

# 서울시 기후·환경 변화의 건강영향 분석연구

A Study on Investigating Air Pollution and Urban  
Climate-Induced Health Effects in Seoul

김운수



2013-PR-05

## 서울시 기후·환경 변화의 건강영향 분석연구

A Study on Investigating Air Pollution and Urban  
Climate-Induced Health Effects in Seoul

연구진

연구책임	김운수	안전환경연구실 선임연구위원
연구원	김정아	안전환경연구실 연구원

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서  
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

# 요약 및 정책건의

## 1 연구의 개요

### 1.1 배경 및 목적

- 세계보건기구(2007)는 전 세계적으로 대기오염으로 인한 사망자수가 3백만명(1.4~6백만명)에 이르며, 전체사망자(55백만명)의 약 5%를 차지하는 것으로 추정함. 특히 대기오염물질은 심뇌혈관질환, 호흡기질환의 이환율 및 사망률과 관련성이 높을 뿐만 아니라 중요한 위험요인 중 하나로 최근 인식되고 있음.
- 세계도시 서울의 환경복지 수준을 향상시키고, 건강한 삶의 조건을 확보하기 위해서는 서울의 도시기후 및 대기환경 조건의 변화에 따른 시민건강 영향을 분석하고, 기후환경 변화 요인에 대한 대응방안 마련이 필요함.
- 이 연구의 목적은 서울시민의 건강에 주된 영향을 미치는 요인인 도시기후 및 대기환경(도시 열스트레스와 대기오염)의 변화 패턴을 파악하여, 시민의 환경복지 개선의 장애요인인 기후·환경조건의 요인별 건강영향을 분석하고, 이를 바탕으로 향후 서울시 기후·환경 변화의 고도 적응도시 실현에 필요한 기초 정책정보를 제시하고자 함.

### 1.2 내용 및 방법

- 서울시민의 환경복지 개선을 위해 시민건강에 주된 영향을 미치는 도시기후와 대기환경 요인을 선별 추출하고, 도시기후 및 대기환경 수준의 시민건강 복합영향을 분석하여, 서울시 및 5개 권역별 기후환경 변화요인의 건강영향 분석과 대응을 위한 전략적 정보 생성 및 정책방향설계

1 2 1

**연구 범위**

- 시간적 범위 : 건강위해도 평가의 기초자료인 사망원인통계, 대기오염 자동측정망, AWS 측정자료의 시간범위는 자료 확보의 용이성, 유의성, 확실성 등을 고려하여 1999~2011년 기간으로 설정하고, 국민건강보험 공단의 건강보험청구자료는 DB접근의 현실적 제약으로 2006~2011년으로 설정
- 공간적 범위 : 사망률 및 유병률 등 건강에 영향을 미치는 기초정보 분석은 25개 자치구를 대상으로 하며, 대기오염의 건강위해도 평가는 서울시와 5개 권역을, 환경성 질환 관련 의료비용 지불 분석은 서울시 행정구역 전역을 대상으로 함.
- 내용적 범위 : 기후·환경조건 변화의 시민건강 영향분석을 상호 연계한 정책적 대응방안 도출
  - 시민의 환경복지 개선을 위해 건강 수준에 주된 영향을 미치는 도시기후와 대기환경 수준의 변화패턴
  - 도시기후 및 대기환경의 시민건강 영향
  - 기후·환경 변화의 시민건강 영향 대응 방안

1 2 2

**연구 방법**

- 문헌연구 및 기초자료 조사 : 기후·환경 조건의 변화에 따른 시민건강 영향(질병 사망 관련성의 정량적 평가) 분석을 위한 국내·외 문헌조사 및 세계도시의 사례 분석
- 기후·환경 수준의 변화 및 사망원인 시계열 기초통계 자료의 수집 및 횡단시계열 회귀분석

1 2 3

**주요 연구내용**

- 서울시 기후·환경조건 변화의 시민건강 영향평가 모니터링체계 기반 구축
- 기후·환경 조건의 변화 추세를 고려한 공간지역 단위별 기후환경 대응

## 특화전략 제언

- 서울시 기후변화 고도적응도시 실현을 위한 세부 시행계획과 기후·환경조건 변화에 따른 시민건강 영향분석 내용을 상호 연계한 정책적 대응 방안 도출

## 2 연구의 주요 결과

### 2.1 서울시 기후·환경 조건의 변화

#### 2.2 도시기후의 요인별 변화 특성

- 지난 100년(1908~2007)간 연평균 기온은 16.6℃, 연평균 최저기온은 7.3℃ 수준으로 각각 약 2.4℃, 3.7℃ 상승하여 지구 온난화에 비해 현저한 기온상승 추세를 보임.
- 1961년부터 2012년까지 기후변화를 분석한 결과 기온(평균, 최고, 최저)은 꾸준히 증가하는 경향을 보인 반면, 습도는 감소하고 풍속은 다소 약화되는 경향임.
- 일 최저기온이 25℃ 이상인 날인 열대야 발생과 관련하여 서울의 1960~2012년간 평균 열대야 일수는 6.0일이고, 0.2일/10년의 변화비율로 증가하였으며, 폭염, 불쾌지수 등과 관련되어 있는 열대일수(일최고기온이 30℃ 이상인 날)도 점차 증가하고 있음.

#### 2.2.1 대기환경의 시·공간적 변화 특성

- 청정에너지 이용비율 증대, 저공해 자동차 보급, 자동차 운행 수요관리 등 다양한 대기환경 개선정책으로 아황산가스, 일산화탄소 농도는 대기환경기준을 만족하는 양호한 수준을 유지
- 미세먼지 농도는 2003년 이후 꾸준히 감소하여 2012년에는 측정 이래 가장 낮은 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 충족하고, WHO 권고기준인 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하인 일수

가 점차 증가하고 있음. 특히 PM2.5 농도는 개선되고 있는 추세이며, 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  기준을 달성하는 측정소가 증가해 2012년에는 25개 측정소가운데 5개 측정소만이 기준을 충족하지 못함.

- 오존 농도는 1990년 이후 완만하게 증가하다 2000년을 정점으로 감소하였으나, 2005년 이후 다시 증가하고 있으며, 기온이 높고 일사량이 많은 여름철에 높게 나타남.

## 2.3 국내외 기후·환경 조건의 건강영향 사례 분석

- 대기오염물질의 단기 및 장기 노출에 의한 영향
  - 대기오염물질 농도의 변동에 따라 사망이나 기타 건강영향 지표에 미치는 단기 노출의 건강영향 시계열 분석이 주된 추세임.
  - 최근 건강영향 통계분석의 신뢰도 제고 및 보완을 위해, 성별, 연령, 흡연, 직업 등의 잠재적인 개인적 특성 등을 조정하여 위험도를 평가하는 코호트(cohort) 연구가 함께 진행
- 기후·환경 노출과 건강영향의 시계열 통계모형
  - 대기오염 농도와 건강 영향에는 시간적 지연효과(lag effect)의 관련성이 있는 것으로 보고되고 있으며, 많은 시계열 연구가 위험도를 추정할 경우 지연효과를 함께 고려하여 검토
  - 단기 노출 영향 분석에서 기상 인자의 공변량 조정에 관한 자유도가 큰 일반화가법 모델(Generalized additive model, GAM)이 활용되며, 기온 등의 기상인자에는 평활함수(smoothing function)가 적용
- 국내외 사례분석 동향
  - 국내외 기후·환경 조건의 변화에 따른 단기 노출의 시계열 연구 결과, PM10, PM2.5, O<sub>3</sub> 농도 증가는 전체 사망률, 순환계통, 호흡계통의 사망 증가와 관련성이 있는 것으로 보고되고 있음.

- PM10 농도  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가에 따른 전체인구의 전체 사망률은 1995년 인천에서는 2.1%, 서울에서는 1999~2001년 동안 1.3%, 1999~2004년 동안 0.37% 정도 증가
- 2005~2007년 동안 서울의 PM2.5 농도  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가에 따라 전체 사망률은 0.8%, 65세 이상의 사망률은 1.1%, 심혈관계 질환은 1.3% 증가
- PM10 농도  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가 시 로마(2001~2004)에서는 심혈관계 질환 사망률이 9.55% 증가하였으며, 스톡홀름(2000~2008)에서는 전체 사망률이 1.68% 증가
- 미국 105개 도시를 대상으로 한 연구결과(1985~2006)에서는  $\text{O}_3$  5ppb 증가에 따라 심부전증 사망률이 1.06%, 심근경색증 1.09% 증가하였으며, 리스본(2004~2006)에서는  $\text{O}_3$  10ppb 증가에 따라 전체인구의 사망률이 0.96%, 심혈관계 질환의 사망률은 1.97% 증가
- 이들 사례는 서울시가 향후 PM10, PM2.5 농도의 목표관리 방향설정에 유의하게 활용할 수 있는 시사점을 주고 있음.

## 2.4 기후·환경의 시민건강 영향분석

### 2.4.1 자료 수집 및 데이터베이스 구축

- 통계청의 사망자료, 국민건강보험공단의 상병자료, 기상청의 기상자료, 서울시의 대기오염측정망 측정자료 사용
- 이 연구에서는 다양한 환경성 질환 가운데 기후변화 및 대기오염과 관련성이 있다고 보고된 만성폐쇄성 폐질환, 고혈압성 심장질환, 허혈성 심장질환, 천식, 아토피 등의 질환을 환경성 질환으로 구분

## 환경성 질환의 시민건강 영향분석

- 사망비율 변화
  - 전체 질환으로 인한 사망률은 증감을 반복하는 추세로 1999년에는 10만명당 364.3명이 사망하였으나, 2011년에는 10만명당 383.0명이 사망하였으며, 다만 순환계통 질환, 호흡계통 질환으로 인한 사망률은 다소 감소하는 추세임.
  - 미세먼지의 연평균 농도 변화와 전체 사망자 대비 환경성 질환 사망자 비율 변화가 상호 유사한 증감패턴을 보임.
  - 고령화 시대의 건강도시 만들기 정책수요 대응과 관련하여 2011년 환경성 질환 사망자수의 연령분포에서 65세 이상이 78.4%에 달하고 있음.
  - 자치구별 인구 대비 사망 비율에서 순환계통 질환 사망 비율은 중구가 가장 높으며, 환경성 순환계통 질환 사망 비율은 서대문구, 중구가 다른 자치구에 비해 다소 높음.
  - 자치구별 질환별 사망비율은 고령화 비율 정도가 높은 자치구가 높게 나타나는 특징을 보임.
- 유병률 변화
  - 2006년~2011년 건강보험공단 자료를 바탕으로 질환 유형별 유병률과 진료비를 분석한 결과 유병률 증가 패턴이 나타남.
  - 순환계통 질환의 유병률은 2006년 인구 10만명당 258명에서 2011년 10만명당 270명으로 4.65% 증가(연평균 증가율은 0.89%)하였으며, 호흡계통 질환의 유병률은 연평균 0.95% 증가하고, 피부 및 피하조직 질환의 유병률은 연평균 6.01% 증가함.
  - 1인당 진료비용과 에피소드는 환경성 피부 및 피하조직 질환을 제외하고 모든 질환에서 증가
  - 순환계통 환경성 질환 진료비용 : 2006년 3,090천원/명에서 2011년 3,206천원/명으로 연평균 약 0.74% 증가

- 호흡계통 환경성 질환 진료비용 : 2006년 1,081천원/명에서 2011년 1,317천원/명으로 연평균 약 4.03% 증가
- 순환계통 환경성 질환 에피소드 : 2006년 1인당 6.2건에서 7.8건으로 연평균 4.68% 증가
- 호흡계통 환경성 질환 에피소드 : 2006년 8.7건에서 2011년 9.8건으로 연평균 2.25% 증가
- 2011년 지역별 환경성 질환의 유병률(인구 10만명당 환자수), 진료비용, 에피소드 분석에서 종로구·중구·용산구가 포함된 도심 권역에서 진료비용과 에피소드는 다른 권역에 비해 다소 적으나, 유병률은 높은 수준을 보임.

표 1 서울시 유병률 및 진료비용, 에피소드(2006년 및 2011년)

구분	유병률(단위 : 명/10만명)			진료비용(단위 : 천원/인당)			에피소드(단위 : 건/인당)			
	2006	2011	연평균	2006	2011	연평균	2006	2011	연평균	
			증감비율 (%)			증감비율 (%)				
환경성 질환	순환계통	258	270	▲0.89	3,090	3,206	▲0.74	6.2	7.8	▲4.68
	호흡계통	133	139	▲0.95	1,081	1,317	▲4.03	8.7	9.8	▲2.25
	피부 및 피하조직	1.3	1.7	▲6.01	569	513	▼2.05	7.2	6.3	▼2.87

### 2.4.3 기후·환경 변화의 시민건강 위해도 평가

- 대기오염물질 노출에 의한 일별 환경성 질환 사망자수 노출반응 추정
  - 단기 노출의 건강영향 시계열 모형의 적용에서 미세먼지, 초미세 먼지는 순환계통과 호흡계통에서 유의한 수준을 보이고 있으나, 오존은 순환계통 환경성 질환에 대해 뚜렷한 시계열 경향이 나타나지 않음.
  - 순환계통, 호흡계통 질환으로 인한 사망위험에서 PM2.5는 1.1~2.1%, PM10이 0.7~1.1% 증가하여 PM10보다 PM2.5의 건강위해도가 더 높은 것을 알 수 있음.

