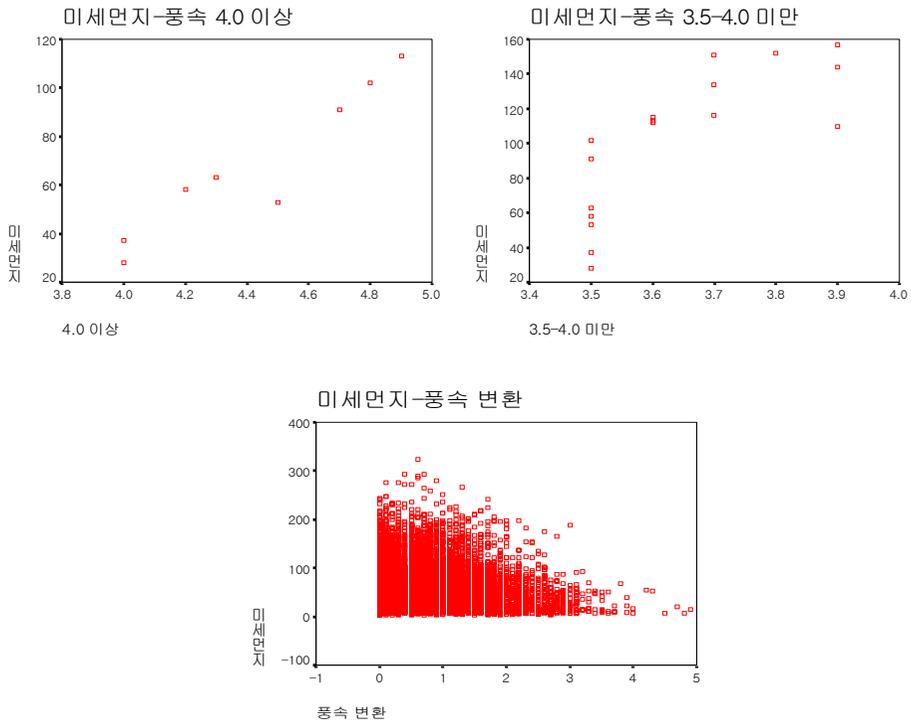
화곡동 자동측정망 시간자료의 풍속을 구간별로 나누어 회귀분석한 결과, 결정계수( $R^2$ )는 최고 0.904에서 최저 0.009수준으로 본 연구에서 제시된 독립변수에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 90.4%에서 0.9% 수준이다.

다만, 풍속 3.5 ~ 4.0 이상의 강한 바람이 불 때 미세먼지 오염도는 많은 영향을 받는 것을 알 수 있다. 그러나 풍속자료 전체를 대상으로 회귀분석한 결과, 결정계수 값이 0.047로 독립변수인 풍속에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 4.7%로 구간별 분석결과보다 설명력이 현저히 떨어짐을 알 수 있다.

<표 2-25> 화곡동 지동측정망 시간자료 풍속과 미세먼지와의 상관분석결과

풍속	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
2.0 미만	Y = -12,851·X + 78,911 (t=-13,402) (t=92,188)	7913	0.022	0.878	179,606
2.0 ~ 2.5 미만	Y = -36,439·X + 169,853 (t=-2,209) (t=4,735)	394	0.012	0.665	4,878
2.5 ~ 3.0 미만	Y = -31,027·X + 177,556 (t=-1,298) (t=2,784)	186	0.009	0.698	1,685
3.0 ~ 3.5 미만	Y = -116,859·X + 467,535 (t=-2,526) (t=3,228)	61	0.098	0.591	6,379
3.5 ~ 4.0 미만	Y = 207,562·X - 653,651 (t=4,816) (t=-4,161)	17	0.607	0.878	23,190
4.0 이상	Y = 82,714·X - 297,886 (t=7,524) (t=-6,107)	8	0.904	2,290	56,616
전체	Y = -14,037·X + 79,594 (t=-20,638) (t=105,909)	8579	0.047	0.897	425,917





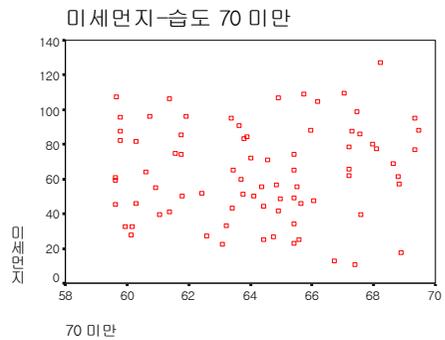
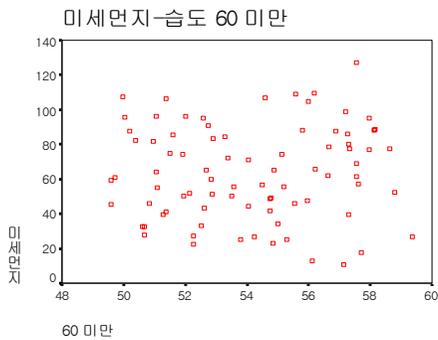
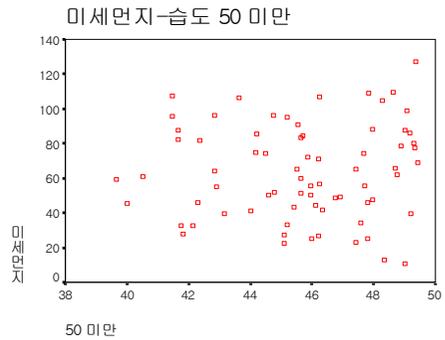
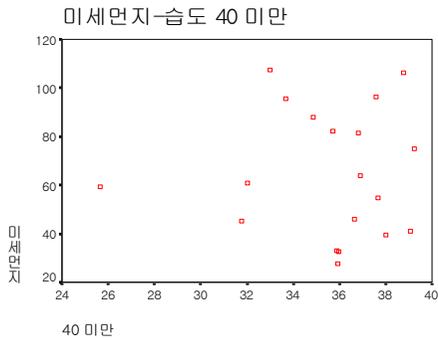
## 나) 일 자료

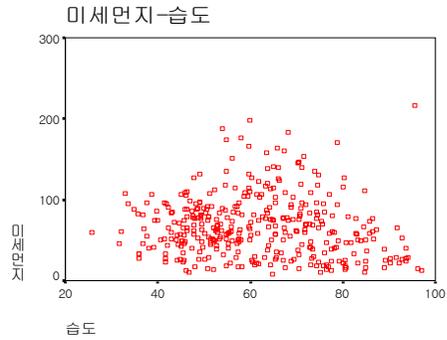
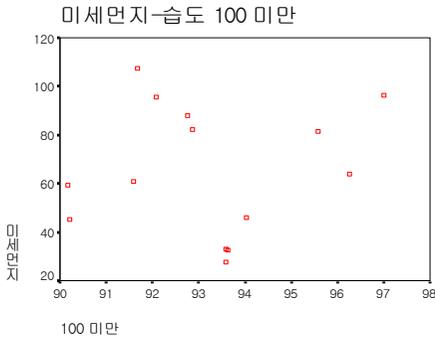
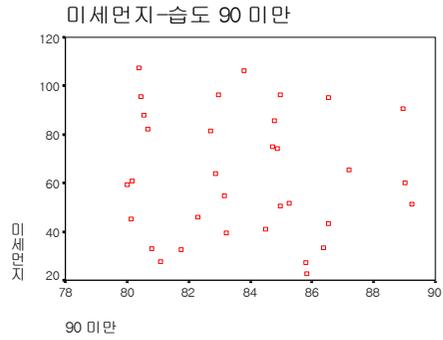
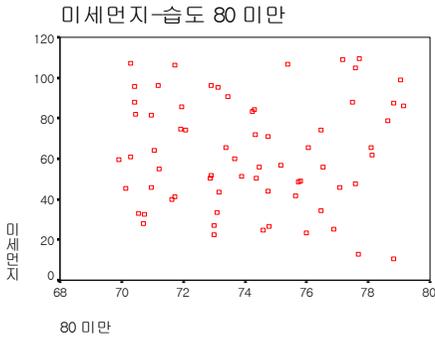
### ① 습도

화곡동 자동측정망 일자료의 습도를 구간별로 나누어 회귀분석한 결과, 결정계수( $R^2$ )는 최고 0.0089에서 최저 0.00003수준으로 본 연구에서 제시된 독립변수에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 0.89%에서 0.003% 수준으로 굉장히 낮은 수준을 나타내고 있다. 또한 습도 전체를 대상으로 회귀분석한 결과, 결정계수 값이 0.0094로 독립변수 자외선에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 0.94% 수준으로 추정되었다.

<표 2-26> 화곡동 자동측정망 일자료 습도와 미세먼지와의 상관분석결과

습도	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
40 미만	Y = -0.045·X + 66.623 (t=-0.023) (t=0.965)	19	0.00003	1.632	0.001
50 미만	Y = 0.609·X + 35.772 (t=0.494) (t=0.634)	72	0.00347	2.071	0.244
60 미만	Y = 0.515·X + 35.784 (t=0.466) (t=0.597)	82	0.00270	1.969	0.217
70 미만	Y = 0.625·X + 23.645 (t=0.592) (t=0.349)	78	0.00460	2.029	0.351
80 미만	Y = 0.124·X + 53.235 (t=0.104) (t=0.597)	67	0.00016	2.088	0.011
90 미만	Y = -0.648·X + 117.416 (t=-0.395) (t=0.854)	33	0.00501	1.684	0.156
100 미만	Y = 1.205·X - 46.651 (t=0.328) (t=-0.136)	14	0.00887	0.891	0.107
전체	Y = -0.245·X + 82.471 (t=-1.851) (t=9.858)	365	0.00935	1.951	3.425



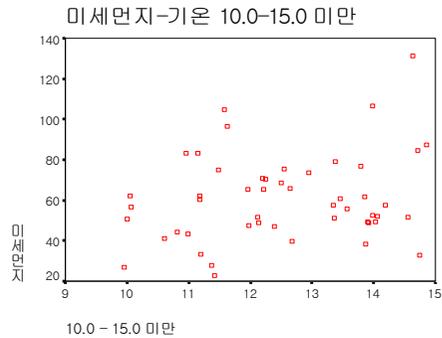
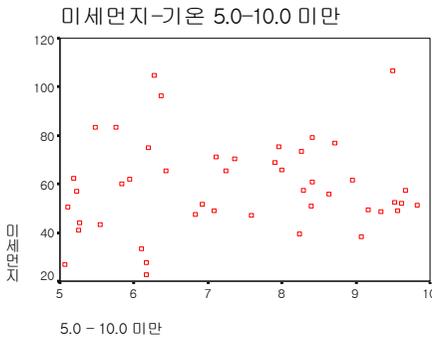
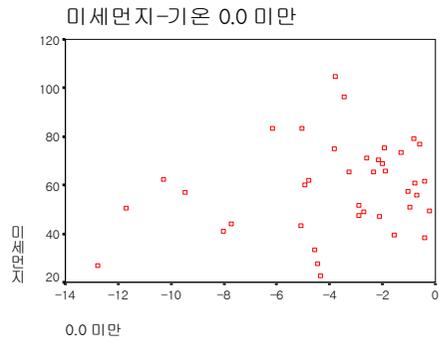
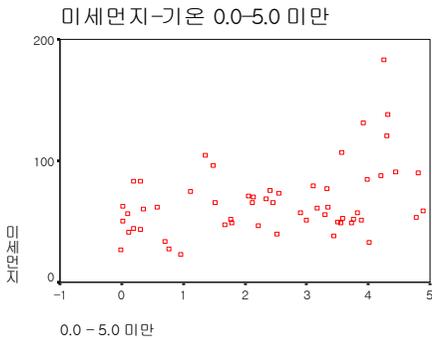


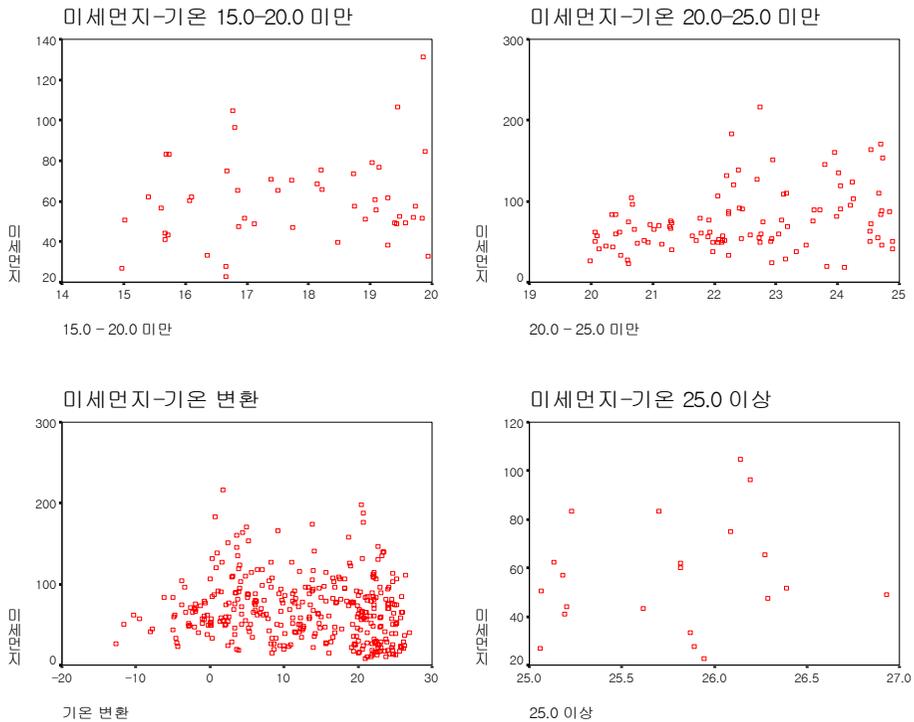
## ② 기온

화곡동 자동측정망 일자료의 기온을 구간별로 나누어 회귀분석한 결과, 결정계수( $R^2$ )는 최고 0.134에서 최저 0.008수준으로 본 연구에서 제시된 독립변수에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 13.4%에서 0.8% 수준이다. 또한 기온 전체를 대상으로 회귀분석한 결과, 결정계수 값이 0.018수준으로 독립변수 기온에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 그다지 높지 않은 1.8% 수준을 나타내고 있다.

<표 2-27> 화곡동 자동측정망 일자료 기온과 미세먼지와의 상관분석결과

기온	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
0.0 미만	$Y = 1,357 \cdot X + 63,899$ (t=1.468) (t=14.137)	39	0.055	1.505	2.156
0.0 ~ 5.0 미만	$Y = 6,999 \cdot X + 49,298$ (t=2.913) (t=7.160)	57	0.134	1.430	8.483
5.0 ~ 10.0 미만	$Y = 1,071 \cdot X + 51,068$ (t=0.586) (t=3.719)	46	0.008	1.611	0.344
10.0 ~ 15.0 미만	$Y = 3,457 \cdot X + 17,661$ (t=1.623) (t=0.658)	50	0.052	1.811	2.635
15.0 ~ 20.0 미만	$Y = 2,408 \cdot X + 17,663$ (t=1.233) (t=0.507)	49	0.031	1.692	1.520
20.0 ~ 25.0 미만	$Y = 8,548 \cdot X - 116,535$ (t=3.441) (t=-2.086)	103	0.105	2.151	11.844
25.0 이상	$Y = 7,393 \cdot X - 133,944$ (t=0.766) (t=-0.538)	21	0.030	1.269	0.586
전체	$Y = -0,522 \cdot X + 74,114$ (t=-2.570) (t=22.785)	365	0.018	1.822	6.603





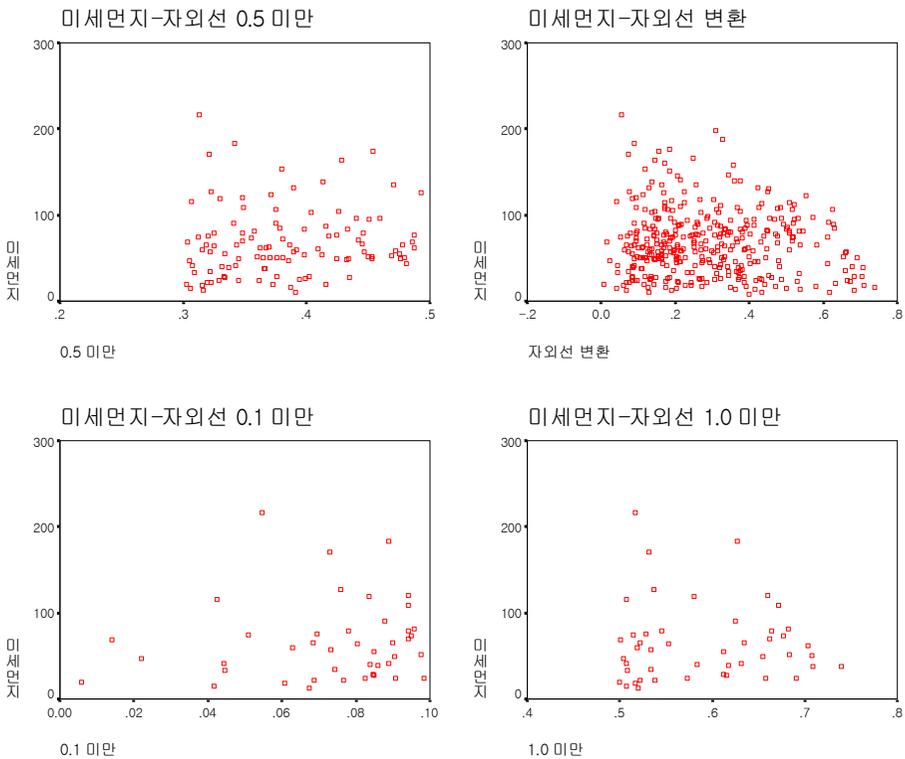
### ③ 자외선

화곡동 자동측정망 일자료의 자외선을 구간별로 나누어 회귀분석한 결과, 결정계수( $R^2$ )는 최고 0.010에서 최저 0.001수준으로 본 연구에서 제시된 독립변수에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 1%에서 0.1% 수준이다.

또한 자외선 전체를 대상으로 회귀분석한 결과, 결정계수 값이 0.007수준으로 독립변수 자외선에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 0.7%로 앞서 자외선을 구간별로 나누어 분석한 것과 비슷한 결과를 보이고 있다.

<표 2-28> 화곡동 자동측정망 일자료 자외선과 미세먼지의 상관분석결과

자외선	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
0.1 미만	$Y = 207.625X + 50.682$ (t=0.659) (t=2,106)	43	0.010	2.297	0.435
0.3 미만	$Y = 57.317X + 58.603$ (t=0.983) (t=5,109)	165	0.006	2.145	0.967
0.5 미만	$Y = 69.158X + 41.177$ (t=0.990) (t=1,520)	110	0.009	2.237	0.979
1.0 미만	$Y = -13.696X + 72.351$ (t=-0.151) (t=1,340)	47	0.001	2.252	0.023
전체	$Y = -18.845X + 72.807$ (t=-1,588) (t=18,582)	365	0.007	2.146	2.521

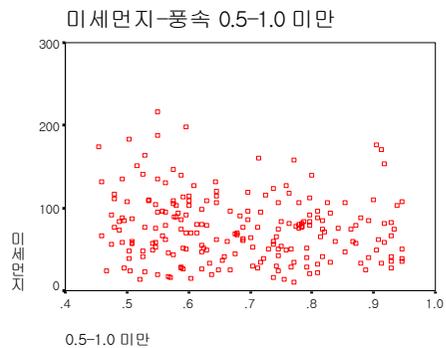
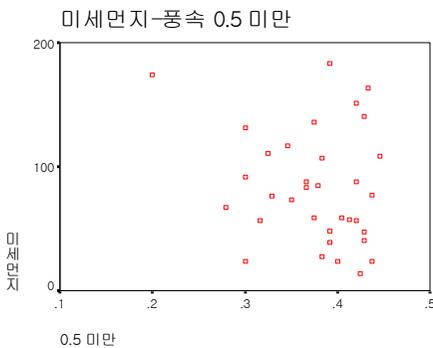


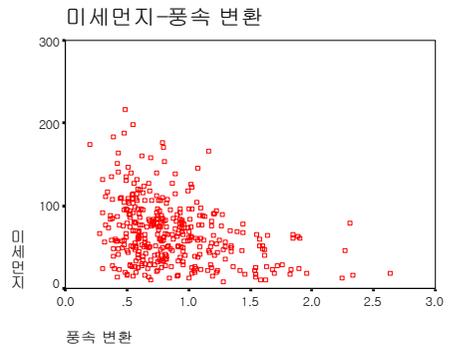
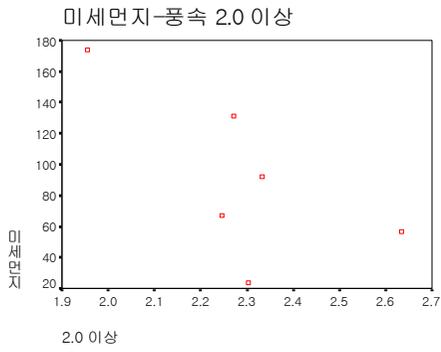
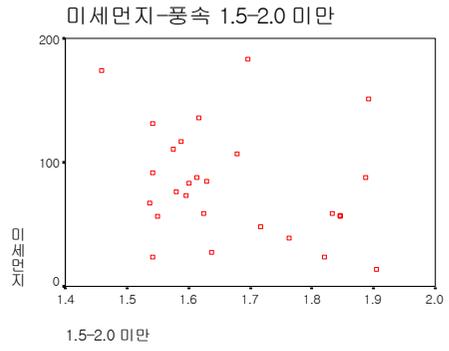
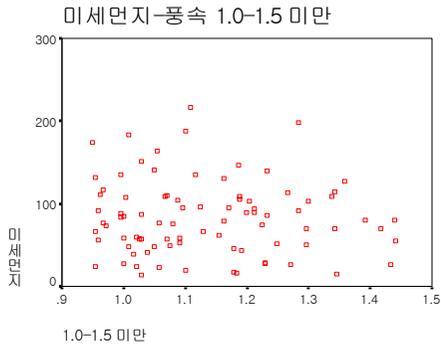
④ 풍속

화곡동 자동측정망 일자료의 풍속을 구간별로 나누어 회귀분석한 결과, 결정계수(R<sup>2</sup>)는 최고 0.466에서 최저 0.004수준으로 본 연구에서 제시된 독립변수에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 46.6%에서 0.4% 수준이다. 또한 풍속 전체를 대상으로 회귀분석한 결과, 결정계수 값이 0.122수준으로 독립변수 자외선에 의한 미세먼지 오염도의 설명력은 12.2%이다. 일자료 또한 앞서 분석한 시간자료와 마찬가지로 풍속 2.0 이상의 강한 바람이 불 경우 미세먼지에 대한 설명력이 높아짐을 알 수 있다.

<표 2-29> 화곡동 자동측정망 일자료 풍속과 미세먼지와의 상관분석결과

풍속	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
0.5 미만	Y = -169,461X + 146,949 (t=-1.199) (t=2,734)	34	0.043	2.455	1,438
0.5 ~ 1.0 미만	Y = -38,543X + 101,939 (t=-1,934) (t=7,339)	212	0.017	2.166	3,740
1.0 ~ 1.5 미만	Y = -21,742X + 108,156 (t=-0,597) (t=2,598)	86	0.004	2.256	0,356
1.5 ~ 2.0 미만	Y = -96,780X + 244,153 (t=-1,473) (t=2,217)	27	0.080	2,230	2,168
2.0 이상	Y = -171,416X + 483,322 (t=-1,870) (t=2,293)	6	0.466	3,035	3,495
전체	Y = -31,626X + 94,631 (t=-6,771) (t=21,387)	365	0.112	2,107	45,850





## 第 Ⅲ 章 미세먼지 배출량 산정 및 오염도 영향분석

제 1 절 분석개요

제 2 절 미세먼지 배출량 산정

제 3 절 미세먼지 오염도 영향분석

## 제 Ⅲ 장 미세먼지 배출량 산정 및 오염도 영향분석

### 제 1 절 분석개요

#### 1. 배출원 구분

미세먼지의 배출원은 형태에 따라 고정오염원과 이동오염원으로 분류되는데, 고정오염원은 점오염원과 면오염원으로 구분된다. 점오염원은 발전소, 대형공장, 대형소각시설, 중앙난방시설 등과 같이 배출규모가 커서 대기오염에 대한 기여도가 큰 오염원으로서 단일 배출원으로 관리가 용이한 것을 말하고, 면오염원은 작은 오염원이 너무 많이 모여 있어서 개별적인 조사가 어려운 배출원으로 일정 면적당 발생하는 배출량으로 관리하는 것이 편리한 오염원이다. 면오염원은 점오염원에서 제외된 작은 고정 배출원으로서 주거, 상업 등의 부분에서 연료연소에 의해 배출되는 것이 가장 큰 부분을 차지한다.

면오염원에는 주거·산업부분에서 언급한 연료연소 이외에 비산먼지, 노천소각 등이 포함되며, 비산먼지는 도로, 건설현장, 나대지 등에서 발생하는 먼지를 다루며, 노천소각은 일정 시설을 갖추지 않은 소규모의 각종 소각 시 발생하는 오염배출을 다룬다. 본 연구에서는 노천소각에 의한 발생은 제외하고, 비산먼지만을 고려하였다.

이동오염원은 자동차, 철도차량, 항공기, 선박, 농기계, 건설기계 등 움직이는 배출원에 의하여 오염물질이 배출되는 형태를 말한다.

#### 2. 배출량 산정방법

배출량 산정접근 방법은 크게 Bottom up approach와 Top down approach로 나눌 수 있다. Bottom up approach는 배출량이 커서 각기 구별이 뚜렷한 경우, 개별적인 조사를 통하여 전체 배출원을 파악하는 접근방법으로 점오염원에 대한 조사가 이 방법에 해당된다. Top down approach는 점오염원 외에 개별적인 배출원 추적이 불가능한 오염원에 대하여

배출계수 및 할당지수를 이용하여 배출량을 산정하는 접근 방법이다. 기본산정원리는 단위 지역의 활동도(activity level)를 지수화한 다음, 그 활동도에 따라 적절한 배출량을 곱함으로써 배출량을 산정한다.

활동도는 또한 배출량을 지역적으로 할당하는 지표가 되기 때문에 무엇을 어떻게 쓸 것인가 하는 것이 매우 중요하다. 일반적으로 대기오염배출과 직·간접적인 관련이 있으면서 지역별로 서로 비교가 가능한 것이 활동도가 될 수 있는데, 산업활동, 인구, 교통량, 연료 소비량 등이 사용될 수 있다. 활동도로 무엇을 이용할 것인가는 배출계수의 형태와 직결되어 있으며, 배출계수는 곧 단위 활동도에 따른 배출량이기 때문에 사전 연구·측정되어야 한다.

### 3. 배출량 조사 대상 및 분석범위

본 연구에서는 다양한 미세먼지 오염원에 대하여 최근에 개발된 국내외 배출량 산정기법을 적용하여 자료의 신뢰도를 높이고자 하였으며, U.S EPA EIIP(Emission Inventory Improvement Program)의 방법론과 배출계수 본 연구에 병행 적용하였다.

<표 3-1> 배출원 구분 및 조사내용

구분	조사 내용
대상 배출원	점배출원 대형연료연소시설(발전, 난방, 산업) 대형 소각시설
	면배출원
	이동배출원
시간적 해상도	연평균
공간적 해상도	점오염원 TM좌표, 행정구역단위
	면오염원 1×1km 격자단위, 행정구역단위
	이동오염원 1×1km 격자단위, 행정구역단위
대상오염물질	미세먼지 (PM10)

## 제 2 절 미세먼지 배출량 산정

### 1. 점오염원

점오염원은 이동오염원과 달리 고정된 곳에서 오염물질을 배출하는 단위 배출원으로서, 대기환경보전법 규정에 의하여 각 사업장을 연료 사용량에 따라 1~5종 업소로 구분하고 있다. 비교적 규모가 큰 1~3종 업체가 이에 속한다. 본 연구에서는 대형배출시설과 소각시설에 대해 배출량을 산정하였다.

#### 1) 대형배출시설

발전소, 큰 공장, 대형 소각시설, 중앙 난방시설 등과 같이 배출 규모가 커서 대기오염에 대한 기여도가 큰 단일 배출원으로 관리가 용이하다. 대형 배출업 시설의 배출량은 굴뚝 TMS자료를 이용하여, 단위시간당 미세먼지 배출량을 배출계수로, 연간 작업시간을 활동도로 적용하여 산정하였다.

<표 3-2> 점오염원에 의한 미세먼지 배출량 (2002년)

구분	난방	산업	발전	소계
PM배출량(톤/년)	5.2	3.7	12.6	21.5

자료 : 서울시청 자료.

#### 2) 소각시설

소각시설에서의 배출량 산정은 용량별 배출계수를 사용하여 구하는 방법과 폐기물 종류별 배출계수를 사용하는 방법이 있다. 본 연구에서는 소각 폐기물의 종류에 따라 구분하여 배출량을 산정하였으며, 각 구별 폐기물 종류별 소각량 자료를 이용하여 산정하였다.

<표 3-3> 폐기물 소각 PM 배출계수

(단위 : kg/ton)

구분	생활폐기물	사업장폐기물	건설폐기물
배출계수	0.05	0.05	0.05

자료 : EEA, 「Atmospheric Emission Inventory Guidebook」, 1997.

<표 3-4> 폐기물 소각에 의한 PM배출량(2002년)

구분	소각처리량(톤/일)			PM배출량(톤/년)			총 배출량
	생활	사업장	건설	생활	사업장	건설	
서울시	776.0	56.0	285.0	2.69	0.19	0.99	3.87
종로구	6.0	-	70.0	0.02	-	0.24	0.26
중구	1.0	-	-	0.00	-	-	0.00
용산구	-	-	18.0	-	-	0.06	0.06
성동구	15.0	-	-	0.05	-	-	0.05
광진구	8.0	-	7.0	0.03	-	0.02	0.05
동대문구	2.0	-	7.0	0.01	-	0.02	0.03
중랑구	6.0	-	1.0	0.02	-	0.00	0.02
성북구	4.0	-	-	0.01	-	-	0.01
강북구	0.0	-	70.0	0.00	-	0.24	0.24
도봉구	-	-	-	-	-	-	-
노원구	185.0	-	-	0.64	-	-	0.64
은평구	3.0	-	12.0	0.01	-	0.04	0.05
서대문구	7.0	-	13.0	0.02	-	0.05	0.07
마포구	5.0	-	-	0.02	-	-	0.02
양천구	192.0	-	44.0	0.67	-	0.15	0.82
강서구	7.0	37.0	-	0.02	0.13	-	0.15
구로구	103.0	3.0	16.0	0.36	0.01	0.06	0.42
금천구	9.0	8.0	1.0	0.03	0.03	0.00	0.06
영등포구	10.0	8.0	1.0	0.03	0.03	0.00	0.07
동작구	8.0	-	1.0	0.03	0.00	0.00	0.03
관악구	9.0	-	5.0	0.03	0.00	0.02	0.05
서초구	9.0	-	2.0	0.03	0.00	0.01	0.04
강남구	163.0	-	-	0.57	0.00	-	0.57
송파구	11.0	-	2.0	0.04	0.00	0.01	0.05
강동구	13.0	-	15.0	0.05	0.00	0.05	0.10

자료 : 서울시(www.seoul.go.kr).

## 2. 면오염원

면오염원은 점오염원에서 제외된 소형 고정 배출원과 주거, 상업, 산업 등의 연료연소에 의한 배출이 해당된다. 점오염원과 면오염원을 명확하게 구분하는 기준은 없으나, 작은 다수의 배출원들을 일일이 구별하여 조사관리하기는 사실상 곤란하므로, 배출시설의 규모로 나누워 작은 배출원들은 면오염원으로 조사관리하는 것이 일반적이다.

면오염원의 배출량은 연료소비량에 연료별 오염물질 배출계수를 적용하여 다음과 같이 산정하였다.

$$Q_k = \sum(FQ_{ij} \times EF_{ijk})$$

- $i$  : 연료의 종류
- $j$  : 부문(난방, 산업, 발전)
- $k$  : 오염물질의 종류
- $Q_k$  :  $k$  오염물질의 발생량( $kg/yr$ )
- $FQ_{ij}$  :  $i$  연료,  $j$  부문 연료사용량( $kl$  or  $kg$  or  $1,000m^3/yr$ )
- $EF_{ijk}$  :  $i$  연료,  $j$  부문,  $k$  오염물질의 배출계수( $kg/kl$  or  $kg$  or  $1,000m^3$ )

<표 3-5> 연료별 PM 배출계수 및 PM배출량(2002년)

구 분	연료종류	난방	산업(제조업)
배출계수	등유 0.1%	0.149	0.149
	경유 1.0%	0.015	0.015
	경유 0.05%	0.015	0.015
	B-A유	0.052	0.052
	B-B유	0.074	0.074
	B-C유 1.0%	0.107	0.107
	B-C유 0.5%	0.107	0.107
	B-C유 0.3%	0.107	0.107
	LPG	0.149	0.089
	무연탄	0.040	0.040
	LNG	0.029	0.029
<b>배출량(톤/년)</b>		<b>280.5</b>	<b>9.4</b>

주 : 1) 산출근거 : 국립환경연구원 조사결과.

2) 배출계수 단위: 유류: LPG : kg/kl, 무연탄 : kg/톤, LNG : kg/1,000m<sup>3</sup>

3) 환산계수 : LNG (1kg = 1.238m<sup>3</sup>), LPG (kg = 1.97L = 0.529m<sup>3</sup>)

### 3. 이동오염원

#### 1) 도로 이동오염원

자동차 유발 오염물질의 배출량 산정은 일반적으로 차종별 주행거리(VKT) 및 주행거리별 배출계수를 이용하여 산정하는 방법과 도로상 주행패턴을 고려한 차종별 주행속도함수를 이용하는 방법으로 구분할 수 있다. 전자의 경우, 간편하게 이용할 수 있는 장점이 있어 가장 보편적으로 이용하고 있는 반면에 실제 자동차 주행에 따른 배출량을 정확하게 산정할 수 없는 단점을 내포하고 있다. 또한 후자의 방법은 도로 네트워크에서 이루어지는 차종별 주행속도를 반영할 수 있어 보다 정확하게 배출량을 산정할 수 있는 이점이 있으나, 통행빈도(trip) 별 기종점 자료(O-D Data)와 단위 도로별 차종분포를 정확하게 파악하지 않으면, 그 만큼 효과를 기대할 수 없는 현실적인 한계점을 갖게 된다.

본 연구에서는 자료의 부재로 전자의 방법을 통하여 배출량을 산정하였다. 도로 이동오염원에 대한 배출계수는 최근 환경부에서 정립한 자동차 차종별 속도배출계수를 적용하였으며, <표 3-6>과 같다.

<표 3-6> 자동차 차종별 PM 배출계수

구 분		PM 배출계수 (g/km)
승용차	휘발유, LPG	0
버스	소형(경유)	45 ≥ : $0.6025 \times V^{\wedge} - 0.4829$ 45~100 : $9E-07 \times V^{\wedge} 2 + 0.0006 \times V + 0.0643$
	중형	45 ≥ : $3.6875 \times V^{\wedge} (-0.7865)$ 45~110 : $6E-05 \times V^{\wedge} 2 - 0.0078 \times V + 0.4259$
	대형	시내<50 : $3.875 \times V^{\wedge} (-0.4636)$
화물	소형(경유)	$0.3646 \times V^{\wedge} (-0.2444)$
	중형	55 ≥ : $2.962 \times V^{\wedge} (-0.5834)$ 55~110 : $6E-05 \times V^{\wedge} 2 - 0.0105 \times V + 0.6703$
	대형	$5.9671 \times V^{\wedge} (-0.4199)$

자료 : 환경부(2002년).

<표 3-7> 도로이동오염원에 의한 미세먼지 배출량(2002년)

구 분	승용	승합	화물	합(톤/년)
PM 배출량(톤/년)	28.7	1,291.4	2,530.2	3,850.3

## 2) 비도로 이동오염원

### 가) 철도차량에 의한 배출량

철도노선별 연간 연료사용량에 배출계수를 곱하여 산출하는 방법과 행정구역별 연료 사용량에 배출계수를 곱하는 방법으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 기관차 종류별 전국단위의 연간 연료소모량을 이용하여 전국단위의 배출량 산정 후, 서울시 배출량은 서울지역의 철도 길이를 고려하여 할당하였다.

<표 3-8> 철도 차량의 PM 배출계수

구분	디젤동차			디젤기관차
	특수동차	일반동차	특별동차	
배출계수(kg/kl)	2.68	1.14	1.14	4.16

자료 : 철도청, 「디젤기관의 배출가스 대기오염 현황 및 저감방안에 관한 연구」, 1997.

<표 3-9> 서울시 철도운행에 의한 PM 배출량(2002년)

구분	노선명	연료사용량(kl/년)		철로길이(km)			PM배출량 (톤/년)	
		전국	서울	전국	서울	서울/전국		
디젤 동차	일반 동차	경부선	3,902.9	1,885.7	444.5	21.5	0.048	2.3
		중앙선	763.1	14.2	387.2	7.2	0.019	0.0
		경인선	-	-	27.0	5.9	0.219	-
		경의선	2,958.2	636.7	46.0	9.9	0.215	0.1
		용산선	0.3	0.3	7.0	7.0	1.000	0.0
		경원선	3,519.4	976.7	89.0	24.7	0.278	0.0
		경춘선	-	-	87.3	6.2	0.071	-
	특수 동차	경부선	45,231.6	21,853.5	444.5	21.5	0.048	0.0
		중앙선	862.8	15.0	387.2	7.2	0.019	0.0
		경인선	-	-	27.0	5.9	0.219	-
		경의선	567.8	122.2	46.0	9.9	0.215	0.0
		용산선	0.2	0.2	7.0	7.0	1.000	0.0
		경원선	-	-	89.0	24.7	0.278	-
		경춘선	-	-	87.3	6.2	0.071	-
	특별 동차	경부선	18.6	9.0	444.5	21.5	0.048	6.5
		중앙선	1.3	0.02	387.2	7.2	0.019	0.5
		경인선	-	-	27.0	5.9	0.219	0.3
		경의선	4.9	1.0	46.0	9.9	0.215	1.2
		용산선	-	-	7.0	7.0	1.000	0.2
		경원선	0.1	0.04	89.0	24.7	0.278	0.5
		경춘선	-	-	87.3	6.2	0.071	0.4
디젤 기관차	경부선	117,563.4	5,686.4	444.5	21.5	0.048	0.8	
	중앙선	23,027.0	428.2	387.2	7.2	0.019	0.1	
	경인선	1,250.4	273.2	27.0	5.9	0.219	0.0	
	경의선	4,824.4	1,038.3	46.0	9.9	0.215	2.6	
	용산선	206.8	206.8	7.0	7.0	1.000	0.0	
	경원선	1,517.1	421.0	89.0	24.7	0.278	4.1	
	경춘선	4,711.1	333.5	87.3	6.2	0.071	0.0	

자료 : 철도청, 「철도통계연보」, 2003.