- PM10과 단기 노출에 따른 상대위험비가 산출된 권역 가운데 순환계통 질환의 상대위험비는 북서권역이 도심·북동권역보다 다소 높으며, 호흡계통 질환의 상대위험비는 도심권역이 다른 권역보다 다소 크게 나타남.
- 조기사망과 사망부담 추정
  - PM10 단기노출에 의한 순환계통 질환의 조기 사망자수는 1999년 664명에서 2011년 548명으로 약 17.4%, 호흡계통 질환의 조기 사망자수는 497명에서 294명으로 약 40.7% 감소
  - 2011년 대기오염 노출로 인한 순환계통 질환의 조기 사망부담은 인구 10만명당 PM10 5.21명, PM2.5 4.98명이었으며, 호흡계통 질환의 조기 사망부담은 PM10 2.8명, PM2.5 2.43명, O<sub>3</sub> 2.10명으로 PM10이 상대적으로 높음.
  - PM10 단기노출로 인한 연간 환경성 질환의 조기 사망자수는 2003년 이후 감소하다 2006년에 다소 증가하였으나, 2008년 이후 지속적으로 감소하는 경향을 보임.
  - PM10, PM2.5 농도의 변화 패턴을 반영하듯, 농도 개선에 따라 조기 사망수 및 조기 사망부담이 감소하는 경향임.
  - 고령 인구 증가는 사망부담 증가와 밀접한 관련이 있으나 PM10 농도 개선에 따라 사망부담 증가가 완화되는 요인으로 작용하고 있음.

표 2 서울시 연도별 PM10 단기 노출의 환경성 질환 조기사망자 및 조기 사망부담

구분	평균 농도 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	인구수 (명)	환경성 질환(순환계통 + 호흡계통)		
			사망률 (10만명당)	조기 사망자수 (명)(95% CI)	조기 사망부담 (10만명당)(95% CI)
1999	65	10,321,449	624	1,160 (591~1578)	11.24(5.73~15.29)
2000	65	10,373,234	664	1,306(665~1776)	12.59(6.42~17.12)
2001	70	10,331,244	713	1,542(791~2082)	14.92(7.66~20.15)
2002	76	10,280,523	683	1,636(850~2186)	15.91(8.26~21.27)
2003	69	10,276,968	615	1,430(729~1939)	13.91(7.09~18.87)
2004	61	10,287,847	570	1,292(648~1778)	12.56(6.30~17.29)
2005	58	10,297,004	505	1,168(581~1616)	11.34(5.65~15.69)
2006	60	10,356,202	489	1,236(617~1705)	11.93(5.95~16.47)
2007	61	10,421,782	507	1,399(698~1931)	13.43(6.70~18.53)
2008	55	10,456,034	429	1,158(572~1613)	11.08(5.47~15.43)
2009	54	10,464,051	367	1,021(503~1424)	9.75(4.81~13.61)
2010	49	10,575,447	268	939(458~1322)	8.88(4.33~12.51)
2011	47	10,528,774	257	843(410~1191)	8.00(3.89~11.31)

- 대기오염물질과 건강비용 부담
  - PM10 농도가  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가할 때 진료비용은 순환계통 환경성 질환이 0.7%, 호흡계통이 0.2%, 아토피 등 피부 및 피하조직 질환이 0.7%씩 증가
  - PM2.5 농도  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가 시 순환계통은 1.1%, 호흡계통은 0.4%, 피부 및 피하조직 질환은 0.5% 정도의 의료비용이 증가하며, PM10 보다 PM2.5의 농도에 의해 진료비용이 상대적으로 더 증가함.
  - $\text{O}_3$  10ppb씩 증가당 진료비용은 호흡계통 질환이 2.9%, 피부 및 피하조직 질환이 0.08% 증가
- 환경성 질환별 의료비용 평균 지불액과 초과 의료비용 부담
  - 연도별 오염물질별 전체 환경성 질환에 대한 의료비용 평균 지불

액의 경우, PM10과 PM2.5는 감소하는 추세인 반면, O<sub>3</sub>는 증가하는 추세

- PM10 환경성 질환의 초과 의료비용 부담은 2006년 961,936원/건에서 2011년 875,628원/건, PM2.5는 725,598원/건에서 665,905원/건으로 각각 9.0%, 8.2% 감소
- PM10 단기 노출에 의한 의료비용 평균 지불액, 초과 의료비용 부담의 감소는 연중 PM10 농도의 감소와 관련성이 있음
- O<sub>3</sub>의 초과 의료비용 부담은 2006년 에피소드 1건당 354,950원에서 2011년 455,118원으로 28.2% 증가

**표 3 오염물질별 환경성 질환의 의료비용 평균 지불액 및 초과 의료비용 부담**

구분		PM10	PM2.5	O <sub>3</sub>
의료비용 평균 지불액 (백만원)	2006	29,138	24,163	5,605
	2007	34,691	28,388	6,994
	2008	34,512	27,175	7,813
	2009	35,821	28,634	8,720
	2010	34,730	29,083	8,016
	2011	23,256	19,546	7,606
초과 의료비용 부담 (원/건)	2006	961,936	725,598	354,950
	2007	982,923	728,232	419,588
	2008	903,625	660,197	402,020
	2009	874,711	634,061	453,302
	2010	815,539	621,352	430,364
	2011	875,628	665,905	455,118

## 정책제언

- 3 1      **기후·환경조건 기반 시민건강 영향 모니터링 체계 구축**
- 3 1 1    **기후·환경변화 고도적응 기초정보 인프라 구축**
  - 환경복지 실현을 위한 선행단계로서 기후·환경 조건의 변화에 따른 시민건강 영향을 실질적으로 분석·평가하고 대응하기 위해 일차적으로 대기오염 농도, 건강영향 기초자료, 인구 집단 특성 등과 관련된 기초정보의 인프라 구축
  - 시민건강 위해도 추정의 불확실성을 정량적으로 평가하기 위해 부문별·지역별·대상별 기초정보의 유기적 통합 관리체계 마련이 U-City 전략과 함께 검토
- 3 1 2    **기후·환경 변화의 건강영향 판단 정보의 생산**
  - 환경서비스 형평성 제고를 위한 맞춤형 정책 개발과 지표 설정
    - 기후·환경 조건의 변화에 의한 건강영향을 완화하기 위한 차원에서 특정지역, 저소득계층, 어린이 등에 오염피해가 집중되는 정도를 지표화하여 오염물질 노출이 많고 취약 그룹이 많이 사는 지역에 대한 환경오염 피해 모니터링 및 건강피해 저감 대책 마련
  - 환경복지 증진에 필요한 조건의 충족을 위해 기후변화 적응 및 대기오염원 관리의 선택과 집중관리 등 맞춤형 관리대책의 수립·추진
- 3 2      **시민건강 위해도 정보를 활용한 지역별 차별화 대응 전략**
- 3 2 1    **기후환경 변화 건강영향 평가지도 제작 및 활용**
  - 서울시 기후지도 작성과 연계하여 건강영향 평가를 바탕으로 기후·환경 변화 영향 부문별·지역별 건강영향 평가지도를 제작
    - 도시의 토지이용 개발계획 및 적응수립의 적합성을 판단할 수 있

는 정책정보의 역할 담당

- 기초자료와 기후변화 적응의 교육자료 및 홍보자료로 활용

- 서울시 25개 자치구의 특성을 반영한 건강위해 요인을 파악하고, 대기 배출원 확인 및 고농도 국지지역(Hot-Spot) 중심 배출량 관리정책의 도입, 미세먼지, 오존 등 예·경보제도 운용 등 기후환경 변화의 고도적응 건강도시 기본계획 수립에의 활용 등 검토

### 3 2 2 기후환경 변화의 건강영향 지역 집중관리

- 지역 특성에 기반을 두고 권역별로 구분하여 지역 특성에 기초한 열섬대책 매뉴얼의 개발·활용 검토
- 취약성 분석자료, 고온·열파 지도와 도시열섬 지도 등을 토대로 도시열섬 현상이 강하게 나타나는 지역을 “도시열섬 집중관리지역(가칭)”으로 지정하여 관리지역에서 시행하는 신규개발에 대하여 옥상정원, 쿨링시스템, 식재, 마감재, 포장재 등의 기준 또는 가이드라인 작성·활용

### 3 2 3 기후친화도시(Climate-Positive City) 관리의 정책정보 활용

- 기후변화-대기오염-건강영향의 정량적인 연관성에 근거하여 정책을 수립하고, 나아가 정책들의 효과를 평가함으로써 기후변화-대기오염이 시민 건강에 미치는 영향을 최소화하기 위한 기후환경 변화 요인의 통합관리 및 역할 분담
- 기후변화 요인의 통합관리에 의해 생산된 건강영향 정보를 정책정보로 적극 활용

### 3 2 4 기후·환경 변화의 맞춤형 건강관리 대책 수립

- 고령인구의 건강영향 평가를 기초로 건강영향 취약지역과 취약계층을 대상으로 공공 의료 서비스의 우선 제공 등 건강영향 정보에 기초한 맞춤형 건강대책 수립

- 기후·환경 변화의 건강영향 맞춤형 관리의 효율성을 확보하기 위해 U-City 전략과 연계한 건강 도시 관리대책의 추진

### 3.3 기후변화 적응계획과의 연계성 확보방안

#### 3.3.1 서울시 기후변화 고도적응 기준(안) 개발 및 적용

- 기후변화 대책의 단계별 추진사항 관리 및 사회전반의 기후적응 수준을 평가함으로써 기후적응 능력을 지속적으로 향상시켜 나갈 수 있도록 평가시스템 구축
- 기후변화 고도적응 기준(안)을 개발하여, 이러한 적응 유형별·단계별 기준을 토대로 정기적 평가가 가능한 목표관리체계 구축

#### 3.3.2 대기오염에 따른 건강영향 감시 및 예방강화

- PM2.5 농도 변화가 질병의 발생 및 사망에 미치는 영향이 PM10에 비해 매우 높은 것으로 보고되고 있기 때문에 PM2.5 농도를 지속적으로 측정하여 추가 분석
- 미세먼지와 사망과의 관련성, 미세먼지의 농도 감소와 질병 사망률 변화와의 관련성을 파악하고, 건강영향을 고려한 경보제 운영도 요구
- 시민건강 위해도를 반영한 기후환경 영향 민감지역 관리, 국지 고농도 지역 관리에도 정책별 배려가 필요

# 차례

<b>I</b>	<b>연구의 개요</b>	<b>26</b>
1	연구배경 및 목적	26
11	연구배경	26
12	연구목적	27
2	연구내용 및 방법	28
21	연구내용	28
22	연구방법	29
<b>II</b>	<b>서울시 기후·환경 조건의 변화</b>	<b>32</b>
1	도시기후의 요인별 변화 특성	32
11	기온 변화	32
12	열대야 및 열대 일수 출현 빈도	33
13	계절 변화	35
2	대기환경의 시·공간적 변화 특성	36
21	아황산가스(SO <sub>2</sub> )	37
22	일산화탄소(CO)	38
23	미세먼지(PM10)	39
24	이산화질소(NO <sub>2</sub> )	41
25	오존(O <sub>3</sub> )	42
<b>III</b>	<b>기후·환경 조건의 건강영향 사례분석</b>	<b>46</b>
1	국내외 기후·환경 조건의 변화와 건강영향 분석 사례	46
11	미세먼지의 건강영향	46

12	오존과 건강영향 분석	57
13	고온과 대기오염의 상호작용으로 인한 건강영향	59
2	시사점 도출	62
<b>IV</b>	<b>기후·환경 변화의 시민건강 영향분석</b>	<b>66</b>
1	자료수집 및 분석방법	66
11	기상-대기질-건강영향 자료	66
12	통합 데이터베이스 구축	70
2	기후·환경 변화의 건강 영향분석	75
21	환경성 질환 분류	75
22	환경성 질환의 발생빈도 변화	79
23	유병률 변화	86
3	기후·환경 변화의 시민건강 위해도 평가	92
31	통계분석 모형	92
32	대기오염물질과 사망발생 영향	93
33	대기오염물질과 건강비용 부담	106
34	건강영향 평가의 한계	113
<b>V</b>	<b>기후·환경 변화의 시민 건강영향 대응 방안</b>	<b>118</b>
1	기후·환경조건 기반 시민 건강영향 모니터링 체계 구축	118
11	기후·환경변화 고도적응 기초정보 인프라 구축	118
12	기후·환경 변화의 건강영향 판단 정보의 생산	118
2	시민건강 위해도 정보를 활용한 지역별 차별화 대응 전략	120
21	기후환경 변화 건강영향 평가지도 제작 및 활용	120
22	기후환경 변화의 건강영향 지역 집중관리	121
23	기후친화도시(Climate-Positive City) 관리의 정책정보 활용	122
24	맞춤형 건강관리 대책 수립	122

3	기후변화 적응계획과의 연계성 확보방안	123
3.1	서울시 기후변화 고도적응 기준(안) 개발 및 적용	123
3.2	대기오염에 따른 건강영향 감시 및 예방강화	124
<b>VI</b>	<b>결론</b>	<b>128</b>
	<b>참고문헌</b>	<b>132</b>
	<b>부록</b>	<b>136</b>
	<b>Abstract</b>	<b>144</b>

## 표차례

표 2-1	서울시 도시기후 변화 비교	33
표 2-2	서울시 계절 시작일의 변화	35
표 2-3	서울시 연도별 대기오염 농도 변화	37
표 2-4	서울시 미세먼지 농도구간별 일수 및 시정거리 변화	39
표 2-5	서울시 연도별 오존주의보 발령현황	43
표 3-1	대기오염에 의한 건강영향 평가	47
표 3-2	국내 7개 도시의 연령군별 PM10 노출에 따른 사망 위험도	48
표 3-3	서울시 PM10과 PM2.5 단위 농도 증가당 총사망 위험도 비교	49
표 3-4	해외 도시 대상 미세먼지의 단기 노출 영향 연구사례와 상대위험도	51
표 3-5	PM 농도 변화의 건강영향 분석 연구	52
표 3-6	주요 코호트 연구의 상대리스크 비교	55
표 3-7	오존이 인체에 미치는 건강영향	57
표 3-8	오존으로 인한 건강영향에 대한 국내 선행연구	58
표 3-9	오존으로 인한 건강영향에 대한 국외 선행연구	59
표 3-10	기온과 대기오염 농도의 상호작용으로 인한 건강영향 연구	61
표 4-1	서울시 기상자료 수집 범위	67
표 4-2	통계청 사망원인 자료 변수	68
표 4-3	국민건강보험공단의 건강보험 및 의료급여 자료 변수	69
표 4-4	서울시 질병 사망률의 변화(1999년, 2011년)	80
표 4-5	서울시 25개 자치구별 사망자수(2011년 기준)	82
표 4-6	서울시 연도별 진료실 인원, 내원 일수 및 총진료비	87
표 4-7	서울시 유병률 및 진료비용, 에피소드(2006년 및 2011년)	88
표 4-8	미세먼지(PM10)의 다중 포아송 회귀모형 분석 결과(서울 전체)	95

표 4-9	초미세먼지(PM2.5)의 다중 포아송 회귀모형 분석 결과(서울 전체)	95
표 4-10	오존(O <sub>3</sub> )의 다중 포아송 회귀모형 분석 결과(서울 전체)	95
표 4-11	오염물질별 일별 사망위험의 상대위험비(서울 전체)	96
표 4-12	서울시 5개 권역별 오염물질별 일별 순환계, 호흡계통 질환 사망위험의 상대위험비	97
표 4-13	서울시 연도별 PM10 농도, 순환계통, 호흡계통 질환의 조기사망자 및 조기 사망부담(전체 인구 대상)	100
표 4-14	서울시 연도별 PM2.5 농도, 순환계통, 호흡계통 질환의 조기사망자 및 조기 사망부담(전체 인구 대상)	101
표 4-15	서울시 연도별 O <sub>3</sub> 농도, 호흡계통 질환의 조기사망자 및 조기 사망부담(전체 인구 대상)	102
표 4-16	서울시 연도별 PM10에 따른 환경성 질환의 조기사망자 및 조기 사망부담(전체 인구 대상)	103
표 4-17	서울시 연도별 PM2.5에 따른 환경성 질환의 조기사망자 및 조기 사망부담(전체 인구 대상)	103
표 4-18	진료비용의 상대 의료비용 부담비(Relative Cost : RC) 추정 결과	107
표 4-19	오염물질별 일별 환경성 질환 의료비용의 상대 의료비용 지불비	107
표 4-20	PM10 단위 증가와 의료비용 평균 지불액 및 초과의료비용 부담	110
표 4-21	PM2.5 단위 증가와 의료비용 평균 지불액 및 초과의료비용 부담	110
표 4-22	O <sub>3</sub> 의 의료비용 평균 지불액 및 초과의료비용 부담	112
표 4-23	오염물질별 환경성 질환의 의료비용 평균 지불액 및 초과 의료비용 부담	113

## 그림차례

그림 2-1	서울시 평균, 최고, 최저기온 변화(1961~2012)	32
그림 2-2	서울시 열대야 일수 변화	34
그림 2-3	서울시 열대일수 변화(1960~2012)	34
그림 2-4	서울시 25개 자치구별 열대야 일수 분포 변화(2008~2012)	34
그림 2-5	서울시 25개 자치구별 열대일수 분포(2008~2012)	35
그림 2-6	서울시 연도별 계절일수 변화(1999~2012)	36
그림 2-7	일평균 SO <sub>2</sub> 농도 시계열(1999~2011)	38
그림 2-8	자치구별 SO <sub>2</sub> 농도 분포(2012)	38
그림 2-9	서울시 25개 자치구별 연도별 SO <sub>2</sub> 분포(2000~2012)	38
그림 2-10	일평균 CO 농도 시계열(1999~2011)	39
그림 2-11	자치구별 CO 농도 분포(2012)	39
그림 2-12	일평균 PM10 농도 시계열(1999~2011)	40
그림 2-13	자치구별 PM10 농도 분포(2012)	40
그림 2-14	서울시 25개 자치구별 연도별 PM10 분포 변화(2000~2012)	40
그림 2-15	일평균 PM2.5 농도 시계열(1999~2011)	40
그림 2-16	자치구별 PM2.5 농도 분포(2012)	40
그림 2-17	서울시 25개 자치구별 연도별 PM2.5 분포 변화(2005~2012)	41
그림 2-18	NO <sub>2</sub> 일평균 농도 시계열(1999~2011)	42
그림 2-19	자치구별 NO <sub>2</sub> 농도 분포(2012)	42
그림 2-20	서울시 25개 자치구별 연도별 NO <sub>2</sub> 분포 변화(2005~2012)	42
그림 2-21	일평균 O <sub>3</sub> 농도 시계열(1999~2011)	43
그림 2-22	자치구별 O <sub>3</sub> 농도 분포(2012)	43
그림 2-23	서울시 25개 자치구별 연도별 O <sub>3</sub> 분포 변화(2000~2012)	43

그림 4-1	건강보험청구명세서 청구지급 절차 및 자료	69
그림 4-2	사망 관련 통합 DB 구조	72
그림 4-3	상병 관련 통합 DB 구조	72
그림 4-4	입원 에피소드 정의	74
그림 4-5	환경성 질환 추출 흐름	76
그림 4-6	서울시 미세먼지(PM10) 농도 및 질환별 사망률의 변화	79
그림 4-7	서울시 연도별 인구대비 질환 사망비율 변화(1999~2011)	81
그림 4-8	서울시 25개 자치구별 질환에 의한 사망자수 및 인구대비 사망 비율(2011)	83
그림 4-9	서울시 25개 자치구별 환경성 질환에 의한 사망자수 및 인구대비 사망 비율(2011)	84
그림 4-10	서울시 환경성 질환에 의한 사망자의 연령 분포	85
그림 4-11	서울시 환경성 질환에 의한 사망자의 성별 분포	85
그림 4-12	자치구별 65세 이상 인구(2011)	86
그림 4-13	자치구별 고령화 비율(2011)	86
그림 4-14	서울시 자치구별 환경성 질환 유병률 분포(2011)	89
그림 4-15	서울시 지역별 환경성 질환에 대한 진료비용 분포(2011)	90
그림 4-16	서울시 지역별 환경성 질환에 대한 에피소드 분포(2011)	91
그림 4-17	서울 일별 PM10 평균 농도 및 O <sub>3</sub> 최대 농도, 사망자수의 시계열 경향	94
그림 4-18	서울시 PM10 농도, 인구수, 사망률, 조기 사망부담의 변화 (1999년 기준)	104
그림 4-19	서울시 PM2.5 농도, 인구수, 사망률, 조기 사망부담의 변화 (1999년 기준)	104
그림 4-20	서울시 O <sub>3</sub> 농도, 인구수, 사망률, 조기 사망부담의 변화 (1999년 기준)	105
그림 4-21	서울시 PM10 농도별 조기 사망자수와 조기 사망부담 변화 비교	106
그림 5-1	EPA의 BenMap 작성 흐름도	121

# I 연구의 개요

1 연구배경 및 목적

2 연구내용 및 방법

# I 연구의 개요

## 1 연구배경 및 목적

### 1.1 연구배경

1.1.1 세계보건기구(2007)에 따르면 전 세계적으로 대기오염으로 인한 사망 자수는 3백만명(1.4~6백만명)에 이르며, 전체사망자(55백만명)의 약 5%를 차지하는 것으로 추정

건강보험심사평가원의 진료비 통계자료에 의하면 2011년 상반기 환경성 질환 진료 인원은 지난해 상반기에 비해 10% 증가한 5,793천명이며, 총 진료비는 1,932억원으로 전년 동기 대비 약 94억원(5.1%) 증가하여, 환경성 질환에 대한 경각심이 높아지고 있다.

특히 대기오염물질은 심뇌혈관질환, 호흡기질환의 이환율 및 사망률과 관련성이 높아 시민건강의 위해요인 중 하나로 인식되고 있다.

서울 시정거리 악화요인이며, 시민 호흡기 질환을 유발하는 미세먼지(PM10) 오염수준은 그동안 경유자동차 저공해화, 경유버스의 CNG 시내버스로의 전환 등 선택과 집중 전략으로 2011년  $47\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 2012년  $41\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 점차 감소하는 경향을 보이고 있으나, 세계 경쟁도시에 비해 여전히 높은 수치를 보이고 있다.

1.1.2 지구환경 변화와 함께 도시화 과정에서 도시열섬을 형성하는 특수한 도시기후 범역의 형성은 도시의 기온상승, 통풍불량 등의 환경변화를 유발하여 시민의 건강 위해 가능성은 물론, 도시 자체의 신진대사과정에도 영향을 미쳐 도시의 점진적 지속성이 확보되지 못하게 되는 요인으로 작용

서울시가 도시기후 변화에 의해 유발되는 폭염, 열대야, 폭우 등 이상 기온과 기상재해를 사전에 예측하고, 기후변화 피해를 최소화하는 예방시

시스템을 갖춘 시민 건강도시인 “기후변화 대응 고도적응도시” 만들기에 역점을 두는 기본배경이다.

- 113 **세계도시 서울의 환경복지 수준을 향상시키고, 건강한 삶의 조건 확보를 위해 서울의 기후·환경 변화에 따른 시민건강 영향을 분석하고, 기후환경 변화 요인에 대한 대응방안 마련이 필요**

기후변화 대응 시민 맞춤형 적응관리체계에 대한 수요가 증대하고 있음에 비추어 기후·환경조건 변화에 따른 건강영향 요인을 종합 분석하여, 대응방안 마련에 필요한 기초정보 제공이 요구되고 있다.

- 114 **환경 위해성 기반의 제2차 수도권 대기환경 개선 기본계획수립 예정**

수도권 대기환경관리 기본계획(2005~2014)이 2014년에 종료됨에 따라 1단계 추진성과와 여건 변화 및 미래 전망을 반영하여 2단계(2015~2024) 기본계획의 수립이 검토되고 있다. 1단계 기본계획은 미세먼지를 2014년까지  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 이산화질소를 22ppb 수준으로 저감하는 것을 목표로 지역 및 사업장 총량관리제 시행, 제작차 배출허용기준 강화, 운행차 저공해화 사업 등 광범위한 대책으로 구성되어 있다. 그 결과 최근 몇 년간 수도권의 미세먼지 농도는 개선되고 있지만 이산화질소 오염농도의 개선은 정체 상태에 있기 때문에 목표달성을 기대하기에는 한계를 보이고 있다.

2015~2024년을 대상으로 하는 2단계 수도권 대기환경개선 특별대책의 주된 관심은 그간 목표농도 관리에 집중했던 정책방향을 인체 위해성에 중점을 둔 방향으로 전환함에 있다. 이에 따라 서울을 포함한 수도권 대기환경 관리에서 기후환경 변화의 건강영향을 최소화하기 위한 새로운 정책방향 마련에 관심이 집중되고 있다.