#### 나) 건설장비에 의한 배출량

건설장비에 의한 배출량을 산정시 장비의 등록현황과 기종별 연간 가동 시간 및 기종별 평균 정력 출력 등이 사용된다. 본 연구에서는 등록대수가 많고, 대기오염물질이 많이 배출될 것으로 판단되는 5대 장비(불도우저, 굴삭기, 로우더, 지게차, 기중기)의 배출량을 산정하였으며, 이동에서 발생하는 배출량은 제외하고, 작업현장에서 발생하는 배출만을 고려하였다.

배출량 산정식은 미국 EPA의 비도로 오염원 배출량 산정 방법론(US-EPA, Nonroad Engine and Vehicle Emission Study Report. 1991)을 이용하였으며, 산정식은 다음과 같다.

$$E = N \times HRS \times HP \times LF \times EFi$$

- $E$  : 건설장비에 의한 배출량
- $N$  : 보유대수
- $HRS$  : 연평균 가동시간 ( $hr/year$ )
- $HP$  : 장비별 평균 정격출력( $kw$ )
- $LF$  : 정격출력에 대한 작업시 평균출력 비율(%)
- $EFi$  : 원단위 배출계수( $g/kW \cdot hr$ )

서울시에 등록된 기종별 건설장비 현황 및 배출량 산정결과는 다음과 같다.

<표 3-10> 서울시 건설장비 현황 및 PM 배출량(2002년)

구분	블도우저	굴삭기	로우더	지게차	기중기
등록대수(대) <sup>1</sup>	1,733	14,702	2,842	7,118	2,227
연간가동시간(hr) <sup>2</sup>	1,034	1,428	1,178	1,207	1,460
평균출력(kW) <sup>3</sup>	93.4	77.2	112.56	50.0	166.2
배출계수(g/kW·h) <sup>4</sup>	0.35	0.35	0.18	0.45	0.40
배출량(톤/년)	34.1	315.9	35.7	108.7	107.1

주 : 1) 서울시, 「서울통계연보」, 2003.

2) 환경부, 「대기보전 정책수립지원시스템구축」, 2002.6.

3, 4) 국립환경연구원, 「경유엔진에 의한 대기오염물질 저감대책에 관한 연구(1)」, 1997.

#### 다) 농기계에 의한 배출량

농기계에 의한 배출량을 산정하기 위해서는 등록대수, 가동시간, 평균출력, 작업시 평균출력 비율, 배출계수 등이 사용된다. 일반적으로 농기계에서 배출되는 오염물질의 총량은 작업시에 발생하는 배출량과 작업현장간의 이동을 위한 주행시 발생하는 배출량의 합계이지만 본 연구에서는 작업시 배출량만을 고려하였다.

기종별 연간가동시간은 한국농기계협동조합에서 조사한 주요 농기계의 연간 작업일수를 사용하였다. 이 연간 작업일수에 표준 품셈에서 정의하고 있는 1일 8시간, 월 25일을 적용하여 시간으로 환산하였다. 배출량 산정식은 미국 EPA의 비도로 오염원 배출량 산정 방법론(US-EPA, Nonroad Engine and Vehicle Emission Study Report, 1991)을 이용하였으며, 산정식은 다음과 같다.

$$E = N \times HRS \times HP \times LF \times EFi$$

- $E$  : 농기계에 의한 배출량
- $N$  : 보유대수
- $HRS$  : 연평균 가동시간 ( $hr/year$ )
- $HP$  : 장비별 평균 정격출력 ( $kw$ )
- $LF$  : 정격출력에 대한 작업시 평균출력 비율(%)
- $EFi$  : 원단위 배출계수 ( $g/kW \cdot hr$ )

농기계 일반현황 및 미세먼지 배출량 산정결과는 <표 3-11>과 같다.

<표 3-11> 서울시 농기계 현황 및 PM 배출량 (2002년)

구분	경운기	트랙터	콤바인	이앙기	분무기	양수기	파종기
등록대수(대) <sup>1</sup>	525	316	38	107	334	1,056	1
연간가동시간(hr) <sup>2</sup>	190	209	74	59	151	245	50
평균출력(kW) <sup>3</sup>	6.69	33.1	27.2	6.69	6.69	6.69	6.69
배출계수(g/kW·h) <sup>4</sup>	1.36	0.39	0.77	1.36	1.36	1.36	1.36
배출량(톤/년)	0.44	1.39	0.05	0.03	0.22	1.13	0.00

주 : 1) 환경부, 「환경통계연감」, 2003.

2) 환경부, 「대기보전 정책수립지원시스템」, 2002.7.

3,4) 국립환경연구원, 「경유엔진에 의한 대기오염물질 저감대책에 관한 연구(1)」, 1999.

#### 4. 비산먼지

일반적으로 비산먼지의 개념은 규정된 배출구를 통하여 대기로 배출되는 것이 아니기 때문에 fugitive dust라고 하며, 분쇄 및 파쇄, 기류의 난류에 의한 먼지입자들의 부유현상을 총칭한다.

비산먼지 발생원에는 먼지다량 배출업소, 도로에서의 차량운행, 건설활동, 농업활동, 나대지, 황사현상에 의한 외부유입 등이 있다. 발생원별 비산먼지 발생량 산정방법은 <표3-12>와 같다.

<표 3-12> 비산먼지 오염원별 발생량 산정방법

발생원	비산먼지 발생량 산정방법
먼지다량배출업소	- 레미콘제조, 시멘트 저장·가공업소에 대해 산정함
도로 차량운행	- US EPA 계수 적용
건설공사장	- 토목굴정공사, 건축공사를 고려함 - 1.2ton/acre/month를 적용함 - 비산먼지 발생일은 강우 및 동절기 등을 고려하여 3개월로 계산함
나대지	- 과세대상 사유지 및 시국유지 나대지에서 학교용지 및 어린이놀이터를 제외한 면적의 50%에서 먼지가 발생하는 것으로 계산
학교용지, 어린이 놀이터	- 학교용지 면적의 50%, 어린이 놀이터 면적의 80%에서 먼지가 발생하는 것으로 계산
한강둔치	- 전체면적의 60%를 먼지발생면적으로 하여 계산
농업활동	- US EPA 계수 적용 - 논, 밭, 과수원에서의 배출량 고려
타이어 마모	- 국립환경연구원에서 발표한 계수 적용

### 1) 먼지다량 배출업소

먼지다량 배출업소에서의 배출은 분체공정에서 발생하는 것으로 레미콘 제조시설, 연탄 제조시설, 시멘트 저장·가공시설, 유리 가공·제조시설 등이 있으며, 배출계수는 공정별로 국립환경연구원, EPA, 그리고 환경부의 기초 통계자료를 사용하였다.

<표 3-13> 산업공정별 비산먼지 배출계수

구 분	배출계수	비 고
레미콘 제조	0.49kg/투입량 톤	기존자료 (국립환경연구원)
시멘트 저장·가공	포장(packing): 0.09(kg/MT product) 저장(silo): 0.01(kg/MT product)	국립환경연구원보, 1987

<표 3-14> 산업공정별 비산먼지 배출량(2002년)

구분	업소수	생산(투입)량(톤/년)	PM배출량(톤/년)
레미콘 제조	10	21,583,200	1,057.6
시멘트 저장·가공	4	440,000	44.0

주 : 1) 자료 : 서울시 자료제공.

2) 레미콘 단위 용적 질량 : 2,300kg/m<sup>3</sup> (레미콘공업협동조합)

## 2) 도로에서 차량운행으로 인한 비산먼지

도로에서의 비산먼지의 주요 발생원으로는 건설현장 등에서 적절한 세륜작업을 거치지 않은 트럭, 운반 중에 날리는 토사, 토양의 침식, 겨울철 모래살포, 타이어 마모 등에 의하여 도로에 쌓인 먼지가 차량의 운행이나 바람으로 인하여 날리는 것을 들 수 있다.

본 연구에서는 서울시의 비포장도로의 비율이 매우 적다는 전제하에 포장도로에서의 재비산 먼지의 배출량과 타이어 마모에 의한 비산먼지의 배출량만을 고려하여 산정하였다. 서울시 도로현황은 <표 3-15>와 같다.

<표 3-15> 서울시 도로현황(2002년)

(단위 : km)

구분	총 도로길이	고속도로	일반국도	특별시도로
서울시	7,972.8 (0.15)	22.1	168.9	7,781.8 (0.15)
종로구	271.5	-	7.5	264.1
중구	111.4	-	8.1	103.3
용산구	278.3	-	4.7	273.6
성동구	401.1	-	6.0	395.1
광진구	321.6	-	10.3	311.3
동대문구	319.5	-	11.1	308.4
중랑구	314.8	-	11.2	303.6
성북구	615.4	-	2.4	613.1
강북구	219.0 (0.26)	-	3.3	215.7 (0.26)
도봉구	252.1	-	5.9	246.2
노원구	285.8 (0.08)	-	-	285.8 (0.08)
은평구	327.7 (1.56)	-	6.3	321.4 (1.59)
서대문구	301.3	-	10.5	290.8
마포구	410.5	-	11.8	398.7
양천구	396.7	0.5	-	396.2
강서구	367.4 (1.67)	3	15.1	349.4 (1.75)
구로구	275.6	-	6.3	269.3
금천구	177.7	2.9	6.1	168.6
영등포구	385.9	-	12.2	373.7
동작구	226.1	-	2.9	223.2
관악구	315.0	-	2.1	312.9
서초구	346.0	9.5	4.2	332.2
강남구	422.2	0.8	7.9	413.5
송파구	351.9	16.8	6.2	344.1
강동구	278.5	37.4	7.2	267.6

주 : 1) 도로길이는 포장도로와 미포장 도로의 합계임.

2) ( )안 숫자는 미포장률(%), 고속도로와 일반국도의 포장률 100%

가) 타이어 마모에 의한 비산먼지 발생량

타이어 마모에 의한 비산먼지 배출계수는 1991년 국립환경연구원에서 제시한 배출계수와 도로 링크별·차종별 통행량과 주행거리 자료를 이용하여 산정하였다.

<표 3-16> 타이어 마모에 의한 차종별 비산먼지 배출계수 (단위 : g/km)

차종	배출계수(TSP)	PM배출량(톤/년)
승용차, 택시, 소형버스, 소형트럭	0.118g/km · 대	3,304.1
대형버스, 대형트럭	0.23g/km · 대	

자료 : 자동차공해연구소, 「도시지역 대기질 개선에 관한 연구(Ⅲ) - 이동배출원의 오염 물질 배출부하량 산정을 중심으로」, 국립환경연구원보, 제13권, pp.129 ~ 139, 1991

주 : 타이어마모에 의한 비산먼지 중 PM10 배출량은 EPA speciate에 제시된 0.44 적용

나) 차량운행으로 인한 도로의 먼지 재비산

포장도로에서의 비산먼지의 주요 배출패턴은 차량운행에 따라 도로에 침적된 먼지의 재비산이며, 이는 차량 통행량, 바퀴수, 표면 silt 함량, 도로주행시 차종별 차량 무게, 지표면 수분습도 등에 의해 결정된다. 본 연구에서는 이러한 요인을 고려하여 미국 AP-42(2003, 12)에 수록된 US EPA의 배출계수를 적용하고 링크별 주행거리를 적용하여 산출하였다.

$$E = [k(\frac{sL}{2})^{0.65} \times (\frac{W}{s})^{1.5}]$$

- $E$  : particulate emission factor(g/km)
- $k$  : base emission factor for particle size range and units of interest
- $sL$  : road surface silt loading(g/m<sup>2</sup>)
- $W$  : average weight (tons) of the vehicles traveling the road

<표 3-17> 입자 크기에 따른 보정계수(k) 및 PM10 배출량 (단위 : g/km, 톤/년)

구 분	PM30	PM15	PM10	PM2.5
기본 배출계수 (k)	24	5.5	4.6	1.1
PM10 배출량(2002년)	18,836.6			

다) 도로에서의 비산먼지 배출량

차량운행으로 인한 도로 재비산 먼지와 타이어마모에 의한 배출량 산정 결과는 <표 3-19>와 같으며, 구별 지역할당을 위해서 구별 차량등록대수 자료를 이용하였다. 2002년 서울시 도로에서의 비산먼지는 32,993톤/년으로 타이어 마모에 의한 비산먼지가 3,916톤/년(11.9%), 차량운행으로 인한 도로 재비산 먼지가 29,078톤/년(88.1%) 수준으로 나타났다.

<표 3-18> 서울시 구별 도로에서의 미세먼지 배출량(2002년) (단위 : 톤/년)

구분	차량등록대수	타이어마모	도로재비산	합 계
서울시	2,688,941	3,304.1	18,836.6	22,141
종로구	58,663	72.1	410.9	483
중구	53,761	66.1	376.6	443
용산구	63,975	78.6	448.2	527
성동구	83,340	102.4	583.0	686
광진구	91,365	112.3	640.0	752
동대문구	84,625	104.0	592.8	697
중랑구	99,830	122.7	699.3	822
성북구	93,426	114.8	654.5	769
강북구	72,051	88.5	504.7	593
도봉구	89,047	109.4	624.8	733
노원구	151,334	186.0	1,060.1	1,246
은평구	105,063	129.1	736.0	865
서대문구	83,193	102.2	582.8	685
마포구	98,692	121.3	691.4	813
양천구	129,421	159.0	906.6	1,066
강서구	142,038	174.5	995.0	1,170
구로구	110,643	136.0	775.1	911
금천구	67,959	83.5	476.1	560
영등포구	126,728	155.7	887.8	1,043
동작구	87,836	107.9	615.3	723
관악구	109,962	135.1	770.3	905
서초구	153,758	188.9	1,077.1	1,260
강남구	213,595	262.5	1,496.3	1,759
송파구	192,154	236.1	1,346.1	1,582
강동구	126,482	155.4	886.0	1,041

#### 4) 건설활동에 의한 비산먼지

건물이나 도로 등과 같이 먼지가 배출되는 주요 건설활동에는 토지정리, 발파, 굴착, 토공 및 성토 등의 다양한 작업공정이 포함된다. 실제로 같은 유형의 공정이 진행되더라도 작업 당일 기상조건, 활동도, 작업상황 등에 따라 비산먼지의 배출량 수준이 변화한다.

건설활동에 의해 발생하는 비산먼지 배출량을 산정하기 위한 배출량 산정식은 아직 개발 단계 (MRI, 1996)이며, 현재 미국 EPA AP-42(1995)에서 추천하는 단위 면적당, 공사 기간을 기준으로 하는 배출계수를 적용하였다.

$$E = 1.2 \text{ tons/acre/month of activity}$$

$$PM_{10} \text{ 배출계수} = 0.22 \times TSP \text{ 배출계수}$$

<표 3-19> 건설활동에 의한 미세먼지 배출량(2002년)

구분	건축허가면적(m <sup>2</sup> )	PM배출량 (톤/년)
서울시	28,192,014	5,515.0

#### 5) 농업활동에 의한 비산먼지

농업활동에서 비산먼지를 배출하는 주요 활동으로는 농작물 파종을 위한 경운활동, 노출된 농지로부터 바람에 의한 먼지의 날림 등이 해당된다. 농업활동에 의한 비산먼지 배출계수는 미국 EPA에서 권장한 식을 이용하였다.

$$E = k (5.38) (s)^{0.6}$$

$$\begin{cases} E & : \text{배출계수 (kg/hectare)} \\ k & : \text{입자크기에 따른 보정계수} \\ s & : \text{토양 표면의 silt 함량 (\%)} \end{cases}$$

입자크기에 따른 보정계수(k)는 <표 3-21>와 같다. 토양 표면의 silt 함량은 1.7~88%정도를 차지하는데, 특정 지역에 대한 자료 미비시 평균값 18%를 사용할 수 있으며, 이러한 경우 수식에 대한 Quality Rating은 한단계 저하된다.

<표 3-20> 입자 크기에 따른 보정계수(k)

TSP	≤ 30 μm	≤ 15 μm	≤ 10 μm	≤ 5 μm	≤ 2.5 μm
1.00	0.33	0.25	0.21	0.15	0.10

자료 : US EPA AP-42 (1995)

<표 3-21> 농업활동에 의한 미세먼지 배출량 (2002년)

(단위 : 톤/년)

구분	전(㎡)	답(㎡)	과수원(㎡)	농경지(㎡)	PM배출량
서울시	14,943,837	17,832,489	113,728	32,890,054	21.1
종로구	900,196	-	-	900,196	0.6
중구	-	-	-	-	-
용산구	73,341	-	-	73,341	0.0
성동구	313,475	29,008	-	342,483	0.2
광진구	68,703	27,999	-	96,702	0.1
동대문구	95,924	47,690	-	143,614	0.1
종랑구	680,974	418,685	78,887	1,178,546	0.8
성북구	107,780	63,904	-	171,684	0.1
강북구	106,264	46,673	-	152,937	0.1
도봉구	342,830	289,409	23,860	656,099	0.4
노원구	459,634	500,407	-	960,041	0.6
은평구	838,144	638,462	2,899	1,479,505	0.9
서대문구	134,410	6,421	-	140,831	0.1
마포구	938,275	576,768	-	1,515,043	1.0
양천구	188,190	340,797	-	528,987	0.3
강서구	1,488,816	6,945,133	-	8,433,949	5.4
구로구	970,064	720,027	79	1,690,170	1.1
금천구	124,501	57,743	-	182,244	0.1
영등포구	62,025	84,848	-	146,873	0.1
동작구	47,978	46,548	-	94,526	0.1
관악구	159,394	68,839	-	228,233	0.1
서초구	2,592,858	2,528,782	5,333	5,126,973	3.3
강남구	1,298,477	1,543,814	-	2,842,291	1.8
송파구	1,193,003	1,768,937	-	2,961,940	1.9
강동구	1,758,581	1,081,595	2,670	2,842,846	1.8

자료 : 서울시, 「서울통계연보」, 2003년.

6) 나대지<sup>1)</sup> (학교운동장, 놀이터 및 한강둔치)

어린이 놀이터 및 한강둔치 면적은 모두 나대지로 가정했고, 어린이 놀이터 및 학교용지를 제외한 일반 나대지는 과세대상 사유지 나대지 및 시국유지 나대지 면적을 적용하였다. 그러나 실제 비산먼지 배출량 산정에 있어서는 학교운동장 면적의 50%, 어린이놀이터 면적의 80%를 먼지발생 면적으로 간주하여 면적에 배출원 단위를 곱하여 산출하였다.

나대지의 경우 특별히 조사되고, 권장되는 배출계수가 없어 농업활동에 의한 배출계수를 적용하여 산정하였으며, silt 함량은 평균값인 18%를 적용하였다.

<표 3-22> 서울시 나대지 현황(2002년) (단위 : m<sup>2</sup>, 1,000m<sup>2</sup>)

구분	나대지(m <sup>2</sup> )	어린이 놀이터	학교운동장	한강둔치
서울시	7,175.9	1,634	30,821	5,946.2
종로구	535.9	64	1,560	-
중구	108.6	37	535	-
용산구	181.1	41	717	495.0
성동구	186.0	38	908	-
광진구	143.1	38	1,229	547.8
동대문구	139.8	38	1,504	-
종랑구	238.8	47	619	-
성북구	207.5	31	1,834	-
강북구	166.6	49	622	-
도봉구	155.5	46	781	-
노원구	238.3	157	2,559	-
은평구	295.8	43	807	-
서대문구	161.5	56	2,460	-
마포구	201.2	55	782	1,122.8
양천구	233.7	116	784	-
강서구	700.9	132	991	390.0
구로구	560.0	30	729	-
금천구	79.0	38	402	-
영등포구	221.1	54	526	1,060.1
동작구	129.8	29	1,063	-
관악구	183.0	72	5,352	-
서초구	576.4	154	774	567.6
강남구	747.8	96	1,396	290.4
송파구	372.0	102	1,147	541.2
강동구	412.5	71	742	930.6

주 : 나대지 면적 : 종합토지세 부과 나대지 면적(비과세 제외).

자료 : 서울시 대기과 제공.

1) 일반적으로 나대지는 학교용지와 놀이터, 체육용지, 잡종지, 유원지 등을 포함하는 공터개념으로 볼 수 있으나, 본 연구에서는 학교운동장 및 놀이터를 따로 분리하기 때문에 그 외 공터지역을 나대지로 분류하였음.

<표 3-23> 나대지에서의 비산먼지 발생량(2002년)

(단위 : 톤/년)

구분	나대지	어린이 놀이터	학교운동장	한강둔치
서울시	4.59	0.84	9.86	2.28
종로구	0.34	0.03	0.50	-
중구	0.07	0.02	0.17	-
용산구	0.12	0.02	0.23	0.19
성동구	0.12	0.03	0.29	-
광진구	0.09	0.02	0.39	0.21
동대문구	0.09	0.02	0.48	-
중랑구	0.15	0.02	0.20	-
성북구	0.13	0.02	0.59	-
강북구	0.11	0.03	0.20	-
도봉구	0.10	0.02	0.25	-
노원구	0.15	0.08	0.82	-
은평구	0.19	0.02	0.26	-
서대문구	0.10	0.03	0.79	-
마포구	0.13	0.03	0.25	0.43
양천구	0.15	0.06	0.25	-
강서구	0.45	0.07	0.32	0.15
구로구	0.36	0.02	0.23	-
금천구	0.05	0.02	0.13	-
영등포구	0.14	0.03	0.17	0.40
동작구	0.08	0.01	0.34	-
관악구	0.12	0.04	1.71	-
서초구	0.37	0.08	0.25	0.22
강남구	0.48	0.05	0.45	0.11
송파구	0.24	0.05	0.37	0.21
강동구	0.26	0.03	0.24	0.36

자료 : 서울시 대기과 제공.

### 7) 비산먼지 배출량 산정결과

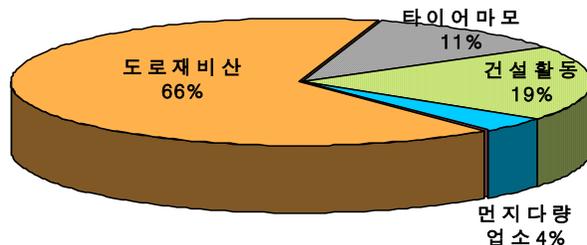
포장도로에서의 비산먼지, 공사장 및 생활주변에서의 비산먼지, 그리고 타이어 마모에 의한 발생현황을 살펴본 결과 도로에서의 비산먼지 발생량은 18,836.8톤/년(66%)수준으로 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 건설활동, 타이어 마모, 먼지다량배출업소, 농업활동, 나대지(어린이 놀이터, 학교용지, 한강둔치 포함)등의 순서로 나타났다.

<표 3-24> 비산먼지 발생량(2002년)

(단위 : 톤/년)

구분	도로 재비산	타이어 마모	건설활동	농업활동	먼지다량 배출업소	나대지	합
서울시	18,836.8	3,304.1	5,515.0	21.0	1,101.6	17.6	28,796.1
종로구	410.9	72.1	111.2	0.58	-	0.9	595.7
중구	376.6	66.1	165.9	-	-	0.3	608.9
용산구	448.2	78.6	124.8	0.05	-	0.6	652.3
성동구	583.0	102.4	94.1	0.22	238.0	0.4	1,018.1
광진구	640.0	112.3	170.3	0.06	-	0.7	923.4
동대문구	592.8	104.0	126.5	0.09	-	0.6	824.0
중랑구	699.3	122.7	129.0	0.75	-	0.4	952.1
성북구	654.5	114.8	358.2	0.11	-	0.7	1,128.3
강북구	504.7	88.5	86.8	0.10	-	0.3	680.4
도봉구	624.8	109.4	145.9	0.42	-	0.4	880.9
노원구	1,060.1	186.0	137.3	0.61	3.5	1.1	1,388.6
은평구	736.0	129.1	226.7	0.95	-	0.5	1,093.3
서대문구	582.8	102.2	352.9	0.09	-	0.9	1,038.9
마포구	691.4	121.3	193.2	0.97	40.5	0.8	1,048.2
양천구	906.6	159.0	221.9	0.34	-	0.5	1,288.3
강서구	995.0	174.5	393.1	5.40	89.3	1.0	1,658.3
구로구	775.1	136.0	177.9	1.08	113.6	0.6	1,204.3
금천구	476.1	83.5	187.2	0.12	170.4	0.2	917.5
영등포구	887.8	155.7	448.0	0.09	-	0.7	1,492.3
동작구	615.3	107.9	129.0	0.06	-	0.4	852.7
관악구	770.3	135.1	187.1	0.15	-	1.9	1,094.6
서초구	1,077.1	188.9	308.4	3.28	97.4	0.9	1,676.0
강남구	1,496.3	262.5	441.8	1.82	97.4	1.1	2,300.9
송파구	1,346.1	236.1	375.7	1.90	251.5	0.9	2,212.2
강동구	886.0	155.4	222.3	1.82	-	0.9	1,266.4

주 : 학교용지, 어린이 놀이터, 한강둔치에서의 미세먼지 배출량 나대지에 포함.



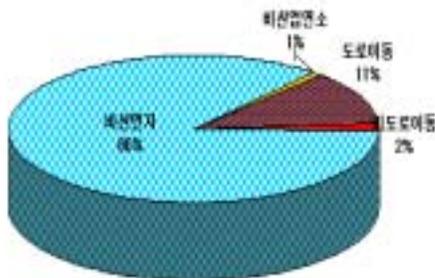
<그림 3-1> 비산먼지 부문별 배출기여도(2002년)

## 5. 서울시 미세먼지 배출량 산정결과

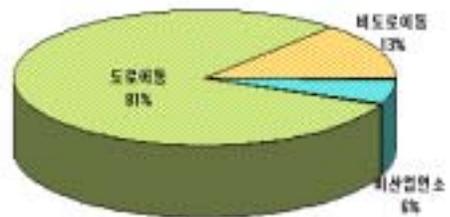
서울시 2002년 배출원별 미세먼지 배출량 산정결과는 <표 3-26>과 같으며, 연간 33,577톤이 배출되는 것으로 나타났다. 이중 연료연소에 의한 인위적 배출량이 4,781톤/년으로 전체 배출량의 14.2%를 차지하였으며, 비산먼지 배출량은 28,796톤/년으로 전체 배출량에 85.8%를 차지하였다. 또한 비산먼지를 제외한 미세먼지 배출량 산정결과 도로오염원에서 3,850톤/년으로 80% 이상을 차지하고 있다. 이는 서울시 미세먼지 주 배출원이 자동차에 의한 것임을 나타내고 있다.

<표 3-25> 서울시 미세먼지 배출량 (2002년)

구분	배출원	배출량 (톤/년)
연료연소	에너지산업	12.6
	비산업연소	280.5
	제조업연소	9.4
	폐기물소각	3.9
	도로 이동	3,850.3
	비도로 이동	624.3
	소계	4,781.0
비산먼지	도로 재비산	18,836.8
	타이어 마모	3,304.1
	건설활동	5,515.0
	농업활동	21.0
	먼지다량배출업소	1,101.6
	나대지	17.6
	소계	28,796.1
<b>총합</b>		<b>33,577.1</b>



<그림 3-2> 배출원별 미세먼지 기여율 (2002년)

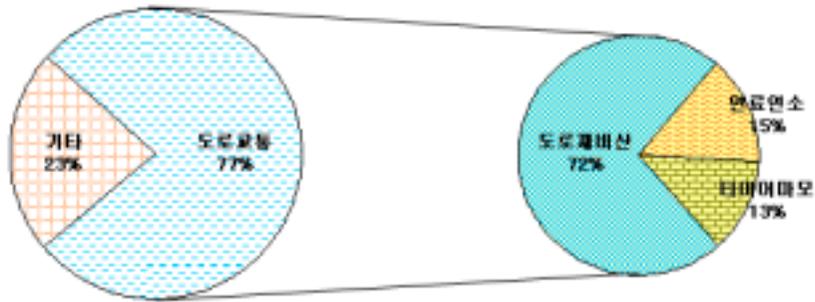


<그림 3-3> 배출원별 미세먼지 기여율 (비산먼지 제외, 2002년)

도로교통부문에 의한 미세먼지 배출량은 서울시 총 배출량 33,577톤/년의 77%인 25,991톤/년을 차지하고 있어 이 부분에 대한 관리가 중요함을 알 수 있다. 또한 부문별로 살펴보면 도로 재비산에 의한 배출비율이 72%, 연료연소에 의한 배출비율이 15%, 타이어마모에 의한 배출비율이 13%를 차지하는 것으로 나타났다.

<표 3-26> 서울시 도로교통부문에 의한 미세먼지 배출량(2002년)

구분	서울시 총 배출량	도로교통			
		소계	연료연소	타이어마모	도로 재비산
PM 배출량(톤/년)	33,577.1	25,991.0	3,850.3	3,304.1	18,836.8



<그림 3-4> 서울시 도로교통부문에 의한 미세먼지 배출량(2002년)

## 6. 장래배출량 산정

구체적인 저감대책을 위하여 장래배출량을 산정하였다. 산정방법은 기준년도(2002년) 배출량에 각 부문별 증가율(growth factor)를 반영하여 배출량을 산정하였다.

에너지산업, 비산업, 제조업연소, 도로이동오염부분의 배출량은 GRDP에 의한 에너지 증가추이 또는 자동차 증가추이에 따라 산정하였으며, 비도로이동오염원은 부문별 에너지 수요전망에 따라 산정하였다. 또한 폐기물 소각은 환경부의 제2차 폐기물 관리 종합계획에서 제시한 소각량의 증가율을 적용하여 산정하였다.

<표 3-27> 현행 기준 유지시 미세먼지 배출량 전망

(단위 : 톤/년)

배출원	2002년	2007년	2010년
에너지 산업연소	12.6	9.5	6.4
비산업연소	280.5	294.6	302.9
제조업연소	9.4	9.5	9.6
폐기물소각	3.9	7.4	9.2
도로이동	3,850.3	3407.6	3,686.7
비도로이동	624.3	713.0	734.4
전체 배출량	4,781.0	4441.7	4,749.1

현행 유지시의 장래 배출량을 바탕으로 2007년엔 30%를 2010년엔 50% 감량을 삭감목표로 결정하였으며, 이를 달성하기 위한 배출원별 미세먼지 배출량은 다음과 같다.

<표 3-28> 삭감목표에 의한 미세먼지 배출량 전망

(단위 : 톤/년)

배출원	2002년	2007년	2010년
에너지 산업연소	12.6	9.5	6.4
비산업연소 <sup>1)</sup>	280.5	290.6	297.2
제조업연소	9.4	9.5	9.6
폐기물소각	3.9	7.4	9.2
도로이동 <sup>2)</sup>	3,850.3	2,419.5	1,666.0
비도로이동 <sup>3)</sup>	624.3	372.6	386.3
전체 배출량	4,781.0	3,109.2	2,374.6

주 : 목표배출량을 위해서 주요 배출원인 비산업연소, 비도로이동, 도로이동오염 부문에서만 규제를 적용한다는 가정하에 배출량을 산정함.

- 1) 비산업 연소의 무연탄 사용량을 점차적으로 LNG로 교체해 2010년에는 100% 교체된다는 가정
- 2) 도로이동 : 전체 삭감 배출량을 정한 후, 비산업 연소와 비도로의 삭감량을 제외한 나머지 부분의 삭감량을 전부 도로이동오염원에서 삭감한다고 가정함.
- 3) 비도로 이동 : 건설장비의 배출허용기준의 강화(해당연도 배출량의 50% 삭감)

## 제 3 절 미세먼지 오염도 영향분석

### 1. 분석모델 개요

ISC(Industrial Source Complex)모델은 다양한 종류의 오염원으로부터 배출되는 오염물질을 모사하여 오염원 주변지역에 대한 그 영향을 예측하기 위해 U.S. EPA에서 개발 보급한 규제(regulatory) 모델로서, 주로 비반응성(非反應性) 물질의 모사에 이용되고 있다. 최초의 ISC 모델은 1970년대부터 개발되기 시작하여 수 차례 수정되는 과정을 거쳐 1992년에 ISC2 모델의 개정이 완료되었으며 1995년부터 ISC3 모델이 이용되기 시작되었다. 개정된 ISC3의 경우 면오염원에 대한 모사가 가능해졌으며 건성침착 알고리즘이 이용되기 시작했고, ISC3의 경우 습성침착과 복잡 지형에 대한 고려도 이루어졌다. 미국의 경우 ISC모델을 이용하여 새로운 오염원의 허가나 주정부 달성계획(State Implementation Plan, SIP) 수행시 가이드라인으로서 이용하고 있으며, 광화학반응 메카니즘을 수식화(數式化)하여 반응성 대기오염 물질의 영향을 고려하는 UAM(Urban Airshed Model)과 함께 ISC Version3 (이하 ISC3)을 널리 이용하고 있고 최근에는 ISC-Prime 버전이 소개되고 있다.

ISC 모델은 크게 ISCLT (ISC Long-Term)와 ISCST (ISC Short-Term) 모델로 구분되는데, ISCLT의 경우 대형 화력발전소나 소각장 건설, 주거지역 및 공업단지 조성 등 새로운 오염원 증가에 따른 영향을 예측하는데 이용될 수 있으며 에너지 대체, 규제 및 증설에 따른 대기오염물질의 배출 증감 등 에너지원과 배출변화에 따른 주변환경의 변화 등 장기적인 대기질 영향을 예측할 수 있을 것으로 사료된다. 이에 반해 ISCST 모델은 수 시간~수 일 등 단기간 중 기상변화 등에 따른 대기질 예측에 이용될 수 있으며, 인체 유해 및 대기오염물질 배출사고 등에 의한 단시간대의 대기질 변화도 모사할 수 있을 것으로 간주된다.

일례로 미국의 아이다호(Idaho)주의 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration) Office에서는 실시간으로 업데이트되는 원전 주변의 기상장을 이용하여 모델을 모사하고 사고 발생시 확산우려 지역을 구분함으로써 피해를 최소화하고자 노력하고 있다. 실제적으로 ISCST의 경우도 월별, 계절별, 년별 오염물질을 모사하여 그 결과를 이용할 수 있으며, ISCLT와 비교시 모사기간에 따른 차이를 거의 보이지 않는다. ISCLT와 ISCST의 가장 구별되는 차이점은 기상요소의 입력형식으로 볼 수 있는데, 본 과제 수행시

ISCLT3와 ISCST3 모델을 병행(並行)하여 모사함으로써 계절별 장기간 모사결과의 경우 대기환경기준과의 부합여부(附合與否)를 판단하기 위한 자료로서 오염 배출원 위치 변화, 배출량 증감, 에너지원 변화에 따른 영향을 분석할 수 있을 것으로 사료되고, 단기 예측의 경우는 풍향, 풍속 등 기상변화에 따른 영향 분석에 이용될 것으로 판단된다.

### 1) 입력자료

다음은 U.S. EPA의 ISC3 사용지침서를 바탕으로 ISC 모델에 관한 간략한 설명을 기술한 것이다. ISC 모델을 운용하기 위해서는 크게 기상자료와 오염원의 위치, 배출량, receptor 위치, 기상자료 특성, 출력 형식 등을 설정하는 기본자료 두 가지가 필요하다. 기본자료는 다시 일반제어, 오염원, receptor, 기상, 지형, 출력 등 6부분으로 구분되며 자세한 내용은 <표 3-29>과 같다.

<표 3-29> ISC 모델의 기본 입력자료

구 분	내 용	비 고	
기상자료	기상자료 입력 (풍향, 풍속, 안정도, 혼합고 등)	ISCLT : JFF 형식 ISCST : 매시간별 자료입력	
기본 자료	일반제어	모사 option, 모사기간, 오염물질 등 SOx의 decay 고려 가능	
	오염원	오염원의 위치 및 배출량 (오염원 개수 300개 이하로 제한) 점오염원 : 배출량(g/sec),연돌높이 및 내경, 배출속도 등 면오염원 : 배출량(g/sec-m <sup>2</sup> ) 및 면오염원 크기(m)	
	receptor	receptor의 위치 및 높이	모사영역내 오염물질 영향 파악
	기상	모사시 기상자료 입력	기상자료 특성 지정
	지형	지형값	모사지역의 지형특성
	출력	출력형식 지정	모사결과의 출력조건 지정

### 2) ISCST

ISC 모델은 straight-line, steady-state를 가정하며 Gaussian 확산 방정식을 기본으로 한다. 오염원을 점오염원으로 할 때 지표면 위의 연돌 위치를 오염원 기준으로 삼아 x축은 풍하방향(downwind direction), y축은 x축의 crosswind 방향, z축은 수직방향을 나타내

며, 입력된 receptor 위치 또한 오염원 좌표에 따라 재정리된다. 다음 식은 steady-state의 Gaussian 확산 방정식을 보여주며, 풍하거리  $x(m)$ , crosswind  $y(m)$ 에서 시간당 농도변화를 나타낸다.

$$C = \frac{QKVD}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \exp[-0.5(\frac{y}{\sigma_y})^2]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q : \text{오염물질 배출량}(g/\text{sec} - km^2) \\ K : \text{단위 전환상수} \\ D : D = \exp(-\Psi \frac{x}{u_s}) \\ x : \text{풍하거리}(m) \\ \Psi : \text{decay coefficient} \\ \sigma_y, \sigma_z : \text{수평, 수직방향으로의 확산계수}(m) \\ u_s : \text{배출지점에서의 평균풍속}(m/\text{sec}) \\ V : \text{오염물질의 수직방향 이동}(V = \frac{\sqrt{2\pi\sigma_z}}{z_i}, z_i : \text{혼합고}) \end{array} \right.$$

면오염원의 경우는 점오염원을  $x, y$ 축 방향으로 적분하여 이용하며 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$C = \frac{Q_A K}{2\pi u_s} \int \frac{VD}{\sigma_y \sigma_z} (\int_y \exp[-0.5(\frac{y}{\sigma_y})^2] dy) dx$$

여기서  $Q_A$ 는 면오염원의 배출량( $g/\text{sec} - km^2$ )을 나타낸다. 평균 풍속의 경우 지표면에서 측정된 값을 바탕으로 오염물질이 배출되는 높이에서의 바람속도( $u_s$ )를 power law를 이용하여 다음과 같이 산출하며,  $u_s$ 는 1.0m/sec보다 커야 하는 제한점이 있다.

$$u_s = u_{ref} (\frac{h_s}{z_{ref}})^p$$

여기서  $h_s$ 는 연돌 혹은 배출점 높이(m),  $p$ 는 wind profile exponent로서 <표 3-28>과 같이 대기안정도 계급에 따라 달라지며, 도시지역과 교외지역에 따라서도 다른 값을 가진다.

<표 3-30> 안정도별 wind profile exponent

대기안정도	교 외 지 역	도 시 지 역
A	0.07	0.15
B	0.07	0.15
C	0.10	0.20
D	0.15	0.25
E	0.35	0.30
F	0.55	0.30

자료 : U.S. EPA, 1995

대기확산계수  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ 도 대기안정도와 오염물질 배출원으로부터의 거리(km)에 따라 달라지며, 시외지역에서는 Pasquill-Gifford curve (Turner, 1970)에 의해 산출되며, 도시지역에서는 McElroy와 Pooler(1968)가 보고한 값과 가장 잘 부합되는 Briggs formula (Gifford, 1976)을 이용하여 계산한다.