- 12 **연구목적**

최근 기후환경 변화에 따른 건강영향에 대한 관심이 확산되고 있다. 특

히 21세기 글로벌 경쟁사회에서 기후환경 가치의 중요성이 부각됨에 따라, 세계의 도시들은 건강도시를 향한 도시브랜드 가치를 높이기 위한 전략 마련에 중점을 두고 있다. 21세기 기후환경의 시대를 맞이하여 건강하고 쾌적한 생활환경의 조성은 시민의 삶의 질 향상에 필요조건으로 인식되고 있어, 기후환경 변화에 따른 건강영향 개선은 지속 가능한 발전목표(sustainable development goal: SDG)를 가능할 수 있는 도시경쟁력 비교의 중요 요소가 되기 때문이다. 즉 민선5기 서울의 기후환경정책은 그간 추진하여 왔던 그랜드 기후환경 디자인 정책의 기본체계를 유지하되, 기후환경 모범도시로서의 건강가치 창출과 기후환경 요인의 통합관리 성과를 높이기 위한 발상전환이 요구되고 있다.

이 연구의 목적은 서울시민의 건강에 주된 영향을 미치는 요인인 도시기후 및 대기환경(도시 열스트레스와 대기오염)의 변화 패턴을 파악하여, 시민의 환경복지 개선의 장애요인인 기후·환경조건의 요인별 건강영향 분석뿐만 아니라, 선진도시의 기후환경 변화의 대응 정책을 조명하여 향후 적용 가능한 정책적 대안을 살펴보는 데 있다. 이를 바탕으로 향후 서울시 기후·환경 변화의 고도 적응도시 실현에 필요한 기초 정책정보를 제시하고자 한다.

## 2 연구내용 및 방법

### 2.1 연구내용

서울시민의 환경복지 개선을 위해 시민건강에 주된 영향을 미치는 도시기후와 대기환경 요인을 선별 추출하고, 기후·환경 조건의 변화에 따른 시민건강 영향을 복합적으로 분석하여, 서울시 및 5개 권역별 기후환경 변화요인의 건강영향 개선을 위한 전략적 정보 생성 및 정책방향 설계에 이 연구의 주안점이 있다. 서울의 기후변화 고도적응도시 실현을 위한 세부 시행계획과 기후·환경조건 변화에 따른 시민건강 영향분석을 상

호 연계한 정책적 대응방안을 도출하기 위해 다음과 같은 4개의 연구주제를 중심으로 접근하였다.

- 1) **서울시 기후·환경 조건의 변화 추세**  
서울시민의 환경복지 개선을 위해 시민건강에 주된 영향을 미치는 도시기후와 대기환경 수준의 변화패턴 분석
- 2) **기후·환경의 시민 건강영향 분석**  
기후·환경 조건의 변화가 시민건강에 미치는 영향은 어느 정도이며, 시민의 건강영향과 의료비용의 실질적 부담 수준 추정
- 3) **기후·환경 조건의 변화와 건강영향 분석 사례조사**  
기후·환경 변화에 따른 국내외 건강영향 분석 동향은 어떠하며, 분석결과를 바탕으로 이를 서울 및 수도권 지역에 원용할 수 있는 정책대안 검토
- 4) **서울시 기후·환경 변화의 시민건강영향 대응 방안**  
기후·환경 조건의 변화에 따른 시민건강 영향분석 결과를 바탕으로, 향후 서울시가 환경복지 증진 차원에서 도입 및 적용할 수 있는 정책방향 모색

## 2.2 연구방법

- 1) **문헌연구 및 기초자료 조사**  
기후·환경 조건의 변화에 따른 시민건강 영향(질병 사망 관련성의 정량적 평가) 분석을 위한 국내·외 문헌조사 및 세계도시의 사례 분석
- 2) **기후·환경 수준의 변화 및 사망원인·의료비용 부담 기초통계 자료의 수집 및 시계열 통계분석**
  - 사망원인 통계(1999~2011) : 사망 연월일, 주소지(행정코드), 성별, 사망 시 연령, 사망원인(질병분류 코드 중 환경성 질환)
  - 국민건강보험 청구자료(2006~2011) : 요양 개시일, 주소지(행

정코드), 성별, 연말기준 연령, 상병코드(질병분류 코드 중 환경성 질환), 입내원 일수, 진료비

- AWS 기상 측정자료(1999~2011) : 측정일시, 행정구역, 기온, 습도
- 대기오염자동측정망 측정자료(1999~2011) : 측정일시, 행정구역, 대기오염물질(PM10, PM2.5, O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>) 농도, 습도(25개 자치구)
- 기후조건(기온, 습도), 대기환경 조건(미세먼지, 오존, 이산화질소, 이산화황, 일산화탄소), 환경성 순환기 질환(뇌졸중·심근경색·허혈성 심장질환 등), 호흡기질환(천식·만성폐쇄성 폐질환)과의 시계열 분석을 통해 건강영향 파악
- 환경성 질환 코드 : 한국 표준 질병 사인 분류(Korean Standard Classification of Diseases, KCD) 코드 가운데 환경성 순환기 질환(뇌졸중·심근경색·허혈성 심장질환 등), 호흡기질환(천식·만성폐쇄성 폐질환), 피부 및 피하조직 질환(아토피)의 코드 추출

## II 서울시 기후·환경 조건의 변화

- 1 도시기후의 요인별 변화 특성
- 2 대기환경의 시·공간적 변화 특성

## II 서울시 기후·환경 조건의 변화

### 1 도시기후의 요인별 변화 특성

#### 1.1 기온 변화 : 평균·최고·최저 기온의 상승 경향

지난 100년(1908-2007)간 서울의 연평균 기온은 16.6℃, 연평균 최저 기온은 7.3℃ 수준으로 각각 약 2.4℃, 3.7℃ 상승하여 지구 온난화에 비해 현저한 기온상승 추세를 보이고 있다. 특히 연평균 기온은 처음 10년 기간(1908~1917)에 10.6℃, 마지막 10년 기간(1998~2007)에 13.0℃로 2.4℃씩 상승하여, 1908~2007년 동안 0.24℃/10년의 변화율로 상승하는 경향이다. 연평균 최고기온, 연평균 최저기온의 변화율은 각각 0.11℃/10년, 0.37℃/10년으로 연평균 최저기온의 상승 경향이 다소 높게 나타나고 있다(기상청, 2009).

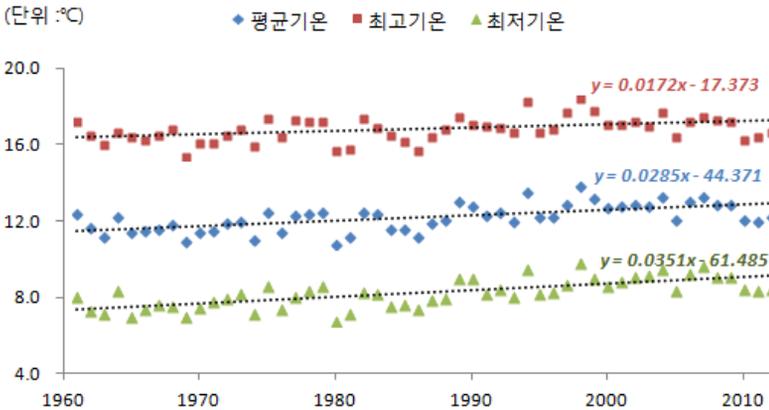


그림 2-1 서울시 평균, 최고, 최저기온 변화(1961~2012)

자료 : 서울통계정보시스템, <http://stat.seoul.go.kr>

1961년부터 2012년까지 서울의 기후변화를 분석하면, 기온(평균, 최고, 최저)은 꾸준히 증가하는 경향을 보인 반면, 습도는 감소하고 풍속은 다소 약화되고 있다(표 2-1 참조).

표 2-1 서울시 도시기후 변화 비교

구분	기온(°C)			강수량 (mm)	일조시간 (h)	상대습도 (%)	평균풍속 (%)
	평균	최고	최저				
1960년대(1961~1970)	11.6	16.4	7.5	1,495.7	2,114.2	70	2.4
1970년대(1971~1980)	11.8	16.7	7.9	1,216.2	2,000.2	69	2.5
1980년대(1981~1990)	12.0	16.6	8.0	1,364.8	2,209.5	67	2.5
1990년대(1991~2000)	12.7	17.3	8.7	1,452.4	2,133.2	65	2.2
2000년대(2001~2012)	12.7	17.0	9.0	1,618.3	1,919.6	61	2.4

자료 : 서울통계정보시스템, <http://stat.seoul.go.kr>

1.2 열대야 및 열대 일수 출현빈도 : 폭염, 불쾌지수와 관련된 일수로 증가 경향을 보이며, 도시화 진행속도가 빠른 지역에서 높게 나타남

일 최저기온이 25°C 이상인 날로 정의되는 열대야 발생에서 1960~2012년 간 서울의 평균 열대야 일수는 6.0일이며, 0.2일/10년의 변화비율을 보이고 있다. 폭염, 불쾌지수 등과 관련되어 있는 열대일수(일최고기온이 30°C 이상인 날)는 1960~2012년 동안 평균 33.2일로, 1960년대 35.4일, 1970년대 30.0일, 1980년대 27.2일, 1990년대 36.8일, 2000년대 36.0일로 점차 증가하는 경향이 있다. 이에 따라 에너지 소비와 연관된 냉방도일(24°C 이상 일평균 기온에서 기준온도인 24°C를 차감한 값)도 증가하고 있다.

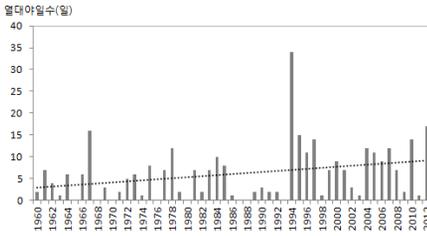


그림 2-2 서울시 열대야 일수 변화

자료 : 기상청, <http://www.kma.go.kr>

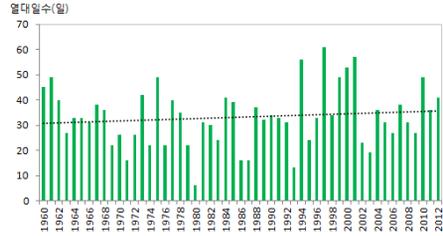


그림 2-3 서울시 열대야일수 변화(1960~2012)

자료 : 기상청, <http://www.kma.go.kr>

그리고 최근 5년(2008~2012년) 기간의 지역별 열대야 일수, 열대야일수는 강남구, 서초구, 송파구, 양천구, 동대문구, 중랑구, 광진구 등 도시화의 진행속도가 빠른 지역에서 비교적 많은 것으로 나타나고 있다.

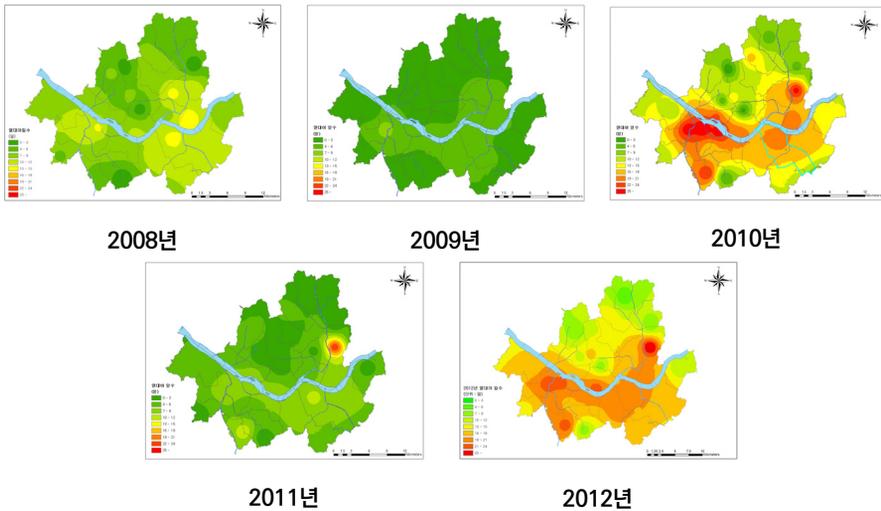


그림 2-4 서울시 25개 자치구별 열대야 일수 분포 변화(2008~2012)

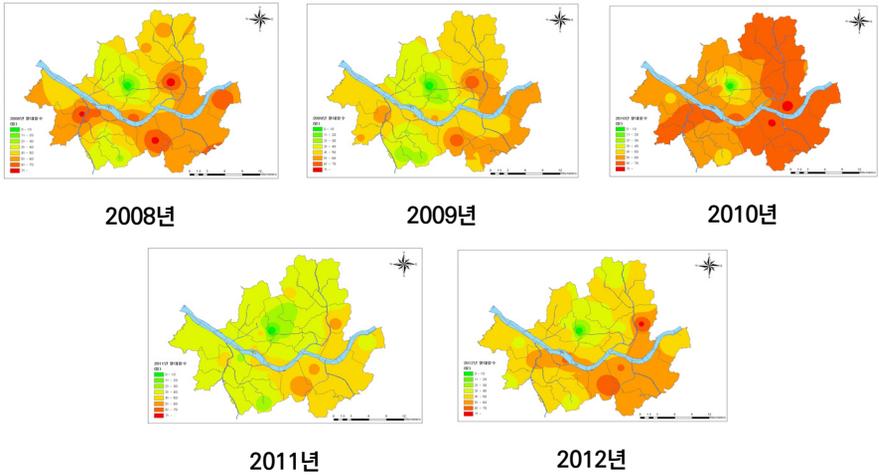


그림 2-5 서울시 25개 자치구별 열대일수 분포 변화(2008~2012)

### 1.3 계절 변화

기후변화에 따른 계절의 전이와 관련하여 1908~1917년, 1998~2007년 기간의 계절별 시작일을 비교하면, 봄의 시작일은 17일, 여름의 시작일은 15일 빨라진 반면, 가을과 겨울의 시작일은 각각 17일씩 늦어지는 경향이다. 계절별 시작일의 변화로 봄과 여름의 지속시간은 각각 2일, 32일 길어졌으며, 가을의 지속기간은 뚜렷한 변화를 보이지 않고, 겨울의 지속기간은 34일 짧아지는 특징이 나타나고 있다(국립기상연구소, 2009).

표 2-2 서울시 계절 시작일의 변화

구분	봄	여름	가을	겨울
1908~1917년(A)	3월 29일	6월 11일	9월 11일	11월 12일
1998~2007년(B)	3월 12일	5월 27일	9월 28일	11월 29일
차이(B-A)	-17일	-15일	+17일	+17일

자료 : 국립기상연구소, 2009, 「기후변화 이해하기 III - 서울의 기후변화」

1990~2012년 기간 서울의 계절일수의 변화에서 봄과 가을의 지속기간이 짧아진 반면, 여름의 지속기간은 길어지고 있다. 1908~1917년과 1998~2007년의 계절변화에서는 겨울이 크게 감소하고 여름이 증가하였으나, 1990년대에 들어서는 봄과 가을 일수가 감소하는 경향이 뚜렷하게 보이고 있다. 계절구분 기준에 따른 1년 단위의 온도분포 비교에서 봄과 겨울 동안 최저기온이 2000년에 비해 2012년에 비교적 높게 나타나고 있다.

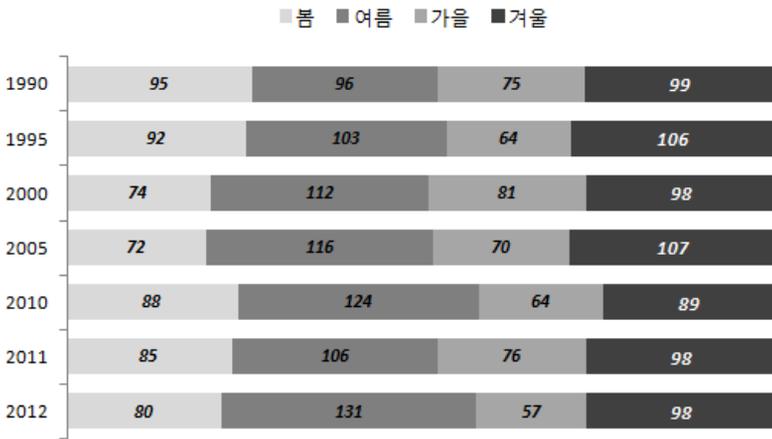


그림 2-6 서울시 연도별 계절일수 변화(1999~2012)

## 2 대기환경의 시·공간적 변화 특성

서울시 연도별 대기환경의 시·공간 분포 변화는 25개 대기오염 자동측정지점에서 측정된 이산화황(SO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 오존(O<sub>3</sub>) 및 미세먼지(PM10, PM2.5)의 시간단위 측정 자료를 바탕으로 분석하였다.

표 2-3 서울시 연도별 대기오염 농도 변화

구분	NO <sub>2</sub> (ppm)	CO (ppm)	SO <sub>2</sub> (ppm)	O <sub>3</sub> (ppm)	PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
2001	0.037	0.9	0.005	0.015	71	43
2002	0.036	0.7	0.005	0.014	76	40
2003	0.038	0.6	0.005	0.014	69	38
2004	0.037	0.6	0.005	0.014	61	30
2005	0.034	0.6	0.005	0.017	58	29
2006	0.036	0.6	0.005	0.018	60	30
2007	0.038	0.7	0.006	0.018	61	30
2008	0.038	0.6	0.005	0.019	55	26
2009	0.035	0.6	0.005	0.021	54	26
2010	0.034	0.5	0.005	0.019	49	25
2011	0.033	0.6	0.005	0.019	47	24
2012	0.030	0.5	0.005	0.021	41	23

자료 : 서울특별시, 2012, 「2011 서울의 대기질 평가보고서」

## 2.1 아황산가스(SO<sub>2</sub>)

청정에너지 이용비율 증대, 저공해 자동차 보급, 자동차 운행 수요관리 등 다양한 대기환경 개선정책으로 아황산가스 농도는 대기환경기준을 만족하는 양호한 수준을 유지하고 있다.<sup>1</sup> 측정소와 권역별 아황산가스 농도 분포에서 광진, 중랑, 성북, 강북구가 포함된 동북권역이 상대적으로 낮은 농도 수준을 보이며, 종로구가 포함된 도심권역이 다소 높게 나타나고 있다.

<sup>1</sup> 서울시 기준 : 아황산가스(SO<sub>2</sub>) 0.01ppm/년, 0.04ppm/일, 0.12ppm/시간, 일산화탄소(CO) 9ppm/8hr, 25ppm/hr

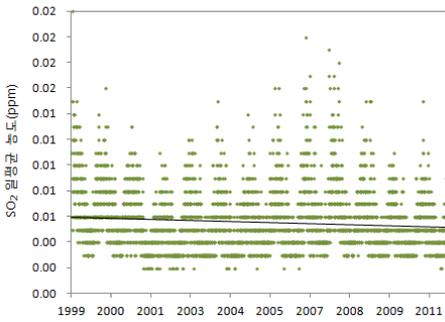


그림 2-7 일평균 SO<sub>2</sub> 농도 시계열(1999~2011)

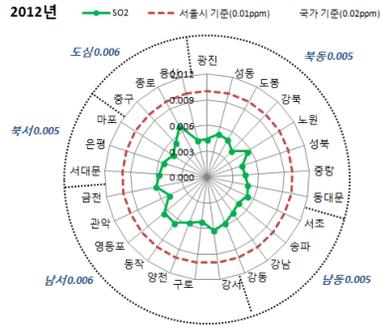


그림 2-8 자치구별 SO<sub>2</sub> 농도 분포(2012)

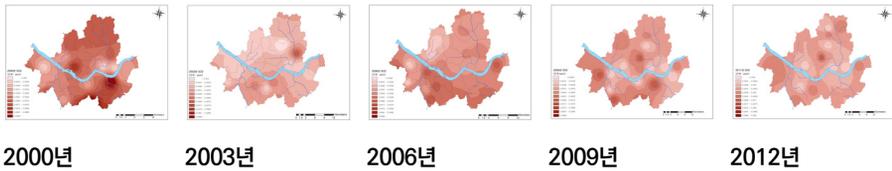


그림 2-9 서울시 25개 자치구별 연도별 SO<sub>2</sub> 분포 변화(2000~2012)

## 2.2 일산화탄소(CO)

일산화탄소 농도는 1990년대 전반적으로 감소추세에서 2004년 이후 증감하면서 일정 수준을 유지하고 있으며, 환경기준(25ppm/hr, 9ppm/8hr)을 충족하고 있다. 2012년 측정소별 일산화탄소의 연평균 농도는 0.4~0.7 ppm으로 동대문, 영등포 측정소가 0.7ppm으로 가장 높고, 강북, 양천, 강동구 측정소가 상대적으로 낮게 나타나고 있다.

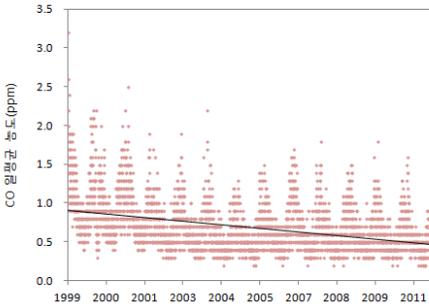


그림 2-10 일평균 CO 농도 시계열(1999-2011)

2012년

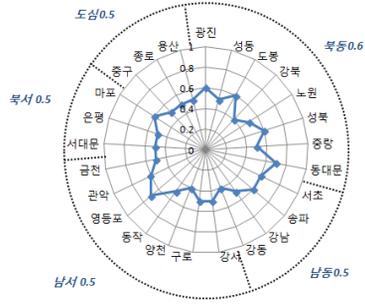


그림 2-11 자치구별 CO 농도 분포(2012)

### 2.3 미세먼지(PM10)

미세먼지 농도는 2003년 이후 지속적으로 감소하여 2012년에는 측정 이래 가장 낮은  $41\mu\text{g}/\text{m}^3$  수준을 기록하였으며, 25개 측정소 모두 연평균 대기환경기준( $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ )을 충족하고, WHO 권고기준인  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하인 일수의 증가와 함께 최대 가시거리 역시 증가하고 있다. 미세먼지 농도는 계절에 따라 변화가 크며, 주로 황사가 있는 봄철에 가장 높고, 겨울철에도 난방과 복사 냉각 등으로 대기정체 빈도가 많아 대체적으로 높으나, 강우량이 많은 여름철에는 낮다.

2012년 미세먼지 평균 농도는 성북, 도봉 측정소에서  $38\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮은 수준이고, 강서, 영등포 측정소에서  $44\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으나, 지역별 농도 편차가 감소하고 있다.

표 2-4 서울시 미세먼지 농도구간별 일수 및 시정거리 변화

구분	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
$\leq 50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일수(일)	170	180	172	170	189	211	221	237	271
시정거리(m)	1,233	1,211	1,245	1,161	1,150	1,254	1,291	1,332	1,476

자료 : 서울특별시, 2013, 「2012 서울 대기질 평가 보고서」

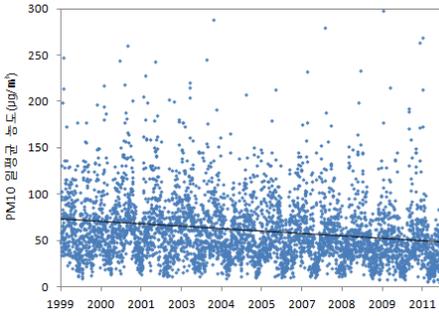


그림 2-12 일평균 PM10 농도 시계열(1999~2011)

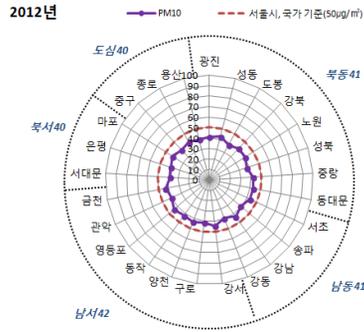


그림 2-13 자치구별 PM10 농도 분포(2012)

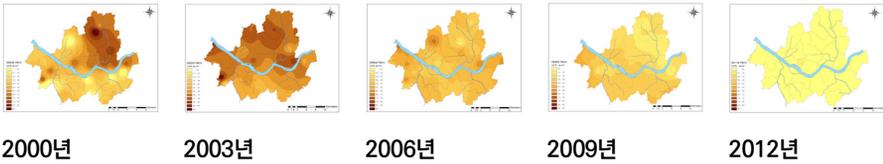


그림 2-14 서울시 25개 자치구별 연도별 PM10 분포 변화(2000~2012)

한편 PM2.5의 농도도 개선되고 있는 추세이며,  $25\mu\text{g}/\text{m}^3$  기준을 달성하는 측정소가 증가해 2012년에는 25개 측정소 가운데 5개 측정소만이 기준을 충족하지 못한 것으로 파악되고 있다.

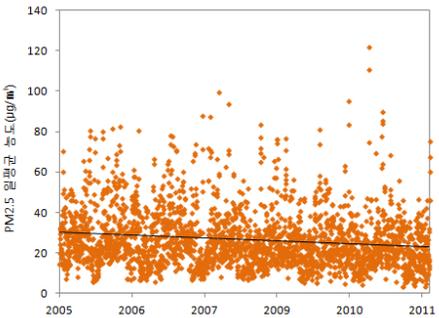


그림 2-15 일평균 PM2.5 농도 시계열(1999~2011)

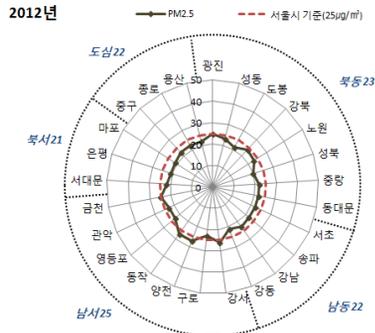


그림 2-16 자치구별 PM2.5 농도 분포(2012)



그림 2-17 서울시 25개 자치구별 연도별 PM2.5 분포 변화(2005~2012)

## 2.4 이산화질소(NO<sub>2</sub>)

자동차의 운행 빈도 증가, 연료사용량 증가 등과 상관성이 높은 이산화질소의 연평균 농도는 연도별 변화가 크지 않고 증감현상을 반복하고 있으며, 국가와 서울시 환경기준(0.03ppm) 달성에 한계를 보이고 있다. 2012년 대기오염자동측정소별 이산화질소의 연평균 오염도 분포에서 25개 측정소 가운데 0.030ppm 이하가 12개소, 0.031~0.035ppm이 12개소, 0.036~0.050ppm이 1개소로, 2007년 이후 NO<sub>2</sub> 농도가 점차 감소하는 경향을 보이고 있다.