### 3) ISCLT

외형적으로 볼 때 ISCLT와 ISCST의 가장 큰 차이점은 ISCST가 매 시간 기상자료를 필요로 하는 반면, ISCLT는 정해진 풍속등급(風速等級)에 따라 대기 안정도별로 발생빈도(發生頻度)를 보이는 JFF(Joint Frequency Function : 기상결합 빈도함수)으로 기상자료를 입력하는 점이다. 이러한 값들을 STAR(STability ARray)라고 하며 월별, 계절별, 년별, 혹은 모사 관심이 되는 특정 기간별로 정리할 수 있으며 ISCST와 같은 기본 가정을 이용하여 풍향, 풍속, 안정도 등을 입력한다.

기본적으로 오염물질의 농도를 계산하는 공식에서도 두 모델간의 차이점을 찾아볼 수 있으며 ISCST가 steady-state의 Gaussian 확산 방정식을 이용하는 반면 ISCLT는 Gaussian sector-average 확산 방정식을 이용한다.

한 개의 연돌을 가정할 경우 계절별 평균농도( $C_1$ )는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$C_1 = \frac{K}{\sqrt{2\pi R \Delta \theta'}} \sum_{i,j,k} \frac{QfSVD}{u_s \sigma_z}$$

- $Q$ :  $i$  풍속등급,  $k$  안정도 계급에서의 오염물질 배출량( $g/sec$ )
- $f$ :  $i$  풍속등급,  $j$  풍향,  $k$  안정도 계급의 발생빈도( $\sum f = 1$ )
- $\Delta \theta$ : sector width  $\in$  radians
- $R$ : 오염원으로부터 receptor까지 실제 거리( $m$ )
- $x$ :  $x$ 축상의 오염원에서 receptor까지 거리( $m$ )
- $y$ :  $y$ 축상의 오염원에서 receptor까지 거리( $m$ )
- $x_y$ : lateral dispersion enhancement에 의한 거리( $m$ )
- $S$ : smoothing function
- $u_s$ :  $i$  풍속등급,  $k$  안정도계급에서 연돌높이에서의 평균 풍속( $m/sec$ )

상기 공식을 기본으로 한 위치( $r, \theta$ )에서의 연간 평균농도는 다음과 같이 정리된다.

$$C = 0.25 \sum_{i=1}^4 C_i$$

그리고 면오염원의 경우 ISCST와 마찬가지로 수치적 적분 알고리즘을 이용하여 오염물질의 농도를 계산하며, ISCST의 면오염원 알고리즘을 이용하여 나온 결과를 다시 적분함으로써 한 지역에서의 평균 농도를 얻을 수 있다. 적분시는 trapezoidal integration이 이용되며 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} \overline{C}_i &= \frac{\int f(\theta)C(\theta)d\theta}{S} \\ &= \frac{1}{N} \left[ \sum_{j=1}^{N-1} f_{ij} C(\theta_{ij}) + \frac{(f_{i1}C(\theta_{i1}) + f_{iN}C(\theta_{iN}))}{2} \right] + \epsilon(\theta) \\ \epsilon(\theta) &= \frac{\overline{C}_{NEW} - \overline{C}_{OLD}}{C_{mid}} \quad ; \quad \overline{C}_{mid} = \frac{\overline{C}_{NEW} + \overline{C}_{OLD}}{2} \end{aligned}$$

- $C_j$ :  $i$  sector의 평균농도
- $S$ : Sector 넓이
- $f_{ij}$ :  $i$  sector,  $j$  풍향의 발생빈도
- $\epsilon(\theta)$ : error term
- $C(\theta_{ij})$ :  $i$  sector,  $j$  풍향시의 농도

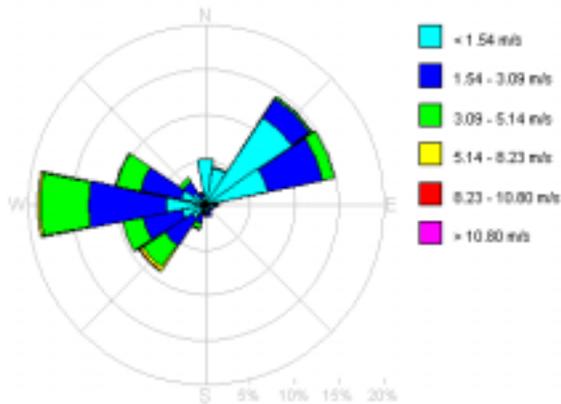
## 2. 미세먼지 오염도 예측

### 1) 모델입력자료

#### 가) 기상자료

Gaussian 확산식에 의해 계산되는 농도는 풍향, 풍속, 대기안정도, 혼합고 등의 기상자료에 의해 좌우된다. ISCLT와 같이 장기 대기오염모델에서는 매시간 별 기상자료의 계산치를 입력하는 대신에 각 시간단위를 일정조건의 정상상태로 보아 일정 기간동안의 기상상태의 발생빈도를 이용하여 각 기상조건에 따른 계산을 수행한 후, 이를 합산하여 평균값을 환산하는 방법(JFF)을 사용하고 있으므로 각각의 기상자료에 대한 파악이 중요하다.

서울시의 모델링을 위한 기상자료 분석을 위하여 서울기상대 자료(2002년)를 이용하였고, 연평균 주풍향은 서풍과 북동풍이다.



<그림 3-5> 서울시 연평균 바람장미(2002년)

#### 나) 오염원 자료

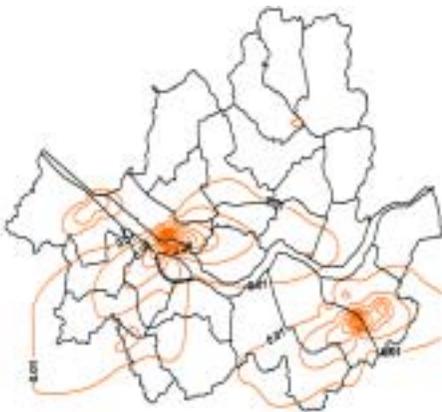
서울시 모델링 수행을 위한 오염원은 점, 면, 선으로 나누어 각각 입력하여 수행하였으며, 본 연구에서 산정한 배출량 자료에 각 오염원별 공간배분정보를 이용하여 격자배출량을 산정하였다. 시간해상도는 연평균 배출량 자료를 이용하였으며, 공간적 해상도는 서울시 전역을  $1\text{km} \times 1\text{km}$  격자로 나누어 수행하였다.

## 2) 모델수행결과

본 연구에서 사용되어진 모델은 미국 EPA에서 제공되는 ISCLT3모델이며 서울지역에 대하여 모델수행을 하였다. 모델링 수행시 대상지역의 오염원은 점·이동·면오염원을 고려하였으며, Receptor는 대상지역(TM<sub>X</sub> : 178.0 ~ 217.0 , T<sub>MY</sub> : 435.0 ~ 467.0)을 각각 1km×1km 크기의 격자로 나누어 적용하였다. 모델의 Option은 주어진 Default Option을 사용하여 수행하였다. Default Option은 다음과 같다.

- Use stack-tip downwash(except for Schulman-Scire downwash)
- Use buoyancy-induced dispersion  
(except for Schulman-Scire downwash)
- Do not use gradual plume rise(except for building downwash)
- Use the calms processing routines
- Use upper-bound concentration estimates for sources influenced by building downwash from super-squat buildings
- Use default wind speed profile exponents
- Use default vertical potential temperature gradients

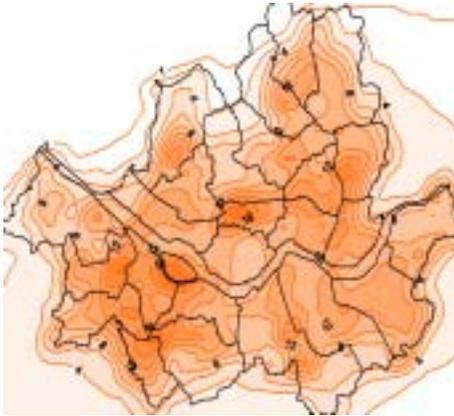
위의 제한사항으로 모델을 수행한 결과는 다음과 같다.



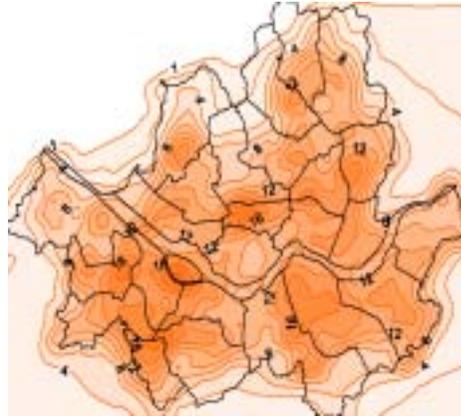
<그림 3-6> 서울시 점오염원에 의한  
미세먼지 오염도 공간분포



<그림 3-7> 서울시 면오염원에 의한  
미세먼지 오염도 공간분포



<그림 3-8> 서울시 이동오염원에 의한  
미세먼지 오염도 공간분포



<그림 3-9> 서울시 전체 오염원에 의한  
미세먼지 오염도 공간분포

점오염원 농도분포는 마포구의 중부발전소와 강남구의 지역난방에서 가장 많은 부분을 차지하는 것으로 나타났다. 선오염원의 농도분포는 서울 전역에 골고루 나타났으며, 통행량이 많은 한강변과 청계천 부근의 농도가 높은 것으로 나타났다. 그리고 면오염원의 농도분포를 살펴보면 이동오염원과 마찬가지로 약간의 차이는 보이지만, 녹지지역(산)을 제외한 전역에서 골고루 분포되어 있음을 볼 수 있다.

전체 오염원을 고려한 농도분포에서 보여지듯이 서울시의 미세먼지 배출은 어느 한 지역의 문제가 아니라 전역에서 골고루 나타나는 것을 알 수 있다. 특히 이동오염원에 의한 농도가 높게 나타나 이동오염원에서 배출되는 미세먼지 관리가 요구된다.

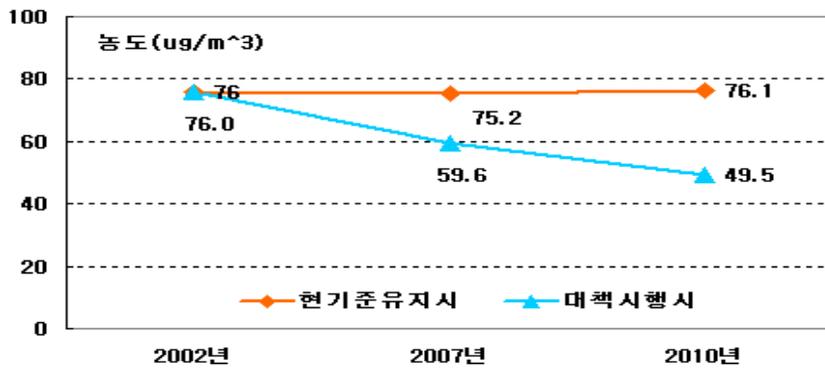
장래배출량을 근거로 하여 대기확산 모델링을 수행한 결과 현 기준 유지시(현재 배출량 수준 및 장래 배출량 전망 수치적용 시나리오)와 저감대책 시행시(2007년 예측 배출량의 30% 총량 삭감 및 2010년 예측 배출량의 50% 총량 삭감 시나리오)의 미세먼지 오염도 수준을 전망하여 보았다. 그 결과 현 기준 유지시 2002년에 비해 2007년 및 2010년의 미세먼지 오염도는 큰 편차를 나타내지 않고 현재의 수준을 유지하고 있다. 그러나 자동차 미세먼지 저감 대책 등을 적용하여 총량대비 30% 및 50% 삭감하게 되면 장래 미세먼지 오염도는 약 65% 수준으로 개선됨을 알 수 있다.

<표 3-31> 미세먼지 오염도 예측전망

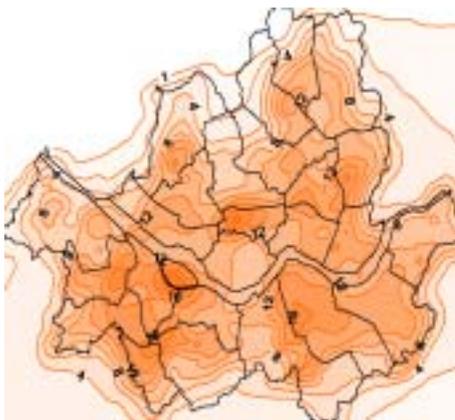
구분	2002년	2007년	2010년
현기준 유지시	76.0	75.2	76.1
대책시행시	76.0	59.6	49.5

주 : 1) 배경농도  $23\mu\text{g}/\text{m}^3$  로 가정함.

2) 2002년도 외부유입농도  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 삭감배출량에 대한 예측값에 대해서는 외부유입농도 또한 삭감량만큼 낮아진다고 가정함.



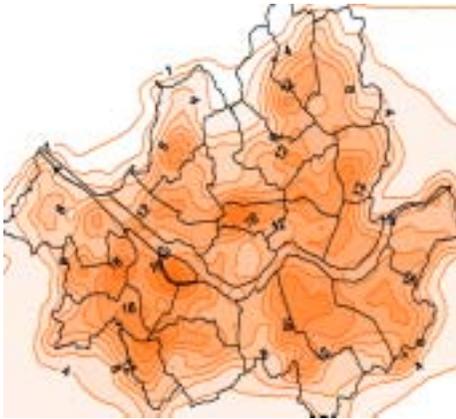
<그림 3-10> 시나리오별 미세먼지 오염도 변화



<그림 3-11> 서울시 현행기준 유지시  
미세먼지 오염도 공간분포(2007년)



<그림 3-12> 서울시 30% 삭감시 미세먼지  
오염도 공간분포(2007년)



<그림 3-13> 서울시 현행기준 유지시  
미세먼지 오염도 공간분포(2010년)



<그림 3-14> 서울시 50% 삭감시 미세먼지  
오염도 공간분포(2010년)

## 第Ⅳ章 외국도시의 미세먼지 저감 및 관리사례

제 1 절 사례분석의 기본전제

제 2 절 외국 도시별 미세먼지 저감 및 개선사례

제 3 절 정책적 시사점

## 제 VI 장 외국 도시의 미세먼지 저감 및 관리사례

### 제 1 절 사례분석의 기본전제

현재 선진 대도시에서도 경험하고 있는 대기오염 가운데 대부분의 경우 공통적인 대기환경 개선 관심사는 미세먼지 오염수준의 개선에 집중되고 있다. 서울시 또한 예외는 아니다. 특히 미세먼지는 시민의 체감오염도 수준과 직접적으로 연계될 뿐만 아니라, 실제 일상생활 과정에서도 시민의 건강 위해 가능성이 높은 오염물질로서 작용하기 때문에 더욱 그러하다.

본 장에서는 향후 서울시 대기오염개선과제 가운데 가장 난제에 해당되는 미세먼지 오염도를 개선하기 위해 선진도시별 시행중이거나 추진 예정인 미세먼지 개선전략을 살펴보고, 시사점 도출 후 적용가능성을 분석하는 의미에서 외국사례를 살펴보고자 한다.

### 제 2 절 외국 도시별 미세먼지 저감 및 개선사례

#### 1. 미국

##### 1) 미세먼지의 인식변화

미세먼지(PM10)의 건강영향에 관한 임상실험 결과, 미세입자는 호흡기 질환을 유발할 뿐만 아니라 다른 심장혈관계통의 질병을 가속시킨다고 경고하고 있다. 이외에도 미세입자는 시계(visibility)를 저하시키고, 건물 손상 등 재산상의 피해를 초래하는 요인으로도 작용한다. 미국 연방대기환경기준(National Ambient Air Quality Standard; NAAQS)에 의하면, 미세먼지의 1차(건강기준) 및 2차(복지기준) 기준치를 1987년에 수정하여 현재 24시간 기준치  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 연간 기준치  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 설정되어 있다.<sup>1)</sup> 이에 연방대기환경기준을 초과하는 지역은 대기질 미달성지역(nonattainment area)으로 지정되어, 일차적으로 지역차원의 대

1) 24시간 PM10기준치는 “1-expected-exceedance”의 형태로 나타낸다. 기준치의 달성은 연간 기준치를 초과하는 날의 기대일수(3년 이상의 자료를 평균)가 1보다 적거나 1과 같을 때를 의미함.

기보전실천계획이 수립·시행되도록 법적으로 규정되어 있다.

또한 최근 미세먼지에 관한 새로운 실험결과에 따라, 추가적인 PM2.5 기준설정의 필요성이 제기되고 있다. 즉 미국 환경청은 공공의 건강과 환경을 보호하기 위한 불가피한 대응방안의 일환으로서, 현재의 1차 미세먼지 기준치를 개정하여, 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (연간 PM2.5 기준치), 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24시간 PM2.5 기준치)로 새롭게 추가하는 것이다.<sup>2)</sup>

## 2) 유타주 및 캘리포니아주의 미세먼지 발생현황 및 저감대책

유타주(Utah州)의 경우 대기 역전층이 자주 형성되는 겨울철에 미세먼지에 의한 환경위해성이 매우 높으며, 이러한 미세먼지는 자동차 매연·고체연료의 연소·농업활동·기타 건설활동 등으로부터 생성되고 있다. 특히 자동차 매연으로 인한 PM10의 비중은 Salt Lake와 Weber지역의 경우 약 80%를 상회하고, Utah지역은 76%를 나타내고 있다. 이에 미세먼지의 발생을 저감하기 위한 노력의 일환으로 목재를 태우는 것을 금지하고 있으며, 산업지역의 경우 겨울철에 석탄보다는 천연가스를 연소원료로 이용하도록 유도하고, 또한 자동차 매연 발생의 감시 및 유지관리 프로그램의 실시를 추진하고 있다.

한편 캘리포니아주 남서부해안대기질 관리구역(South Coast Air Quality Management District; SCAQMD)의 경우 유타주와 유사한 미세먼지 발생원 분포를 보이고 있으나, 도로부문(65%), 자연현상(16%), 건설(13%), 농업활동(5%), 그리고 매립지(1%)의 발생원별 기여도를 보이고 있다. 이와 같은 미세먼지 발생원에서의 먼지저감을 도모하기 위하여 남서부해안 대기질 관리구역은 유타주와 유사한 미세먼지 저감대책을 추진하고 있다(SCAQMD, 1996). 특히, 캘리포니아주는 먼지오염에 의한 인체건강 위해성 가능성이 인식되면, 시민에게 이를 주지하기 위해 먼지주의보를 발령하고 있음이 매우 특징적이다.

## 3) 도로먼지 저감대책(Clean Streets Management)

코첼라市 먼지저감 실천계획(CVSIP)에 포함된 먼지 발생원 목록에 의하면, 코첼라밸리의

---

2) 미국 환경청은 1차 PM2.5 기준치에 대한 두가지 상이한 견해를 대변하는 입장을 취하고 있다. 첫 번째는 “제한” 정책 관점에서 PM2.5 연간 기준치(20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 24시간 기준치(65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )로 규정하는 견해이다. 두 번째는 “고도의 예방” 정책차원에서 연간 기준치(12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 24시간 기준치(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )의 범위로 제안하는 것이다. 결국 두가지 견해에서 기준치 설정제한의 내용은 조금씩 다를지라도, PM2.5에 관한 새로운 주장이 제기되고 있는 사실을 유의할 필요가 있다.

가장 주된 미세먼지 배출원은 도로먼지인 것으로 분석되고 있다. 이에 포장도로에서 발생하는 PM10 배출량을 저감하기 위한 다양한 저감방안(예: 도로청소, 노면 안정화 등)을 추진하고 있다. 또한 코첼라 정부협의회는 먼지저감방안의 원활한 이행을 보조하기 위하여 “청정도로관리 프로그램”의 기금을 조성하고 있다. 그 결과, “육상도로교통효율법”(ISTEA)에 의하여 설립된 “혼잡교통 관리와 대기질 보전”(Congestion Management and Air Quality; CMAQ) 기금으로 \$6,000,000이상을 확보하기에 이르렀다. 한편, 동 프로그램에 의하여 지역 자치정부는 청정도로 관리방안(예: 비포장 노면의 안정화, 바람막이 설치 등)의 이행을 위한 기금을 요청하는 신청서를 코첼라 정부위원회에 제출하게 된다. 특히 코첼라 정부위원회는 “혼잡교통 관리와 대기질 보전” 및 육상도로교통효율법과 관련하여 먼지발생사업의 설계에서 건설까지의 작업단계별 먼지저감 지침을 제시하여 준다(〈표4-1〉 참조).

<표 4-1> 코첼라밸리의 먼지(PM10)저감 이행계획(CVSIP)

CVSIP 먼지저감 방안	수행상황
<p><b>Open Area Wind Erosion</b></p> <p>포장도로 또는 주거지역이 인접한 곳에서 “blowsand“의 이동감소:</p> <p>① 도로나 주거지역의 최소 100feet내의 토양표면의 화학적으로 안정화처리</p> <p>② 도로나 주거지역으로부터 50feet 이내 방설울타리 바람막이 설치</p>	<p>-ISTEA(통합육상교통효율법) 기금에 의해 방설울타리와 화학적 안정화 계획운영</p>
<p>“서식지 보존” 과 기타전략지역에 방풍림 조성</p>	<p>-방설 울타리 사용</p>
<p>공터의 소유자는 그 지역의 50% 이상을 1년 동안에 식생으로 덮어주어야 함. 또는 지역의 90% 이상에 화학적 안정제를 이용할 수 있음.</p>	<p>-District Rule 403.1-Wind Entrainment of Fugitive Dust, (d)(2)(1993)를 따르며, 소유주가 지정된 지역에서 제외된 off-road 차량을 사용하지 못하도록 하는 지역 먼지제어조례를 따름. 먼지제어 조례모델 관련사항은 지방정부에 의해 수행됨.</p>
<p>풍속이 30mph 이상 또는 그렇게 예상되는 날은 토사이동운반활동의 억제</p>	<p>-District Rule 403.1-Wind Entrainment of Fugitive Dust (d)(1)규정에 의한다. (d)(1)은 풍속이 25mph를 초과하는 때를 결정하기 위한 바람의 조건을 모니터링하기 위해 Rule 403 (g)(2)(A)의 예외를 위한 활동을 해야함 ((g)(2)(A)는 토사운반이동 작업 시에 그 작업을 멈추거나 또는 작업 최소한 15분 전에 토양에 물을 공급.</p>
<p><b>Agricultural Wind Erosion</b></p> <p>바람이 30mph로 불거나 또는 그런 예보가 있는 날은 경작활동 억제.</p>	<p>-District Rule 403.1-Wind Entrainment of Fugitive Dust (d)(4)규정에 의한다.; 풍속이 25mph 이상일 때는 경작활동 또는 토양의 퇴폐우기 활동을 지양함.</p>

(<표 4-1> 계속) 코첼라밸리의 먼지(PM10)저감 이행계획(CVSIP)

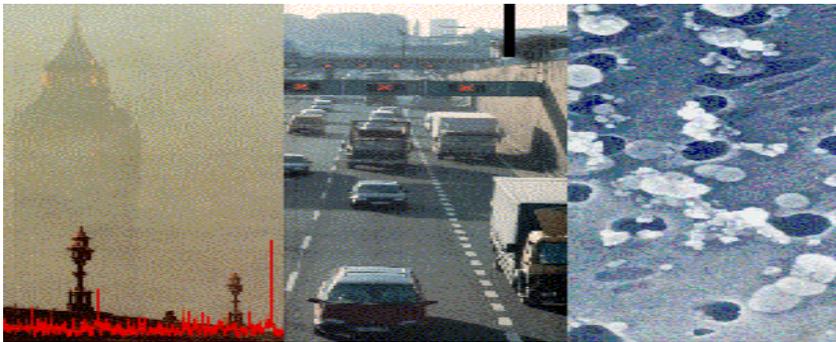
CVSIP 먼지저감 방안	수행상황
<p><b>비포장 도로</b> : 비포장도로 노면의 화학적 처리</p> <p>① 일일 차량이동이 20회 미만인 도로 ② 도로의 최소한 30%의 화학적 처리 ③ 시민의 보행가능성이 많은 곳 일차적인 시골길의 먼지 제어</p>	<p>-지방자치단체는 먼지 저감대책을 실행하는 조례 채택 : 20-150 ADT 비포장도로의 속도제한(15mph)과 150 ADT이상 도로에 대한 화학적 안정화나 포장 명시 -별도로 공공도로를 위한 코첼라밸리시의 화학적 안정화 또는 포장계획 제시.</p>
<p>④ 일 최소 20회 이상 차량이동 도로 ⑤ 화학적 안정제와 물 공급.</p>	<p>-먼지제어 조례에 따라 20-150 ADT의 모든 비포장 도로에 대한 속도제한(15mph)과 150 ADT이상의 도로에 대한 화학적 안정제, 또는 포장 명시.</p>
<p>비포장된 주차장의 포장. ⑥ 최소 연 3,000회 이상 차량통행</p>	<p>-먼지제어 조례에 따라 8대 이상의 주차 공간을 가진 비포장 주차장에 대한 포장 의무화 -만약, 경제적 부담이 되면, 화학적 안정화 권고.</p>
<p>모든 비포장도로의 속도를 15mph 규정</p>	<p>-하루 20회 이하의 차량 이동이 있는 모든 비포장도로의 속도제한을 15mph로 규정</p>
<p><b>포장도로</b> : 모래제거 프로그램의 입안 ⑦ 흄날림 이후 24시간 이내에 포장도로에 쌓인 모래나 기타 물질의 제거 ⑧ 규칙적인 도로 검사의 병행 실시</p>	<p>-ISTEA 기금을 사용하여 깨끗한 도로관리프로그램 이행 -포장도로 노면의 축적된 모래 흄날림을 제거·처리하기 위해 상주하거나 또는 계약된 작업인력의 배치.</p>
<p>규칙적인 도로 청소 실시</p>	<p>-PM10 제거에 효과적인 도로 청소장비가 시중에서 구입 가능하며, 가시적인 PM10 제어 방법으로 대두. -CVAG는 지역의 도로청소프로그램을 위해 ISTEA기금 이용해 PM10 제거에 효과적인 장비구매계획 수립.</p>
<p>버려진 건설현장은 화학적 안정화 유도: ③ 연속 4일간 사용되지 않거나, 그럴 것으로 예상되는 건설계획 내에서의 버려진 건설용지로 정의됨.</p>	<p>-지방 자치단체는 조례를 채택하여 먼지제어조례 모델 1-5를 수행해왔음. 이 항목은 비활동적인 건설현장의 안정화할 것을 명시하고 있음. 이러한 안정화는 가시적인 배출물이 경계를 넘어서 이동하는 것을 막기 위해 필요한 조치.</p>
<p>방풍림을 심어야 한다.: ④ 건설현장의 바람 부는 쪽 주변에 ⑤ 근접한 곳에 여분의 토지가 있을때</p>	<p>-제어방안 1b 참조</p>
<p>건설현장에서 가능하면 조기에 식재</p>	<p>-지방 자치단체는 조례를 통해 먼지제어조례 모델의 1-5(1)을 수행하고 있음. 이 항목은 inactive 건설현장에 재식생을 하도록 하고 있음. 추가적으로, Rule 403, 표2, (3c)는 건설현장에 대해, 화학적 안정화보다 더 경제적인 재식생을 권고함.</p>

## 2. 영국

### 1) 미세먼지의 인식변화

1960년대 후반이전, 영국은 석탄 연소에 기인한 스모그 현상을 제어하기 위하여, 1956년 대기청정법(Clean Air Act)을 제정·시행하게 되었다. 이의 주된 이유로는 런던 스모그 연구를 통해 스모그의 구성성분이 이산화황과 스모크 먼지입자(smoke particles)이며, 또한 두 가지 오염물질이 석탄 연소로부터 유발되므로 동시관리의 필요성이 제기되었기 때문이다. 그러나 도시지역의 경우 첫째, 도시 교통량 증대에 따른 대기질 악화, 둘째, 대기오염에 의한 건강피해 인식의 확대 등이 특징적으로 나타나고 있다. 과거와 비교하면, 현재는 자동차가 대기오염의 주된 발생원으로 등장하게 되어, 석탄연소에 의한 이산화황먼지오염보다는 자동차유발 이산화질소먼지가 도시지역 환경오염의 주된 요인으로 자리잡고 있다.

영국의 경우, 여타 국가의 경우와 마찬가지로 먼지오염의 인체 건강피해에 관한 우려가 제기되고 있음은 물론이다.<sup>3)</sup> 영국 대기오염 조사위원회의 대기오염물질과 사망률간의 상관관계에 대한 연구에 의하면, 1950년대 ~ 1970년대에 이루어진 연구의 경우 매연(black smoke)·이산화황 증가와 심장·허파질환으로 사망한 사람수간 밀접한 관련성이 있음이 입증되었으며, 8개의 서로 다른 연구결과에 따르면  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10) 증가는 일일사망률을 약 1%정도 증가시킨다는 결론을 도출하였다.



<그림 4-1> 자동차 미세먼지에 의한 시정장애 및 미세먼지 형상

- 3) 영국 도시대기의 먼지농도는 1950년대 이후로 급격한 감소되어서, 그 당시 평균  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이던 먼지 농도가 오늘날은  $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만을 나타내고 있다. 이러한 먼지입자의 급격한 감소에도 불구하고, 먼지입자가 여전히 건강을 위협하고 있다는 것은 이해하기 어려운 일이나, 먼지로 인한 건강상 피해에 관한 증거는 영국을 비롯한 많은 나라의 대기독성연구에서 새로운 증거들이 계속해서 밝혀지고 있다.

특히 8개 조사연구 가운데 4개 보고서에서 약 45%의 심장질환 사망률을 보이던 것이  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10) 증가로 1.4% 증가하고, 5%를 차지했던 허파질환 환자의 사망률은 3.4%가 상승했다고 제시하고 있다. 또한, 영국 대기오염 조사위원회는 “1991년 12월 런던의 대기오염 조사연구를 통하여 1일 매연 농도가  $228\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 상승하고 시간당 이산화질소 농도가 228ppb까지 높아지자 전체 사망률이 약 10% 상승하고, 폐질환으로 입원하는 환자가 증가하였으며, 호흡기질환으로 입원하는 환자가 증가한 결과”를 바탕으로 하루  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10) 오염농도 증가는 인구 백만인을 가진 도시에서 이틀에 한 명의 환자가 발생한다는 결과를 도출하였다.

이러한 연구를 통하여 PM10 오염수준과 인체 건강피해간 상관성이 있음이 증명되고 있다. 이에 영국에서는 24시간 평균 미세먼지 측정치가  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 때를 표준대기수치로 설정하고, 시민의 건강보호 관점에서, 대기환경기준치의 초과농도 수준을 억제하는 노력과 함께 PM10의 평균농도 감소대책을 병행·추진하고 있다.

## 2) 미세먼지 저감대책 보고서

최근 대기분진의 배출원과 농도에 관한 새로운 보고서가 영국 도시대기연구단체(QUARG)에 의해 작성되고 환경부에서 발행되었다. 이의 주된 관심은 종래의 대기분진 관련연구의 평가 및 도시 대기중의 분진 저감을 위한 대책마련에 있다.

당해 보고서의 의의는 “도시 대기중의 분진 배출원과 농도에 대한 올바른 이해를 통해서만이 대기질 향상을 위한 정책 개발과 실천이 가능하므로, 모든 배출원에서의 분진 배출량을 저감하기 위한 기존의 대책을 재검토하고, 또한 추가 저감방안의 마련이 필요하다”는 것으로 요약할 수 있다. 상기 보고서의 내용을 정리하면 다음과 같다.

① 발생원 분포 : 1차 배출원(배출원에서 공기 중으로 직접적으로 방출되는 분진)으로는 도로·교통(25%), 건설·채광·채석업·산업활동 등의 비연소과정(24%), 산업활동 연소시설과 연소가 동반되는 과정(17%), 상업·주거지역의 연소(16%), 그리고 공공 전력발전(15%) 등의 순서이다.

② 도시지역 배출원 : 도로교통이 주된 배출원으로, 1990년에 배출된 PM10의 86% 정도가 도로·교통부문에 의해 유발된 것이었다. 기타 산업 배출원과 가정의 석탄 연소로 먼지의 농도가 국부적으로 높은 곳도 있으며, 벨패스트시가 이에 해당된다.

③계절적 특성 : 여름철의 경우 재비산되는 도로먼지가 높은 기여도를 나타내지만, 2차 배출원(황과 질소화합물이 햇빛의 영향으로 생성하는 분진)도 높은 PM10 농도를 유발하는 주된 요인중의 하나이다. 반면에 겨울철의 높은 PM10 농도를 초래하는 주된 요인은 도로·교통유발 배출가스인 것으로 분석되었다.

### 3) 도로변 미세먼지 저감전략

도시지역 미세먼지의 주된 배출원은 도로교통부문임에 착안하여, 영국에서는 보다 특화된 저감대책의 수립에 착수하고 있다. 이러한 배경에는 “도로·교통부문이 배출하는 분진을 약 50%정도 줄이게 되면 영국 대부분의 도시에서 대기환경 권장기준치를 만족시키는 수준이 될 것으로 예측되고 있기 때문이다.”<sup>4)</sup>

이에 도로변 미세먼지 농도를 저감하기 위한 실천계획을 요약하면 다음과 같다.

①자료체계의 구축 : 자동차 운행과정과 연료연소에서 배출되는 미세먼지의 배출, 도로변 확산패턴, 그리고 여타 오염물질과의 반응을 통한 2차 오염물질 형성 등에 관한 제반정보를 구축하고 있다. 이는 도로변 미세먼지 발생특성을 감안한 저감전략 수립의 기초자료로서 제공되고 있다.

②장기종합계획의 추진 : 도로교통부문에서 배출되는 미세먼지 배출량을 현재와 비교하여 50% 수준의 총량저감 목표를 2010년에 달성하기 위한 장기종합계획을 마련하고 있다. 동 계획의 주된 내용은 운행자동차에 의한 단계별 배출저감 이행촉구와 신규자동차에 대한 보다 엄격한 EC 배출기준 적용이나, 고농도의 미세먼지 오염수준이 예고되는 경우에는 교통수요억제와 분산을 위한 각종 규제·유도정책이 수반되도록 하고 있다.

③교통계획과의 연계 : 도로·교통부문이 미세먼지의 주된 배출원인 점을 인식하여 미세먼지를 과다 배출하는 경유자동차와 같은 특정 자동차를 대상으로 매연여과장치 기술개발 및 부착유도 등의 기술개발뿐만 아니라, 주행거리(VKT) 감소 및 통행수요 억제와 같은 교통계획을 통해 간접적인 미세먼지 저감전략을 추진하고 있다.

④시민의 참여유도 : 미세먼지에 의한 인체건강 피해유발 사례와 같은 역학조사 결과를 공개하고, 또한 이를 공론화하여 도로변 미세먼지 오염농도를 저감하기 위한 시정책과 시민간

---

4) 대기환경 권장수치를 충족시키기 위해서는 많은 배출량의 감소가 요구된다. 런던의 1991년 12월의 분진 농도를 기준으로 볼 때, 24시간 PM10 평균농도를  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 낮추기 위해서는 자동차 배기가스를 약 80%이상 감소시켜야 함에 따라 2010년까지 배기량의 약 52% 정도 감소계획을 설정하고 있음.

협력관계 구축을 용이하게 하고 있다.

#### 4) 배출가스 정화장치 보급정책

자동차세(VED : Vehicle Excise Duty)를 활용하여 배출가스 정화장치를 보급하는 정책을 1999년 1월부터 실시하였다. 이 제도는 예정된 장래의 배출가스 규제치(EURO4)를 앞당겨 달성하는 버스와 화물차에 대하여는 매년 자동차세 중 1,000파운드를 환불하는 제도이다.

영국에서 판매되고 있는 대형자동차의 DPF는 3,500파운드 정도로서 VED의 환불을 받으면 DPF 장착 후 3년 반이면 비용이 회수된다. 이 성능이 인정된 DPF를 장착한 자동차의 소유자는 저공행차 인정증(RPC : Reduced Pollution Certificate)의 교부를 받아 VED를 환불 받게된다.

### 3. 캐나다

Greater Vancouver 지역의 대기질 관리는 GVRD 행정구역에 포함되어 있는 밴쿠버시가 광범위한 대기질 측정망과 산업, 상업 그리고 주거부분의 대기오염원을 제어하기 위해 노력해온 1949년부터 시작되어 왔다. 1970년대 대기오염에 대한 지방정부의 관심으로 오염방지법을 수정하게 되었고 대기배출에 대한 지방규제 프로그램을 수립하게 되었다.

GVRD는 광범위한 대기질 측정망을 운영하고 있다. 이 측정망에서 풍속, 풍향, 5개의 기준오염물질, 그리고 특정지역의 측정소에서는 금속먼지, 미세먼지, 휘발성유기화합물을 측정하고 있다. GVRD 측정소와 Lower Fraser Valley의 3개의 British Columbia 환경측정소로부터 측정된 대기질 데이터는 연속적으로 GVRD의 Burnaby 사무실로 전송되며, 수분 내로 Greater Vancouver 지역의 대기오염수준을 감시할 수 있도록 되어있다.

GVRD는 측정된 대기오염물질 농도와 대기질 목표를 연계하는 대기질 지표(Air Quality Index : AQI) 시스템을 이용하고 있다. 각 측정소에 대한 매시간 단위의 AQI는 측정된 최대 오염도 값으로 결정된다. AQI값이 0 ~ 25이면 good, 25 ~ 50이면 fair, 51 ~ 100이면 poor, 100이상이면 very poor로 대기질을 표현하고 있다. AQI는 2개의 주요 일간지의 날씨란에 게재되고 있다.

### 1) GVRD의 대기질 개선효과 및 주요정책

국가 대기질 목표로 설정되어 있는 주요 대기오염물질을 기준으로 할 때, 과거 10년 동안 GVRD의 대기질은 시간이 흐를수록 양호한 상태를 유지해 오고 있다. 그러나 오존, 일산화탄소, 그리고 먼지와 같은 오염물질들은 AQI낼 때 fair 대기질을 나타내는 기간이 지속되며, 이보다는 흔치 않지만 poor 값을 보일 때도 있다. 이 중 총 분진은 여러 측정지점에서 매년 수일동안 최대허용목표를 초과하고 있으나, 초과횟수는 감소하고 있다. 예비 측정데이터와 시정장애 관측으로 미세먼지에 대한 관심이 증가하고 있고, Greater Vancouver에서는 미세먼지의 측정향상을 위해 측정시스템이 최근 들어 개선되고 있다.

자동차와 관련하여 1992년 가을 Lower Fraser Valley에서 이행된 운행중인 경량차량에 대한 대기보존 검사관리 프로그램의 결과로서, CO, VOCs, 질소산화물의 배출이 감소되었고, 경량 경유차량에서 배출되는 황산화물과 PM10의 배출감소를 위해 1994년 Lower Fraser Valley에 저황경유가 도입되었다. 중량차량이 경우 1994년 Lower Fraser Valley 지역에서의 저황경유의 도입과 1995년 이후 모델연도의 중량차량에 적용된 강화된 배출기준의 이행으로 황산화물과 PM10의 배출이 감소되었다. 이러한 대기오염도 측정자료의 변화추이를 분석하여 지역내 대기오염 문제해결의 우선순위를 정해놓고 있는데 GVRD의 관심대상 오염물질의 우선순위는 다음과 같다.

<표 4-2> GVRD의 관심대상 오염물질 우선순위

	우선순위 1	우선순위 2	우선순위 3	우선순위 4
관심대상 오염물질	오존 미세먼지	시정장애 유해대기오염물질 지구온난화 성층권오존파괴	악취 일산화탄소 아황산가스 질소산화물 산정물 침적	총 부유먼지 휘발성유기화합물

#### 4. 일본

디젤자동차 배출가스에 함유된 입자상 물질을 저감하기 위하여 배출기준을 설정하고 기준을 만족시키지 못하는 트럭, 버스 등 디젤자동차의 동경도 지역내 운행을 금지하고 있다(동경도, 2000). 동경도의 디젤 자동차의 운행금지 내용을 대략적으로 살펴보면 다음과 같다.

① 도내의 운행금지(외부로부터 유입하는 차량을 대상으로 함) : 트럭 및 버스 등 디젤자동차(이하 특정자동차라 함)의 운행 책임자에 대하여 입자상물질 배출기준을 만족하지 못하는 특정자동차를 섬을 제외한 도내에서 운행 또는 운행하려는 것을 금지한다.

② 입자상물질 저감장치를 장착한 특정자동차 : 도지사가 지정하는 입자상물질 저감장치를 장착한 특정자동차에 대하여는 입자상물질 배출기준에 적합한 자동차로 본다

③ 유예기간 : 특정자동차가 도로운송 차량법의 규정에 의한 최초등록을 받은 일로부터 7년간은 적용을 유예한다.

④ 벌금, 위반자의 공표 : 입자상물질 배출기준을 만족하지 못하거나 또는 DPF를 장착하지 아니한 특정자동차를 도내에선 운행하는 운행 책임자에는 도지사가 운행금지 명령을 내리고 명령에 따르지 않는 자에 대하여는 50만엔 이하의 벌금과 위반자의 이름을 공표한다.

#### 5. 스웨덴

스톡홀름 등 스웨덴의 3대 도시(Stockholm, Gothenburge, Malmoe)에서는 1996년부터 “환경우선지역(Environment Zone)” 이라고 불리는 규제가 실시되었다. 이 제도는 오염이 심한 도시의 중심부에 환경우선지역을 설정하고 이 지역에 대형트럭의 진입을 규제하는 것이다. 15년을 초과하여 사용한 오래된 트럭은 진입이 금지되고 8년 이하의 트럭은 규제가 면제된다. 9년~15년까지의 트럭은 입자상 물질을 80%이상, HC 60%이상 저감시키고 NO<sub>x</sub>는 증가되지 않는 등 일정성능을 만족시키는 배출가스 정화장치를 부착할 때에는 출입이 허용된다.

또한 후처리장치는 DPF와 산화촉매를 결합한 장치로서 경유 중 황 함유량은 10ppm 이하의 초저황 경유를 사용하도록 권고하고 있다.

## 6. 벨기에

벨기에의 브뤼셀에서는 Blue Coupon을 발행하여 미부착 차량에 대하여 도심운행을 제한하고 있다. 자동차 운행제한은 주 2일 목요일과 일요일에 홀짝제로 시행하고 있으며, 적용시간은 오전 8시 30분부터 12시 30분까지, 그리고 오후 2시 30분부터 7시 30분에 시행한다. 또한 Eco-Diesel을 제외한 경유 자동차의 도심운행을 제한하는데 월요일부터 토요일까지 오전 7시 30분부터 9시 30분, 그리고 오후 5시 30분부터 7시 30분까지 하루 2차례 출퇴근 시간 등 혼잡시간에 적용한다. 이러한 제도 실시 후 15%의 교통량 감축효과를 달성한 것으로 보고되고 있다(2002년 10월 현재).

## 제 3 절 정책적 시사점

대기오염 양상은 정도의 차이는 있으나 연료사용의 형태와 소비패턴의 변화가 기본적으로 비슷한 상황에서 어느 나라나 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 대기오염을 해결하기 위한 기본 접근방법도 매우 유사한데 이런 관점에서 선진외국의 대기오염 관리정책은 우리나라에서 추진하고 있는 정책과 비교해 볼 때 내용자체에서는 크게 차이가 없다. 그러나 대기오염 관리정책을 추진하는 전략측면에서 우리나라와 비교해 몇 가지 특징이 나타났다. 선진국은 대기에 국한된 사후관리형 접근방식을 탈피하지 못하고 있는 우리의 현실과는 달리 신뢰성있는 과학적인 실태자료 조사에 기초하여 사전오염 예방원칙과 통합전략을 철저히 실행하고 대기오염저감 정책의 실천주체는 오염발생의 근원자라는 사실을 파악하므로써 정책목표의 효과적 달성에 성공할 수 있었던 것으로 판단된다.

외국의 대기오염 관리 성공사례에서 볼 때 선진외국에서 대기정책 목표를 효과적으로 달성할 수 있었던 원동력은 첫째, 지방정부와 지역주민의 적극적인 참여, 둘째, 과학적으로 축적된 신뢰할 수 있는 자료의 공개, 셋째, 산업체의 자발적인 저감대책으로 평가될 수 있다. 또한 대기질 관리전략을 추진하는데 있어 선진외국에서는 다음의 몇 가지 공통된 사항을 갖고 있다.

① 최악상태(episode)의 대기질 관리 : 대부분 선진국에서는 대기질이 수용할 수 없을 정도로 악화될 수도 있는 특성조건을 파악하여 이에 대한 저감대책을 수립하고 있다.

② 통합계획 : 미래의 성장에 수반되어 증가되는 대기오염을 효율적으로 해결하기 위해 토지 이용, 수송, 대기질 계획은 반드시 통합되어 수립되어야 함을 강조하고 있다.

③ 지역의 협조방안 및 중앙과 지방정부와의 역할구분 : 같은 영향권 범위내 지역의 환경관리는 공동으로 수립, 이행하여야 하며 최소한의 중복노력으로 효과를 증대시켜야 한다.

④ 지역 대기질과 지구 기후변화 대책을 동시에 고려 : 지역적인 대기오염에 대한 대응은 지구적 환경대책으로 이어지고, 에너지 보존대책은 생산효율증가 뿐만 아니라 환경대책으로도 이어질 수 있다는 win-win approach를 강조하고 있다. 이에 따라 지역 대기질 개선을 위해 에너지 감소와 에너지 효율 개선정책 및 프로그램을 추진하고 있다.

결국 선진국에서 대기오염문제를 효과적으로 극복할 수 있었던 주요 배경으로는 정확한 지역 오염실태를 기초로 대기오염문제의 실질적인 해결 주체인 기업과 국민, 지방정부의 적극적인 참여를 유도하기 위한 다양한 조치들이 병행되어 추진되었던 것이다. 특히 과학적으로 축적된 신뢰할 수 있는 정보를 수집하여 이를 기초로 대기관리 기본 목표를 단계적으로 설정하고 있으며 정책 대안별로 경제적 분석을 통해 수행의 우선순위를 정하고 있다. 특히, 달성정도에 대한 평가를 통해 다음단계에 이를 보다 효과적으로 달성하기 위한 정책수단을 수정·보완하는 등의 환경관리계획을 수립하여 실천하고 있다.

즉, 선진국의 대기질 관리 성공사례는 국민과 기업체의 의식변화, 정책추진상의 구조적인 문제 극복 등이 전제되지 않고서는 오염문제의 효과적 해결을 기대하기 어렵다는 것을 시사한다고 할 수 있다. 따라서 심화되고 있는 대기오염문제에 효과적으로 대처하기 위해서는 새로운 환경정책수단을 강구하는 것도 중요하겠지만 국민 대다수의 의식변화와 오염원의 자발적인 오염저감 실천노력 및 보다 거시적인 관점에서 대기오염문제를 해결하려는 노력 등 정책추진 측면에서의 효과적인 전략 수립이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

## 第 V 章 서울시 미세먼지 저감 및 관리전략

제 1 절 기본방향

제 2 절 대기환경 시민인식 설문조사

제 3 절 미세먼지 저감 실천전략

제 4 절 미세먼지 예·경보제도 도입

## 제 V 장 서울시 미세먼지 저감 및 관리전략

### 제 1 절 기본방향

본 장에서는 서울의 미세먼지 오염도 개선을 위한 전략을 도출하고, 보다 체계적인 관리체계를 구축하기 위해, 시민의 환경 기초 수요를 살펴보고, 대기환경에 대한 시민의 인식과 관심을 파악하고자 시민 인식도 설문조사를 실시하였다. 이와 같은 조사는 서울의 대기환경 개선을 위한 시민수요 맞춤형 전략을 마련하고, 보다 체계적인 대기오염 관리체계를 구축하는데 활용하기 위한 것이다. 또한 시민, 대기환경 관련 전문가, 서울시 정책 입안자 및 관리자 간 대기환경 관리대책 및 오염요인들에 대한 정보의 교환 및 의사소통을 원활히 하여 대기환경을 개선하는데 기여할 수 있다.

다음으로 현행 서울시 먼지오염 관리대책의 시행내용을 바탕으로, 외국사례의 미세먼지 관리정책의 시사점과 연계하여 보다 효율적인 미세먼지 저감 개선전략을 구체화 하고자 한다. 특히 2005년 서울시에서 도입 예정인 미세먼지 예보제의 적용 및 시민참여 수단으로서 활용 가능성을 함께 검토하고자 한다. 그리고 미세먼지 저감전략 추진의 실효성을 확보하는 차원에서 법적·제도적 정비방안도 보조적으로 검토하기로 한다.

### 제 2 절 대기환경 시민인식 설문조사

#### 1. 표본조사 방법

##### 1) 표본조사 설계

서울시 대기환경에 대한 시민의 인식조사를 살펴보기 위하여 2004년 6월 11일 ~ 21일 기간 동안 서울시민을 대상으로 표본 설문조사를 실시하였다. 표본대상 분류에 따라 조사대상의 무작위 추출과정을 통해 표본조사 설계를 진행하였다.

## 2) 표본크기 결정 및 조사대상의 할당

서울시 대기환경에 대한 시민인식 조사하기 위해 서울전역을 도십권·동북권·서북권·동남권·서남권 등 5개 권역으로 구분하고, 권역별 비례할당 및 무작위 추출을 통해, 총 표본 크기 650 가구를 조사대상으로 선정하여 설문을 진행하였다.<sup>1)</sup> 표본조사대상의 지역별 공간 분포는 다음과 같다.

<표 5-1> 서울시대기환경에 대한 시민인식조사 지역별 분포(2002년 기준)

구분	구별	설문매수
도십권 (3)	종로구·중구·용산구	114 (17.5%)
동북권 (8)	동대문구, 성동구, 광진구, 중랑구 성북구, 도봉구, 강북구, 노원구	109 (16.8%)
서북권 (3)	은평구·서대문구·마포구	104 (16.0%)
동남권 (4)	서초구·강남구·송파구, 강동구	145 (22.3%)
서남권 (7)	강서구·양천구·영등포구 구로구·금천구·관악구, 동작구	178 (27.4%)
총계	25개 자치구	650 (100%)

## 2. 서울시민 인식조사 결과분석

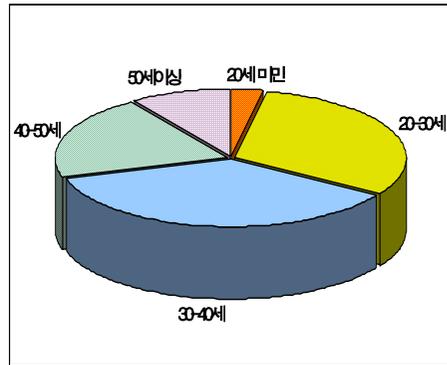
### 1) 일반사항

서울시 대기환경에 대한 설문조사를 통해 서울시민의 기초의식을 살펴보기 위한 기본자료로서, 먼저 조사대상의 일반현황은 다음과 같다. 조사대상의 연령분포는 20 ~ 40세가 전체의 67.4%를 차지하고, 직업의 분포는 직장인 (35.8%), 전업주부(19.8%), 전문직(15.7%), 학생 (3.5%)등이며, 생활수준과 학력분포는 중류(57.4%) 및 고졸 및 대졸이상(94.1%)로 비중이 높게 나타나고 있다. 이상과 같이 설문조사 결과가 서울시 대기환경 인식분석에서 전체적으로 유의성이 확보될 수 있도록 고려하였다.

1) 95% 신뢰수준에서 모집단 대비 표본비율 추정의 최대 오차범위는 ±4% 수준임.

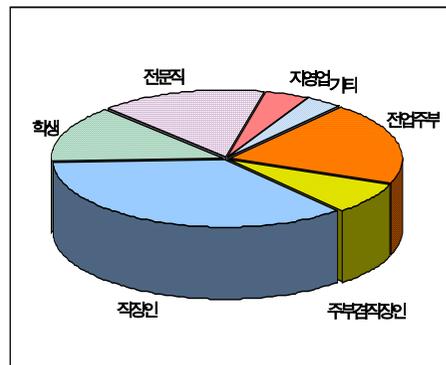
<표 5-2> 연령분포

항목	구성비(%)
20세 미만	2.9
20-30세	31.0
30-40세	36.4
40-50세	20.2
50세 이상	9.6



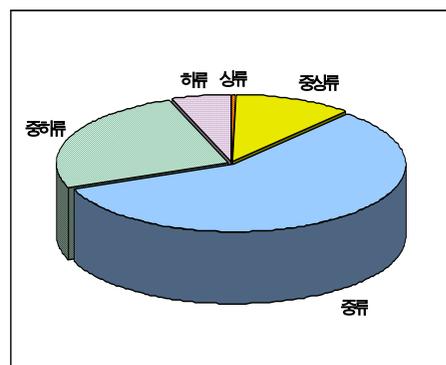
<표 5-3> 직업별 분포

항목	구성비(%)
전업주부	19.8
주부 겸 직장인	7.8
직장인	35.8
학생	13.5
전문직	15.7
자영업	4.2
기타	3.2



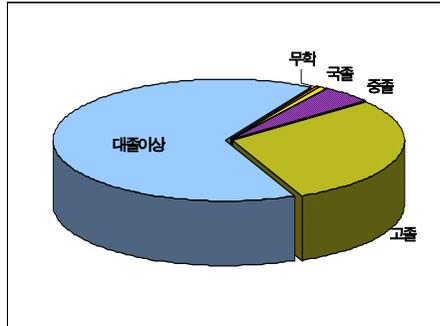
<표 5-4> 생활수준 분포

항목	구성비(%)
상류	0.3
중상류	11.1
중류	57.4
중하류	25.7
하류	5.4



<표 5-5> 학력 분포

항목	구성비(%)
무학	0.3
국졸	0.9
중졸	4.7
고졸	29.2
대졸	64.9



## 2) 연령분포별 대기환경 관심도 및 수준 인식

연령분포별로 서울시 대기환경 관심도를 묻는 질문에서 “매우 관심이 있다” 고 응답한 사람이 22.3%, “대체로 관심” 이 있다고 응답한 사람이 55.9%로 응답자의 78.2%가 서울의 대기환경에 대해 높은 관심을 보였다.

그러나 현재 서울시 대기환경 수준을 묻는 질문에서는 94.9%의 응답자들이 “매우 심각” (35.4%) 또는 “대체로 심각” (59.5%)하다고 대답하여 대부분의 시민들은 서울의 현재 대기환경 수준은 전체적으로 심각하다고 인식하고 있는 것으로 나타났다.

<표 5-6> 연령분포별 대기환경 관심도

연령 \ 대기환경 관심도	20세 미만	20-30세	30-40세	40-50세	50세 이상	합계	백분율(%)
매우 관심	0	23	58	44	20	145	22.3
관심 있는 편	10	97	143	77	36	363	55.9
관심 없는 편	6	75	31	9	4	125	19.3
관심 없음	3	6	4	1	2	16	2.5

비고: 결측값=1

<표 5-7> 연령분포별 대기환경 수준 인식

연령 \ 대기환경 수준	20세 미만	20-30세	30-40세	40-50세	50세 이상	합계	백분율(%)
매우 심각	6	61	87	49	27	230	35.4
대체로 심각	7	123	142	81	33	386	59.5
그다지 심각하지 않음	5	16	6	1	2	30	4.6
전혀 심각하지 않음	1	1	1	0	0	3	0.5

비고: 결측값=1

또한 장래 서울시 대기환경의 개선 가능성을 묻는 설문에서는 “현재 수준 유지”로 응답한 사람이 34.6%를 차지하고 있으나, 전반적으로 “개선 가능”(25.6%)에 비해 “악화될 가능성”(39.6%)이 더 높을 것으로 예상하여, 서울시 대기환경에 대한 시민인식은 대체로 낙관적이지 못한 것으로 나타났다. 결과적으로 현재의 서울시 대기환경 개선을 위한 접근방법은 시민 기대수준을 충족하지 못하며, 보다 효과적인 대책이 필요함을 대변하고 있다.

<표 5-8> 연령분포별 대기환경 미래 전망

연령 대기환경 미래	연령					합계	백분율(%)
	20세 미만	20-30세	30-40세	40-50세	50세 이상		
매우 개선	0	1	10	3	1	15	2.3
대체로 개선	4	39	55	35	18	151	23.3
현재와 비슷	12	86	72	36	18	224	34.6
대체로 악화	1	65	83	46	21	216	33.3
매우 악화	2	10	16	9	4	41	6.3
기타	0	0	0	1	0	1	0.2

비고: 결측값=2

### 3) 대기환경 관심도와 대기환경 수준 인식

대기환경 관심도에 따른 대기환경 수준을 묻는 질문에는 관심정도와는 상관없이 대부분의 시민들은 대체적으로 심각하게 생각한다고 대답하였다. 또한 서울시 장래의 대기환경을 묻는 질문에는 관심이 있는 사람들은 대체로 악화될 것이라고 전망하는 반면에, 관심이 없는 편인 시민들은 현재와 비슷할 것이라는 대답이 많았다.

<표 5-9> 대기환경 관심도와 대기환경 수준인식 교차분석

대기환경 관심도 대기환경 수준	매우	관심	관심	관심	합계	백분율 (%)
	관심	있는 편	없는 편	없음		
매우 심각	84	123	20	3	230	35.4
대체로 심각	60	233	87	7	387	59.5
그다지 심각하지 않음	1	7	17	5	30	4.6
전혀 심각하지 않음	0	1	1	1	3	0.5

<표 5-10> 대기환경 관심도와 대기환경 미래전망 교차분석

대기환경 관심도 대기환경 미래	매우 관심	관심 있는 편	관심 없는 편	관심 없음	합계	백분율 (%)
매우 개선	6	8	1	0	15	2.3
대체로 개선	44	89	15	3	151	23.3
현재와 비슷	35	118	63	9	225	34.7
대체로 악화	43	131	39	4	217	33.4
매우 악화	16	18	7	0	41	6.3

비고: 결측값=1

#### 4) 미세먼지 예보제도 인지도 인식

현재 서울은 미세먼지, 이산화질소, 오존 오염 등과 같은 선진국형 대기오염문제에 직면하고 있으며, 특히 미세먼지 오염도 수준은 30개 OECD 회원국가 수도 가운데 매우 열악한 상태여서, 시급히 개선되어야 할 환경항목인 것으로 보고되고 있다.

2005년부터 미세먼지 오염에 의한 서울시민의 건강피해 가능성을 사전에 예방하기 위해 도입 예정인 ‘먼지 예보제도’에 대한 시민 인지도를 묻는 질문에는 과반수 이상이 모른다고 응답하여 예보제도 시행에 대한 홍보가 다소 미흡함을 알 수 있다.

그러나 먼지예보제도의 시행을 전제로, 이의 효과를 묻는 질문에 51.4%가 “대체적으로 효과적”이라고 응답하여 미세먼지 예보제도에 대해 시민들은 대체적으로 긍정적으로 평가하고 있다. 다만, 먼지예보제도의 시행에 대해 일부 “부정적인 견해”(17.7%)가 제시된 이유는 대기오염 개선의 어려움, 자동차 운행억제의 한계, 실외활동 단축 어려움, 예보의 부정확성 문제 등에 기인하는 것으로 판단된다. 이는 향후 서울시 미세먼지 예보제도의 보다 효율적 시행을 위하여 해결해야 할 제약요인인 것으로 인식된다.

<표 5-11> 연령분포별 먼지예보제도 인지도 인식

연령 먼지예보제 인지도	20세 미만	20-30세	30-40세	40-50세	50세 이상	합계	백분율(%)
잘 앎	0	3	7	15	2	27	4.2
조금 앎	1	57	94	56	23	231	35.6
모름	18	141	135	60	37	391	60.2

비고: 결측값=1

<표 5-12> 연령분포별 먼지예보제도 시행효과 인식

연령 먼지예보제 효과성	연령					합계	백분율(%)
	20세 미만	20-30세	30-40세	40-50세	50세 이상		
매우 효과적	0	16	22	12	12	62	9.6
조금 효과적	8	78	101	60	24	271	41.8
보통	5	74	69	35	17	200	30.9
효과 적음	4	30	34	19	7	94	14.5
효과 없음	2	3	10	5	1	21	3.2

비고: 결측값=2

### 5) 대기환경 관심도와 먼지 예보제도 인지도 교차분석

먼지 예보제도에 대해 묻는 질문에는 관심이 있는 사람들조차 대부분 모른다고 응답하고 있어, 먼지예보제도 시행에 대한 적극적인 사전 홍보가 적극적으로 추진되어야 할 것으로 판단된다. 또한 먼지 예보제도 시행효과를 묻는 질문에는 대부분의 시민들은 조금은 효과가 있을 수는 있으나 큰 효과는 기대하기 힘들다고 응답하고 있다.

선진외국에서와 같이 먼지예보제도 시행에 따른 효과적인 규제·유도의 시행조치가 마련되어야 할 것으로 보인다. 이에 먼지예보제도의 도입에 따른 초기의 시행착오를 최소화하고, 또한 시민건강 사전 보호수단으로서 정착하기 위해서는 보다 광범위한 홍보가 필요한 것으로 판단된다.

<표 5-13> 대기환경 관심도와 먼지예보제도 인지도 교차분석

대기환경관심도 먼지예보제 인지도	대기환경관심도				합계	백분율(%)
	매우 관심	관심 있는 편	관심 없는 편	관심 없음		
잘 앎	14	12	1	0	27	4.2
조금 앎	67	137	26	1	231	35.5
모름	64	215	98	15	392	60.3

<표 5-14> 대기환경 관심도와 먼지예보제도 시행효과 교차분석

대기환경 관심도 먼지예보제 효과	대기환경 관심도				합계	백분율 (%)
	매우 관심	관심 있는 편	관심 없는 편	관심 없음		
매우 효과적	21	38	3	0	62	9.6
조금 효과적	63	160	45	4	272	41.9
보통	40	107	49	4	200	30.8
효과 적음	18	48	23	5	94	14.5
효과 없음	2	11	5	3	21	3.2

비고: 결측값=1

## 6) 대기환경 개선대책 및 자동차 배출가스 저감정책의 우선 순위 인식

시민들은 서울시 대기환경 수준을 대체로 심각하게 바라보고 있는 가운데 장래 배출량에 대한 질문에 대해서는 현재와 비슷하거나 대체로 악화될 것이라고 전망했다. 그리고 대기환경 개선정책의 우선 순위를 묻는 질문에서 50% 이상의 시민들이 자동차 배출가스 저감대책을 선택하였다. 그리고 서울시 대기환경이 심각하지 않다고 생각하는 시민들은 자동차 배출가스 외에 별다른 관심을 보이지 않고 있다. 반면에, 심각하다고 생각하는 시민들은 저공해 에너지 공급, 관리 체계망 개선, 배출업소 관리 등 다양한 정책을 우선 순위로 제시하여 대기환경에 대한 관심이 많음을 나타내 주고 있다.

한편 자동차 배출가스 저감정책의 우선 순위를 묻는 설문에서는 대부분의 시민들이 자동차 배출가스 검사와 친환경자동차 기술개발, 연료품질 향상, 오염물질 과다배출 노후차량 관리, 천연가스(CNG) 시내버스 확대 운행 등 다양한 의견을 제시하였다. 소수의견으로 운전자 스스로 소유 차량의 유지관리, 버스전용차로 확대, 환경주행세 도입 등의 의견이 제시되었다.

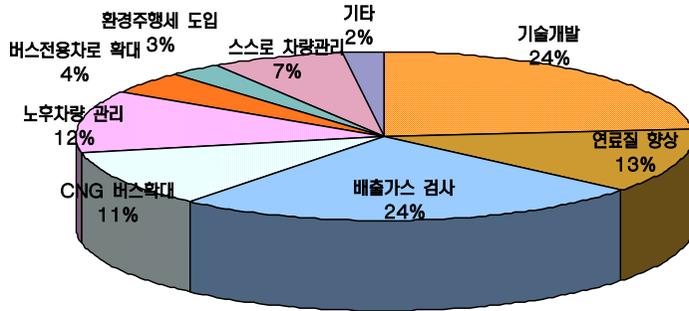
<표 5-15> 대기환경 수준인식과 대기환경 미래전망 교차분석

대기환경 수준 대기환경 미래	매우 심각	대체로 심각	그다지 심각하지 않음	전혀 심각하지 않음	합계	백분율 (%)
매우 개선	3	12	0	0	15	2.3
대체로 개선	52	89	9	1	151	23.3
현재와 비슷	66	140	18	1	225	34.7
대체로 악화	80	133	3	1	217	33.4
매우 악화	28	13	0	0	41	6.3

비고: 결측값=1

<표 5-16> 대기환경 수준 인식과 대기정책 우선 순위

대기환경 수준 대기정책 우선순위	매우 심각	대체로 심각	그다지 심각하지 않음	전혀 심각하지 않음	합계	백분율 (%)
자동차 배출가스	126	188	12	1	327	50.3
저공해 에너지공급	39	81	9	2	131	20.2
배출업소 관리	22	37	6	0	65	10.0
관리 체계망 개선	40	74	3	0	117	18.0
기타	3	7	0	0	10	1.5



<그림 5-1> 자동차 배출가스 관리정책의 우선 순위

#### 7) 맑고 깨끗한 공기를 만들기 위한 선행조건 및 대기환경 개선편의

서울시민은 맑은 서울하늘, 깨끗한 공기를 만들기 위해 가장 먼저 선행선택되어야 할 조건으로서 대기질 향상을 위한 효과적인 규제정책 마련, 환경문제와 관련된 행정관리 및 각종 규제의 철저한 시행 등이 필요하다고 보고 있으며, 이와 병행하여 환경문제에 대한 시민참여 의식의 제고가 바람직한 것으로 인식하고 있다.

특히 일상생활에서 사용에 불편함이 없으며, 항상 깨끗한 공기를 호흡할 수 있도록 하는 청정 마스크 상품이 개발된다면 구매할 의향이 있는지를 묻는 설문에서 “무조건 구매”가 8.9%, “적당한 가격에 구매”가 70.6%, “구매의사 없음”이 20.5% 등의 응답분포를 보여 청정 대기환경에 대한 수요가 상당히 높은 것으로 나타났다. 이에 서울의 대기환경 개선의 편익을 추정하기 위한 방법으로 청정마스크 상품의 구매의사 가격을 질문한 결과, 청정마스크 상품의 1인당 평균 구매의사비용은 약 78,500원 수준으로 서울시민 모두가 생각하는 서울의 청정 하늘의 가치(대기환경 개선편익)는 약 7.8조원에 이르는 것으로 추정되었다.

### 3. 서울시민 대기환경 인식조사 시사점

#### 1) 시민의 환경인식과 기대수준에 부응하는 맞춤형 대기환경 개선대책 추진 필요

도시에서 깨끗한 공기를 마음껏 호흡하고 싶은 시민의 환경욕구는 강력하며, 이는 당연한 기초수요라고 할 수 있다. 서울시 대기환경 정책수요의 우선 순위를 묻는 설문조사에서, 대기환경 개선에 대한 시민의 열의는 매우 높으나, 향후 개선될 가능성에 대해서는 확실한 예단을 하지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 서울의 공기가 쉽게 개선되기 어려운 상태일 뿐만 아니라, 앞으로도 개선 가능성은 낮은 것으로 시민들이 인식하고 있음에 비추어 볼 때, 서울시 대기환경 개선을 위한 실효성 있는 「로드 맵」 작성 및 추진, 도로변 먼지저감을 위한 서울시 도로청소시스템 구축, 서울 녹색교통인증제도의 추진, 먼지예보제도의 효과적 시행 등과 같은 시민의 대기환경 인식 및 기대수준에 부응하기 위한 맞춤형 대책수립이 요구된다.

#### 2) 서울시 대기환경 개선을 위한 기본 「로드 맵」 작성과 추진

서울시 대기오염 배출원에 대한 배출요인 분석과 대기오염의 공간분포 특성분석을 통해 서울시민의 대기환경 체감오염도 개선을 위한 방향설정의 유의점 도출이 필요함. 한편으로는 대기오염 발생원별로 정확한 정보체계 구축을 통해 발생원별 저감대책의 실효성을 확보할 수 있는 체계적인 접근이 필요하다. 또한 서울의 대기환경 개선에 대한 시민의 높은 열의에 부응하고, 향후 대기환경 개선에 대해 시민들이 긍정적인 생각을 갖도록 유도하기 위해서는 보다 효율적인 대기오염 관리대책의 마련추진에 관심을 집중하여야 할 것이다.

이에 2005년부터 시행 예정인 수도권 대기환경 개선 특별대책 추진과 함께, ‘서울시 대기환경개선 시행 10개년 계획’ 「로드 맵」 작성에 보다 많은 관심과 투자가 병행되어야 한다.

#### 3) 서울의 특화된 도로변 미세먼지 저감대책의 추진

최근 미세먼지의 인체 위해성에 대한 경각심이 한층 고조되고 있는 가운데, 정부·시민간 활발한 연대를 통해 “건고 싶은 도시 만들기” 와 같은 보행환경 개선을 위한 다양한 시도가 행해지고 있다. 특히 자동차에서 배출되는 이산화질소와 미세먼지 오염수준은 서울시 및 국가환경기준을 초과하고 있으며, 질소산화물과 미세먼지간 뚜렷한 정(+)의 상관관계를 보여 2차 오염물질 형성 가능성이 있기 때문에, 건고 싶은 건강 도시(walkable healthy city)를 만들기 위해서는 도로변 보행환경 개선이 전제조건이 되어야 한다. 따라서 향후 서울시 특성

에 맞는 도로청소시스템(Roadways Cleaning System)의 체계적 도입이 필요함. 도로청소 시스템 도입에 따른 도로·교통부문에서의 발생량(타이어 마모 및 차량운행으로 인한 재비산 먼지) 저감효과는 2002년 11.2%, 2003년 12.7% 정도 되는 것으로 추정되어, 도로청소시스템은 도로변 환경개선의 주된 기능을 담당할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 도로청소시스템은 자동차 배출허용기준 강화, 매연여과장치 부착, 교통수요관리, 그리고 연료품질 개선 등과 연계되면, 향후 서울시 도로변 미세먼지 관리에 상승효과를 가져다 줄 수 있을 것이다.

#### 4) 서울시 녹색교통인증제도의 추진 검토

기본적으로 서울의 미세먼지, 이산화질소 배출저감 및 오염도 개선을 위해서는 자동차 부문 중심의 차별화 저감 전략이 바람직하며, 이의 추진내용으로는 ① 녹색교통인증제도의 추진 검토, ② 경유사용 시내버스를 모두 저공해 시내버스(CNG)로 대체, ③ 경유사용 승합차 및 화물차의 엔진기술 향상, ④ 자동차 배출가스 저감강화 및 중간검사체제 구축, ⑤오염물질을 과다하게 배출하는 노후 자동차의 조기폐차 유도, 그리고 ⑥ 청정연료차 의무판매제 도입 등을 고려할 수 있다.

특히 자동차 배출가스 배출허용기준에서 일정 수준이상으로 적게 배출하는 자동차를 대상으로 환경조건 충족 의미의 ‘서울시 녹색교통인증’을 부여하고 각종 인센티브를 제공하면, 시민들에게 저공해 자동차 구입 및 운행차의 적정유지관리의 동기를 부여할 수 있는 장점이 있다. 또한 녹색교통인증제도는 향후 수도권 광역자치단체와 공동으로 추진하면서, 특히 자동차 검사체제와 연계하여 시행할 경우에는 외국에서의 시행경험에서 보듯이 자동차 배출가스의 저감효과가 10% ~ 20% 정도에 이를 것으로 추정되기 때문이다.



<그림 5-2> 서울시 녹색교통인증 스티커(안)



<그림 5-3> 동경의 경유차 배출가스 인증표

### 제 3 절 미세먼지 저감 실천전략

#### 1. 대기환경개선 관련 주요 추진계획

서울시 미세먼지 오염도 개선을 위한 실천 전략을 제시하기에 앞서 작성·추진 중인 주요 대기오염관리 관련계획을 분석하여, 미세먼지 배출저감을 위한 정책수단을 원용하고자 한다. 환경부의 제3차 환경보전 중기 종합계획에서 제시된 대기질 개선 관련 내용은 다음과 같다.

<표 5-17> 제3차 환경보전 중기 종합계획(2003~2007)

대기분야	주요 계획 내용
대기관리체계 과학화·정보화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대기정책 지원 시스템 구축 및 활용도 제고</li> <li>• 대기오염자동측정망 확충 및 관리체계 개선</li> <li>• 국가 대기감시 정보시스템 구축</li> <li>• 대기오염 예·경보제 시행확대</li> <li>• 황사피해 저감대책 추진</li> </ul>
광역 대기질관리 체계 확립	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수도권 대기질 개선 특별대책 추진</li> <li>• 대기환경규제 지역 관리 내실화</li> </ul>
자동차 공해 저감대책 추진	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 천연가스 자동차 보급 및 제작차 저공해화</li> <li>• 운행차 배출가스 관리강화 및 자동차 연료 환경품질 기준 강화</li> </ul>
사업장 대기오염물질 관리 선진화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 휘발성유기화합물 및 특정유해물질 관리강화</li> <li>• 대기배출허용기준 제도개선</li> <li>• 굴뚝자동감시 시스템(TMS) 정착</li> <li>• 배출 부과금 제도개선</li> </ul>

또한 대기보전실천계획은 대기환경규제지역으로 지정된 경우 추진하여야 하는 법정 계획으로서, 국가대기환경기준의 80% 수준 이상으로 대기질이 악화된 지역에 대하여 지정된다. 서울·인천·경기 수도권 대기환경 규제지역 지정내용은 <표 5-18>과 같다.

<표 5-18> 수도권 대기환경규제지역 지정고시 현황

구분	내용
개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대기환경보전법 제 8조에 규정</li> <li>• 환경기준을 초과하였거나 초과할 우려가 있는 지역으로서 대기질의 개선이 필요하다고 인정되는 지역을 대기환경규제지역으로 지정·고시(환경부장관)</li> <li>• 환경기준을 달성·유지하기 위한 계획을 수립하고, 시행(시·도지사)</li> </ul>
고시일	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1997년 7월</li> </ul>
고시근거	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대기오염도가 환경기준의 80%를 초과하는 측정지점이 전체의 30%이상일 경우</li> </ul>
대상지역	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 서울특별시</li> <li>• 인천광역시(강화군, 옹진군 제외)</li> <li>• 경기도 15개 시(수원, 부천, 성남, 고양, 의정부, 안양, 군포, 의왕, 시흥, 안산, 과천, 구리, 남양주, 광명, 하남)</li> </ul>
목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 환경기준의 80% 수준달성</li> </ul>
대상물질	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 아황산가스(SO<sub>2</sub>), 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 오존(O<sub>3</sub>), 휘발성유기화합물, 악취포함), 총먼지(TSP), 미세먼지(PM10)</li> </ul>

수도권 대기환경 규제지역과 관련하여 서울시 대기환경개선 실천계획에서 제시된 주요 대기개선 실천계획 내용은 <표 5-19>와 같다. 그러나 이러한 계획에도 불구하고 수도권의 대기질을 현실적으로 개선하기 어렵다는 판단아래 환경부는 “수도권 대기질 개선 특별법”을 추진하고 있으며, 향후 서울시를 포함한 수도권의 대기질 관련 대책의 기본적인 틀은 이 특별법 안에서 결정될 예정이다. 참고로 수도권 대기질 개선 특별대책에서 대기환경 개선을 위한 주요 추진전략은 <표 5-20>과 같다.

<표 5-19> 서울시 대기환경개선 실천계획(2000년)

분야	내용	
환경도시보전 기반조성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 환경영향평가조례 제정</li> <li>• ISO 14001 환경인증 획득</li> <li>• 대기배출허용기준조례의 제정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자연환경보전조례 제정</li> <li>• 대기환경기준조례 제정</li> </ul>
환경친화적 도시계획	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주거지역의 밀도규제</li> <li>• 도시생태 기본계획수립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 인간중심의 도심조성</li> </ul>
지역에너지 기본계획	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지역난방 확대실시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 난방연료의 청정연료 전환</li> </ul>
공원녹지의 확충	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 생명의 나무 1000만그루 심기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 녹지네트워크 조성</li> </ul>
산업장 배출량 저감	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 배출시설 지도점검 강화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 준공업지역 재정비</li> </ul>
교통수요관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시내버스 장거리 굴곡노선조정</li> <li>• 도로환경용량에 의한 관리도입</li> <li>• 자동차 자율부제 운행시행</li> <li>• 기업체 교통수요관리</li> <li>• 물류기반시설 구축 및 정보화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 교통특별관리지구 운용</li> <li>• 혼잡통행료의 확대시행</li> <li>• 지하철 연계버스노선개편</li> <li>• 주차세도입</li> </ul>
자동차 배출가스 저감	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신규 제작차 배출허용기준강화</li> <li>• CNG 버스보급 지원</li> <li>• 노후자동차 폐차유도</li> <li>• 자동차 공회전 억제조례 제정</li> <li>• 배출가스 부품 보증기간 연장</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 이륜차 배출허용기준강화</li> <li>• 자동차 배출가스 검사강화</li> <li>• 중간검사체계 구축</li> <li>• 청정연료차 의무생산제 도입</li> </ul>
대기관리시책 강화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TMS 연결망 확대구축</li> <li>• 도로변 측정망 확대구축</li> <li>• 자동차 공해연구부처 설치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대기오염자동측정망 강화</li> <li>• 환경개선부담금 상향조정</li> </ul>
먼지저감대책	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자동차 먼지저감대책 추진</li> <li>• 비산먼지 저감대책추진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대형공사장 먼지저감 이행서</li> <li>• 노천소각 방지</li> </ul>
질소산화물대책	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 질소산화물 저감 종합대책 추진</li> </ul>	
오존대책	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오존경보 예측 모델 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오존오염저감대책 추진</li> </ul>
휘발성유기화합물	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VOC 배출시설규제 실시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 휘발유 자동차 연료조정개선</li> </ul>

<표 5-20> 수도권 대기질 개선 특별대책의 주요 계획내용

구분	내용
수도권 대기환경관리 기본계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 배출 및 오염도 전망, 대기질 목표, 총량제, 저공해 자동차 보급, 교통 및 에너지 수요관리 등 포함</li> <li>• 『수도권 대기환경 관리위원회』 심의</li> </ul>
대기오염 총량관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지역별 총량 삭감목표, 관리대상 오염물질의 종류, 지자체별 배출허용총량 할당, 총량관리대상 사업장의 규모 등 규정</li> <li>• 시도지사는 기본방침에 따라 『지역총량삭감계획』을 수립하여 환경부의 승인받아 시행</li> <li>• 일정규모 이상 기존 배출시설은 사업장 단위로 배출허가</li> <li>• 지역배출허용총량 초과지역 내에서는 일정규모 이상 배출시설의 신규설치 금지</li> </ul>
배출권거래제	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 배출권 거래제도 및 예약제도 시행</li> <li>• 총량규제 대상외의 사업자 배출권 거래 자발적 참여</li> </ul>
저공해 자동차 보급	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 친환경 자동차 보급</li> <li>• 친환경 자동차의 일정비율 이상 의무구매</li> <li>• 친환경자동차 연료의 일정비율 이상 의무사용</li> </ul>
운행차 배출가스 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 강화된 운행차 배출허용기준을 설정</li> <li>• 배출가스 저감장치를 부착하거나 저공해 엔진으로 교체토록 의무화</li> </ul>
환경친화적 도시 및 에너지 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일정규모 이상 택지개발, 도시 재개발시 완충녹지 설치 의무화</li> <li>• 일정규모 이상의 신규 건축물은 옥상 또는 입면에 초목식재 의무화</li> <li>• 택지개발, 주택개발, 산업단지 개발시 집단 에너지 보급 의무화</li> <li>• 일정규모 미만의 소형 소각시설은 설치를 금지하고, 기존시설은 단계적으로 폐쇄</li> </ul>
VOCs 배출억제	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유기용제 함유기준 강화</li> <li>• 관리권역내 주유소 VOC 회수장치 부착 의무화</li> </ul>
수도권 대기환경 관리위원회 설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 환경부 장관을 위원장으로 하고, 관계 행정기관의 차관 및 시도지사로 구성된 『수도권 대기환경관리 위원회』 설치</li> <li>• 집행기능을 가진 사무국 설치</li> </ul>
재원 확보 및 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수도권 대기환경 관리기금 설치</li> <li>• 자동차 관련 대기오염 유발 부과금 부과</li> </ul>

상기와 같은 선행 주요 대기환경 개선 추진계획을 바탕으로 현재 서울시에서 추진하고 있는 미세먼지 종합대책 내용을 살펴보고, 연후에 미세먼지 오염도를 개선할 수 있는 추진 가능한 구체적인 실천전략을 마련하기로 한다.