지역별 NO<sub>2</sub> 농도 분포를 살펴보면, 2007년까지는 동북권역이 높았으나 2008년에는 남서권역, 2009년부터는 남동권역이 높은 것으로 나타나고 있다. 이러한 경향은 2012년에 자동차 통행량이 많은 강남 측정소에서 0.037ppm 수준으로 가장 높은 농도를 보인 것에서도 알 수 있다. 이는 자동차 주행 시 NO<sub>2</sub> 배출량이 환경규제와 내연기관의 발달로 줄어들었으나, 노후화된 건설기계, 공사차량 등에서 배출되는 오염물질 때문에 전체 NO<sub>2</sub> 오염도는 크게 감소하지 않고 있다. NO<sub>2</sub> 농도는 이동오염원이 밀집된 곳에서 높게 나타나는데, 서울에서는 많은 자동차와 통행량이 NO<sub>2</sub> 농도 개선의 한계요인으로 작용하고 있다.

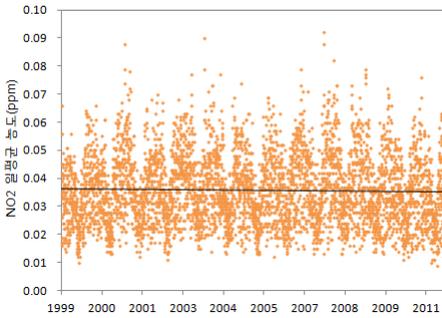


그림 2-18 NO<sub>2</sub> 일평균 농도 시계열(1999~2011)

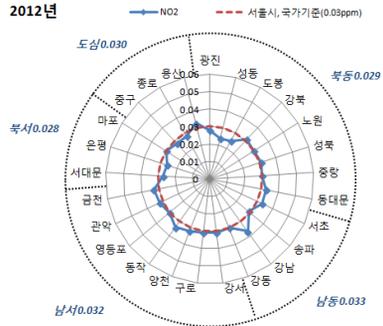


그림 2-19 자치구별 NO<sub>2</sub> 농도 분포(2012)

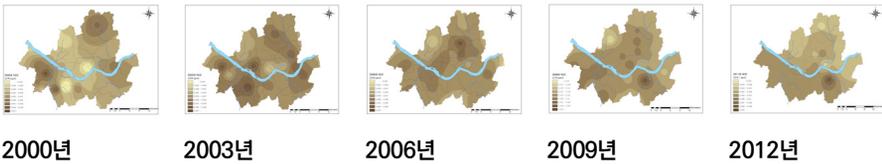


그림 2-20 서울시 25개 자치구별 연도별 NO<sub>2</sub> 분포 변화(2005~2012)

## 2.5 오존(O<sub>3</sub>)

오존 농도는 1990년 이후 완만히 증가하다 2000년을 정점으로 감소하였으나, 2005년 이후 다시 증가하는 추세를 보이고 있다. 이러한 경향은 주로 고온 연소 시 발생하는 질소산화물 및 휘발성 유기화합물질의 배출량 증가와 기상여건에 기인하는 것으로 추정되고 있다. 기온이 높고 일사량이 많은 여름철에 오존 농도가 높은 것이 특징이다. 오존 농도는 오염물질 배출량 이외에도 기온, 확산정도, 일사량(자외선량) 등의 기상요인에 큰 영향을 받으며 공간적으로는 북동권역에서 높게 나타나고 있다. 이는 남서쪽으로부터 이동해 온 오염물질이 북동부 지역에서 정체되는 지형적 여건의 영향으로 지적되고 있다(서울특별시, 2013).

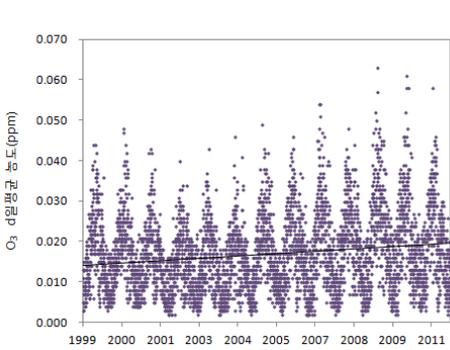


그림 2-21 일평균 O<sub>3</sub> 농도 시계열(1999~2011)

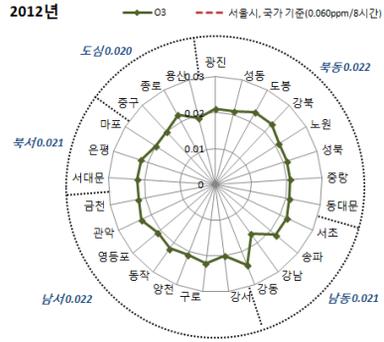


그림 2-22 자치구별 O<sub>3</sub> 농도 분포(2012)



그림 2-23 서울시 25개 자치구별 연도별 O<sub>3</sub> 분포 변화(2000~2012)

단기 노출에 따른 사망건강 위해 가능성을 경고하는 오존주의보는 고농도 오존이 발생하기에 유리한 기상조건이 형성되는 6월, 8월에 주로 발령되고, 높은 기온 지속일수가 늘어남에 따라 오존주의보 발령일수와 횟수가 증가하고 있다.

표 2-5 서울시 연도별 오존주의보 발령현황

구분	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
발령일수	10	11	8	8	4	1	2	5	5	1	7	8	6	7	7	3
발령횟수	19	18	16	22	7	4	2	9	17	3	20	23	14	21	10	6

자료 : 서울특별시, 2013, 「2012 서울 대기질 평가 보고서」

### III 기후·환경 조건의 건강영향 사례분석

- 1 국내외 기후·환경 조건의 건강영향 분석 사례
- 2 시사점 도출

### III 기후·환경 조건의 건강영향 사례분석

#### 1 국내외 기후·환경 조건의 건강영향 분석 사례

##### 1.1 미세먼지의 건강영향

대기오염물질은 만성심장질환, 폐질환 등 기존 질병을 악화시키며(김호, 2009), 사망률의 증가와 함께 호흡기계 질환, 심혈관계 질환, 천식, 만성폐쇄성 질환, 뇌졸중, 심부전, 폐기능, 임신 등의 건강에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.

대기오염으로 인한 심혈관계 영향은 가슴 답답함, 가슴 통증(협심증), 심계항진증, 숨가쁨, 심한 피로감 등의 증상으로 나타난다. 또한 관상동맥 질환, 불규칙한 심장 박동, 울혈성 심부전 등의 심혈관계 질환의 증가 및 이로 인한 조기 사망률 증가의 요인으로 확인되고 있다(EPA, 2005). WHO는 대기오염에 의한 건강영향을 크게 3가지인 급성 건강영향, 만성 건강영향, 임신 관련 건강영향으로 구분하고 있다. 건강영향 구분에 따른 다양한 증상은 표 3-1과 같다(WHO, 2000).

PM과 같은 입자상물질은 흡입성 기도 자극, 기침, 호흡곤란과 같은 호흡기계 질환 증가, 폐기능의 감소, 천식의 악화, 만성 기관지염 발생, 불규칙한 심장박동, 경미한 심장마비, 심장질환 또는 폐질환자의 조기사망 등의 건강영향을 유발한다. 입자상물질은 전진 염증반응(systemic inflammation), 응고 이상(deranged coagulation), 혈전증(thrombosis), 혈관 기능 장애, 죽상경화성 질환(atherosclerotic disease), 심부정맥 혈전증(deep venous thromboses), 폐색전증(pulmonary embolism) 등의 다양한 병리생리학적 변화들과 관련이 있다(Baccarelli et al., 2008; Brook, 2008).

특히 PM2.5는 매우 작아 폐포까지 침투하여 심각한 건강문제를 유발하

는 요인으로 지적되고 있다. PM2.5에 노출되면 호흡기계 증상(기도 자극, 기침, 호흡곤란) 증가, 폐기능 감소, 천식 악화, 만성 기관지염 발생, 불규칙한 심장박동, 경미한 심장마비, 심장질환 또는 폐질환자의 조기사망 등의 건강문제가 발생한다(Kreyling et al., 2006). PM2.5의 농도가 높을수록 심혈관계 질환뿐만 아니라 허혈성 심질환(ischaemic heart disease)으로 인한 병원입원과 사망이 늘어난다는 연구결과가 제시되고 있다(Jerrett et al., 2009; Pope III et al., 2006). 특히 PM이 심혈관계 질환으로 인한 입원의 가장 중요한 원인으로 알려지고 있음은 향후 서울시의 PM관리 시 유의할 대목이다.

**표 3-1 대기오염에 의한 건강영향 평가**

급성 만성영향	만성 건강영향	임신 건강영향
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 일별 사망률</li> <li>- 호흡기계 질환자의 입원</li> <li>- 심혈관계 질환자의 입원</li> <li>- 호흡기계 및 심혈관계 이상으로 인한 응급실 방문</li> <li>- 호흡기계 및 심장 이상으로 인한 1차 의료기관 방문</li> <li>- 활동 제한일수</li> <li>- 결근 일수</li> <li>- 결석 일수</li> <li>- 자가처방</li> <li>- 급성 증상</li> <li>- 생리적 변화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 만성 심장·호흡기 호흡기 질환으로 인한 사망률(영아, 성인)</li> <li>- 만성 호흡기 질환의 발생률과 유병률(천식, 만성폐쇄성 질환(COPD), 만성적인 생리적 변화)</li> <li>- 생리적 기능의 만성적인 변화</li> <li>- 폐암</li> <li>- 만성 심혈관계질환(CVD)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 임신 합병(치사)</li> <li>- 저체중아 출산</li> <li>- 조산</li> </ul>

자료 : 국립환경과학원, 2011, 「기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구」

111

## 단기 노출 영향

1)

### 국내 연구 사례

미세먼지로 인한 사망 관련 국내 연구는 미세먼지 평균농도에 따른 일별 사망자수 증가에 대한 시계열 분석이 주류를 이루고 있다. 대상 도시는 인천, 서울, 대구, 대전, 부산 등의 대도시가 중심이 되고 있다. PM10 단위 농도 증가당 일별 총사망 증가율을 보면 인천은  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당

0.8~21%, 서울은  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당 0.27~0.37% 증가하는 것으로 분석되었다. 대전은 PM10 사분위수 범위 증가당 2.0%, 부산은  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당 12% 증가하였다. 대부분 PM10 증가에 따른 사망 위험이 유의하게 증가하는 것으로 보고되고 있다(임종한, 2012).

그리고 일반 인구에 비해 65세 이상의 고령자가 대기오염으로 인한 건강영향에 더욱 취약한 것으로 알려져, 향후 고령화 시대에 대비한 건강영향 관리가 정책적 이슈로 대두되고 있다. 조용성 등(2006)은 국내 7개 도시를 대상으로 미세먼지 농도에 따른 연령군별 총사망 비교 위험도를 계산하였는데, 미세먼지 단위 증가당 전 연령에서는 총사망 위험이 1.1%, 65세 이상 고령인구에서는 총사망 위험이 1.5%로 더 높게 증가한다고 보고한 바 있다.

**표 3-2 국내 7개 도시의 연령군별 PM10 노출에 따른 사망 위험도**

구분	전 연령	15세 미만	16~64세	65세 이상
서울	1.013 (1.007~1.019)	1.045 (1.000~1.1092)	1.008 (0.999~1.017)	1.015 (1.007~1.022)
부산	1.009 (1.001~1.017)	1.029 (0.968~1.095)	1.013 (1.002~1.025)	1.017 (1.007~1.028)
인천	1.019 (1.008~1.029)	1.046 (0.968~1.130)	1.016 (1.000~1.031)	1.027 (1.014~1.041)
대구	1.011 (0.999~1.023)	1.080 (0.992~1.175)	1.012 (0.994~1.031)	1.021 (1.006~1.037)
광주	1.014 (1.000~1.028)	1.123 (1.025~1.231)	1.010 (0.988~1.033)	1.027 (1.009~1.045)
대전	1.020 (1.005~1.035)	1.027 (0.921~1.145)	1.034 (1.010~1.059)	1.025 (1.005~1.045)
울산	1.023 (1.003~1.044)	1.060 (0.932~1.145)	1.027 (0.996~1.059)	1.020 (0.992~1.048)
도시 평균	1.011 (1.004~1.015)	1.017 (0.988~1.047)	1.006 (1.000~1.012)	1.015 (1.010~1.020)

자료 : 조용성 등, 2006, “메타분석을 적용한 전국 7개 대도시의 대기오염과 일일사망발생의 상관성 연구(1998년~2001년)”, 한국환경보건학회지

한편 PM10, PM2.5의 단위 농도 증가당 사망위험을 비교한 연구결과(임종한 등, 2009)에서 일별 총사망의 위험 증가는 PM10 0.3%, PM2.5 0.8%로 단위 농도 증가당 총사망 위험도의 증가분이 PM2.5에서 더 크게 나타나고 있다. 이에 따라 향후 PM2.5 환경기준 적용과 더불어 차별화된 정책적 접근이 요구되고 있다.