## 2. 서울시 먼지저감 종합대책의 효율성 제고

서울시 미세먼지의 주요 발생원으로는 자동차, 발전시설, 산업체, 공사장, 대형건물과 아파트 연소보일러 등 매우 다양한 분포를 보이고 있다. 그러나 앞서 분석한 바와 같이 서울지역에서 발생하는 미세먼지의 77% 수준이 연료연소·타이어 마모도로 재비산 등의 도로·교통부문에 의해 유발되고 있음을 감안하면, 시민의 체감오염도를 개선하기 위해서는 자동차 유발 미세먼지의 저감방안 수립이 당면과제로 대두되고 있다.

현재 서울시에서 추진중이거나 시행예정인 먼지저감대책은 <표 5-21>과 같이 요약할 수 있으나, 미세먼지 저감대책별 우선 순위 선정과 추진대책의 실효성 제고를 위한 전략적 계획은 다소 미흡한 수준임을 알 수 있다. 예를 들면, 도로·교통부문에 의한 미세먼지 발생요인 가운데 차량운행에 의한 미세먼지의 발생비중이 상대적으로 매우 높음을 감안하면, 이에 적합한 저감대책 수립에 우선 순위를 두어야 함이 바람직하기 때문이다.

<표 5-21> 서울시 먼지저감 종합대책의 주요내용

대 책	주 요 내 용
도로 기계화 청소 확대실시	진공흡입청소차 가동율 90%이상 향상 도모 진공흡입청소차의 효율적 운영을 위한 브러쉬의 적정사용과 적정 운행속도 준수 (예: 적정운행 속도: 중형-4km/시간, 대형- 6km/시간)
가로수 및 도로변 수림대 관리방법 개선	가로수 보호관의 도심지역에서 변두리지역까지 확대 설치 수림대 조성시 흙을 경계석 상단 5cm 이하로 복토하여 토사유출 방지 도모
지하철역 배수를 이용한 도로 물청소	기존 지하철 역사 및 시공구간에서 발생하는 지하수의 다목적 활용 방안 모색
비포장 도로 관리강화	비포장도로 포장율 향상 나대지와 하천 및 제방독에 표지판 설치를 통한 차량통행 제한 유도
공사장 먼지발생 방지	·월1회 이상 (갈수기 월2회) 지도점검 실시 ·먼지역제시설 설치운영 및 흙먼지발생 여부 확인 ·굴착공사장에 대한 굴착후 토사방지 여부 점검
시민홍보의 지속적 추진	·포스터, 책자 등 발간·배포 ·대기오염 및 공익광고 전광판을 이용한 지속적 홍보 ·TV, 라디오 및 종합유선방송 대담 추진 ·반상회보, 지역신문계재 및 주민설명회 개최 ·동사무소의 자체방송망 및 아파트관리사무소 적극활용

자료: 서울시, 내부자료(2004년).

## 1) 도로변 미세먼지 저감대책의 수립·추진

### 가) 기본방향

비산먼지의 경우 도로·교통부문에 의한 기여도가 가장 높을 뿐만 아니라, 먼지오염에 의한 영향이 직접적으로 도로변 보행인에게 미치기 때문에 도로변 먼지의 청소는 그 만큼 중요한 의미를 가지고 있다. 서울시는 그 동안 인력(환경미화원)을 동원한 청소방법이 대부분을 차지하고 있었으나, 점차 기계화 청소와 같은 효율적인 청소방법을 확대적용하고 있으며, 또한 재비산 방지를 위한 도로설계 등에도 관심을 두고 있다. 특히 자동차 배출 미세먼지, 타이어 마모먼지는 물론 공사장, 비포장 도로, 나대지 등에서 발생하는 비산먼지는 도로에 쌓여서 바람이나 자동차의 통행에 의해 재차 비산하기 때문에 도로 물청소, 도로포장 등의 저감방법이 우선적으로 고려되고 있다.

한편 도로·교통부문에서의 미세먼지 발생을 억제하고, 도로변 오염영향을 저감하기 위한 일반적 방법으로는 첫째, 보다 엄격한 자동차 배출가스 허용기준 적용, 매연여과장치의 부착 등과 같은 배출원 관리, 둘째, 주행거리 감소와 같은 교통수요관리, 셋째, 연료기준의 강화에 의한 배출비중 저감 등을 들 수 있다. 그러나 도로변 미세먼지의 약 77% 수준은 자동차 운행 과정에서 직접·간접적으로 과생되는 것으로 분석되기 때문에, 서울시 미세먼지 저감대책의 우선 순위 선정은 도로변 먼지청소 방법을 보다 적극적으로 검토하여야 한다. 이에 향후 서울시 도로변 미세먼지 저감을 위한 기본방향 설정에 따라 도로변 먼지청소 및 이와 관련된 대책이 중점적으로 마련되어야 함을 의미한다.



<그림 5-4> 프랑스 파리시의 차도·보도간 공간(“**노**”)에 쌓인 먼지저감을 위한 도로변 급수전 활용(왼편)과 보도청소를 위한 소규모 청소차량 이용(오른쪽)

## 나) 추진내용

① 도로청소 강화 : 물청소차의 연차별 확충계획을 수립하여 도로 물청소를 강화하며, 살수량은 현행 2톤/km에서 최소한 2.5톤/km으로 증가하고, 또한 작업거리를 15km/일 이상을 유지하도록 한다. 특히 12m이상 도로의 경우 진공흡입청소차와 물청소차를 함께 투입하여 물청소와 진공청소를 병행 실시하고, 먼지 오염도가 높은 10월~4월 기간동안 중점 가동하도록 한다. 그리고 지하철 배수를 이용한 급수전은 주요 지점별로 충분히 확보하도록 한다.

② 도로굴착공사 중점관리 : 도시가스, 상·하수도 등 다양한 도로굴착공사의 중복시행을 지양하고 동일시기에 실시할 수 있도록 관련 부서와의 사전 협의절차를 제도화한다.

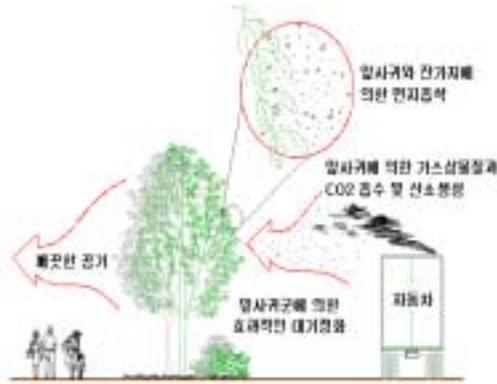
③ 도로 중앙분리 녹지대 경계석 설치방법 개선 : 토사가 도로에 유실되지 않도록 경계석 상단기준 5cm 이하로 복토하고, 연후에 잔디 식재 등을 통해 표면노출 상태를 최대한 억제한다.

④ 비포장도로의 포장율 제고 : 1999년 도로 포장율 93.9%를 2007년까지 96% 수준으로 상향조정하여, 도로운행 과정에서의 미세먼지 발생을 억제하도록 한다.

⑤ 도로변 나대지의 녹화 : 도시지역의 녹지는 대기오염 정화장치로서의 기능을 수행할 수 있다는 연구결과를 최대한 원용하여, 도로변 미세먼지의 발생과 확산에 대처할 수 있도록 도로변 나대지에 나무식재를 고려하도록 한다(<그림 5-5> 참조). 특히 도로변 수목은 잎사귀와 잔가지에 의한 먼지저감의 효과뿐만 아니라, 자동차 배출 가스상 물질과 이산화탄소를 흡수하여 산소를 생성·방출하여 깨끗한 공기를 제공하는 부가적인 효과를 낼 수 있기 때문이다.

## 2) 도로청결 시스템(Roadways Cleaning System)의 체계적 도입

도로청결 시스템(Roadways Cleaning System)의 체계적 도입은 도로에서 발생하는 먼지의 저감, 그리고 발생 후 노변 적치(積置)시 자동차 통행에 의한 재비산 등을 억제함으로써, 도로변 환경개선을 통해 서울하늘의 시정거리 증대와 청정공기 유지를 도모함에 있다. 특히 호흡기 장애 등에 직접적 원인이 되는 미세먼지를 제거하기 위해서는 기본적으로 도로 부문에서 발생하는 미세먼지의 저감대책 수립에 우선 순위를 두어야 하며, 자동차 타이어 마모에서 발생하는 미세먼지와 도로 운행시 도로상 미세먼지의 발생 메커니즘에 대응하기 위해서는 도로살수 및 진공흡입과 같은 도로청결 시스템이 도입되어야 함을 의미한다.<sup>2)</sup>



<그림 5-5> 가로식재에 의한 먼지저감 효과증진

이에 향후 서울시 미세먼지 저감대책의 우선 순위 선정의 당위성을 판단하기 위하여, 현재 도입·운영되는 도로청소용 살수차량(진공흡입 기능포함)의 활용에 의한 미세먼지 저감효과를 다음과 같은 원칙에 의거하여 추정하도록 한다.

첫째, 도로살수 청소차량 운행에 따른 도로상 비산먼지 삭감율은 일반적으로 90% 수준이며, 도로표면의 미세먼지 배출계수가  $0.1\text{g}/\text{m}^2$ (도로표면 Silt 부하량)에서  $0.01\text{g}/\text{m}^2$ 으로 전환됨을 가정한다.

둘째, 도로청소차량에 의해 제거되는 미세먼지의 저감대상은 타이어 마모와 도로상 차륜에 의해 이차적으로 발생하는 미세먼지를 중심으로 분석하도록 한다.

셋째, 현재 살수청소차량 장비의 기본적인 가동능력(1일 청소가능 능력: 약 20km)을 고려하면 서울시 총 도로연장 7,973km(2002년 기준)의 경우 총 399대의 살수차량이 매일 활용되어야 하고, 매년 50km씩 도로연장이 확대될 경우 2005년의 도로연장 8,137km 및 2010년의 도로연장 8,387km 수준에서는 각각 814대, 838대의 살수 청소차량이 필요함을 의미한다. 이 경우 2002년 현재 서울시가 보유하고 있는 살수 청소차량 144대에서 2005년 670대, 2010년 694대 정도의 살수·진공 청소차량의 추가 도입이 필요함을 대변한다.

2) 도로청결시스템(Roadways Cleaning System)의 도입은 서울시 도로운영 과정에서 배출되는 미세먼지 비중이 약 77% 내외를 차지하고 있음을 감안하여 첫째, 도로 물청소와 진공청소를 병행 추진할 수 있는 청소장비의 가동, 둘째, 청소용수 공급을 위한 주요 거점별 급수전의 확보, 셋째, 보·차도 공간에 쌓이는 먼지를 일정 시간 간격으로 물청소 할 수 있는 도로변 급수전 활용(<그림 5-2> 참조) 등이 전제되어야 할 것임.

<표 5-22> 도로살수차량 도입·운영에 의한 미세먼지 저감효과 (단위: 톤/년)

구 분		2002년	2003년
살수차량1)	대	144	164
도로연장	km	7,973	7,988
저감효율	%(년)	11.2	12.7
저감량	PM10(톤/년)	3,674	4,312

주 : 도로살수차량 운영으로 인한 비산먼지 저감효율의 산정시 운행일수는 최대 250일/년 기준을 적용하여, (삭감율)\*(총배출량)\*(살수차량 총처리능력/총연장)\*(250/365) 산정공식에 의해 저감효과를 산출함.

도로변 미세먼지 저감 특화전략 수립의 일환으로 고려될 수 있는 도로청결시스템(Roadways Cleaning System) 도입에 의한 미세먼지 저감효율은 2002년 도로교통부문에서의 발생량(타이어 마모 및 차량운행으로 인한 재비산 먼지) 25,990톤의 약 11.2% 수준인 것으로 추정 분석되었다. 또한 2003년의 경우에는 최대 12.7% 정도 저감효과가 있는 것으로 추정되어, 도로변 환경개선의 주된 기능을 담당할 수 있음을 시사하고 있다.

이와 같은 도로청결 시스템은 여타 자동차 배출허용기준 강화, 매연여과장치 부착, 교통수요관리, 그리고 연료품질 개선 등과 연계되면, 향후 서울시 도로변 미세먼지 관리에의 전환점이 될 수 있을 것이다.

### 3) 공사장·사업장 먼지저감 대책

비산먼지를 발생하는 공사장 중 연면적이 10,000㎡이상의 건물건설공사장이나 토목공사장 등 대형 공사장에 대하여는 먼지발생을 억제하기 위한 엄격한 기준을 적용하여, 강화된 먼지발생억제 시설을 설치 운영토록 하고, 월 1회 이상 지도점검을 실시하여 이행여부를 확인하고 있다.

기타 공사장에 대하여도 관리를 강화하고, 각종 공사설계 및 허가 시설 공사 시방서에 먼지저감을 위한 세부이행 사항을 명시하여 시공토록 함으로써 공사장에서 발생하는 먼지를 억제하고 있다. 또한, 레미콘 등 먼지다량 배출사업장에 대하여는 야적물질 보관을 위한 밀폐시설과 배기 부위에 집진 시설을 설치토록 하고, 연 2회 이상 환경오염도 검사를 실시하여 인근지역의 먼지오염 영향을 최소화하고 있다. 향후 공사장 먼지 오염관리의 효율성을 더욱

제고하기 위한 방편으로 공사단계별 먼지 저감 이행 계획서를 공사 시방서와 별도로 작성하게 유도하고 이에 따라 공사 단계별 세부 미세먼지 오염관리가 이루어지도록 유도하는 것이 바람직하다.

<표 5-23> 서울시 비산먼지 배출사업장 현황 (단위 : 업소수)

계	건설업	비금속 물질가공업	시멘트 관련업	제1차 금속 제조업	저탄시설
2,763	2,685	53	23	1	1

자료 : 서울시, 「서울의 환경」(2003년)

#### 4) 생활주변 먼지 저감

도로와 공사장의 나대지 등 생활주변에 산재되어 있는 먼지를 줄이기 위하여 쓰레기 적환장을 단계적으로 현대화하고 물청소를 강화하도록 한다. 공터와 나대지에 꽃이나 나무심기를 추진하고, 학교운동장에 잔디 및 나무를 심어 녹지량을 증대시킨다. 매월 하루를 우리 동네 깨끗이 하는 날로 운영하여 건물옥상의 잔재물과 집앞 공터에 방치된 토사를 정리토록 하며, 자치구별로 재개발 공사장 등 특별관리 공사장이 밀집된 지역을 특별관리지역으로 지정 한 후 환경순찰을 강화하여 먼지발생을 억제하는 등 생활 주변의 먼지발생 억제를 위하여 다각적인 대책을 지속적으로 추진하여야 한다.

### 3. 미세먼지 저감 실천전략 점검표 작성과 활용

#### 1) 자동차 배출가스 먼지저감 대책

##### 가) 기본방향

자동차에 의한 먼지 오염도는 전체 미세먼지 발생량의 77%를 차지하고 있어 자동차 먼지 대책이 시급한 실정이다. 그 중에서도 경유사용 버스와 화물차가 대부분을 차지하고 있어 이에 대한 방안이 절대적으로 필요하다. 따라서 먼지를 저감하기 위해서는 경유사용 대형차를 저공해 연료사용차량으로 대체하고, 제작차의 배출허용강화, 매연단속 강화 등을 추진한다.

## 나) 추진내용

### ① 경유사용 시내버스를 모두 저공해 시내버스(CNG)로 대체

2007년까지 전 시내버스를 저공해 시내버스로 대체하며, 이를 위해 초기단계 버스도입 및 충전소 설치비용의 용자 및 보조지원을 한다.

<표 5-24> 천연가스 자동차의 오염물질 저감효과

항목	CO	HC	NOX	PM
경유 → CNG 저감효과	59%	84%	63%	100%

자료 : 환경부 제공, 1999.

### ② 제작차 배출허용기준 강화

현재의 기준(2002년 기준 EURO-III 수준)보다 중형 경유차는 31%, 대형 경유차는 41% 강화된 유럽의 EURO-IV(유럽에서 2005년 시행예정)수준의 자동차를 2006년 이후 보급하며, 2010년 이후에는 2006년 기준대비 50% 강화된 배출허용기준을 적용한다.

<표 5-25> 제작차 배출허용기준강화에 따른 대기오염물질 저감율

항목	CO	HC	NOX	PM
EURO-III → EURO-IV	47~21%	30~13%	67~30%	80~40%

자료 : 수도권대기질개선특별법 2003.12.

### ③ 자동차 배출가스 검사강화 및 중간검사체제 구축

2006년부터 차령 4년 이상인 자가용 승용차, 차령 3년 이상인 비사업용 기타차량, 차령 2년 이상인 사업용 승용차, 차령 2년 이상인 사업용 기타차량으로 확대하여 정밀 배출가스 검사를 실시한다. 또한 2007년 이후에는 5.5톤 이상의 대형차까지 부하검사 방법을 확대·실시한다.

<표 5-26> 운행차 검사 계획

구분		2003년 12월 31일까지	2004년 1월 1일부터 2005년 12월 31일까지	2006년 1월 1일부터
비사업용	승용차	차령 12년 경과된 자동차	차령 7년 경과된 자동차	차령 4년 경과된 자동차
	기타	차령 7년 경과된 자동차	차령 5년 경과된 자동차	차령 3년 경과된 자동차
사업용	승용차	차령 3년 경과된 자동차	차령 2년 경과된 자동차	차령 2년 경과된 자동차
	기타	차령 4년 경과된 자동차	차령 3년 경과된 자동차	차령 2년 경과된 자동차

자료 : 수도권대기질개선특별법 2003.12.

<표 5-27> 차종별 배기가스 감소량

구분		승용차	승합차	화물차	평균
매연	검사 전	36.32	32.86	30.98	31.86
	검사 후	25.98	25.25	24.35	24.70
	감소율(%)	28.5	23.2	21.4	22.5

자료 : 교통안전공단, 『자동차검사제도의 비용·효과분석』, 1999.

#### ④ 오염물질 과다 배출 노후자동차 폐차유도

노후차량은 연료 소비량이 많고 출력이 낮아 오염배출량이 많으면서도 차량의 운행이 많아 대기오염의 주된 유발요인으로 인식되고 있다. 노후자동차(2007년 기준)는 신규자동차에 비해 NO<sub>x</sub> 3배(화물 중형), PM<sub>10</sub> 8배(승합 중형), HC 9배(승용차)를 더 많이 배출되는 것으로 보고되고 있다. 이에 정기검사 불합격 차량, 특정자동차 중 정비, 차량개조, 배출가스저감장치부착 등을 통하여도 기준 준수가 어렵거나, 정비비용이 과다하게 소요되는 자동차에 대하여 조기폐차를 유도한다.

<표 5-28> 차령별 오염물질 배출계수 비교

구 분		CO	HC	NOx	PM
디젤 소형버스	88년 이후	1.38	0.13	1.24	0.33
	87년 이전	1.84	0.20	1.71	0.42
디젤 소형트럭	88년 이후	1.49	0.15	1.26	0.35
	87년 이전	2.61	0.24	1.78	0.50
중형 버스, 트럭 (1~3 ton)	88년 이후	2.27	1.02	1.79	0.74
	87년 이전	2.67	1.20	2.11	0.79
대형 버스 (26인 이상)	88년 이후	13.41	2.15	14.26	2.27
	87년 이전	19.78	2.41	16.40	2.47
대형 트럭 (3 ton이상)	88년 이후	16.35	2.30	14.80	2.35
	87년 이전	21.19	2.56	15.87	2.72

자료 : 환경부(1999년)..

⑤ 경유차 배출가스 저감장치(DPF) 부착

차량 총 중량이 3.5톤 이상의 중대형버스 및 화물자동차에 부착하며, 2007년 이후에는 소형자동차에도 DPF를 부착한다. 1999년 이전 생산된 자동차로서 2005년에 차령이 6~10년 인 자동차(95년~99년 판매)는 80% DPF 부착을 목표로 한다.

또한 2000년 이후에 생산된 자동차로서 2006년 이후에 차령이 6년인 자동차(2000 연식)는 80% DPF부착을 목표로 하며, 2010년 이후에 차령이 6년인 자동차(2003 연식) 30%에 DPF를 부착한다(수도권 대기질 개선 특별대책, 2002.12).

<표 5-29> DPF 부착시 오염물질 저감률

항목	CO	HC	NOX	PM
매연여과장치 부착	-	-	-	80%

⑥ 청정 연료차 의무판매제

저공해자동차 구입 의무자는 대통령령이 정하는 정부기관 및 공공기관으로 하며, 자동차 10대 이상 보유한 기관은 제1종 저공해자동차로 환산하여 20% 이상을 의무적으로 구매하여야 한다(수도권 대기질 개선 특별법 2003.12.).

## 2) 녹색자동차 인증마크 부착

자동차 배출가스 배출허용기준을 만족하는 운행차를 대상으로 환경성 충족을 의미하는 녹색자동차 인증마크를 부여하여 차량 앞 유리에 부착하도록 한다. 인증서 미부착 차량에 대하여는 수시검사를 확대실시하여 오염물질 초과배출 자동차의 상시 관리할 수 있는 효과를 가져올 수 있다. 또한 과적화물차량의 운행검사지점에서 배출가스 검사를 병행 실시한다.

<표 5-30> 녹색자동차 인증마크 부착

구분	내용
기본개념	<ul style="list-style-type: none"> <li>●녹색교통인증 발급 : 자동차 배출가스 배출허용기준을 만족하는 운행차를 대상으로 환경성 충족의미의 녹색교통 인증 부여</li> <li>●녹색교통인증 미취득 미부착 차량의 수시검사 확대</li> <li>●자동차 유발 오염물질의 배출저감을 위한 자동차 검사 및 유지관리</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>●녹색교통인증을 취득을 위한 시민의 자동차 유지관리(I/M) 생활화 계기제공</li> <li>●자동차 배출가스 20%~30% 저감효과</li> <li>●과징금 부과에 의한 대기환경 개선 재원충당</li> </ul>
녹색인증마크 (예)	 

## 3) 교통수요 관리대책

### ① 저배출 지역(Low Emission Zone) 지정

집중적으로 자동차 배출가스 저감대책을 실시할 수 있는 지역을 지정하여 관리하며, 적용 지역은 서울의 내부 순환도로과 같은 비교적 넓은 지역을 지정하여 대기오염개선효과를 기대할 수 있어야 한다. 대상 자동차는 차량 총 중량 3.5톤 이상의 중대형 버스 및 화물자동차를 대상으로 하고 경유를 연료로 사용하는 RV, 소형승합차 및 소형화물 자동차의 포함 여부 대기오염 개선효과 등을 신중히 검토하여 포함시켜야 하며, 포함시 대상자동차의 감시 등 비용 효과측면을 충분히 검토하는 것이 필요하다.

## ② 교통혼잡세(Traffic Congestion Charging) 부과

교통혼잡지역 지정은 강북 도심 등 교통혼잡으로 인한 대기오염이 심한 지역을 교통혼잡 지역으로 지정할 수 있으며, 넓은 지역을 지정하는 것보다 좁은 지역을 여러 곳 지정하는 것이 효과적이다. 교통혼잡지역 지정시 고려할 사항으로는 교통혼잡지역 지정으로 인하여 주변지역의 교통혼잡 야기를 최소화, 교통혼잡지역 내에서 필요한 용무를 보기 위하여 통행하는 자동차의 통행량을 감소하기 위한 수단으로 지정, 지역의 특성상 우회통행에 의한 주변지역의 정체가 가중시 통과교통 인정하는 방안이 검토되어야 한다.

## ③ 대중교통 기반확충

버스, 전철, 자가용 등 다수단 환승을 위한 환승센터 및 환승 주차장 도입으로 환승 수요제고하고 서울시 외곽경계지역에 환승센터 및 환승 주차장을 확충하며 서울시의 주요 경계 지역 등에 종합 환승센터를 설치할 필요가 있다. 전철의 수송 분담율을 현재 23.6%에서 2020년에는 40%까지 제고(제2차 광역교통 5개년 계획)할 수 있도록 수도권 주요도시를 전철로 연결하고 수도권 광역 전철을 확충하는 것이 바람직하다. 장거리 이용자가 급행열차를 이용하여 통행시간을 절감할 수 있도록 대피선 설치 등 시설 개량 및 차량의 수송능력 확대를 통해 이용자의 편의를 제고하는 것도 중요하며, 도보와 자전거의 이용촉진을 위한 시설을 정비하는 것도 필요하다.

## ④ 기업체 교통수요관리 강화

차량보조비 지급시 부담을 할증하고, 교통유발 부담금 대상지역을 확대해야 한다. 교통유발 부담금의 부과대상이 되는 시설물은 상주인구 10만 이상의 도시 안에 있는 시설물로 하며, 상주인구 10만~30만 미만인 도시 안에 있는 시설물에 대하여는 당해 시장이 도지사의 승인을 얻은 경우에 부담금을 부과할 수 있다(도시교통정비촉진법 시행령 33조 참조). 교통량 감축대상 상향조정 또는 경감률을 확대하고, 직장군이 형성된 곳을 중심으로 통근버스 공동 운영, 카풀주소록 공동관리, 업무차량 공동배차 등 기업체 공동 교통 프로그램을 운영방안도 검토되어야 한다. 수도권 카풀 정보센터 운영을 통해 정보교환 및 밴풀을 활성화한다.

#### ⑤ 주차수요관리

대중교통접근이 우수한 지역의 부설주차장 설치기준 완화 또는 최소설치 기준을 폐지하고, 주차공간 억제율을 현재의 일반지역대비 50%에서 최대 70%까지로 대폭 강화하고 대상지역도 신 부도심, 상업업무지역, 도심형 뉴타운 지역, 지역중심 지역 등으로 확대, 추가 지정할 필요가 있다, 또한 거주자 우선주차제를 확대 적용하여 불필요한 승용차의 이용을 억제하고 교통수요를 저감시켜 대중교통 이용을 유도하는 방안이 검토될 필요가 있다.

#### ⑥ 자전거 이용을 제고

자전거 이용을 활성화하기 위해서는 무엇보다도 자전거 도로 및 보관시설의 확충이 필수적이다. 또한 도심 자전거 도로 연계체계가 구축되어야 하며 지하철 환승을 위한 자전거 이용 활성화 대책이 추진되어야 한다. 특히 역주변 자전거 도로망, 자전거 보관소, 횡단도 설치, 역주변 안내체계, 역 접근 자전거 동선의 개선, 주변지역 도로에서의 주차규제 등의 검토될 필요가 있다. 그리고 역중심 렌탈 자전거 시스템 도입과 안내지도 발간 등이 추진되어야 하며, 자전거 도로의 재포장, 턱낮추기, 표지판 설치, 지장물 이설 등이 필요하다.

#### 4) 건설기계 배출가스 규제대상 확대 및 단계적 기준강화

국내 비도로 오염원 규제는 건설기계 중 덤프트럭, 콘크리트 믹서트럭 및 콘크리트 펌프트럭 등 3종의 건설기계만 규제해오다 2004년부터 국내 등록대수 1,000대 이상인 건설기계 중 자주식으로 운행 가능한 7종(불도저, 굴삭기, 로우더, 지게차, 기중기, 모터그레이더, 로울러)을 대상으로 엔진출력 19~560kw의 건설기계에 대한 배출규제를 시작하였다. 이러한 건설기계 7종의 배출규제 시기는 1단계로서 2004년 1월부터 미국 Tier- I 수준으로 규제를 시작하고, 2단계 규제는 1단계보다 강화된 미국 Tier- II 수준으로써 2005년부터 2007년까지 출력별로 단계적인 배출규제를 실시토록 하고있다(수도권 대기질 개선특별법 2003.12.).

<표 5-31> 건설기계 배출가스 규제에 따른 대기오염물질 저감량

항목	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM
저감율	30~9%	39~21%	39~21%	63~25%

## 5) 면오염원 관리대책

### ① 민수용 무연탄의 청정연료 전환

청정연료사용 의무화 대상시설(청정연료 등의 사용에 관한 고시 제 13조)은 중앙집중난방 방식의 별표6에서 정한 규모 이상의 공동주택, 집단에너지사업법 제2조의 규정에 의한 집단 에너지 공급시설 중 지역난방시설, 보일러 시설용량합계로서 시간당 증발량이 0.2톤 이상인 업무용 보일러, 발전시설 등이다. 민수용 무연탄을 난방용인 도시가스로 전환하여 대기오염 물질 배출량을 삭감한다. 대안의 적용비율은 해당시설의 100%로 가정한다. 민수용 무연탄 연료사용량을 1이라고 가정할 때, 동일열량을 생산하기 위한 각 연료별 연료사용량을 산정한 후 각 연료별 사용량과 배출계수를 곱하여 연료별 배출계수를 산정한다.

<표 5-32> 민수용 무연탄 및 LNG 배출계수 (kg/4,600Kcal)

구분	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	VOC
민수용무연탄	1,300	10,300	0.402	0.040
LNG	1,148	0.0004	0.013	0.013

주 : 1) 민수용 무연탄을 단위기준으로 하였을 경우를 가정하여 산정

2) CAPSS 자료전환, 보일러 등유의 황함유량을 0.1%로 가정

### ② 소각시설 관리 및 소형 소각시설 폐쇄유도

대기환경보전법 규정에 의한 배출허용기준보다 강화된 기준을 설정하여 오염물질 관리가 어려운 소형 소각시설을 폐쇄하고, 중형소각시설에 대하여 방지시설을 설치하도록 한다.

<표 5-33> 방지시설별 효율

구분	SCR(NO <sub>x</sub> )	배연탈황시설(SO <sub>x</sub> )	여과집진시설(PM)
제거효율	70%	80%	90%

자료 : 「대기오염물질 배출사업장 중 산정방법 변경에 따른 업무처리지침」

별표4. 대기오염방지시설의 오염물질 제거효율, 2004.2

### ③ 무단 소각행위에 대한 감시 및 신고체계 강화

각종 공사장 및 도시외곽 무허가 업체에서 반발하는 불법 노천소각행위에 대하여 민관이 합동으로 참여하는 감시체계를 구축한다.

## 6) 사업장 오염물질 총량관리 및 배출권 거래제 실시

SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, 먼지에 대하여 총량관리를 2004년 시범사업 실시 후 2005년부터 본격적으로 실시한다. 지역별로 할당된 배출허용총량 범위 내에서 대상 사업장(대규모 배출시설)에서 배출되는 오염물질을 총량으로 관리하며, 대상 사업장 이외의 사업장에 대해서는 기존의 대기 환경 보전법상의 규제기준을 적용한다. 삭감 목표량 할당방법은 초기 배출량(2000년 기준)을 기준으로 5년 후의 배출량을 할당하고, 이를 허가조건으로 부여하며, 오염물질 저감기술의 발전정도, 배출량 삭감노력 등을 고려하여 매 5년마다 허가를 갱신하고 배출량을 할당한다. 또한 총량 초과 시 초과배출량에 대해 총량초과 부과금 부과징수 및 할당된 배출허용 총량 범위 이내로 오염물질을 줄일 수 없다고 인정되는 경우에는 배출시설의 설치허가 또는 변경 허가를 취소한다.

배출권 거래제도는 총량규제 대상 사업자간에 할당된 배출허용총량 중 일정 범위내의 배출량을 거래할 수 있는 권리를 말하며, 배출권의 효력은 1년으로 하고 당해 사용되지 않은 배출권은 일정한 범위 내에서 다음연도 사용을 위해 예약이 가능하다. 또한 배출권 이전은 관련 당사자가 서명한 문서를 환경부 장관에게 제출하여 등록한 후 효력이 인정된다. 배출권 거래 참여 대상자는 총량관리 대상 사업자 및 배출시설에 대한 허가를 신청하고, 환경부 장관으로부터 배출량을 할당받아 총량관리 대상 사업자에 대한 의무사항을 이행한 사업자이며, 대기순환의 방향성, 지역 배출허용총량 등 대기환경영향 권역을 고려하여 오염이 심한 지역으로의 배출권의 거래는 제한한다.

## 7) 법적·제도적 실효성 증진방안

서울시 미세먼지 배출량을 총괄적으로 저감하고, 또한 미세먼지 오염에 의한 건강영향 정도를 최소화하기 위해서는 다음과 같은 법적·제도적 실효성 증진대안이 필요하다

첫째, 생활주변 먼지 발생원 및 도로변 비산먼지 관리의 체계적·종합적 관리를 제도적으로 확보할 뿐만 아니라 먼지저감대책의 일관성 유지를 위한 장치로서 서울시 먼지저감 조례 제정과 운용이 바람직하다.

둘째, 개인 승용차 운행을 실천협약을 통해 억제하고, 대중교통이용을 우선하는 교통수단 선택 시민행동을 총괄하는 Travel Blending 제도의 활용을 적극적으로 고려하여야 한다. 현재 「서울의제 21」의 수정 작업이 활발하게 진행되고 있음을 감안하면, Travel

Blending 제도의 도입이 적극 검토될 수 있다. 즉, 서울시 자동차 배출가스 저감 및 대기환경 개선에 관심과 열정을 가진 시민의 자발적 참여를 조직화하고, 참여 시민 스스로 승용차 통행의존도를 자제하는 자율협약을 맺으며, 이에 따라 행동을 통해 자동차 통행수요 저감 및 대중교통 수단으로의 이용전환에 의해 자동차 유발 미세먼지 배출을 저감하는 효과가 나타나게 된다. 이에 2005년 이후부터 서울시에서는 서울의제 21 목표를 달성하기 위하여 시민 환경 실천단을 구성·운영할 예정이다. 이에 이미 외국에서 시행하고 있는 자동차 주행거리 감축(21%), 교통량 감축(23%) 효과를 나타내는 Travel Blending 제도를 신중하게 검토하는 것이 필요하다.

<표 5-34> 미세먼지 저감 실천전략 점검표

실천전략	내용
자동차 배출가스 저감대책	·경유사용 시내버스를 모두 저공해 시내버스(CNG)로 대체 ·제작차 배출허용기준 강화 ·자동차 배출가스 검사강화 및 중간검사체제 구축 ·오염물질 과다배출 노후 자동차 폐차 유도 ·경유차 배출가스 저감장치(DPF) 부착 ·청정 연료차 의무판매제
녹색 자동차 인증마크 부착	·녹색교통 인증 발급 ·녹색교통 인증 미취득·미부착 차량의 수시검사 확대 ·자동차 유발 오염물질의 배출저감을 위한 자동차 검사 및 유지관리
교통수요 관리대책	·저배출 지역(Low Emission Zone) 지정 ·교통 혼잡세 부과 ·대중교통 기반확충 ·기업체 교통수요관리 강화 ·주차수요관리 ·자전거 이용을 제고
건설기계 배출규제 대상 확대 및 단계적 기준강화	·등록대수 1,000대 이상의 건설장비를 대상으로 엔진출력 19~550kW의 건설기계에 대한 배출규제 실시 ·2004년 1월부터 미국 Tier- I 수준, 2005년~2007년 Tier- II 수준
면오염원 관리대책	·민수용 무연탄의 청정연료 전환 ·소각시설관리 및 소각시설 폐쇄유도 ·무단 소각행위에 대한 감시 및 신고체계 강화
사업장 오염물질 총량관리 및 배출권 거래제 실시	·대규모 배출시설에 대하여 오염물질 총량관리를 실시 ·삭감목표량은 오염저감기술 발전정도, 배출량 삭감노력 등을 고려하여 5년마다 갱신

한편 서울시 미세먼지 배출량 산정결과를 바탕으로 교통부분 중심으로 실천전략을 추진할 경우, 교통부분 중심의 미세먼지 배출량 저감효과는 최대 73%의 저감효율을 나타내는 것으로 분석된다(〈표 5-35〉 참조).

비록 교통부분 중심의 특화된 실천전략의 추진으로 자동차 배출 미세먼지를 어느 정도 효과적으로 저감하는 것으로 나타났으나, 앞서 2010년 서울시 미세먼지 배출량 대비 50% 삭감 시나리오에서 달성하고자 하는 서울시 미세먼지 오염 목표수치인 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  달성에는 다소 미흡한 것으로 추정된다. 이에 서울시 미세먼지 목표오염도를 달성하기 위해서는 〈표 5-34〉에 제시된 다양한 유형의 미세먼지 저감 실천전략이 종합적으로 추진되어야 할 뿐만 아니라, 서울시 외부유입 오염영향인 인근 자체단체 발생 먼지 배출량, 그리고 장거리 이동 오염물질 영향 등과 같은 배경농도 삭감이 또한 필요한 것으로 판단된다.

<표 5-35> 자동차에 의한 미세먼지 저감대책

구분		2002년	2007년	2010년
현기준 유지시 배출량(톤/년)		4,889.2	4,441.7	4,749.1
목표삭감량(A)		-	1,332.7	2,372.5
교통	CNG버스 보급	-	292.0	254.7
	제작차 배출허용기준 강화	-	563.5	1,121.5
	중간검사체제 구축	-	34.1	36.9
	노후자동차 폐차	-	38.6	41.9
	DPF부착	-	255.6	276.5
달성가능 삭감량(B)		-	1,183.8	1,731.5
삭감효율(B/A)		-	0.89	0.73

주 : 1) CNG 버스보급 : 2007년까지 시내버스 전체를 CNG 버스로 교체

2) 제작차 허용기준 강화 : 2006년 기준 EUROVI 기준채택  
2010년 기준 EUROV 기준채택

3) 정밀검사체제 구축 : 정밀검사에 의한 PM 저감율 10%

4) 노후 자동차 폐차 : 10년 이상 차량의 20% 조기폐차 유도

5) DPF 부착 : 2006년부터 8~10년 차량의 80%에 DPF 부착

## 제 4 절 미세먼지 예·경보제도의 도입

### 1. 미세먼지 예·경보제도의 개요

일반적으로 환경관리 분야에서의 주요 대기오염물질을 대기환경 기준이라는 목표치를 설정하고, 이를 달성하고자 정량적인 수치 이하로 대기 중 오염물질 농도를 유지시키려고 노력하고 있다. 그러나 이러한 방법은 전문가가 아닌 일반인에게는 오염도가 어느 정도인지 쉽게 알게 하기가 어렵다. 때문에 대기오염의 위해성을 일반인들이 충분히 인식할 수 있도록 하기 위해 오염물질의 수치는 일반인이 이해할 수 있는 형태로 전달되어야 한다.

최근 들어 황사, 시정장애, 광화학 옥시던트 등 미세먼지와 관련된 대기오염이 급속도로 심해지고 있으며, 이에 대한 피해도 심장질환, 폐질환 등 위해성의 정도가 우려할 만한 수준까지 심각해지고 있다. 또한 미세먼지를 비롯한 대기오염물질의 노출에 의한 피해는 광범위한 지역에 나타나기 때문에 방지시설 등의 제어가 쉽지 않으며, 지금까지 최선의 방법은 외출을 삼가는 등의 오염물질에 대한 노출을 사전에 방지하는 방법밖에 없는 것으로 알려져 있다, 따라서 대기오염에 대한 노출을 사전에 막고 이에 대한 대처를 하기 위해서는 단순한 미세먼지 농도 측정에만 그치지 않고 예보 및 경보시스템 체제를 가동해야 할 필요성이 대두되고 있다.

미세먼지 예보제도는 미세먼지의 농도를 일정한 식을 통하여 하나의 점수로 나타낸 후 이를 미리 정해둔 위해도 등급에 맞추어 해당점수가 포함되는 등급을 선택하여 일반인에게 공포하는 제도이다. 이미 미국을 비롯한 여러 선진국에서 통계모형을 기본으로 한 미세먼지 예보제를 시행하여 국민에게 미세먼지에 대한 정보를 기상예보와 동등한 수준으로 제공함으로써 국민들이 일상생활에서 활용하도록 하고 있다, 특히 미세먼지에 취약한 그룹인 노인, 어린이, 또는 기관지 환자들이 미세먼지 오염도 예보 정보를 적극적으로 그들의 생활양식에 활용하고 있다.

## 2. 미세먼지 예보제도의 해외사례

### 1) 미국

미국 환경청은 수 년전부터 AirNow라는 시스템을 통해서 미국 전역에서 측정되는 오염도 자료를 Internet을 통해서 실시간적으로 공개해 왔고, 2003년 10월 1일부터 오존 및 미세먼지(주로 PM2.5)를 대기질 지표인 AQI(Air Quality Index)를 이용하여 44개주 275개 도시를 대상으로 예보를 시행하고 있다(<http://www.epa.gov/airnow>).

예보작업은 각 주와 지방청의 대기질 전문가 및 기상 전문가 등에 의해 이루어지며 대기질 모델, 기상자료 등을 사용하여 미세먼지의 오염도를 하루전에 예보로써 공개하며, 공개방법은 대기질 지수를 이용하여 주지방정부 대기 담당국 웹사이트, 지역방송의 일기예보 및 일간지 등의 일기예보면 등을 활용하고 있다.

대기질 지수(AQI)는 건강을 위협하는 수준에 따라 정상, 보통, 민감한 사람에게 해로움, 일반인에 해로움, 매우 해로움, 위험의 6단계로 구분해 권고조치를 내리고 있다.

<표 5-36> 미국 환경청의 AQI 기준

Air Quality Index Values	PM2.5 Levels ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM10 Levels ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Air Quality Descriptions
0 ~ 50	0 ~ 15.4	0 ~ 54	Good
51 ~ 100	15.5 ~ 40.4	55 ~ 154	Moderate
101 ~ 150	40.5 ~ 65.4	155 ~ 254	Unhealthy for Sensitive Groups
151 ~ 200	65.5 ~ 150.4	255 ~ 354	Unhealthy
201 ~ 300	150.5 ~ 250.4	355 ~ 424	Very Unhealthy
>300	250.5 ~ 500.4	425 ~ 604	Hazardous

미국의 대기정보 공개시스템은 연방과 주정부의 역할이 구분되어있다. 중앙정부는 지방 정부로부터 데이터를 수집하되 중요항목(오존, 미세먼지)의 지수화 방식 공개와 예보에 중점을 두는 반면 주정부는 지역적인 상황을 고려한 항목수집 및 실시간 공개를 실행하고 있다. 미국 공개시스템의 또 다른 특징은 예보결과를 적극적으로 알리기 위해 TV 또는 신문매체 등 다양한 방법을 통하여 직접 알려주어 환경에 관심을 가지고 있는 여러 민간단체들이 공동으로 참여하도록 유도하고 있다.

## 2) 영국

영국의 대기정보 공개시스템은 중앙에서 집중 관리하고 있으며, 전국을 16개 권역으로 나누어 각 권역마다 3개의 그룹으로(① 도심 또는 도로변 지역 ② 도심주변지역 ③ 교외지역) 측정값을 구분하고 있다. 시스템의 운영은 민간기업에 위탁하여 관리하고 있다.

공개방식은 수치와 지수를 병행하고 있고, 예·경보는 각각의 항목에 대한 예보가 아닌 전체적 대기질을 등급화하여 매일 오후 4시에 그 다음날의 예보를 공개하고 고농도 예보시엔 수시로 업데이트 하도록 하고 있다. 현재 대기질 및 예보를 위한 오염지수는 낮음, 중간, 높음, 매우 높음 4개 그룹이며, 수치로써 1~3은 낮음, 4~6은 중간, 7~9는 높음, 10은 매우 높음을 나타낸다. 오염지수별 각 항목의 농도는 다음과 같다.

<표 5-37> 영국의 대기오염물질 등급

Band	Index	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	PM10
		1시간 평균	15분 평균	8시간 평균	24시간 평균
		ppb	ppb	ppm	µg/m <sup>3</sup>
LOW	1	0-40	0-32	0.0-3.2	0-16
	2	50-99	33-66	3.3-6.6	17-32
	3	100-149	67-99	6.7-9.9	33-49
Moderate	4	150-199	100-132	10.0-11.5	50-57
	5	200-249	133-166	11.6-13.2	58-66
	6	250-299	167-199	13.3-14.9	67-74
High	7	300-332	200-266	15.0-16.5	75-82
	8	333-366	267-332	16.6-18.2	83-91
	9	367-399	333-399	18.3-19.9	91-99
Very High	10	>400	>400	>20	>100

지역(우리나라의 도단위)을 도로변 부근, 도시, 외곽지역의 세 그룹으로 나누고 예보지수를 발령한다. 예보는 AEAT사와 기상청의 대기질 전문가팀에 의해 작성된다. 예보를 위한 대기질 모델링은 Trajectory Ozone model, NAME model, Box model, 통계모형을 사용하며, 특히 PM10은 NAME model을 이용하여 예보한다. 일반항목 측정자료와 기상, 배출원 정보 등을 이용한다. 매일 오후에 24시간 예보를 발령하며, 예보지수가 높음(index 7) 이상인 경우에는 추이를 계속 살피면서, 변동사항에 대해 수시 업데이트하며, 제공방법은 인터넷, TV, 텔레텍스트를 활용하고 있다.

### 3) 일본

일본의 시스템도 중앙에서 집중관리하고 있으며, 전국을 47개 지역으로 나누어 각 측정소별로 측정값을 수치 또는 색깔 등급방식으로 공개하고 있다. 측정자료는 기상협회를 경유하여 공개시스템으로 수집되어 옥시던트와 화산가스 중 황화합물 농도에 대한 주의보경보 시스템을 운영하고 있다. 미세먼지에 대해서는 다른 오염물질과 마찬가지로 측정소별로 현황농도를 지도위에 표현하는 방식으로 관리하고 있다.

### 4) 노르웨이

노르웨이 오슬로(Oslo)시는 미세먼지 오염도는 여타 도시와 비교하여 높은 수준은 아니나, 미세먼지 오염에 대한 저감대책 추진에 매우 적극적인 자세를 취하고 있다. 예를 들면, 익일의 미세먼지 오염농도가  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24시간 기준), 이산화질소 오염농도가  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1시간 기준)을 초과하는 것으로 예측되면, 자동차 통행제한과 같은 매우 엄격한 제한조치를 취하고 있다. 미세먼지 오염농도를 저감하기 위해 주요 간선도로를 대상으로 자동차 통행수요의 17% 저감효과에 버금가는 자동차 통행속도(50km/h) 제한조치를 내리게 된다. 이와 함께, 이산화질소 배출량을 삭감하기 위해 삼원촉매장치 미부착 차량에 대해서도 통행제한 조치를 취하고 있다.

### 3. 국내 미세먼지 예보시스템

국내의 미세먼지 예보시스템은 2003년 3월에 환경부에 설치되어 1년 동안의 시험운영을 마치고 수도권 대상으로 시범사업을 계획 중이다. 그 내용을 간략히 소개하면 다음과 같다.

미세먼지 예보시스템은 국내의 연구자료를 바탕으로 하여 통계적 기법인 신경망 모델과 회귀모델을 이용하여 환경부로 수신되어지는 대기오염도 자료와 기상자료를 On-Line으로 입력받아 미세먼지 농도 및 대기오염도 지수를 예보하는 시스템이다. 미세먼지를 예보하는 권역은 크게 서울, 인천, 경기 지역과 세 지역을 통합한 수도권 지역으로 4개 권역을 대상으로 예보를 실시하도록 설계되었다.

미세먼지 예보시스템은 대기오염도 자료와 기상자료의 수신, 대기오염도 자료와 기상자료의 입력 자료통계, 미세먼지 예보모델인 신경망 모델과 회귀모델을 수행, 그리고 예보결과를 표출하는 4단계로 나누어 구성되어있다. 대기오염도 자료 중 미세먼지 예보시스템에 사용되는 항목은 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, PM10으로 5분 자료를 입력받아 00:00부터 09:00까지의 시간 평균값을 입력자료로 한다. 각 권역별 대기오염도 자료는 서울, 인천, 경기의 각각 5개 지점의 대기오염 자동측정망 자료의 평균을 사용하며, 수도권 자료는 3지역의 대기오염 자동측정망 자료의 평균값을 사용한다.

기상자료는 각각 권역별로 대표지점이 서울기상대, 인천기상대, 수원기상대로부터 수신되는 1시간 자료를 FTP로 수신하여 사용한다. 미세먼지 예보시스템에 사용되어지는 기상자료 항목은 풍속, 온도, 습도, 강수량을 사용하여 00:00부터 09:00까지의 자료의 평균을 사용한다. 강수량은 전일 00:00부터 24:00까지의 강수총량 자료를 사용한다. 미세먼지 예보는 신경망 모델과 회귀모델의 두 종류의 모델로 각각 수행되며, 결과는 미세먼지 농도 또는 AQI 환경지수로 출력되어진다.

### 4. 황사 예·특보제

#### 1) 황사 발생현황

황사는 몽고 및 중국대륙의 사막지대와 황하강 유역의 황토지대에서 발생한 흩먼지가 바람에 의해 떠다니거나 낙하하여 시정장애를 일으키는 현상으로, 우리나라에는 주로 봄에 발생하며, 1998년 이후부터 발생일수가 증가추세에 있다.

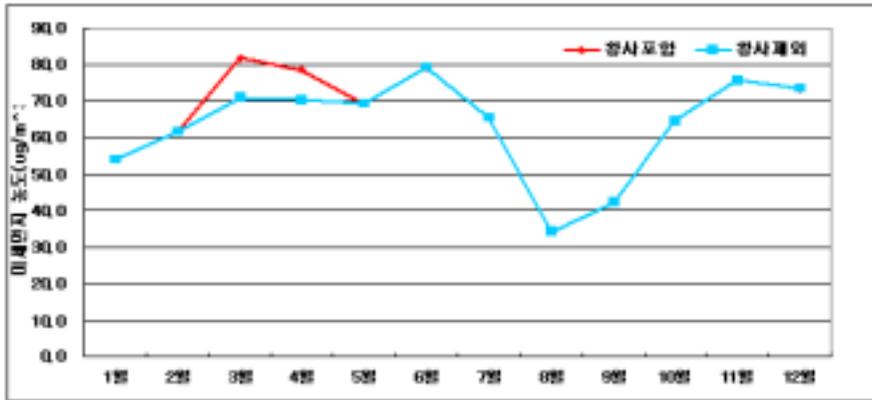
<표 5-38> 서울지역 연도별 황사 발생현황

연 도	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
일 수	0	13	1	1	13	6	10	27	16	3
횟 수	0	4	1	1	3	3	6	7	7	2

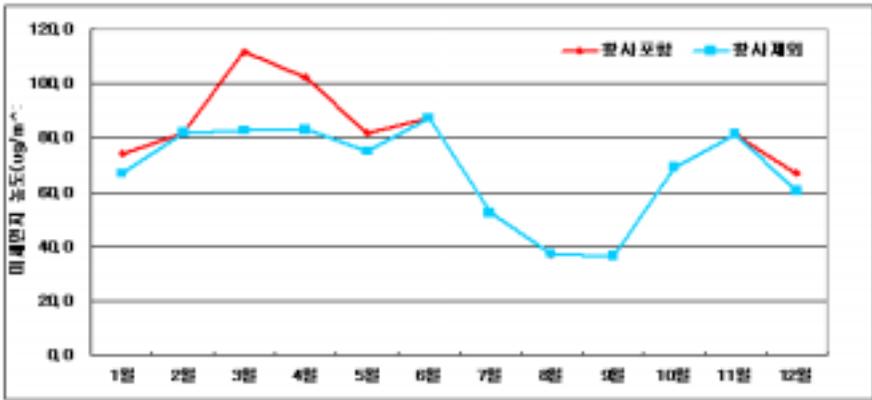
특히, 황사는 단시간동안 급격하게 미세먼지의 농도가 증가하므로 노약자, 호흡기 환자 뿐만 아니라 일반인의 건강에 피해를 입힐 뿐 아니라 시정을 악화시키고, 건물, 식물 등에도 영향을 끼친다. 특히, 2002년의 황사시에는 극심한 황사로 초등학교 휴교상태, 항공기 결항(230편)등의 피해가 발생하였는데, 4월 8일에는 서울의 미세먼지 농도는 2,070 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 평상시의 27배 수준으로 나타났다. 또한 10년 이상 보고된 적 없었던 가을황사 또한 발생하였다. 반면 2003년에는 중국내륙 건조지대에 강수강설이 비교적 많아 황사발생이 적게 나타났다.

<표 5-39> 황사포함 미세먼지 농도와 황사제외시 미세먼지 농도 비교 (단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

구분	200년		2001년		2002년		2003년	
	황사포함	황사제외	황사포함	황사제외	황사포함	황사제외	황사포함	황사제외
1월	53.9	53.9	74.1	67.0	70.3	64.3	79.7	79.7
2월	61.6	61.6	81.9	81.9	79.8	79.8	83.9	83.9
3월	81.8	70.8	111.6	82.6	147.9	96.3	83.0	81.6
4월	78.5	70.4	102.3	83.0	133.2	85.1	67.9	65.2
5월	69.3	69.3	81.7	75.0	65.5	65.5	91.7	91.7
6월	79.2	79.2	87.3	87.3	61.5	61.5	82.0	82.0
7월	65.5	65.5	52.5	52.5	48.4	48.4	53.0	53.0
8월	34.5	34.5	37.4	37.4	40.7	40.7	46.7	46.7
9월	42.3	42.3	36.6	36.6	57.7	57.7	53.3	53.3
10월	64.5	64.5	69.2	69.2	58.7	58.7	54.1	54.1
11월	75.7	75.7	81.6	81.6	68.1	62.4	58.3	58.3
12월	73.4	73.4	67.1	60.6	68.9	68.9	76.7	76.7
연평균	65.2	63.4	73.0	67.0	75.3	64.3	68.8	68.4



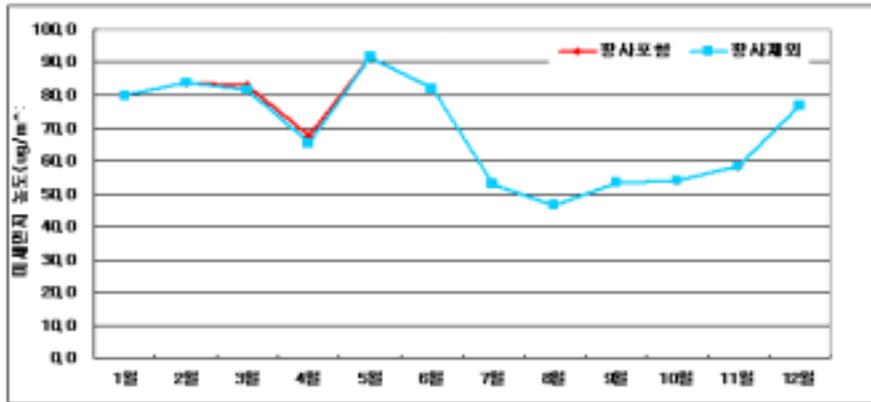
<그림 5-6> 2000년 황사발생



<그림 5-7> 2001년 황사발생



<그림 5-8> 2002년 황사발생



<그림 5-9> 2003년 황사발생

## 2) 황사 예·특보제

황사, 안개 등 기상여건에 의해 대기오염도가 급격히 증가하는 사례가 많이 발생함에 두 불 구하고 미세먼지 오염도별로 인체에의 영향을 최소화하기 위한 행동요령이 없어 혼란이 발생하고, 오염도 수준을 알릴 수 있는 체계가 미흡하여, 황사시 오염도에 따라 외출, 실외 활동 등에 대한 행동지침을 제시하고 전파하는 황사 경보제 도입이 필요성이 제기됨에 따라 황사 특보제 도입·운영하게 되었다. 예보는 황사발생 1~2일전에 기상청에서 시행하며, 특보제는 황사에 대해서만 운영하고 발령기준은 미세먼지 1시간 오염도 평균값으로 산정한다.

황사예보 발표기준 및 황사 특보 발령 단계별 행동요령은 <표 5-41>과 같다. 다만, 서울시 미세먼지 예·경보제도와 황사 예·특보제도의 차이는 현재 미세먼지 환경기준과 황사 주의보 발령시점의 미세먼지 오염농도간 연결고리가 없기 때문에 이를 유기적으로 연결하는 장치로서 미세먼지 예·경보제도의 의미가 있다. 즉, 시민으로 하여금 일상생활 과정에서 미세먼지 오염에 의한 건강영향을 사전에 예방할 수 있는 효과를 가져다 줄 수 있다.

<표 5-40> 황사에보 발표기준

구분	황사강도의 기준
약한 황사	1시간 평균 미세먼지 농도가 200 ~ 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 예상될 때
보통 황사	1시간 평균 미세먼지 농도가 300 ~ 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 예상될 때
강한 황사	1시간 평균 미세먼지 농도가 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 예상될 때

<표 5-41> 황사특보 발령 단계별 행동요령

구분	발령 기준치	행동요령
주의보	1시간 평균 미세먼지 농도 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상, 2시간 이상 지속예상	① 노약자, 어린이, 호흡기 질환자의 실외활동 금지 권고 ② 유치원과 초등학교의 실외활동 금지권고 (운동, 실외학습 등) ③ 일반인(중고생 포함)의 과격한 실외운동 금지 및 실외활동 자제 권고
경보	1시간 평균 미세먼지 농도 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상, 2시간 이상 지속예상	① 노약자, 어린이, 호흡기 질환자의 외출금지 권고 ② 유치원과 초등학교의 실외활동 금지 및 수업단축, 휴업 등의 학생 보호조치 강구 권고 ③ 일반인(중고생 포함)의 실외활동 금지 및 외출자제 권고 ④ 실외운동경기 중지 및 연기 권고

결론적으로 서울시 미세먼지 예경보 체계 도입의 경우 미세먼지 노출에 의한 시민건강 영향은 황사 유입시 형성되는 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 농도를 제외하더라도, 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ~ 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  농도의 노출 수준에서도 피해 가능성은 있는 것으로 보고됨에 따라, 서울시 먼지주의보 예경보 발령체계의 구축은 미세먼지(PM10)에 의한 시민건강 위해 가능성의 제어 및 현행 먼지 오염 경보체계에서 누락된 오염농도의 임계수준 관리의 효율화 측면에서 의의를 찾을 수 있다.

## 第 VI 章 결론

제 1 절 요약

제 2 절 정책건의

## 제 VI 장 결 론

### 제 1 절 요약

세계 대도시마다 도시에서 깨끗한 공기를 마음껏 호흡하고 싶은 시민의 환경욕구는 강력하며, 이는 당연한 기초수요라고 할 수 있다. 서울에서도 마찬가지이다. 그러나 최근 서울시 정책수요의 우선 순위를 묻는 설문조사(한국환경정책·평가연구원, 1997; 김운수, 2002)에서, 대기환경 개선에 대한 시민의 열의는 매우 높으나, 향후 개선될 가능성에 대해서는 확실한 예단을 하지 못하는 것으로 나타났다. 그 만큼 서울의 공기가 쉽게 치유되기 어려운 상태일 뿐만 아니라, 앞으로도 개선 가능성은 낮은 것으로 시민들은 인식하고 있다.

최근 들어 시민의 건강을 위협하고, 또한 시정장애를 유발하는 요인인 미세먼지(PM10)의 인체·환경 위해 가능성에 대한 경각심이 한층 고조되고 있다. 미세먼지는 단기장기노출에 의해 인체에 해를 미칠 수 있으며, 서울을 포함한 수도권 지역에서 자동차 통행수요 증대에 따라 미세먼지 오염농도가 전반적으로 점차 높아지는 경향을 나타내고, 특히 단기환경기준 초과빈도가 일부 지점에서 보고되고 있기 때문이다. 이러한 사례는 현재 미국·유럽 등 선진외국에서 진행되고 있는 미세먼지 환경기준의 강화와 기본맥락을 같이하고 있다.

서울의 먼지 오염도는 지역내부에서 발생한 먼지, 황사 등 외부에서 유입되어 온 먼지에 의한 부가적인 영향, 그리고 분지형태의 지형조건에 따른 대기정체 영향 등으로 인하여 미세먼지 오염도 수준은 좀처럼 개선되지 못하고, 이로 인한 시정장애·시민의 체감오염도 악화 및 건강 피해 가능성이 제기되고 있다. 그러나 대기오염물질 가운데 가장 기본적인 형태의 오염물질인 미세먼지의 발생원은 도로와 공사장, 연소과정, 그리고 생활주변 등과 같이 매우 다양할 뿐만 아니라 배출패턴도 상이한 특성을 보여, 관리전략 수립의 한계요인으로 작용하고 있다.

현재 서울시 미세먼지 오염도는 해마다 증가추세에 있으며, 미세먼지 오염도의 공간분포도는 전지역에 걸쳐  $70\mu\text{g}/\text{m}^3$  수준을 나타내고 있어 국지적인 오염관리의 한계를 드러내고 있다. 또한 2002년 미세먼지 배출량 산정결과 총 33,577톤/년이 배출되는 것으로 나타났다. 이중 연료연소에 의한 인위적 배출량이 4,781톤/년으로 전체 배출량의 14.2%를 차지하였으며, 비산먼지 배출량은 28,796톤/년으로 전체 배출량에 85.8%를 차지하였다. 또한 비산먼지

를 제외한 미세먼지 배출량 산정결과 도로오염원에서 4,781톤/년으로 80% 이상을 차지하고 있다. 이는 서울시 미세먼지 주 배출원이 자동차에 의한 것임을 나타나 이에 대한 관리가 시급하다.

자동차에 의한 미세먼지 저감을 위하여 저공해 자동차 보급, DPF 부착, 운행차 배출가스 관리, 노후차량 조기폐차 유도 등의 연료연소에 의한 배출량을 저감하며, 도로청결시스템을 체계적으로 도입하여 도로에서 발생하는 비산먼지를 저감한다. 또한 먼지주의보 발령체계를 구축하고 운영함으로써 시민건강 위해 가능성을 제어하고 현행 먼지오염경보체계에서 누락된 오염농도 임계수준 관리를 효율화한다. 이외에 선진도시와의 benchmarking을 통한 우리실정에 맞는 저감대책을 마련해야 한다.

이에 본 연구에서는 서울시 미세먼지 오염원의 공간적 분포현황 및 배출요인 특성분석, 미세먼지 배출량 산정과 DB구축, 미세먼지 오염원 유형별 오염농도의 기여도 분석, 그리고 미세먼지 오염예보제를 포함하여 오염농도 목표수준 달성에 상응하는 비용 효과적인 최적 먼지 오염원 관리방안의 모색 등에 주된 목적을 두고 있다. 본 연구에서 의도하였던 연구목적 을 개략적으로 분류 정리하면 다음과 같다.

#### 첫째, 서울시 미세먼지 배출요인별 자료체계의 구축과 활용

서울시 먼지 배출원에 대한 배출요인을 분석하고, 미세먼지 오염의 공간분포 특성을 분석하여, 서울시민의 미세먼지 체감오염도 개선을 위한 대책수립의 방향설정 및 시책추진의 유의점을 도출하고자 한다.

#### 둘째, 미세먼지 오염도 개선전략의 효율성 제고

현재 서울시가 추진하고 있는 미세먼지 오염도 개선대책의 효율성을 제고하기 위한 당면 과제와 주요 추진전략을 종합적으로 모색하며, 특히 도로변 미세먼지 발생의 실제적 저감을 도모하여 시민건강 피해 가능성을 제어할 뿐만 아니라, 쾌적하고 청정한 도로변 보행공간 조성에 관심을 두고자 한다.

#### 셋째, 서울시 미세먼지 오염 개선을 위한 전략과제의 실체성 확보

서울시 미세먼지 배출원을 대상으로 하는 배출규제 및 억제 유도 방안을 보다 구체화하기 위해 미세먼지 오염원 유형별 전략과제의 우선순위를 제시하고, 한편으로는 미세먼지 배출 억제와 관련된 법적·제도적 실효성 증진방안 등을 모색하고자 한다.

넷째, 미세먼지 오염 개선을 위한 시민참여 및 홍보수단으로 활용

미세먼지 오염 수준에 따른 시민건강 피해의 사전 예방조치 일환으로써 2005년부터 도입시행 예정인 미세먼지 예·경보 제도에 대한 공감대를 조성하여, 향후 먼지오염 개선을 위한 홍보 및 시민참여 유도수단으로서 활용 가능성을 제시하고자 한다.

## 제 2 절 정책건의

최근 미세먼지의 인체·환경 위해성에 대한 경각심이 한층 고조되고 있으며, 한편으로 “건강 싶은 도시 만들기”와 같이 정부·시민간 활발한 연대를 통해 보행환경 개선을 위한 다양한 시도가 행해지고 있다. 그러나 먼지 배출 사업장 관리와 달리, 도로변 미세먼지 발생요인과 접근방안에 대하여는 실질적인 관리가 이루어지지 않는 사각지대로 남게 되어, 건강 싶은 보행환경의 조성은 그다지 큰 성과를 나타내지 못하고 있다.

이에 본 연구는 서울시 먼지 배출원에 대한 배출요인을 분석하고, 미세먼지 오염의 공간분포 특성을 분석함으로써 서울시민의 미세먼지 체감오염도 개선을 위한 방향설정의 유의점을 도출하고자 하였다. 연후에 현재 서울시가 추진하고 있는 미세먼지 오염도 개선대책의 효율성을 제고하기 위한 당면과제와 주요 추진전략의 종합적인 모색에 중점을 두고, 특히 도로변 미세먼지 발생의 실제적 저감화를 도모하여 환경위해성의 제어와 함께 쾌적하고 청정한 도로변 보행공간의 조성에 관심을 두었다. 한편으로는 미세먼지 오염 수준에 따른 시민건강 피해의 사전 예방조치 일환으로써 미세먼지 예·경보체계의 도입 가능성에 대한 공감대를 조성하여, 향후 먼지오염 개선을 위한 홍보 및 시민참여 유도수단으로 활용하고자 하였다.

첫째, 현재 서울시는 미세먼지를 저감하기 위해 도로변, 공사장, 사업장, 그리고 생활주변 등 다각적인 발생원별 저감대책을 계획·추진하여 일부 성과를 나타내고 있으나, 도로변 미세먼지 발생에 관한 실제적 먼지저감대책의 추진은 다소 미약한 것으로 분석되었다. 이에 미세먼지 발생원별 정확한 정보체계 구축을 통해 발생원별 저감대책의 실효성을 확보할 수 있는 체계적인 접근이 필요한 것으로 판단된다.

둘째, 자동차 연료연소 및 도로이용에 따른 도로변 미세먼지의 발생량을 추정된 결과, 특히 자동차 연료연소에 비해 차량운행과정에서 파생된 미세먼지의 발생기여도가 높게 나타나, 향후 도로변 미세먼지 저감을 위한 특화전략이 필요한 것으로 분석되었다. 다만, 도로변 미

세먼지 발생량 추정의 정확성을 한층 제고하기 위한 과학적인 배출계수의 산정작업이 향후 추가보완되어야 할 것이다.

셋째, 자동차 유발 이산화질소와 미세먼지 오염항목은 서울시 및 국가환경기준을 초과하는 수준을 보일 뿐만 아니라, 질소산화물과 미세먼지간 뚜렷한 (+)의 상관성을 보여 2차 오염물질 형성 가능성이 있기 때문에, 걷고 싶은 건강 도시(walkable healthy city)를 만들기 위해서는 도로변 보행환경 개선이 전제조건이 되어야 한다.

넷째, 도로에서 발생하는 먼지의 저감, 그리고 발생후 노변 적치(積置)시 자동차 통행에 의한 재비산 등을 억제함으로써, 도로변 환경개선을 통해 서울하늘의 시정거리 증대와 청정공기 유지를 도모하기 위해서는 기본적으로 도로청결시스템(Roadways Cleaning System)의 체계적 도입이 필요하다. 특히 도로변 미세먼지 저감 특화전략 수립의 일환으로 고려될 수 있는 도로청결 시스템 도입에 따른 도로·교통부문의 발생량(타이어 마모 및 차량운행으로 인한 재비산 먼지) 저감효율은 2002년 11.2%, 2003년 12.7% 정도 저감효과가 있는 것으로 추정되어, 도로변 환경개선의 주된 기능을 담당할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 도로청결 시스템은 여타 자동차 배출허용기준 강화, 매연여과장치 부착, 교통수요관리, 그리고 연료품질 개선 등과 연계되면, 향후 서울시 도로변 미세먼지 관리에의 전환점이 될 수 있을 것이다.

다섯째, 미세먼지 배출저감을 위해서는 자동차 부문 중심의 차별화 저감 전략이 바람직하다. 이의 추진내용으로는 ① 경유사용 시내버스를 모두 저공해 시내버스(CNG)로 대체 ② 경유사용 승합차 및 화물차의 엔진기술 향상 ③ 자동차 배출가스 저감강화 및 중간검사체제 구축 ④ 노후 자동차 폐차유도 ⑤ 청정 연료차 의무판매제 도입 등이 있다. 이와 같은 교통부 부문 중심의 특화된 실천전략의 추진으로 자동차 배출 미세먼지를 어느 정도 효과적으로 저감하는 것으로 나타났으나, 2010년 서울시 미세먼지 배출량 대비 50% 삭감 시나리오에서 달성하고자 하는 서울시 미세먼지 오염 목표수치인  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  달성에는 다소 미흡한 것으로 추정된다. 이에 서울시 미세먼지 목표오염도를 달성하기 위해서는 다양한 유형의 미세먼지 저감 실천전략이 종합적으로 추진되어야 해야한다.

여섯째, 먼지주의보 발령 체계의 구축 및 서울시 먼지저감 조례 제정과 운용이다. 일반적으로 미세먼지 노출에 의한 시민건강 영향은 황사 유입시 형성되는  $350\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 농도를 제외하더라도,  $150\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 350\mu\text{g}/\text{m}^3$  농도의 노출 수준에서도 피해 가능성은 있는 것으로 보고됨에 따라, 서울시 먼지주의보 예·경보 발령체계의 구축은 미세먼지(PM10)에 의한 시민건강 위해 가능성의 제어 및 현행 먼지오염 경보체계에서 누락된 오염농도의 임계수준 관리

의 효율화 측면에서 의의를 찾을 수 있다. 또한 생활주변 먼지 발생원 및 도로변 비산먼지 관리의 체계적·종합적 관리를 제도적으로 확보할 뿐만 아니라 먼지저감대책의 일관성 유지를 위한 장치로서 서울시 먼지저감 조례 제정과 운용이 바람직하다.

일곱째, 생활주변 먼지 발생원 및 도로변 비산먼지 관리의 체계적·종합적 관리를 제도적으로 확보할 뿐만 아니라 먼지저감대책의 일관성 유지를 위한 장치로서 서울시 먼지저감 조례 제정과 운용이 바람직하다. 그리고 자동차 배출가스 배출허용기준을 만족하는 운행차를 대상으로 환경성 충족을 의미하는 녹색자동차 인증마크를 부여하여 차량 앞 유리에 부착하고 운행하는 운행차량의 환경적합성 평가 제도를 시행한다. 또한 개인 승용차 운행을 실천협약을 통해 억제하고, 대중교통이용을 우선하는 교통수단 선택 시민행동을 총괄하는 Travel Blending 제도의 활용을 적극적으로 고려하여야 한다.

마지막으로 서울의 대기환경 개선에 대한 시민의 높은 열의에 부응하여, 향후 개선될 가능성에 대한 시민의 불확실한 예단을 긍정적인 개선 가능성 인식으로 유도하기 위해 보다 효율적인 미세먼지 관리대책의 마련·추진에 관심을 집중하여야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

## 참고문헌

### 1. 국내문헌

- 김운수, “서울시 미세먼지 저감 및 관리방안”, 서울시정개발연구원, 1997
- 전의찬 외. “서울시 대기오염 특성연구”, 서울시정개발연구원, 1994
- 장영기 외. “면 및 이동오염원 조사방법 및 지침서 작성에 관한 연구”, 환경부, 1995.12
- 김운수, “수도권 대기환경규제지역 지정에 따른 서울시 대기환경 개선 실천방안 연구”, 서울시정개발연구원, 1998
- 공성용, 이신철. “대기배출시설에서의 사전오염저감을 위한 관리방안-최적방지시설을 중심으로” 1998.12
- 한화진. “외국의 대기오염관리 성공사례 및 정책적 시사점” 1997.12
- 서울시, “서울시 대기환경개선 실천계획”, 2000
- 서울시, “서울의 환경”, 2003.
- 경기도, “21C 경기도 대기보전실천계획”, 2004
- 환경부, “미세먼지 예보시스템 구축” 2003.3
- 철도청, “철도통계연보”, 2003
- 환경부, “대기환경연보”, 2003
- 국립환경연구원, “대기보전 정책수립 지원시스템”, 2003.8
- 서울시, “서울통계연보”, 2004.
- 한국환경정책·평가연구원, “수도권 지역 배출총량관리제 추진방안”, 2004.8.23
- 환경부, “수도권 대기질개선 특별대책”, 2002.12
- 환경부, “청소차량의 저공해화 방안연구”, 2002.2
- 경기개발연구원, “경기도 대기오염물질 배출목록시스템 구축방안”, 2002.9

한국에너지기술연구소, 자동차 오염물질 배출량 산정연구, 2000

김운수, “기후변화협약 이행에 따른 서울시 대응방안 연구”, 서울시정개발연구원, 2001

철도청, “디젤기관의 배출가스 대기오염 현황 및 저감방안에 관한 연구”, 1997

환경부, “대기보전정책 수립지원시스템구축”, 2003.8

국립환경연구원, “경유엔진에 의한 대기오염물질 저감대책에 관한 연구(Ⅰ)”, 1997

자동차공해연구소, “도시지역 대기질 개선에 관한 연구(Ⅲ)-이동배출원의 오염물질 배출부하량 산정을 중심으로”, 국립환경연구원보, 제13권, pp.129~139,1991

## 2. 국외문헌

D.owen Harrop, Air Quality Assessment and Management, 2002

Desert Research Institute, Effectiveness Demonstration of Fugitive Dust Control Methods for Public Unpaved Roads and Unpaved Shoulders on Paved Roads, DRI Document No.685-5200.1F1, 1996. 12.

Kinsey, J.S. and Cowherd, Jr. C., Control of Fugitive and Hazardous Dusts, Pollution and Technology Review, No. 192, 1990.

South Coast Air Quality Management District, Coachella Valley PM10 Attainment Redesignation Request And Maintenance Plan, 1996. 12.

UNEP, Urban Air Pollution in Megacities of the World, 1992.