**표 3-3 서울시 PM10과 PM2.5 단위 농도 증가당 총사망 위험도 비교**

사망군	PM10	PM2.5
총사망	1.003(1.001~1.005)	1.008(1.004~1.012)
심혈관질환 사망	1.006(1.002~1.009)	1.013(1.006~1.021)
호흡기계 질환 사망	1.007(1.002~1.007)	1.019(0.998~1.040)

주 : 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당, 3일 이동평균  
 자료 : 임종한 등, 2009

## 2) 국외 연구 사례

미국 6개 도시를 대상으로 실시된 PM2.5 건강영향 연구결과(Klemm & Mason, 2003)에 따르면 PM2.5 농도 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (당일 및 전일 평균)당 전체 사망에 대한 초과사망은 3.0%이며, 캐나다 8개 도시의 연구결과(Burnett & Goldbeg, 2003)에 의하면 전체사망에 대한 초과 사망은 PM2.5 농도 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당 2.2%로 나타나고 있다. 또한 일본 20개 지역에서 시행된 연구(환경성, 2007)에서는 PM2.5 농도 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가 시 초과 사망은 전체 사망 0.5%, 순환기계 질환 0.2%, 호흡기계 질환 0.2%로 추정되고 있다.

한편 PM10 오염농도의 건강영향 연구 결과 중 미국 90개 도시 연구(NMMAPS; Ominici 등, 2003)에서는 전체 사망의 상대위험도가 대부분의 도시에서 1을 넘었고, PM10 농도 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당 전체 사망에서는 초과사망이 1.4% 증가한 것으로 추정되고 있다. 또 다른 NMMAPS의 연구에서도 이와 비슷한 연구결과가 제시되었다(PM10 농도의 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당

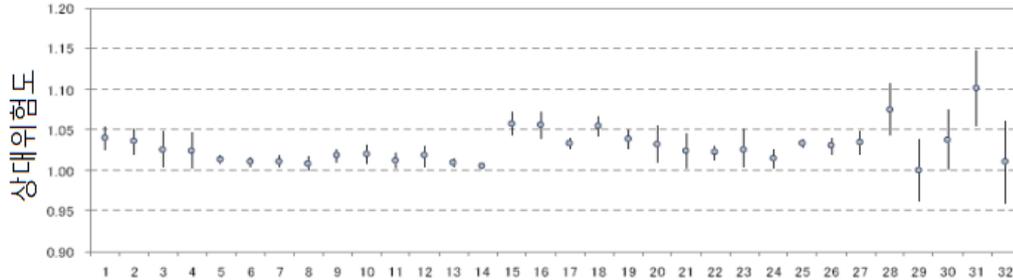
전체 사망은 2.6%, 순환기계 및 호흡기계 질환에 의한 사망은 3.4% 증가). 캐나다의 8개 도시를 대상으로 진행된 연구(Burnett & Goldberg, 2003)에서는 전체 사망에 대한 초과사망이 PM10 농도  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당 2.7%로 제시된 바 있다. APHEA(Air Pollution and Health : a European Approach) 연구(Katsouyanni 등, 2003b)에서는 PM10 농도  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당 순환계통 질환에 의한 초과사망은 3.4%, 호흡계통 질환에 의한 초과사망은 3.7% 증가하는 것으로 보고되고 있다.

해외 복수 도시에 대한 미세먼지의 단기 노출 영향을 분석한 연구들의 적용 모델, 지역 구분, 도출된 상대 위험도를 정리하면 표 3-4와 같다. 그리고 전체 사망, 순환계통, 호흡계통 질환에 의한 사망 관련성에 관한 선행연구 결과는 표 3-5와 같다.

미세먼지에 의한 단기영향 중에서 사망에 관한 시계열 연구로 분류되는 많은 선행연구에서 전체 사망, 순환계통 질환에 의한 사망, 호흡계통 질환에 의한 사망과의 관련성이 보고되고 있음은 향후 서울시를 포함한 수도권 PM10, PM2.5 목표농도 관리의 새로운 이정표로 기능할 수 있다.

표 3-4 해외 도시 대상 미세먼지의 단기 노출 영향 연구사례와 상대위험도

문헌	분석 지역	모델	비고	문헌	분석 지역	모델	비고
1 Braga, 2000	미국 5개 도시	GAM		17 Schwartz, 2003	미국 10개 도시	GAM-str	65세 이상
2 Klemm, 2003	미국 6개 도시	GAM-str		18 Zanobetti, 2000	미국 4개 도시	Poisson reg.	여성
3 Samet, 2000	미국 20개 도시	Log-linear		19 Zanobetti, 2000	미국 4개 도시	Poisson reg.	남성
4 Moninici, 2000	미국 20개 도시	GAM		20 Burnett, 2003	캐나다 8개 도시	GAM-str	
5 Moninici, 2003a	미국 90개 도시	GAM-str		21 Burnett, 2003	캐나다 12개 도시	natural splines	
6 Moninici, 2003b	미국 90개 도시	GLM/ns		22 Katsouyanni, 1997	유럽 12개 도시	Poisson autoreg	
7 Moninici, 2003c	미국 88개 도시	Bayesian		23 Ballester, 2002	스페인 3개 도시	GAM	
8 Moninici, 2003d	미국 4개 도시	Fourier decomp		24 Hoek, 2003		GAM-str	
9 Schwartz, 2004	미국 14개 도시	case-Crossover		25 Katsouyanni, 2003	유럽 21개 도시	GAM-str	고정
10 Schwartz, 2004	미국 14개 도시	Poisson reg		26 Katsrouanni, 2003	유럽 21개 도시	GAM-str	무작위
11 Zeka, 2004	미국 90개 도시	hierarchical		27 Zanobetti, 2003a	유럽 10개 도시	GAM-str	
12 Peng, 2005	미국 100개 도시	Bayesian	여름	28 Zanobetti, 2003a	유럽 10개 도시	GAM-str(distributed)	
13 Peng, 2005	미국 100개 도시	Bayesian	4계절	29 Zanobetti, 2003b	유럽 10개 도시	GAM-str(distributed)	15~64세
14 Roberts, 2006	미국 109개 도시	Bayesian		30 Zanobetti, 2003b	유럽 10개 도시	GAM-str(distributed)	65~74세
15 Schwartz, 2003	미국 10개 도시	GAM-str(distributed)	65세 이상	31 Zanobetti, 2003a	유럽 10개 도시	GAM-str(distributed)	75세 이상
16 Schwartz, 2003	미국 10개 도시	GAM-str(distributed)	65세 이상	32 Simpson, 2005	호주 4개 도시	meta-analysis	



자료 : 環境省, 2008, 「微小粒子状物質健康影響評価検討会 報告書」

표 3-5 PM 농도 변화의 건강영향 분석 연구

저자	연구 대상지역 및 기간	연구방법	주요 연구결과
Ostro et al., 2011	스페인, 바로셀로나 2003~2007	환자 대조군 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>차량 배기가스 및 도로먼지 노출로 인한 건강영향 평가. PM10 농도 10<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> 증가에 따른 전체 원인사망률 2.4% 또는 1.2%(95% CI : 0.6~1.7%), 심혈관계 질환 5.7% 또는 2.8%로 증가</li> <li>심혈관계 사망원인은 전체원인의 사망률보다 높은 것으로 나타났으며 통계적으로 유의한 결과를 보임</li> </ul>
Meister et al., 2011	스웨덴, 스톡홀름 2000~2008	시계열 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>도로 먼지로 인한 사망률의 증가</li> <li>PM2.5~10 농도 10<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> 증가에 따른 전체원인사망률은 1.68%(95% CI : 0.20~3.17%) 증가하는 것으로 평가</li> </ul>
Zanobetti et al., 2011	미국, 112개 도시 1999~2005	시계열 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>도시에서 미세먼지로 인한 전체원인 사망, 심혈관계 질환, 뇌졸중, 호흡기계 질환에서 사망률이 증가하는 것으로 평가</li> <li>봄철 미세먼지 농도가 사망에 더 큰 영향을 미침</li> </ul>
Mallone et al., 2011	이탈리아, 로마 2001~2004	시계열 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>유럽지역의 황사현상으로 인해 심혈관계 사망에 미세먼지가 미치는 영향이 증가하는 것으로 나타남</li> <li>PM10 농도 10<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> 증가에 따른 심혈관계 질환 사망률은 9.55%(95% CI : 3.81~15.61%) 증가하는 것으로 평가</li> </ul>
Hansen et al., 2012	오스트레일리아 애들레이드 2001~2007	시계열 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>미세먼지로 인한 전체 원인사망, 심혈관계 질환, 호흡기계 질환에 대한 두 계절(따뜻한 계절, 추운 계절)과 연령별 상병영향을 확인</li> <li>PM10 농도는 따뜻한 계절에 높게 나타났으며, 건강영향은 두 계절 모두에서 상병영향을 보여줌. 추운 계절 동안 14세 이하 연령, 65~74세 연령 그룹에서의 높은 상병영향을 확인</li> </ul>
Nascimento et al., 2011	브라질, 상파울루 2004~2006	시계열 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>미세먼지(PM10) 노출로 인한 심혈관계 질환의 입원자수에 대한 위험이 3일 후 10% 증가하는 것으로 나타남</li> </ul>

자료 : 국립환경과학원, 2011, 「기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구」

## 112 장기 노출 영향

코호트 연구는 개인의 흡연, 직업력 등 혼란변수에 대한 보정이 가능하기 때문에 미세먼지의 장기 노출로 인한 건강영향을 확실하게 파악할 수 있는 장점이 있다. 대표적인 코호트 연구 사례로는 미국 6개 도시 연구, 미국암학회(ACS) 연구 등이 있다.

미국 6개 도시 대상 사례연구는 미국 동부 6개 도시에서 1974~1977년에 무작위 추출된 25~74세의 백인 약 8,000명을 14~16년간 추적했다(Dockery 등, 1993). 즉 대기오염 농도를 도시마다 측정하고, 성별, 연령(5세 단위), 흡연, 직업성 노출정도, 교육수준, 평균 체중지수(BMI)로 조정하여 Cox 비례위험모형을 통해 분석하였다. 오염수준이 가장 높은 도시에서의 초과 사망률과 가장 낮은 도시에서의 초과 사망률 비율은 1.26이었다. 도시별 사망률과 대기오염 농도의 관련에서 초과 사망률은 흡입성 입자, 미세입자, 유산염과의 관련성이 큰 것으로 나타났다. 대기오염은 폐암 및 심폐 질환에 의한 사망과 정(+)의 관련이 있는 것으로 보고된 바 있다. 이 연구 결과는 (1) 샘플링에 의한 질문표·사망진단서의 확인과 수정 데이터로의 재해석, (2) 다른 리스크 모델 및 분석법으로 재해석을 하였으나 거의 유사한 결과가 확인되었다(Krewski 등, 2000). 같은 연구의 관찰 기간을 8년간 연장한 연구(Laden 등, 2006)에서는 6개 도시의 장기간 노출 농도를 전체 관찰 기간의 PM<sub>2.5</sub> 농도 평균으로 한 경우 PM<sub>2.5</sub> 2~5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가에 따라 전체 사망 위험도는 1.45배, 폐암 사망위험도는 1.82배, 순환계통 질환은 1.85배 증가했다는 결론을 도출하고 있다(環境省, 2008).

또 다른 코호트 연구의 대표적 사례인 ACS(American Cancer Society) 연구는 ACS-CPS II의 추적 조사(Cancer Prevention Study II, 미국 50개 주에 거주하는 120만명의 성인 자원봉사자를 대상으로 한 코호트 연구, 1982~1998년)로부터 얻을 수 있던 데이터와 대기오염 측정 데이터를 이용하여, 대기오염의 장기 건강영향을 검토하였다(Pope 등, 2002; Pope 등, 1995). PM<sub>2.5</sub>에 대한 추적 조사는 50개 도시 약 30만명을 대상으로 해석되었다. 즉 성별, 연령(5세 단위), 인종, 흡연(흡연 연수, 갯수), 직업성 노출, 교육수준, 혼인, 음주, 평균 체중지수(BMI)로 조정한 후에도 Cox의 비례위험 회귀모형을 포함한 생존 분석을 수행했다. PM<sub>2.5</sub> 농도(1979~83년의 평균)가 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  상승할 때 전체 사망은 10%, 심폐질환 사

망은 16%, 폐암 사망은 21% 증가가 확인되었다.