EPA, AP-42 5th, 1995

U.S. EPA, Nonroad Engine and Vehicle Emission Study Report, 1991

EEA, Atmospheric Emission Inventory Guidebook 2nd edition, 1999.9

EEA, COPERT II Computer Programme to calculate Emission from Road Transport-Methodology and Emission Factors, 1997

EEA, COPERT III Computer Programme to calculate Emission from Road Transport-Methodology and Emission Factors, 2000.11

### 3. 기타자료

서울시 홈페이지 [www.seoul.go.kr](http://www.seoul.go.kr)

환경부 홈페이지 [www.me.go.kr](http://www.me.go.kr)

국립환경연구원 홈페이지 [www.neier.go.kr](http://www.neier.go.kr)

통계청 홈페이지 [www.nso.go.kr](http://www.nso.go.kr)

미국 환경청 [www.epa.gov](http://www.epa.gov)

일본 환경청 [www.env.go.jp](http://www.env.go.jp)

<http://www.eq.state.ut.us/eqamc/pm10.htm>

<http://www.nrdc.org/faqs/aibrefaq.html>

<http://www.ccc.nottingham.ac.uk/~evzakn/pm10.htm>

<http://www.env.gov.bc.ca/epd/epdpa/ar/fpwtaah.html>

<http://www.env.gov.bc.ca/epd/epdpa/ar/heoipifb.html>

<http://sun1.bham.ac.uk/c.m.tarpey/news495/pm10.htm>

<http://www.ccc.nottingham.ac.uk/~evzakn/doenote.htm>

<http://www.netlabs.net/hp/tmain/pmfact.htm>

<http://www.hsrc.org.uk/links/cci/airpol.htm>

## 부 록

【부록 1】 서울시 미세먼지 오염확산 모델링 자료

【부록 2】 기상요인별 미세먼지 상관분석

**【부록 1】 서울시 미세먼지 오염확산 모델링 자료**

```

** This is an input file for the ISCLT3
** Input file -
** Output file -
** Area : SEOUL
** pollutant : TSP
** season : ANNUAL
CO STARTING
  TITLEONE  RUN FOR ISCLT MODEL IN SEOUL AREA
  MODELOPT  DFAULT CONC URBAN
  AVERTIME  ANNUAL
  TERRHGT5  FLAT
  POLLUTID  TSP
  RUNORNOT  RUN
  ERRORFIL  HONGTEST.ERR
CO FINISHED
*****
SO STARTING
**          SRCID  SRCTYP   XS     YS     ZS
**          -----  -----  -----  -----  -----
SO LOCATION  1     AREA  179000.  449000.  00.
SO LOCATION  2     AREA  179000.  450000.  00.
SO LOCATION  3     AREA  180000.  452000.  00.
. . . . .
. . . . .
SO LOCATION 298   AREA  199000.  454000.  00.
SO LOCATION 299   AREA  199000.  455000.  00.
SO LOCATION 300   AREA  199000.  456000.  00.

**          SRCID          QS     HS     XINI  YINIT
**          -----  -----  -----  -----  -----
SO SRCPARAM  1     0.0000000682  0.0  1000.0  1000.0
SO SRCPARAM  2     0.0000000674  0.0  1000.0  1000.0
SO SRCPARAM  3     0.0000001008  0.0  1000.0  1000.0
. . . . .
. . . . .
SO SRCPARAM 298   0.0000000696  0.0  1000.0  1000.0
SO SRCPARAM 299   0.0000001024  0.0  1000.0  1000.0
SO SRCPARAM 300   0.0000000809  0.0  1000.0  1000.0
** SO EMISUNIT 1. (GRAMS/(SEC-M**2)) GRAMS/CUBIC-METER
SO SRCGROUP  ALL
SO FINISHED

```

```

**          X direction 178-217          Y direction 435-450
RE STARTING
RE GRIDCART GRID001 STA
RE GRIDCART          XYINC 178000.0 40 1000. 435000.0 16 1000.
RE GRIDCART GRID001 END
RE FINISHED

```

```

ME STARTING
ME INPUTFIL SEOUL02.JFF FREE
ANEMHGHT 10.0 METERS
SURFDATA 00 2002 SEOUL
UAIRDATA 00 2002 SEOUL
STARDATA ANNUAL

```

```

**          STAB   STAB   STAB   STAB   STAB   STAB
**          CAT1   CAT2   CAT3   CAT4   CAT5   CAT6
**          ----   ----   ----   ----   ----   ----

```

```

AVETEMPS ANNUAL 292. 289. 287. 287. 285. 284.

```

```

**          - MIXING LAYER HEIGHT (METERS) -

```

```

**          S
**          T      WS      US      WS      WS      WS      WS
**          SEAS A  CAT1    CAT2    CAT3    CAT4    CAT5    CAT6
**          ---- B  ----    ----    ----    ----    ----    ----

```

```

AVEMIXHT ANNUAL 1 1059. 1480. 0. 0. 0. 0.
AVEMIXHT ANNUAL 2 793. 1060. 1511. 0. 0. 0.
AVEMIXHT ANNUAL 3 442. 901. 1447. 1768. 1105. 0.
AVEMIXHT ANNUAL 4 477. 808. 1125. 1441. 1491. 1114.
AVEMIXHT ANNUAL 5 0. 583. 981. 1161. 0. 0.
AVEMIXHT ANNUAL 6 309. 607. 951. 0. 0. 0.

```

```

ME FINISHED

```

```

OU STARTING
RECTABLE SRCGRP
MAXTABLE 10 SRCGRP
OU FINISHED

```

```

*****
*** SETUP Finishes Successfully ***
*****

```

```

*** MODELING OPTIONS USED:  CONC  URBAN  FLAT  DEFAULT
***          MODEL SETUP OPTIONS SUMMARY          ***
-----

**Model Is Setup For Calculation of Average CONCENTRATION Values.
**Model Does NOT Use GRIDDED TERRAIN Data for Depletion Calculations
**Model Uses NO plume DEPLETION.
**Model Uses URBAN Dispersion.
**Model Uses Regulatory DEFAULT Options:
  1. Final Plume Rise.
  2. Stack-tip Downwash.
  3. Buoyancy-induced Dispersion.
  4. Default Wind Profile Exponents.
  5. Default Vertical Potential Temperature Gradients.
  6. "Upper Bound" Values For Supersquat Buildings.
  7. No Exponential Decay for URBAN/Non-502

**Model Assumes Receptors on FLAT Terrain.
**Model Assumes No FLAGPOLE Receptor Heights.
**Model Calculates 1 STAR Average(s) for the Following Months:  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Seasons/Quarters:  0 0 0 0
and Annual:  1
**Data File Includes 1 STAR Summaries for the Following Months:  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Seasons/Quarters:  0 0 0 0
and Annual:  1
**This Run Includes:  300 Source(s);  1 Source Group(s); and  640 Receptor(s)
**The Model Assumes A Pollutant Type of:  TSP
**Model Set To Continue RUNNING After the Setup Testing.
**Output Options Selected:
  Model Outputs Tables of Long Term Values by Receptor (RECTABLE Keyword)
  Model Outputs Tables of Maximum Long Term Values (MXRTABLE Keyword)
**Misc. Inputs:  Anem. Hgt. (m) =  10.00 ;  Decay Coef. =  0.000 ;  Rot. Angle =  0.0
                  Emission Units =  GRMS/SEC ;  Emission Rate Unit Factor =  0.10000E+07
                  Output Units =  MICROGRMS/M**3
**Input Runstream File:  C:\sil\dl.imp ;  **Output Print File:  C:\sil\dl.out
**Error Message File:  NONETEST.ERR
? *** ISCLT3 - VERSION 96113 ***          *** RUN FOR ISCLT MODEL IN SEOWL AREA          ***
***

```

\*\*\* MODELING OPTIONS USED: CONC URBAN ELRT DEFAULT

\*\*\* AREA SOURCE DATA \*\*\*

SOURCE ID	NUMBER PART. CHRS.	EMISSION RATE (GRAMS/SEC /METER**2)	COORD X (METERS)	Y (METERS)	BASE ELEV. (METERS)	RELEASE HEIGHT (METERS)	X-DIM OF AREA (METERS)	Y-DIM OF AREA (METERS)	ORIENT. OF AREA (DEG.)	INIT. SZ (METERS)	EMISSION RATE SCALAR VARY BY
1	0	0.68200E-07	179000.0	449000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
2	0	0.67400E-07	179000.0	450000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
3	0	0.10000E-06	180000.0	452000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
4	0	0.69000E-08	181000.0	448000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
5	0	0.16020E-06	181000.0	453000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
6	0	0.38100E-07	182000.0	448000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
7	0	0.22200E-07	182000.0	450000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
8	0	0.32060E-06	182000.0	451000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
9	0	0.16150E-06	182000.0	452000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
10	0	0.23800E-06	182000.0	453000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
291	0	0.11590E-06	199000.0	447000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
292	0	0.14390E-06	199000.0	448000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
293	0	0.11890E-06	199000.0	449000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
294	0	0.15280E-06	199000.0	450000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
295	0	0.45600E-06	199000.0	451000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
296	0	0.28180E-06	199000.0	452000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
297	0	0.31500E-07	199000.0	453000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
298	0	0.69600E-07	199000.0	454000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
299	0	0.10240E-06	199000.0	455000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00
300	0	0.80900E-07	199000.0	456000.0	0.0	0.0	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00

\*\*\* ISCLT3 - VERSION 96113 \*\*\* \*\* RUN FOR ISCLT MODEL IN SEOUL AREA \*\*\*

```

*** MODELING OPTIONS USED: CONC URBAN FLAT DEFAULT
*** SOURCE IDS DEFINING SOURCE GROUPS ***
GROUP ID          SOURCE IDS
ALL      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10     11     12
13      14      15      16      17      18      19      20      21      22     23     24
25      26      27      28      29      30      31      32      33      34     35     36
265     266     267     268     269     270     271     272     273     274     275     276
277     278     279     280     281     282     283     284     285     286     287     288
289     290     291     292     293     294     295     296     297     298     299     300
♀ *** ISCLT3 - VERSION 96113 *** *** RUN FOR ISCIT MODEL IN SEOUL AREA
***
*** MODELING OPTIONS USED: CONC URBAN FLAT DEFAULT
*** GRIDDED RECEPTOR NETWORK SUMMARY ***
*** NETWORK ID: GRID001 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***
*** X-COORDINATES OF GRID ***
(METERS)
178000.0, 179000.0, 180000.0, 181000.0, 182000.0, 183000.0, 184000.0, 185000.0, 186000.0, 187000.0,
188000.0, 189000.0, 190000.0, 191000.0, 192000.0, 193000.0, 194000.0, 195000.0, 196000.0, 197000.0,
198000.0, 199000.0, 200000.0, 201000.0, 202000.0, 203000.0, 204000.0, 205000.0, 206000.0, 207000.0,
208000.0, 209000.0, 210000.0, 211000.0, 212000.0, 213000.0, 214000.0, 215000.0, 216000.0, 217000.0,
*** Y-COORDINATES OF GRID ***
(METERS)
435000.0, 436000.0, 437000.0, 438000.0, 439000.0, 440000.0, 441000.0, 442000.0, 443000.0, 444000.0,
445000.0, 446000.0, 447000.0, 448000.0, 449000.0, 450000.0,
♀ *** ISCLT3 - VERSION 96113 *** *** RUN FOR ISCIT MODEL IN SEOUL AREA
***
PMCE 4

```

*** MODELING OPTIONS USED:		CONC	URBAN	FLAT	DEFAULT	*** AVERAGE SPEED FOR EACH WIND SPEED CATEGORY *** (METERS/SEC)					
		1.50,	2.50,	4.30,	6.80,	9.50,	12.50,				
		*** WIND PROFILE EXPONENTS ***									
		WIND SPEED CATEGORY									
STABILITY	CATEGORY	1	2	3	4	5	6				
A		.15000E+00	.15000E+00	.15000E+00	.15000E+00	.15000E+00	.15000E+00				
B		.15000E+00	.15000E+00	.15000E+00	.15000E+00	.15000E+00	.15000E+00				
C		.20000E+00	.20000E+00	.20000E+00	.20000E+00	.20000E+00	.20000E+00				
D		.25000E+00	.25000E+00	.25000E+00	.25000E+00	.25000E+00	.25000E+00				
E		.30000E+00	.30000E+00	.30000E+00	.30000E+00	.30000E+00	.30000E+00				
F		.30000E+00	.30000E+00	.30000E+00	.30000E+00	.30000E+00	.30000E+00				
		*** VERTICAL POTENTIAL TEMPERATURE GRADIENTS ***									
		(DEGREES KELVIN PER METER)									
		WIND SPEED CATEGORY									
STABILITY	CATEGORY	1	2	3	4	5	6				
A		.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00				
B		.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00				
C		.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00				
D		.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00				
E		.20000E-01	.20000E-01	.20000E-01	.20000E-01	.20000E-01	.20000E-01				
F		.35000E-01	.35000E-01	.35000E-01	.35000E-01	.35000E-01	.35000E-01				
		*** AVERAGE AMBIENT AIR TEMPERATURE (KELVIN) ***									
		WIND SPEED CATEGORY									
STABILITY	CATEGORY	STABILITY	CATEGORY	STABILITY	CATEGORY	STABILITY	CATEGORY				
ANNUAL	292.0000	ANNUAL	289.0000	ANNUAL	287.0000	ANNUAL	287.0000	285.0000	284.0000	***	
*** ISCLT3 - VERSION 96113 ***		*** RUN FOR ISCLT MODEL IN SEOUL AREA									
*** MODELING OPTIONS USED:		CONC	URBAN	FLAT	DEFAULT	*** AVERAGE MIXING LAYER HEIGHT (METERS) ***					
		ANNUAL									
STABILITY	CATEGORY	1	2	3	4	5	6				
STABILITY CATEGORY A		1059.0000	1480.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
STABILITY CATEGORY B		793.0000	1060.0000	1511.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
STABILITY CATEGORY C		442.0000	901.0000	1447.0000	1768.0000	1105.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
STABILITY CATEGORY D		477.0000	808.0000	1125.0000	1441.0000	1491.0000	1114.0000	0.0000	0.0000		
STABILITY CATEGORY E		0.0000	583.0000	981.0000	1161.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
STABILITY CATEGORY F		309.0000	607.0000	951.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
*** ISCLT3 - VERSION 96113 ***		*** RUN FOR ISCLT MODEL IN SEOUL AREA									

*** MODELING OPTIONS USED: CONC WEBBY FLAT DEWALT ***												
*** FREQUENCY OF OCCURRENCE OF WIND SPEED, DIRECTION AND STABILITY ***												
DIRECTION (DEGREES)	ANNUAL: STABILITY CATEGORY A											
	WIND SPEED CATEGORY 1 ( 1.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 2 ( 2.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 3 ( 4.300 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 4 ( 6.800 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 5 ( 9.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 6 (12.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 7 (15.000 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 8 (17.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 9 (20.000 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 10 (22.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 11 (25.000 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 12 (27.500 M/S)
0.000	0.00125600	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
22.500	0.00102700	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
45.000	0.00194100	0.00057100	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
67.500	0.00114200	0.00079900	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
90.000	0.00091300	0.00045700	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
112.500	0.00091300	0.00022800	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
135.000	0.00045700	0.00045700	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
157.500	0.00084200	0.00045700	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
180.000	0.00057100	0.00034200	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
202.500	0.00045700	0.00068500	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
225.000	0.00045700	0.00091300	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
247.500	0.00057100	0.00125600	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
270.000	0.00068500	0.00205500	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
292.500	0.00068500	0.00068500	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
315.000	0.00045700	0.00011400	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
337.500	0.00102700	0.00022800	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
-----												
DIRECTION (DEGREES)	ANNUAL: STABILITY CATEGORY B											
	WIND SPEED CATEGORY 1 ( 1.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 2 ( 2.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 3 ( 4.300 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 4 ( 6.800 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 5 ( 9.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 6 (12.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 7 (15.000 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 8 (17.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 9 (20.000 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 10 (22.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 11 (25.000 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 12 (27.500 M/S)
0.000	0.00285400	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
22.500	0.00582200	0.00034200	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
45.000	0.01906400	0.00194100	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
67.500	0.01426900	0.00458000	0.00125600	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
90.000	0.00536500	0.00045700	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
112.500	0.00285400	0.00022800	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
135.000	0.00251100	0.00045700	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
157.500	0.00262600	0.00159800	0.00011400	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
180.000	0.00194100	0.00171200	0.00011400	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
202.500	0.00285400	0.00228300	0.00057100	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
225.000	0.00513700	0.00078800	0.00342500	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
247.500	0.00490900	0.00821900	0.00479500	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
270.000	0.00582200	0.00856200	0.00593600	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
292.500	0.00411000	0.00570800	0.00182600	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
315.000	0.00228300	0.00137000	0.00079900	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
337.500	0.00114200	0.00125600	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000

*** MODELING OPTIONS USED: CONC URBAN FLAT DEFULT												
*** FREQUENCY OF OCCURRENCE OF WIND SPEED, DIRECTION AND STABILITY ***												
ANNUAL: STABILITY CATEGORY C												
DIRECTION (DEGREES)	WIND SPEED CATEGORY 1 ( 1.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 2 ( 2.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 3 ( 4.300 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 4 ( 6.800 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 5 ( 9.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 6 (12.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 7 (16.000 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 8 (20.000 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 9 (25.000 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 10 (30.000 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 11 (35.000 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 12 (40.000 M/S)
0.000	0.00879000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
22.500	0.00445200	0.00011400	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
45.000	0.02043400	0.00353900	0.00045700	0.00011400	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
67.500	0.01552500	0.01107300	0.00216900	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
90.000	0.00171200	0.00091300	0.00000000	0.00011400	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
112.500	0.00159800	0.00045700	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
135.000	0.00102700	0.00011400	0.00011400	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
157.500	0.00194100	0.00079900	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
180.000	0.00091300	0.00057100	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
202.500	0.00216900	0.00205500	0.00114200	0.00034200	0.00011400	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
225.000	0.00239700	0.00536500	0.00981700	0.00057100	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
247.500	0.00365300	0.00627900	0.00764800	0.00057100	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
270.000	0.00525100	0.01461200	0.01541100	0.00057100	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
292.500	0.00331100	0.01198600	0.01038800	0.00034200	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
315.000	0.00228300	0.00308200	0.00182600	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
337.500	0.00148400	0.00079900	0.00011400	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
-----												
ANNUAL: STABILITY CATEGORY D												
0.000	0.00205500	0.00022800	0.00011400	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
22.500	0.00182600	0.00057100	0.00022800	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
45.000	0.00696300	0.00947500	0.00137000	0.00079900	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
67.500	0.00936100	0.02123300	0.00947500	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
90.000	0.00068500	0.00045700	0.00034200	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
112.500	0.00079900	0.00057100	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
135.000	0.00102700	0.00114200	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
157.500	0.00045700	0.00159800	0.00011400	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
180.000	0.00057100	0.00079900	0.00022800	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
202.500	0.00148400	0.00239700	0.00468000	0.00228000	0.00114000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
225.000	0.00148400	0.00970300	0.01369900	0.00525100	0.00228000	0.00114000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
247.500	0.00182600	0.01016000	0.00821900	0.00068500	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
270.000	0.00137000	0.02032000	0.01700900	0.00331100	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
292.500	0.00171200	0.01038800	0.01079100	0.00079900	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
315.000	0.00045700	0.00353900	0.00148400	0.00022800	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
337.500	0.00079900	0.00045700	0.00022800	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000

\*\*\* FREQUENCY OF OCCURRENCE OF WIND SPEED, DIRECTION AND STABILITY \*\*\*

DIRECTION (DEGREES)	ANNUAL: STABILITY CATEGORY E						ANNUAL: STABILITY CATEGORY F					
	WIND SPEED CATEGORY 1 ( 1.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 2 ( 2.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 3 ( 4.300 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 4 ( 6.800 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 5 ( 9.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 6 (12.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 1 ( 1.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 2 ( 2.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 3 ( 4.300 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 4 ( 6.800 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 5 ( 9.500 M/S)	WIND SPEED CATEGORY 6 (12.500 M/S)
0.000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
22.500	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
45.000	0.00000000	0.00719200	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
67.500	0.00000000	0.01723700	0.00068500	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
90.000	0.00000000	0.00045700	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
112.500	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
135.000	0.00000000	0.00022800	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
157.500	0.00000000	0.00068500	0.00034200	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
180.000	0.00000000	0.00034200	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
202.500	0.00000000	0.00228300	0.00034200	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
225.000	0.00000000	0.00684900	0.00171200	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
247.500	0.00000000	0.00776300	0.00228300	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
270.000	0.00000000	0.01529700	0.01426900	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
292.500	0.00000000	0.00536500	0.00458000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
315.000	0.00000000	0.00114200	0.00125600	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
337.500	0.00000000	0.00034200	0.00022800	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
-----												
0.000	0.03550200	0.00022800	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
22.500	0.02853900	0.00022800	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
45.000	0.06883600	0.00205500	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
67.500	0.03002300	0.00810500	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
90.000	0.00194100	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
112.500	0.00114200	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
135.000	0.00182600	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
157.500	0.00239700	0.00011400	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
180.000	0.00159800	0.00022800	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
202.500	0.00331100	0.00114200	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
225.000	0.00913200	0.00639300	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
247.500	0.01712300	0.00958900	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
270.000	0.03093600	0.02783300	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
292.500	0.01917800	0.01175800	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
315.000	0.01050200	0.00582200	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
337.500	0.00490900	0.00228300	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
SUM OF FREQUENCIES, FTOTAL = 1.00000												

♀ \*\*\* ISCLT3 - VERSION 96113 \*\*\* RUN FOR ISCLT MODEL IN SEOWL AREA

\*\*\* MODELING OPTIONS USED: CONC URBAN ELMT DEFAULT  
 \*\*\* THE ANNUAL AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL  
 INCLUDING SOURCE(S): 1 2 3 4 5 6 7  
 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19  
 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

\*\*\* NETWORK ID: GRID001 ; NETWORK TYPE: GRIDCMT \*\*\*  
 \*\*\* CONC OF TSP IN MICROGRAMS/M\*\*3 \*\*

Y-COORD (METERS)	179000.00	180000.00	181000.00	182000.00	183000.00	184000.00	185000.00	186000.00
45000.00	1.659971	1.911039	1.360572	1.909298	6.593542	6.398773	6.034638	8.096723
44900.00	1.720687	1.562373	1.330841	1.672560	3.453226	5.101185	6.262591	7.047183
44800.00	1.028208	1.163869	1.432186	2.114655	4.045173	6.112904	8.156878	9.838886
44700.00	1.082240	1.234045	1.430936	1.709562	2.071960	3.554163	10.873923	12.270468
44600.00	1.159247	1.316723	1.516237	1.791048	2.218339	4.817673	8.863798	9.586894
44500.00	1.103774	1.240513	1.404138	1.808376	2.373500	3.519390	4.533898	6.933682
44400.00	1.181014	1.320959	1.488706	1.700709	2.005693	3.645391	4.714815	5.538255
44300.00	1.260334	1.404714	1.579923	1.802467	2.098711	2.997035	7.097291	8.961992
44200.00	1.342539	1.495467	1.685024	1.934033	2.338398	6.578809	7.606845	8.974349
44100.00	1.420212	1.579480	1.775513	2.030253	2.389534	3.860230	4.059958	5.117849
44000.00	1.473419	1.629007	1.803557	2.010840	2.213519	2.377122	2.495629	2.635053
43900.00	1.493760	1.628596	1.775811	1.916756	2.032273	2.156420	2.277084	2.386743
43800.00	1.486850	1.600133	1.709418	1.803215	1.890990	1.994735	2.094614	2.188180
43700.00	1.457880	1.545133	1.622470	1.690984	1.763152	1.844048	1.920891	1.991383
43600.00	1.408418	1.472045	1.528260	1.580515	1.637215	1.696261	1.749636	1.795796
43500.00	1.344636	1.391109	1.431949	1.470581	1.511456	1.550356	1.582103	1.602259

\*\*\* ISCLT3 - VERSION 96113 \*\*\*  
 \*\*\* RUN FOR ISCLT MODEL IN SEOUL AREA  
 \*\*\*\*  
 PAGE 9

\*\*\* MODELING OPTIONS USED: CONC URBAN ELMT DEFAULT  
 \*\*\* THE ANNUAL AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL  
 INCLUDING SOURCE(S): 1 2 3 4 5 6 7  
 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19  
 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

*** MODELING OPTIONS USED: CONC URBAN ELAY DEFAULT												
*** THE ANNUAL AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL												
INCLUDING SOURCE(S):												
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
*** NETWORK ID: GRID001 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***												
** CONC OF TSP IN MICROGRAMS/M**3												
Y-COORD (METERS)	X-COORD (METERS)	189000.00	190000.00	191000.00	192000.00	193000.00	194000.00	195000.00	196000.00	197000.00	198000.00	199000.00
450000.00	9.914490	8.323398	7.585922	11.918620	11.887056	8.724054	9.523964	9.987338	8.945406			
449000.00	5.086543	6.912208	10.718345	10.082336	7.654925	9.060481	7.688840	8.036904	8.664467			
448000.00	6.115066	7.942567	11.978055	10.908789	10.764675	9.262403	8.117303	8.634239	8.237361			
447000.00	9.916129	14.214732	15.501278	12.059296	12.447568	13.179394	13.567676	10.847406	8.025811			
446000.00	11.042849	14.053734	13.118655	10.612189	11.279157	12.111112	13.180212	12.550405	9.414084			
445000.00	11.044330	12.097237	11.043828	11.789184	11.772160	9.668316	10.657214	11.914594	10.563708			
444000.00	11.206334	13.008875	13.908648	13.911564	13.271221	10.018182	11.458741	10.963268	8.366991			
443000.00	10.117377	12.030279	12.768476	13.798566	12.088318	13.070007	14.280833	10.091498	7.413766			
442000.00	6.573758	8.603351	12.361753	13.784320	16.574156	16.856192	13.059052	12.480206	12.959515			
441000.00	4.203129	7.124974	11.094742	13.965527	14.644800	11.716787	5.776012	6.658104	7.117217			
440000.00	3.071853	3.462469	7.771137	11.045874	12.347616	8.825485	4.110897	6.473241	6.734168			
439000.00	2.744389	3.082454	6.424426	8.195275	9.728895	6.248374	5.112199	4.539142	2.525015			
438000.00	2.453561	2.624299	2.773246	4.660980	6.043036	5.600599	4.090714	2.624966	1.691232			
437000.00	2.140421	2.183408	2.243629	3.057412	4.280029	4.099316	1.762857	1.446908	1.276981			
436000.00	1.844707	1.841910	1.828851	1.857500	3.556410	2.543298	1.286154	1.125787	1.013609			
435000.00	1.585815	1.559430	1.527800	1.486747	1.358199	1.148263	0.995760	0.904707	0.830060			
*** ISCLT3 - VERSION 96113 *** RUN FOR ISCLT MODEL IN SEQU AREA												
***												
*** MODELING OPTIONS USED: CONC URBAN ELAY DEFAULT												
*** THE ANNUAL AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL												
INCLUDING SOURCE(S):												
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
***												
PAGE 10												

\*\*\* NETWORK ID: GRID001 ; NETWORK TYPE: GRIDCART \*\*\*  
 \*\* CONC OF TSP IN MICROGRAMS/M\*\*3

Y-COORD (METERS)	196000.00	197000.00	198000.00	199000.00	200000.00	201000.00	202000.00	203000.00	204000.00
450000.00	8.653897	10.673618	10.544337	7.695529	4.320276	2.223160	1.906131	1.687727	1.519271
449000.00	8.347810	7.257941	6.884350	5.288363	4.018712	2.096414	1.834196	1.648980	1.500057
448000.00	7.382119	7.714348	5.913363	4.746216	3.938043	2.055599	1.799212	1.624509	1.484790
447000.00	7.066926	7.377795	5.141504	4.998930	4.423914	2.084641	1.798622	1.615502	1.478084
446000.00	8.741512	8.428504	5.858683	6.409265	4.090508	2.069611	1.780558	1.594411	1.452426
445000.00	11.420991	7.010375	5.214342	5.280204	3.438308	2.018887	1.743265	1.559752	1.419720
444000.00	6.596471	6.707171	6.550578	6.102438	3.577933	1.984205	1.699995	1.514811	1.376849
443000.00	9.624157	7.306533	5.279799	5.364866	3.628341	1.934706	1.643211	1.456994	1.321060
442000.00	10.446726	9.094522	7.217376	6.781499	3.885209	1.855341	1.553584	1.368638	1.238054
441000.00	9.060813	7.457635	5.939126	5.208492	3.179395	1.611043	1.378869	1.223922	1.116769
440000.00	4.938879	2.924391	2.382870	2.892311	2.566857	1.316896	1.157888	1.053849	0.976344
439000.00	2.042722	1.734945	1.508554	2.358231	1.759973	1.051800	0.955302	0.889212	0.837799
438000.00	1.462912	1.292736	1.169592	1.058080	0.924987	0.832934	0.783695	0.745991	0.714359
437000.00	1.143853	1.026960	0.925007	0.844267	0.762924	0.693265	0.655659	0.630868	0.610644
436000.00	0.922630	0.836035	0.760934	0.701627	0.642310	0.588730	0.557234	0.538539	0.525173
435000.00	0.763683	0.699178	0.643239	0.596061	0.549209	0.507072	0.479521	0.464180	0.454670

\*\*\* ISCLT3 - VERSION 96113 \*\*\*  
 \*\*\* RUN FOR ISCLT MODEL IN SEOWL AREA  
 \*\*\*  
 \*\*\* MODELING OPTIONS USED: CONC URBAN FLAT DEFAULT  
 \*\*\* THE ANNUAL AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL  
 INCLUDING SOURCE(S):

	1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30	

\*\*\* NETWORK ID: GRID001 ; NETWORK TYPE: GRIDCART \*\*\*  
 \*\* CONC OF TSP IN MICROGRAMS/M\*\*3

\*\*\*  
 PAGE 11

Y-COORD (METERS)	X-COORD (METERS)										
	205000.00	206000.00	207000.00	208000.00	209000.00	210000.00	211000.00	212000.00	213000.00		
450000.00	1.382997	1.269727	1.173728	1.091161	1.018815	0.955382	0.898958	0.848420	0.803405		
449000.00	1.374739	1.268872	1.177246	1.096985	1.026562	0.963971	0.908507	0.858440	0.813150		
448000.00	1.366690	1.264400	1.175451	1.097583	1.028450	0.967492	0.912648	0.862663	0.817715		
447000.00	1.356016	1.256130	1.169356	1.092801	1.025112	0.964852	0.910401	0.861197	0.816991		
446000.00	1.346426	1.238548	1.154129	1.080153	1.013892	0.954977	0.902951	0.853921	0.810291		
445000.00	1.336207	1.211118	1.129755	1.058052	0.994479	0.937308	0.886157	0.838494	0.796564		
444000.00	1.286294	1.173966	1.095038	1.026294	0.965388	0.910756	0.861971	0.817108	0.776035		
443000.00	1.213831	1.124840	1.049150	0.983992	0.926605	0.876322	0.829187	0.787332	0.749237		
442000.00	1.137980	1.056442	0.987333	0.927502	0.875211	0.828569	0.786590	0.748593	0.714330		
441000.00	1.033757	0.965432	0.907102	0.856322	0.811303	0.771074	0.734825	0.701820	0.671290		
440000.00	0.914493	0.862899	0.817657	0.777218	0.740861	0.707841	0.677703	0.650052	0.624439		
439000.00	0.795849	0.759698	0.727076	0.697370	0.669118	0.643427	0.619592	0.597037	0.576350		
438000.00	0.687167	0.663746	0.642019	0.620954	0.600787	0.581207	0.562835	0.545351	0.528823		
437000.00	0.593837	0.579031	0.565316	0.551556	0.537323	0.523544	0.510130	0.496705	0.483918		
436000.00	0.514869	0.506154	0.497932	0.489336	0.480548	0.470995	0.461352	0.451798	0.442066		
435000.00	0.448018	0.443386	0.439301	0.434707	0.429528	0.423630	0.417590	0.410564	0.403670		
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	214000.00	215000.00	216000.00	217000.00							
450000.00	0.762562	0.725563	0.691427	0.660734							
449000.00	0.772569	0.734466	0.700694	0.669095							
448000.00	0.776701	0.739356	0.705338	0.673509							
447000.00	0.776782	0.739870	0.705633	0.673956							
446000.00	0.770752	0.733775	0.700334	0.668666							
445000.00	0.757502	0.722377	0.689781	0.659092							
444000.00	0.739122	0.705395	0.674211	0.644227							
443000.00	0.713932	0.682357	0.652365	0.624626							
442000.00	0.682116	0.652805	0.625626	0.600332							
441000.00	0.643318	0.617430	0.593121	0.570821							
440000.00	0.600810	0.578459	0.557076	0.537759							
439000.00	0.556912	0.537932	0.520234	0.503490							
438000.00	0.513298	0.498159	0.483505	0.469386							
437000.00	0.471433	0.459372	0.447944	0.436072							
436000.00	0.432451	0.423254	0.414023	0.404991							
435000.00	0.396177	0.389336	0.382293	0.375357							

\*\*\* ISELT3 - VERSION 96113 \*\*\* RUN FOR ISELT MODEL IN SEOUL AREA

```

*** MODELING OPTIONS USED: CONC URBAN ELAP DEFULT
*** THE MAXIMUM 10 ANNUAL AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR GROUP: ALL ***
INCLUDING SOURCE(S): 1 2 3 4 5 6 7
8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19
20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

** CONC OF TSP IN MICROGRAMS/M**3
RANK CONC RT RECEPTOR (XR_YR) OF TYPE RANK CONC RT RECEPTOR (XR_YR) OF TYPE
-----
1. 16.856192 RT ( 192000.00, 442000.00) GC 6. 14.214732 RT ( 188000.00, 447000.00) GC
2. 16.574156 RT ( 191000.00, 442000.00) GC 7. 14.053734 RT ( 188000.00, 446000.00) GC
3. 15.501278 RT ( 189000.00, 447000.00) GC 8. 13.965527 RT ( 190000.00, 441000.00) GC
4. 14.644800 RT ( 191000.00, 441000.00) GC 9. 13.911564 RT ( 190000.00, 444000.00) GC
5. 14.280833 RT ( 193000.00, 443000.00) GC 10. 13.908648 RT ( 189000.00, 444000.00) GC

*** RECEPTOR TYPES: GC = GRIDCART
GP = GRIDPOLR
DC = DISCART
DP = DISCPOLR
BD = BOUNDARY

# *** ISCUT3 - VERSION 96113 *** *** RUN FOR ISCUT MODEL IN SEOUL AREA ***

*** MODELING OPTIONS USED: CONC URBAN ELAP DEFULT
*** Message Summary : ISCUT3 Model Execution ***

----- Summary of Total Messages -----
R Total of 0 Fatal Error Message(s)
R Total of 0 Warning Message(s)
R Total of 0 Informational Message(s)

***** FATAL ERROR MESSAGES *****
*** NONE ***

***** WARNING MESSAGES *****
*** NONE ***

*****
*** ISCUT3 Finishes Successfully ***
*****

```

## 【부록 2】 기상요인별 미세먼지 상관분석

〈표 1〉 사당동 서울기상대 시간자료 기상조건과 미세먼지와의 상관분석결과

PM <sub>10</sub>	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
40 미만	$Y = -0.478X_1 - 0.073X_2 + 0.001X_3 - 1.294X_4 + 65.894$ (t=-5.171) (t=-1.086) (t=0.136) (t=-3.814) (t=7.896)	497	0.079	0.142	10.526
60 미만	$Y = 0.045X_1 + 0.027X_2 + 0.009X_3 + 1.149X_4 + 42.004$ (t=0.211) (t=0.239) (t=0.827) (t=1.824) (t=2.144)	92	0.042	0.102	0.962
80 미만	$Y = 0.265X_1 - 0.180X_2 + 0.008X_3 + 0.718X_4 + 44.807$ (t=0.821) (t=-1.071) (t=0.341) (t=0.771) (t=1.531)	43	0.053	0.106	0.536
100 미만	$Y = 0.347X_1 - 0.165X_2 + 0.006X_3 + 0.061X_4 + 58.936$ (t=0.540) (t=-0.479) (t=0.114) (t=0.037) (t=1.016)	18	0.033	0.096	0.111
120 미만	$Y = -0.679X_1 + 0.022X_2 + 0.026X_3 - 0.928X_4 + 173.529$ (t=-0.712) (t=0.049) (t=0.468) (t=-0.497) (t=2.069)	12	0.111	0.327	0.219
120 이상	$Y = 1.538X_1 - 0.430X_2 - 0.056X_3 - 0.620X_4 + 12.949$ (t=0.638) (t=-0.336) (t=-0.301) (t=-0.100) (t=0.060)	16	0.045	0.385	0.130
전체	$Y = -1.759X_1 + 0.207X_2 - 0.001X_3 - 1.776X_4 + 190.850$ (t=-9.410) (t=1.245) (t=-0.040) (t=-1.967) (t=11.241)	678	0.124	0.234	23.793

Y : 미세먼지 구간, X<sub>1</sub> : 습도, X<sub>2</sub> : 기온, X<sub>3</sub> : 강수량, X<sub>4</sub> : 풍속

〈표 2〉 사당동 서울기상대 일자료 기상조건과 미세먼지와의 상관분석결과

PM <sub>10</sub>	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
40 미만	$Y = -0.183X_1 + 0.097X_2 - 0.005X_3 - 0.069X_4 + 38.595$ (t=-1.788) (t=0.659) (t=-0.108) (t=-0.051) (t=4.142)	68	0.056	0.142	0.931
60 미만	$Y = -0.011X_1 - 0.253X_2 + 0.005X_3 - 4.101X_4 + 62.443$ (t=-0.081) (t=-1.455) (t=0.115) (t=-2.526) (t=5.117)	33	0.191	0.277	1.653
100 미만	$Y = 0.147X_1 - 0.341X_2 + 0.035X_3 - 6.465X_4 + 77.520$ (t=0.504) (t=-0.936) (t=0.429) (t=-2.049) (t=2.926)	20	0.243	0.332	1.201
100 이상	$Y = -0.184X_1 + 5.714X_2 - 0.587X_3 + 33.439X_4 - 5.097$ (t=-0.055) (t=0.572) (t=-0.502) (t=0.449) (t=-0.013)	7	0.207	1.155	0.131
전체	$Y = -1.019X_1 + 0.107X_2 - 0.014X_3 - 5.482X_4 + 133.379$ (t=-3.906) (t=0.295) (t=-0.144) (t=-1.547) (t=6.013)	128	0.126	0.288	4.436

Y : 미세먼지 구간, X<sub>1</sub> : 습도, X<sub>2</sub> : 기온, X<sub>3</sub> : 강수량, X<sub>4</sub> : 풍속

<표 3> 사당동 자동측정망 시간자료 기상조건과 미세먼지와의 상관분석결과

PM <sub>10</sub>	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
40 미만	Y = -0.171·X <sub>1</sub> - 0.071·X <sub>2</sub> + 4.197·X <sub>3</sub> - 0.242·X <sub>4</sub> + 41.667 (t=-20.278) (t=-3.751) (t=3.992) (t=-11.397) (t=55.602)	3051	0.188	0.225	176.868
60 미만	Y = -0.100·X <sub>1</sub> - 0.061·X <sub>2</sub> + 3.953·X <sub>3</sub> - 0.146·X <sub>4</sub> + 59.422 (t=-15.528) (t=-4.313) (t=4.936) (t=-8.984) (t=99.680)	2116	0.177	0.218	113.715
80 미만	Y = -0.106·X <sub>1</sub> - 0.082·X <sub>2</sub> + 5.164·X <sub>3</sub> - 0.161·X <sub>4</sub> + 80.641 (t=-12.832) (t=-4.641) (t=4.851) (t=-8.019) (t=101.462)	1484	0.182	0.232	82.150
100 미만	Y = -0.091·X <sub>1</sub> + 0.009·X <sub>2</sub> + 6.374·X <sub>3</sub> - 0.166·X <sub>4</sub> + 98.331 (t=-7.193) (t=0.347) (t=3.764) (t=-6.318) (t=76.414)	808	0.128	0.214	29.403
120 미만	Y = -0.098·X <sub>1</sub> + 0.040·X <sub>2</sub> + 5.478·X <sub>3</sub> - 0.130·X <sub>4</sub> + 119.019 (t=-4.560) (t=0.996) (t=1.832) (t=-3.495) (t=52.295)	434	0.089	0.147	10.445
150 미만	Y = -0.191·X <sub>1</sub> + 0.098·X <sub>2</sub> + 5.738·X <sub>3</sub> - 0.161·X <sub>4</sub> + 150.070 (t=-5.546) (t=1.546) (t=1.174) (t=-2.666) (t=40.837)	364	0.108	0.164	10.838
200 미만	Y = -0.048·X <sub>1</sub> - 0.017·X <sub>2</sub> + 21.263·X <sub>3</sub> - 0.252·X <sub>4</sub> + 176.630 (t=-0.525) (t=-0.130) (t=1.596) (t=-1.762) (t=18.815)	199	0.029	0.050	1.449
250 미만	Y = -0.231·X <sub>1</sub> + 0.188·X <sub>2</sub> + 91.113·X <sub>3</sub> + 0.508·X <sub>4</sub> + 244.173 (t=-0.924) (t=0.621) (t=1.542) (t=-1.699) (t=10.022)	51	0.113	0.193	1.465
250 이상	Y = -1.341·X <sub>1</sub> - 0.119·X <sub>2</sub> - 132.836·X <sub>3</sub> - 0.200·X <sub>4</sub> + 442.028 (t=-1.438) (t=-0.096) (t=-0.453) (t=-0.170) (t=4.900)	39	0.078	0.117	0.723
전체	Y = -0.166·X <sub>1</sub> - 0.238·X <sub>2</sub> + 24.431·X <sub>3</sub> - 1.130·X <sub>4</sub> + 85.588 (t=-6.693) (t=-4.367) (t=7.904) (t=-17.516) (t=40.446)	8546	0.040	0.064	88.687

Y : 미세먼지 구간, X<sub>1</sub> : 습도, X<sub>2</sub> : 기온, X<sub>3</sub> : 강수량, X<sub>4</sub> : 풍속

<표 4> 사당동 자동측정망 일자료 기상조건과 미세먼지와의 상관분석결과

PM <sub>10</sub>	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
40 미만	Y = -0.203·X <sub>1</sub> - 0.037·X <sub>2</sub> + 7.045·X <sub>3</sub> - 5.267·X <sub>4</sub> + 50.271 (t=-3.592) (t=-0.307) (t=0.484) (t=-3.779) (t=9.319)	112	0.252	0.633	9.025
60 미만	Y = -0.140·X <sub>1</sub> - 0.033·X <sub>2</sub> + 5.234·X <sub>3</sub> - 3.074·X <sub>4</sub> + 64.811 (t=-3.101) (t=-0.345) (t=0.460) (t=-2.727) (t=14.639)	105	0.195	0.475	6.051
80 미만	Y = -0.101·X <sub>1</sub> - 0.139·X <sub>2</sub> + 21.676·X <sub>3</sub> - 4.792·X <sub>4</sub> + 83.778 (t=-1.867) (t=-1.241) (t=1.587) (t=-3.425) (t=15.259)	77	0.232	0.535	5.447
100 미만	Y = -0.097·X <sub>1</sub> - 0.226·X <sub>2</sub> + 23.383·X <sub>3</sub> - 5.509·X <sub>4</sub> + 104.737 (t=-0.837) (t=-0.898) (t=0.808) (t=-2.049) (t=8.467)	33	0.170	0.323	1.430
120 미만	Y = -0.125·X <sub>1</sub> + 0.167·X <sub>2</sub> - 20.576·X <sub>3</sub> - 3.863·X <sub>4</sub> + 124.461 (t=-0.815) (t=0.642) (t=-0.498) (t=-1.137) (t=7.521)	16	0.240	0.705	0.868
150 미만	Y = -0.177·X <sub>1</sub> + 0.187·X <sub>2</sub> - 41.957·X <sub>3</sub> - 6.249·X <sub>4</sub> + 157.996 (t=-0.540) (t=0.412) (t=-0.583) (t=-0.992) (t=4.340)	14	0.155	0.355	0.413
150 이상	Y = -5.179·X <sub>1</sub> + 5.073·X <sub>2</sub> - 1333.862·X <sub>3</sub> + 0.070·X <sub>4</sub> + 686.140 (t=-2.598) (t=1.323) (t=-1.937) (t=0.001) (t=3.613)	8	0.730	2.186	2.033
전체	Y = -0.177·X <sub>1</sub> - 0.513·X <sub>2</sub> + 38.048·X <sub>3</sub> - 20.456·X <sub>4</sub> + 100.242 (t=-1.191) (t=-1.434) (t=0.860) (t=-5.561) (t=7.920)	365	0.085	0.198	8.337

Y : 미세먼지 구간, X<sub>1</sub> : 습도, X<sub>2</sub> : 기온, X<sub>3</sub> : 강수량, X<sub>4</sub> : 풍속

<표 5> 한남동 서울기상대 시간자료 기상조건과 미세먼지와의 상관분석결과

PM <sub>10</sub>	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
40 미만	$Y = -0.104X_1 - 0.191X_2 - 0.003X_3 - 0.496X_4 + 35.837$ (t=-11.591) (t=-9.862) (t=-0.612) (t=-3.309) (t=42.072)	2676	0.088	0.057	64.076
60 미만	$Y = -0.068X_1 - 0.099X_2 + 0.004X_3 - 0.256X_4 + 56.546$ (t=-9.987) (t=-6.177) (t=1.131) (t=-2.288) (t=83.686)	2007	0.062	0.049	33.218
80 미만	$Y = -0.066X_1 - 0.076X_2 - 0.004X_3 - 0.465X_4 + 75.839$ (t=-7.959) (t=-3.668) (t=-0.796) (t=-3.467) (t=86.415)	1509	0.051	0.054	20.101
100 미만	$Y = -0.074X_1 + 0.042X_2 + 0.002X_3 - 0.806X_4 + 95.278$ (t=-5.998) (t=-1.386) (t=0.311) (t=-4.508) (t=69.140)	918	0.083	0.086	20.614
120 미만	$Y = -0.046X_1 + 0.076X_2 + 0.004X_3 - 0.755X_4 + 112.141$ (t=-2.564) (t=1.887) (t=0.618) (t=-3.357) (t=57.633)	530	0.066	0.061	9.210
150 미만	$Y = -0.070X_1 + 0.079X_2 + 0.016X_3 - 1.365X_4 + 139.918$ (t=2.382) (t=1.230) (t=1.808) (t=-3.807) (t=44.287)	466	0.073	0.076	9.110
200 미만	$Y = -0.076X_1 + 0.004X_2 - 0.034X_3 - 2.192X_4 + 182.617$ (t=-1.097) (t=0.254) (t=-0.812) (t=-2.902) (t=25.474)	334	0.048	0.060	4.119
250 미만	$Y = -0.056X_1 + 0.255X_2 + 0.075X_3 - 2.603X_4 + 222.986$ (t=-0.604) (t=1.498) (t=1.538) (t=-2.691) (t=24.090)	128	0.143	0.132	5.147
250 이상	$Y = 0.692X_1 + 1.898X_2 + 0.063X_3 - 6.767X_4 + 239.633$ (t=0.919) (t=1.834) (t=0.180) (t=-1.053) (t=3.330)	41	0.162	0.154	1.743
전체	$Y = -0.164X_1 - 0.795X_2 - 0.196X_3 - 1.278X_4 + 89.696$ (t=-6.178) (t=-15.669) (t=-6.608) (t=-3.058) (t=39.247)	8609	0.043	0.022	95.566

Y : 미세먼지 구간, X<sub>1</sub> : 습도, X<sub>2</sub> : 기온, X<sub>3</sub> : 강수량, X<sub>4</sub> : 풍속

<표 6> 한남동 서울기상대 일자료 기상조건과 미세먼지와의 상관분석결과

PM <sub>10</sub>	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
40 미만	$Y = -0.009X_1 + 0.034X_2 + 0.022X_3 + 0.515X_4 + 24.549$ (t=-0.078) (t=0.183) (t=0.491) (t=0.326) (t=1.999)	59	0.008	0.023	0.115
60 미만	$Y = 0.101X_1 + 0.173X_2 - 0.040X_3 - 0.419X_4 + 39.968$ (t=0.823) (t=0.997) (t=-0.729) (t=-0.276) (t=3.165)	38	0.080	0.216	0.720
100 미만	$Y = 0.129X_1 + 0.305X_2 - 0.119X_3 - 0.551X_4 + 61.573$ (t=0.411) (t=0.685) (t=-0.927) (t=-0.144) (t=2.012)	23	0.096	0.266	0.477
100 이상	$Y = 1.860X_1 - 8.615X_2 + 0.593X_3 - 63.606X_4 + 253.387$ (t=0.923) (t=-0.625) (t=0.470) (t=-0.655) (t=0.489)	8	0.566	1.072	0.979
전체	$Y = -1.043X_1 - 0.597X_2 + 0.029X_3 - 4.945X_4 + 147.780$ (t=-3.804) (t=-1.560) (t=0.293) (t=-1.327) (t=6.336)	128	0.164	0.305	6.031

Y : 미세먼지 구간, X<sub>1</sub> : 습도, X<sub>2</sub> : 기온, X<sub>3</sub> : 강수량, X<sub>4</sub> : 풍속

<표 7> 한남동 자동측정망 시간자료 기상조건과 미세먼지와의 상관분석결과

PM <sub>10</sub>	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
40 미만	Y = -0.100·X <sub>1</sub> - 0.160·X <sub>2</sub> - 0.603·X <sub>3</sub> - 3.080·X <sub>4</sub> + 36.588 (t=-9.858) (t=-6.825) (t=-0.916) (t=-6.876) (t=36.864)	2364	0.068	0.056	42.977
60 미만	Y = -0.083·X <sub>1</sub> - 0.069·X <sub>2</sub> - 0.609·X <sub>3</sub> - 2.500·X <sub>4</sub> + 58.865 (t=-9.910) (t=-3.268) (t=-1.198) (t=-7.001) (t=68.107)	1554	0.077	0.083	32.373
80 미만	Y = -0.068·X <sub>1</sub> - 0.036·X <sub>2</sub> + 0.124·X <sub>3</sub> - 3.015·X <sub>4</sub> + 76.795 (t=-6.254) (t=-1.376) (t=0.220) (t=-7.344) (t=66.016)	1095	0.075	0.098	22.018
100 미만	Y = -0.092·X <sub>1</sub> + 0.008·X <sub>2</sub> + 0.652·X <sub>3</sub> - 3.304·X <sub>4</sub> + 98.462 (t=-5.315) (t=0.206) (t=0.784) (t=-6.051) (t=52.761)	568	0.127	0.174	20.472
120 미만	Y = -0.067·X <sub>1</sub> - 0.034·X <sub>2</sub> + 0.086·X <sub>3</sub> - 2.966·X <sub>4</sub> + 116.886 (t=-2.679) (t=-0.679) (t=0.065) (t=-4.357) (t=44.279)	339	0.077	0.115	6.942
150 미만	Y = -0.075·X <sub>1</sub> + 0.029·X <sub>2</sub> + 0.857·X <sub>3</sub> - 4.232·X <sub>4</sub> + 142.218 (t=-2.069) (t=0.402) (t=0.482) (t=-4.255) (t=37.055)	353	0.080	0.112	7.550
200 미만	Y = -0.097·X <sub>1</sub> + 0.099·X <sub>2</sub> + 0.123·X <sub>3</sub> - 6.713·X <sub>4</sub> + 184.986 (t=-1.256) (t=0.668) (t=0.028) (t=-3.302) (t=22.356)	248	0.071	0.097	4.623
250 미만	Y = -0.195·X <sub>1</sub> + 0.230·X <sub>2</sub> + 1.619·X <sub>3</sub> - 1.033·X <sub>4</sub> + 234.351 (t=-1.803) (t=0.113) (t=0.224) (t=-0.344) (t=19.024)	102	0.061	0.079	1.574
250 이상	Y = 0.935·X <sub>1</sub> + 2.810·X <sub>2</sub> - 47.962·X <sub>3</sub> + 1.104·X <sub>4</sub> + 189.405 (t=0.825) (t=1.984) (t=-0.650) (t=0.059) (t=1.509)	35	0.158	0.146	1.412
전체	Y = 0.005·X <sub>1</sub> - 1.201·X <sub>2</sub> + 13.577·X <sub>3</sub> - 16.820·X <sub>4</sub> + 88.831 (t=0.159) (t=-18.168) (t=6.254) (t=-11.889) (t=30.375)	6658	0.057	0.057	101.137

Y : 미세먼지 구간, X<sub>1</sub> : 습도, X<sub>2</sub> : 기온, X<sub>3</sub> : 강수량, X<sub>4</sub> : 풍속

<표 8> 한남동 자동측정망 일자료 기상조건과 미세먼지와의 상관분석결과

PM <sub>10</sub>	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
40 미만	Y = -0.046·X <sub>1</sub> - 0.140·X <sub>2</sub> - 2.512·X <sub>3</sub> - 4.061·X <sub>4</sub> + 36.221 (t=-0.669) (t=-0.826) (t=-0.235) (t=-1.115) (t=5.423)	88	0.030	0.064	0.642
60 미만	Y = -0.0098·X <sub>1</sub> - 0.056·X <sub>2</sub> - 5.416·X <sub>3</sub> - 1.125·X <sub>4</sub> + 53.950 (t=-0.208) (t=-0.505) (t=-0.746) (t=-0.459) (t=11.580)	81	0.028	0.049	0.539
80 미만	Y = 0.019·X <sub>1</sub> - 0.097·X <sub>2</sub> + 7.994·X <sub>3</sub> - 6.112·X <sub>4</sub> + 72.595 (t=0.241) (t=-0.567) (t=0.755) (t=-1.667) (t=9.608)	54	0.069	0.173	0.909
100 미만	Y = -0.200·X <sub>1</sub> + 0.146·X <sub>2</sub> - 31.391·X <sub>3</sub> - 5.942·X <sub>4</sub> + 109.438 (t=-1.130) (t=0.440) (t=-1.079) (t=-1.108) (t=8.035)	21	0.213	0.513	1.080
120 미만	Y = -0.016·X <sub>1</sub> + 0.130·X <sub>2</sub> - 1.679·X <sub>3</sub> - 3.769·X <sub>4</sub> + 108.558 (t=-0.076) (t=0.334) (t=-0.047) (t=-0.625) (t=6.370)	16	0.108	0.360	0.333
150 미만	Y = -0.361·X <sub>1</sub> - 0.145·X <sub>2</sub> - 30.577·X <sub>3</sub> - 10.476·X <sub>4</sub> + 172.357 (t=-1.366) (t=-0.305) (t=-0.683) (t=-1.464) (t=8.119)	14	0.423	1.098	1.647
150 이상	Y = -1.486·X <sub>1</sub> - 0.906·X <sub>2</sub> - 76.245·X <sub>3</sub> - 46.371·X <sub>4</sub> + 356.745 (t=-1.187) (t=-0.401) (t=-0.359) (t=-1.368) (t=3.548)	14	0.394	1.175	1.463
전체	Y = 0.277·X <sub>1</sub> - 2.392·X <sub>2</sub> + 103.645·X <sub>3</sub> - 40.648·X <sub>4</sub> + 88.644 (t=1.695) (t=-6.764) (t=3.927) (t=-4.573) (t=6.135)	288	0.153	0.303	12.820

Y : 미세먼지 구간, X<sub>1</sub> : 습도, X<sub>2</sub> : 기온, X<sub>3</sub> : 강수량, X<sub>4</sub> : 풍속

<표 9> 천호동 서울기상대 시간자료 기상조건과 미세먼지와외의 상관분석결과

PM <sub>10</sub>	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
40 미만	$Y = -0.115X_1 - 0.281X_2 - 0.019X_3 - 0.505X_4 + 35.525$ (t=-12.349) (t=-13.907) (t=-2.518) (t=-3.046) (t=40.298)	3015	0.118	0.064	100.300
60 미만	$Y = -0.081X_1 - 0.150X_2 - 0.001X_3 - 0.520X_4 + 58.184$ (t=-12.165) (t=-9.689) (t=-0.358) (t=-4.301) (t=86.503)	1822	0.115	0.094	59.305
80 미만	$Y = -0.090X_1 - 0.115X_2 + 0.000X_3 - 0.684X_4 + 78.915$ (t=-10.827) (t=-5.405) (t=-0.069) (t=-4.836) (t=88.528)	1297	0.100	0.115	36.087
100 미만	$Y = -0.090X_1 - 0.112X_2 + 0.003X_3 - 0.715X_4 + 99.056$ (t=-8.329) (t=-4.146) (t=0.610) (t=-4.219) (t=85.324)	927	0.086	0.106	21.767
120 미만	$Y = -0.060X_1 - 0.045X_2 + 0.010X_3 - 0.529X_4 + 115.267$ (t=-3.670) (t=-1.174) (t=1.814) (t=-2.353) (t=65.187)	544	0.035	0.051	4.852
150 미만	$Y = -0.092X_1 - 0.094X_2 + 0.018X_3 - 0.984X_4 + 143.703$ (t=-3.491) (t=-1.554) (t=2.189) (t=-2.762) (t=50.801)	514	0.039	0.059	5.125
200 미만	$Y = -0.122X_1 + 0.126X_2 + 0.047X_3 - 2.093X_4 + 183.664$ (t=-2.262) (t=1.056) (t=2.309) (t=-3.165) (t=31.532)	359	0.075	0.089	7.216
250 미만	$Y = 0.043X_1 + 0.303X_2 - 0.027X_3 + 0.480X_4 + 209.605$ (t=0.419) (t=1.561) (t=-0.451) (t=0.454) (t=19.728)	138	0.019	0.011	0.630
250 이상	$Y = 0.894X_1 + 2.280X_2 - 0.843X_3 - 2.334X_4 + 194.467$ (t=1.650) (t=2.317) (t=-1.346) (t=-0.482) (t=3.489)	24	0.346	0.461	2.513
전체	$Y = -0.043X_1 - 0.612X_2 - 0.194X_3 - 3.097X_4 + 81.552$ (t=-1.592) (t=-11.689) (t=-6.422) (t=-7.211) (t=34.745)	8640	0.026	0.027	57.007

Y : 미세먼지 구간, X<sub>1</sub> : 습도, X<sub>2</sub> : 기온, X<sub>3</sub> : 강수량, X<sub>4</sub> : 풍속

<표 10> 천호동 서울기상대 일자료 기상조건과 미세먼지와외의 상관분석결과

PM <sub>10</sub>	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
40 미만	$Y = -0.160X_1 - 0.102X_2 + 0.055X_3 - 0.466X_4 + 38.640$ (t=-1.249) (t=-0.556) (t=1.093) (t=-0.277) (t=3.200)	61	0.040	0.089	0.576
60 미만	$Y = 0.273X_1 + 0.222X_2 - 0.038X_3 - 1.000X_4 + 27.354$ (t=1.988) (t=1.144) (t=-0.864) (t=-0.735) (t=2.090)	33	0.187	0.362	1.610
100 미만	$Y = 0.248X_1 - 0.033X_2 - 0.109X_3 - 4.520X_4 + 64.110$ (t=0.935) (t=-0.089) (t=-1.033) (t=-1.468) (t=2.479)	24	0.240	0.442	1.498
100 이상	$Y = 2.525X_1 + 6.652X_2 - 1.001X_3 + 19.099X_4 - 190.323$ (t=1.631) (t=1.083) (t=-1.529) (t=0.400) (t=-0.796)	10	0.631	1.562	2.135
전체	$Y = -1.046X_1 - 0.236X_2 + 0.046X_3 - 5.594X_4 + 144.398$ (t=-3.280) (t=-0.532) (t=0.397) (t=-1.292) (t=5.326)	128	0.099	0.240	3.368

Y : 미세먼지 구간, X<sub>1</sub> : 습도, X<sub>2</sub> : 기온, X<sub>3</sub> : 강수량, X<sub>4</sub> : 풍속

<표 11> 천호동 자동측정망 시간자료 기상조건과 미세먼지와의 상관분석결과

PM <sub>10</sub>	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
40 미만	$Y = -0.160X_1 - 0.160X_2 - 4.763X_3 - 3.232X_4 + 41.493$ (t=-16,852) (t=-7,395) (t=-7,539) (t=-11,776) (t=49,605)	3007	0.169	0.154	152.336
60 미만	$Y = -0.105X_1 - 0.063X_2 - 2.730X_3 - 1.591X_4 + 60.664$ (t=-14,987) (t=-3,904) (t=-6,318) (t=-8,477) (t=92,990)	1819	0.159	0.175	85.687
80 미만	$Y = -0.120X_1 - 0.016X_2 - 3.217X_3 - 1.605X_4 + 81.584$ (t=-13,380) (t=-0,736) (t=-6,243) (t=-7,463) (t=92,986)	1297	0.149	0.200	56.367
100 미만	$Y = -0.124X_1 - 0.005X_2 - 3.496X_3 - 1.637X_4 + 102.124$ (t=-10,405) (t=-0,183) (t=-5,421) (t=-6,701) (t=87,832)	927	0.138	0.195	36.952
120 미만	$Y = -0.096X_1 + 0.048X_2 - 3.039X_3 - 0.888X_4 + 117.980$ (t=-5,131) (t=1,213) (t=-3,283) (t=-2,849) (t=6,943)	544	0.061	0.083	8.686
150 미만	$Y = -0.148X_1 + 0.068X_2 - 4.943X_3 - 1.532X_4 + 147.706$ (t=-4,957) (t=1,065) (t=-3,294) (t=-3,106) (t=51,390)	514	0.064	0.084	8.657
200 미만	$Y = -0.166X_1 + 0.383X_2 - 5.073X_3 - 1.179X_4 + 182.786$ (t=-2,548) (t=2,946) (t=-1,669) (t=-1,218) (t=28,322)	359	0.054	0.043	5.043
250 미만	$Y = 0.126X_1 + 0.024X_2 + 7.562X_3 - 1.846X_4 + 209.275$ (t=1,090) (t=0,117) (t=1,291) (t=-1,216) (t=18,340)	138	0.041	0.046	1.430
250 이상	$Y = -0.150X_1 + 2.062X_2 - 45.171X_3 - 4.698X_4 + 288.958$ (t=-0,207) (t=1,637) (t=-1,030) (t=-0,434) (t=4,119)	24	0.260	0.162	1.668
전체	$Y = -0.148X_1 - 0.395X_2 - 11.703X_3 - 22.529X_4 + 106.089$ (t=-5,607) (t=-7,400) (t=-6,347) (t=-29,656) (t=50,597)	8629	0.112	0.161	272.350

Y : 미세먼지 구간, X<sub>1</sub> : 습도, X<sub>2</sub> : 기온, X<sub>3</sub> : 강수량, X<sub>4</sub> : 풍속

<표 12> 천호동 자동측정망 일자료 기상조건과 미세먼지와의 상관분석결과

PM <sub>10</sub>	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
40 미만	$Y = -0.113X_1 - 0.054X_2 - 1.573X_3 - 4.146X_4 + 40.779$ (t=-1,418) (t=-0,365) (t=-0,153) (t=-2,290) (t=5,722)	98	0.086	0.188	2.197
60 미만	$Y = -0.082X_1 - 0.034X_2 - 0.182X_3 - 2.868X_4 + 60.849$ (t=-1,558) (t=-0,347) (t=-0,027) (t=-2,380) (t=12,808)	100	0.098	0.220	2.588
80 미만	$Y = -0.061X_1 - 0.061X_2 + 0.277X_3 - 1.449X_4 + 75.938$ (t=-0,964) (t=-0,489) (t=0,033) (t=-0,980) (t=13,094)	70	0.055	0.125	0.940
100 미만	$Y = -0.094X_1 - 0.004X_2 + 1.980X_3 - 4.785X_4 + 102.873$ (t=-1,029) (t=-0,027) (t=0,169) (t=-2,323) (t=11,524)	44	0.166	0.353	1.940
120 미만	$Y = -0.111X_1 - 0.102X_2 + 2.637X_3 - 8.569X_4 + 130.560$ (t=-1,185) (t=-0,441) (t=0,210) (t=-3,179) (t=13,043)	20	0.462	0.881	3.216
150 미만	$Y = -0.209X_1 - 0.340X_2 + 13.827X_3 - 15.958X_4 + 177.394$ (t=-1,122) (t=-0,770) (t=0,554) (t=-3,175) (t=9,367)	21	0.437	0.930	3.099
150 이상	$Y = 0.492X_1 - 0.138X_2 + 54.270X_3 - 19.198X_4 + 170.770$ (t=0,504) (t=-0,063) (t=0,407) (t=-0,726) (t=1,536)	12	0.188	0.379	0.405
전체	$Y = -0.284X_1 - 0.258X_2 - 32.086X_3 - 34.242X_4 + 130.152$ (t=-1,629) (t=-0,829) (t=-1,287) (t=-8,345) (t=9,554)	365	0.184	0.349	20.229

Y : 미세먼지 구간, X<sub>1</sub> : 습도, X<sub>2</sub> : 기온, X<sub>3</sub> : 강수량, X<sub>4</sub> : 풍속

<표 13> 남가좌동 서울기상대 시간자료 기상조건과 미세먼지와의 상관분석결과

PM <sub>10</sub>	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
40 미만	$Y = -0.061X_1 - 0.206X_2 - 0.019X_3 - 0.767X_4 + 29.609$ (t=-6.322) (t=-10.577) (t=-2.460) (t=-4.835) (t=35.359)	3031	0.059	0.035	47.599
60 미만	$Y = -0.032X_1 - 0.124X_2 - 0.003X_3 - 0.703X_4 + 54.655$ (t=-4.367) (t=-7.478) (t=-0.582) (t=-5.441) (t=76.846)	1468	0.053	0.048	20.671
80 미만	$Y = -0.035X_1 - 0.130X_2 - 0.002X_3 - 0.749X_4 + 75.145$ (t=-4.127) (t=-6.624) (t=-0.451) (t=-4.996) (t=88.696)	1176	0.053	0.050	16.454
100 미만	$Y = -0.028X_1 - 0.097X_2 - 0.005X_3 - 0.604X_4 + 93.456$ (t=-2.790) (t=-3.894) (t=-0.918) (t=-3.365) (t=89.960)	824	0.033	0.036	6.980
120 미만	$Y = -0.047X_1 - 0.141X_2 - 0.004X_3 - 0.644X_4 + 115.522$ (t=-3.634) (t=-4.571) (t=-0.712) (t=-2.950) (t=88.354)	526	0.065	0.061	9.099
150 미만	$Y = -0.078X_1 - 0.229X_2 - 0.004X_3 - 0.876X_4 + 144.413$ (t=-3.683) (t=-4.404) (t=-0.478) (t=-2.422) (t=65.161)	456	0.067	0.058	8.150
200 미만	$Y = -0.073X_1 - 0.382X_2 - 0.012X_3 - 1.463X_4 + 183.695$ (t=-1.905) (t=-4.078) (t=-0.750) (t=-2.331) (t=45.329)	393	0.052	0.050	5.295
250 미만	$Y = -0.116X_1 - 0.495X_2 + 0.049X_3 - 0.370X_4 + 237.317$ (t=-1.482) (t=-2.652) (t=1.889) (t=-0.303) (t=28.057)	125	0.084	0.071	2.737
250 이상	$Y = -0.418X_1 - 2.041X_2 + 0.037X_3 - 1.171X_4 + 354.495$ (t=-1.513) (t=-3.230) (t=0.184) (t=-0.342) (t=11.822)	66	0.170	0.087	3.122
전체	$Y = 0.166X_1 + 0.098X_2 - 0.242X_3 - 3.891X_4 + 61.070$ (t=5.432) (t=1.681) (t=-7.302) (t=-8.147) (t=23.347)	8065	0.023	0.037	47.861

Y : 미세먼지 구간, X<sub>1</sub> : 습도, X<sub>2</sub> : 기온, X<sub>3</sub> : 강수량, X<sub>4</sub> : 풍속

<표 14> 남가좌동 서울기상대 일자료 기상조건과 미세먼지와의 상관분석결과

PM <sub>10</sub>	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
40 미만	$Y = -0.186X_1 - 0.085X_2 + 0.025X_3 - 1.148X_4 + 39.970$ (t=-1.506) (t=-0.437) (t=0.322) (t=-0.610) (t=3.585)	58	0.051	0.111	0.716
60 미만	$Y = 0.336X_1 + 0.017X_2 - 0.091X_3 - 2.305X_4 + 25.712$ (t=1.484) (t=0.060) (t=-0.728) (t=-0.949) (t=1.193)	21	0.201	0.598	1.007
100 미만	$Y = -0.243X_1 + 0.026X_2 - 0.023X_3 - 0.799X_4 + 90.463$ (t=-1.382) (t=0.092) (t=-0.202) (t=-0.295) (t=4.768)	30	0.092	0.328	0.635
100 이상	$Y = 0.750X_1 - 0.024X_2 - 0.552X_3 - 11.427X_4 + 100.365$ (t=0.749) (t=-0.015) (t=-1.058) (t=-0.899) (t=1.101)	15	0.268	0.777	0.916
전체	$Y = -0.592X_1 + 0.117X_2 + 0.099X_3 - 7.162X_4 + 107.363$ (t=-1.713) (t=0.245) (t=0.805) (t=-1.550) (t=3.658)	124	0.044	0.106	1.369

Y : 미세먼지 구간, X<sub>1</sub> : 습도, X<sub>2</sub> : 기온, X<sub>3</sub> : 강수량, X<sub>4</sub> : 풍속

<표 15> 남가좌동 자동측정망 시간자료 기상조건과 미세먼지와외의 상관분석결과

PM <sub>10</sub>	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
40 미만	$Y = -0.055X_1 - 0.189X_2 + 0.006X_3 - 1.966X_4 + 30.898$ (t=-5.639) (t=-9.162) (t=0.012) (t=-9.125) (t=38.089)	3031	0.072	0.058	58.499
60 미만	$Y = -0.022X_1 - 0.105X_2 + 0.454X_3 - 0.883X_4 + 53.763$ (t=-2.947) (t=-6.312) (t=1.280) (t=-5.218) (t=78.337)	1468	0.050	0.041	19.388
80 미만	$Y = -0.023X_1 - 0.111X_2 + 0.711X_3 - 0.766X_4 + 73.677$ (t=-2.631) (t=-5.654) (t=1.772) (t=-3.970) (t=91.165)	1176	0.046	0.035	14.109
100 미만	$Y = -0.012X_1 - 0.088X_2 + 1.045X_3 - 0.331X_4 + 91.215$ (t=-1.183) (t=-3.684) (t=2.256) (t=-1.423) (t=90.372)	824	0.025	0.021	5.220
120 미만	$Y = -0.045X_1 - 0.100X_2 + 0.048X_3 - 0.191X_4 + 113.688$ (t=-3.533) (t=-3.360) (t=0.085) (t=-0.694) (t=93.548)	526	0.052	0.030	7.124
150 미만	$Y = -0.064X_1 - 0.188X_2 + 0.879X_3 - 0.729X_4 + 142.008$ (t=-3.068) (t=-3.839) (t=0.954) (t=-1.595) (t=69.493)	456	0.059	0.039	7.112
200 미만	$Y = -0.051X_1 - 0.322X_2 + 1.586X_3 - 1.558X_4 + 180.454$ (t=-1.389) (t=-3.624) (t=0.971) (t=-2.007) (t=50.816)	393	0.047	0.033	4.775
250 미만	$Y = -0.086X_1 - 0.380X_2 - 1.784X_3 + 0.139X_4 + 233.259$ (t=-1.204) (t=-2.161) (t=-0.633) (t=0.110) (t=33.954)	125	0.063	0.025	2.012
250 이상	$Y = -0.418X_1 - 1.993X_2 + 1.596X_3 + 0.218X_4 + 351.323$ (t=-1.878) (t=-3.445) (t=0.209) (t=0.063) (t=15.976)	66	0.199	0.101	3.792
전체	$Y = 0.261X_1 - 0.091X_2 + 9.287X_3 - 14.751X_4 + 68.119$ (t=8.537) (t=-1.497) (t=5.859) (t=-21.769) (t=27.503)	8065	0.074	0.124	161.644

Y : 미세먼지 구간, X<sub>1</sub> : 습도, X<sub>2</sub> : 기온, X<sub>3</sub> : 강수량, X<sub>4</sub> : 풍속

<표 16> 남가좌동 자동측정망 일자료 기상조건과 미세먼지와외의 상관분석결과

PM <sub>10</sub>	추정방정식	통계검증치			
		N	R <sup>2</sup>	D-W	F
40 미만	$Y = -0.073X_1 - 0.190X_2 + 4.985X_3 - 4.051X_4 + 37.631$ (t=-0.993) (t=-1.399) (t=0.601) (t=-2.621) (t=5.873)	112	0.124	0.305	3.796
60 미만	$Y = 0.076X_1 - 0.223X_2 + 14.434X_3 - 1.750X_4 + 45.700$ (t=1.332) (t=-2.083) (t=2.254) (t=-1.350) (t=8.292)	72	0.101	0.238	1.872
80 미만	$Y = 0.079X_1 - 0.243X_2 + 15.591X_3 - 1.910X_4 + 65.357$ (t=1.245) (t=-2.061) (t=2.203) (t=-1.333) (t=10.730)	72	0.098	0.241	1.820
100 미만	$Y = 0.124X_1 - 0.212X_2 + 20.760X_3 + 0.164X_4 + 77.300$ (t=1.638) (t=-1.501) (t=2.337) (t=0.096) (t=10.654)	43	0.128	0.262	1.397
120 미만	$Y = -0.045X_1 + 0.199X_2 + 9.441X_3 - 0.249X_4 + 107.874$ (t=-0.282) (t=0.566) (t=0.421) (t=-0.051) (t=7.911)	19	0.229	0.775	1.038
150 미만	$Y = -0.024X_1 + 0.025X_2 + 20.306X_3 - 0.105X_4 + 131.700$ (t=-0.142) (t=0.064) (t=0.822) (t=-0.210) (t=9.134)	18	0.270	0.832	1.203
150 이상	$Y = -0.885X_1 + 2.458X_2 - 75.206X_3 + 4.368X_4 + 216.041$ (t=-1.019) (t=1.226) (t=-0.598) (t=0.163) (t=2.941)	18	0.193	0.688	0.777
전체	$Y = 0.347X_1 - 0.546X_2 + 29.887X_3 - 34.257X_4 + 91.736$ (t=1.998) (t=-1.674) (t=1.435) (t=-8.012) (t=6.223)	354	0.165	0.350	17.257

Y : 미세먼지 구간, X<sub>1</sub> : 습도, X<sub>2</sub> : 기온, X<sub>3</sub> : 강수량, X<sub>4</sub> : 풍속

# Abstract

## Study on PM10 Emission Inventories and Management Strategies in Seoul

Project Number	SDI 2004-R-22
Research	WoonSoo Kim (in Charge) YoungSil Hong

Citizens are increasingly concerned about the impacts of PM10 pollutants on human health, and on the urban environment. In the last several years, a growing number of scientific evidence has indicated that the PM10 pollution can more seriously bring human health risks in even the largest and most industrialized cities. This concern is backed up by increasing scientific evidence. In 2002, road transport, one of the major sources of urban air pollution, especially accounted for around 77.0% of all PM10 emissions in Seoul. Without dramatic reductions of PM10 emissions from transportation sources, the on-going walkable city movement would not be successful.

<Table 1> PM10 Emission Forecast in Seoul (unit : tonne/year)

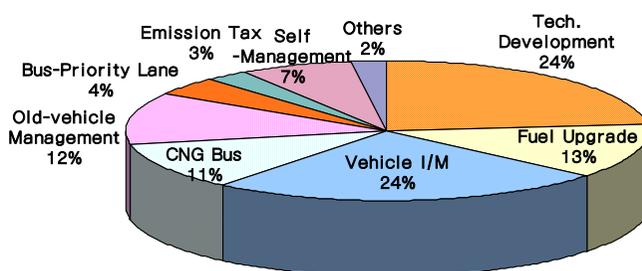
Sources	2002 year	2007 year	2010 year
Fuel Combustion	12.6	9.5	6.4
Misc. Processes	280.5	294.6	302.9
Industrial Processes	9.4	9.5	9.6
Wastes Incineration	3.9	7.4	9.2
On-Road Vehicles	3,850.3	3407.6	3,686.7
Off-Road Vehicles	624.3	713.0	734.4
Total	4,781.0	4441.7	4,749.1

Based on Seoul Government's general PM10 reduction plans, various measures already in place are expected to meet such perspectives. However, roadway PM10 abatement plans are not easy to meet PM10

reduction goals, even though there will be significant reductions in PM10 emissions from other sources.

Thus, this report firstly outlines the role definition of Seoul city government's strategic policy framework, thereby efficiently reducing the PM10 emissions in a systematical way.

Secondly, in order to obtain the comprehensive perception on urban air quality, the questionnaire was conducted on residents in Seoul during June 11 ~ 21 in 2004. The questionnaires (650) were randomly distributed, and 648 of them were collected via face-to-face interview method. Through data processing and analysis, it is realized that most of the citizens has deeply interested with improving air quality. However, they have not favorable position on the future perspective of clean air quality in Seoul. Such negative perception is mainly stemming from the emission contribution of automobiles. As long as more stringent emission-reducing policy options are not applied, it must keep in mind that negative perceptions are not easily transformed to the positive ones.



<그림 1> Selection of Priority to deal with vehicle emissions

In terms of Seoul city's upcoming "PM10 pollution forecasting and warning system", it seems that more broader campaign and communication

activities between relevant sectors are indispensable.

Thirdly, with a view to enhancing roadway environment by applying roadways cleaning systems to the targeted PM10 sources, this research is intended to provide an accessible and factual strategies to effectively reduce PM10 pollutants, associated with vehicle use along the roads. It also outlines the Seoul Government's strategic policy framework, including several measures for reducing transport-related PM10 emissions.

Finally, roadways cleaning system is introduced to effectively deal with the first-priority target sources of generating PM10 emissions in Seoul. It is estimated that, with applying roadways cleaning system to target sources, the reduction efficiency is about 50% for transport-related emissions in 2007. In the future, the practice of combined policy such as roadways cleaning system, more stringent vehicle emission standard, adoption of Low Emission Zone (LEZ), Transportation Demand Management (TDM), attachment of DPF dust-control device, fuel reformulation, Travel-Blending Techniques, etc. will dramatically reduce PM10 emissions in Seoul, thereby ensuring walkable city movement.

## **Table of Contents**

---

---

### *Chapter I Introduction*

### *Chapter II Characteristics of PM10 Pollution in Seoul*

1. Health Effects of PM10
2. Conditions of Influencing PM10 Pollution
3. Yearly Trends of PM10 Pollution
4. PM10 Concentration from Weather Variables

### *Chapter III Base Year and Future Emissions of PM10*

1. Methodology to Prepare Emission Inventory
2. Base and Future Inventories of PM10
3. Dispersion Modeling of PM10 Emissions

### *Chapter IV Case Study of Foreign Cities' PM10 Management*

1. Outlines of Case Study
2. Strategic Management of PM10 Pollution
3. Applicable Implications of Case Study

### *Chapter V Strategic Options for Improving PM10 Pollution in Seoul*

1. Basic Direction to Improve PM10 Pollution
2. Questionnaire Survey on Citizens' Air Quality Perception
3. PM10 Management Strategies in Seoul
4. Introduction of PM10 Forecasting and Warning System

### *Chapter VI Conclusion*

1. Summary
2. Policy Recommendations

### *References*

### *Appendix*

시정연 2004-R-22

서울시 미세먼지 배출량 조사·분석 및  
관리방안 연구

발행인           백용호

발행일           2004년 12월 31일

발행처           서울시정개발연구원

137-071 서울시 서초구 서초동 391번지

전화: (02)2149-1150   팩스: (02)2149-1199

값 9,000원

ISBN 89-8052-370-X-93530

본 출판물의 판권은 서울시정개발연구원에 속합니다.