6개 도시 대상 사례연구에서 미세먼지 농도에 따른 조기사망 상대위험도는 PM10  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당 18%, PM2.5  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당 13.4% 증가하였다. 미국암학회(ACS) 연구에서는 PM2.5  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당 총사망률이 6.6% 증가하였고, 심혈관, 호흡기 질환 사망률은 12% 증가하였다.

최근 일본에서도 장기 노출 영향을 조사하기 위해 미야기현, 아이치현 및 오사카부의 3개 부현에서 각각 도시 지구와 대조 지구를 선정하여, 40세 이상의 남녀 약 10만명을 대상으로 1983~1985년에 걸쳐 기준 조사를 실시하고, 그 후 10년간 추적 조사한 결과가 보고되었다(대기오염과 관련되는 입자상물질에 의한 장기 노출 조사 검토회, 2008). 즉 연령, 흡연 상황, 직업, 야채 섭취, 과일 섭취, 평균 체중지수(BMI), 음주, 및 건강 보험의 종류 등을 조정 변수로 하여 Cox 비례 위험 모델을 이용해 위험도로 산정하였다. 특히 폐암의 경우 남성 및 남녀 합계 SPM 농도와 의 사이에 유의한 정(+)의 관련이 있고, SPM 농도  $25\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당 상대위험도는 남녀 합계 1.53, PM2.5 농도  $25\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당 상대위험도는 남녀 합계 1.83이었다.

최근 건강영향의 실증적 결과치를 확보하기 위해 시도되는 코호트 연구로는 대상자의 특성에 따라 각 도시의 지역 주민을 대표하도록 무작위 추출 혹은 전수 조사를 실시하거나, 비흡연자 집단, 고혈압 환자, 폐경 후 여성 등 일부 한정된 집단을 대상으로 하는 연구 등이 진행되고 있다. 앞서 설명한 미세먼지의 장기 노출에 관한 코호트 연구 사례는 표 3-6에 나타냈다. 선행 연구사례에서 PM2.5가 장기사망에 미치는 영향을 보면 전체 사망에서는 PM2.5 농도  $25\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당 상대위험도는 약 1.1~1.5의 범위 내에 있으며, 정(+)의 관련성을 보여주는 일관성 있는 결과가 도출되고 있다.

표 3-6 주요 코호트 연구의 상대리스크 비교

연구	PM 지표	단위 μg/m³	대상	전체 사망			순환기·호흡기계 사망			폐암 사망			PM 이외 검토대상 오염물질 ***	조정 변수 ****	연구의 평균농도 (범위) (μg/m³)	노출량 평가
				PR	95% CI 하한 상한		PR	95% CI 하한 상한		PR	95% CI 하한 상한					
6개 도시	PM2.5	25	25~74세 백인	1.36	1.11	1.68	1.51	1.16	2.00	1.51	0.75	3.09			NR*(11-30)	
	PM15/10	50		1.51	1.16	2.00										
6개 도시 재해석	PM15/10	50	미국 동부 6개 도시	1.54	1.16	1.45	1.58	1.08	2.36	1.39	0.49	3.99	a	A	NR*(18-47)	각 도시의 측정국
6개 도시 확장	PM2.5	25		1.45	1.18	1.78	1.85	1.36	2.49 \$	1.85	0.90	3.71			NR*(10.2~22)	데이터를 할당
ACS	PM2.5	25	30세 이상 전미	1.17	1.09	1.26	1.33	1.18	1.48	1.03	0.80	1.33	b	B	20(10-34)	대도시권 단위로 측정국 데이터를 할당
ACS 재해석	PM15/10	50		1.11	1.02	1.20	1.19	1.08	1.33	1.02	0.81	1.30			59(34-101)	
	PM15-2.5	25		1.01	0.97	1.06	1.01	0.95	1.08	0.97	0.83	1.13			7(9-42)	
ACS 확장	PM2.5	25		1.16	1.04	1.30	1.25	1.08	1.45	1.37	1.11	1.38	c	C	18(7.5-30)	
AHSMOG	PM2.5	25	미국 캘리포니아 세븐스테이	1.23	0.94	1.61	1.68	0.93	2.99 #	2.28	0.55	9.88	d	D	32(17-45)	PM2.5는 11개 공항 시정에서 추계함. 기타 ZIP 코드
	PM10-2.5	25	애드벤처스트 비흡연 남성	1.14	0.81	1.61	1.58	0.712	3.44 #	1.78	0.30	10.38			27(4-484)	단위로 가장 인근 측정국 데이터를 할당
VA	PM2.5 1979-81	25	퇴역군인 남성 전미	0.77	0.67	0.88							e	E	24(6-42)	군 단위로 측정데이터의 할당
	PM2.5 1999-2001	25		1.33	1.10	1.58									14.6	
	PM2.5 1989-96	25		1.18	1.03	1.33									16	

자료 : 環境省, 2008, 「微小粒子状物質健康影響評価検討会 報告書」

표 계속 주요 코호트 연구의 상대리스크 비교

연구	PM지표	단위 μg/m³	대상	전체 사망			순환기·호흡기계 사망			폐암 사망			PM 이외 검토대상 오염물질 ***	조정 변수 ****	연구의 평균농도 (범위) (μg/m³)	노출량 평가
				PR	95% CI		PR	95% CI		PR	95% CI					
					하한	상한		하한	상한		하한	상한				
WHIP	PM2.5	25	50~79세 폐경기 여성 전미국 도시				4.11	1.75	9.59				f	F	13.5(3.4~28.3)	ZIP 코드 단위로 인접 측정국 데이터를 할당
Norway	PM2.5	사분위**	남성 51~70세	1.00	1.00	1.00										
Norway	PM2.5	사분위**	남성 71~90세	2.49	2.00	3.14										
Norway	PM2.5	사분위**	여성 51~90세	1.51	1.27	1.78										
Norway	PM2.5	사분위**	여성 71~90세	2.36	1.82	3.09										
일본	PM2.5* **	25	40세 이상 미야기, 아이치, 오사카의 각 2개, 합계 6개 지구	0.87	0.81	0.94	0.68	0.61	0.76	1.83	1.30	2.57	h	H	25(15~38)	각 지구의 측정국 데이터를 할당

\* 보고없음

\*\* 최저 사분위 단계(6.6~11.5 μg/m³)에 대한 최고 사분위 단계(18.4~22.3 μg/m³)의 위험도

\$ : 순환기계 질환, # : 호흡기계 질환

\*\*\* PM 이외의 검토대상 오염물질

\*\*\*\* SPM 농도에 기초해 환산(PM2.5=0.7\*SPM)

a : 조대입자, 황산염, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, 입자산성도

b : 황산염

c : 황산염

d : O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, 황산염

e : TSP, PM10, CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>

f : PM10, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>

g : PM10, NO<sub>2</sub> h : NO<sub>2</sub>, O<sub>x</sub>

\*\*\*\* 조정 변수

A : 연령, 성, 흡연, 교육, BMI

B : 연령, 성, 인종, 흡연, 수동흡연, BMI, 음주, 교육, 직업

C : 연령, 성, 인종, 흡연, 수동흡연, BMI, 음주, 교육, 직업, 혼인, 식물 섭취

D : 연령, 교육, 과거 흡연연수, 고혈압 기왕, 운동

E : 연령, 흡연, 교육, 인종, 빈곤, 신장, 수축기·확장기 혈압, BMI

F : 연령, 인종, 교육, 수입, 흡연, 수축기 혈압, BMI, 당뇨병, 고혈압, 고콜레스테롤 병력

G : 직업, 교육(성, 연령에서 층별 해석)

H : 연령, 흡연상황, 직업, 야제 섭취, 과일 섭취, BMI, 음주, 건강보험 종류

자료 : 環境省, 2008, 「微小粒子状物質健康影響評価検討会 報告書」

## 오존과 건강영향 분석

오존은 가슴통증, 기침, 메스꺼움, 인후자극, 충혈 등을 유발하는 요인으로 작용하고 있다. 또한 기관지염, 심장병, 폐기종, 천식을 악화시킬 수 있고, 폐 용량을 감소시킬 수 있다. 오존이 인체에 미치는 건강영향은 호흡기계 영향, 급성 호흡기계 질환에 미치는 영향, 신경계 영향, 감각기관에 미치는 영향 등 4가지로 구분할 수 있다.

**표 3-7 오존이 인체에 미치는 건강영향**

호흡기계	고농도의 오존에 노출된 경우 노력성 폐활량, 일초율 등임. 만성호흡기 질환 환자의 증상을 유발 또는 악화시키며, 특히 천식이 가장 문제됨
급성 호흡기계 질환	오존의 최고농도와 급성 인후염, 기관지염, 상기도 감염 등은 상관관계를 보임
신경계	오존은 중추신경계에 영향을 미쳐 두통과 의식 불분명 등의 신경계통 증상이 나타날 수 있음
감각기관	눈이나 코 등에 자극증상 및 시력저하를 일으킴

자료 : 국립환경과학원(2011)

오존은 인체로 흡입될 경우 흉부통증, 기침, 목부위 자극, 울혈(congestion)을 포함한 다양한 반응을 일으키며, 기관지염, 폐기종(emphysema), 천식을 악화시키게 된다. 특히 대기 중의 오존에 노출되면 폐기능이 축소되며, 폐의 내벽(lining)에 염증을 일으킨다. 또한 오존에 반복 노출될 경우 폐조직이 영구적으로 손상될 수 있는 위험성이 있다(국립환경과학원, 2011)

다음은 오존으로 인한 건강영향에 관한 국내외 선행 연구 사례를 정리하였다(표 3-8, 표 3-9 참조).

표 3-8 오존으로 인한 건강영향에 대한 국내 선행연구

저자	대상지역	연구기간	주요 연구결과
이미영 등, 2000	대구시	1993~1997	<ul style="list-style-type: none"> <li>•오존 100ppb 증가당 총사망의 RR은 전체 연령층에서 1.02(0.96~1.11), 65세 이상에서 1.01(0.93~1.09)</li> <li>•심혈관계 사망은 전 연령층에서 0.90(0.80~1.01), 65세 이상에서 0.96(0.67~1.00)</li> <li>•호흡기계 사망은 전 연령층에서 1.01(0.76~1.49), 65세 이상에서 0.94(0.67~1.31)</li> </ul>
권호장 등, 1999	서울시	1991~1995	<ul style="list-style-type: none"> <li>•오존 IQR(20.5ppb) 증가당 일반인구의 총사망 RR은 1.010(1.002~1.017), CHG 코호트에서 1.034(0.966~1.108)</li> </ul>
권호장 등, 2001	서울시	1994~1998	<ul style="list-style-type: none"> <li>•오존 100ppb 증가당 RR은 총사망(lag 1)이 1.06(1.02~1.10) 65세 이상 총사망(lag 1)은 1.08(1.03~1.13), 호흡기계 사망(lag 5)은 1.12(0.97~1.33), 심혈관계 사망(lag4)은 1.12(1.05~1.19)</li> </ul>
Seo HS, 2002	부산시	1999~2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>•오존 IQR(37.21ppb) 증가당 RR은 호흡기계 사망이 1.25, 심혈관계 사망은 1.06</li> </ul>
이승욱, 2004	부산시	1999~2002	<ul style="list-style-type: none"> <li>•오존 100ppb 증가당 총사망은 전 연령 1.02(0.96~1.11), 65세 이상 1.27(1.23~1.31), 심혈관계 사망은 전 연령 0.95(0.92~0.98), 호흡기계 사망은 전 연령 1.12(1.08~1.16)</li> </ul>
조용성 등, 2003a	서울시	1998~2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>•오존 IQR(28.86ppb) 증가당 일별 총사망 RR은 전 연령 1.1013(1.004~1.023), 65세 이상 1.015(1.007~1.022)</li> </ul>
조용성 등, 2003b	인천시	1998~2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>•오존 IQR(18.89ppb) 증가당 일별 총사망 RR은 전 연령 1.006(0.992~1.020), 65세 이상 1.005(0.986~1.023)</li> </ul>
하은희 등, 2003	서울시	1995~1999	<ul style="list-style-type: none"> <li>•오존 IQR(16.1ppb) 증가당 일별 총사망 RR은 신생아 0.892(0.843~0.944), 2~64세 0.997(0.989~1.005), 65세 이상 1.021(1.019~1.022),</li> </ul>
이종태 등, 1999	서울시, 울산시	1991~1995	<ul style="list-style-type: none"> <li>•오존 50ppb 증가당 일별 총사망의 RR은 서울시 1.015(1.005~1.025), 울산시 1.020(0.889~1.170)</li> </ul>
이종태 등, 2007	서울시	2000~2004	<ul style="list-style-type: none"> <li>•오존 20.03ppb 증가당 전체 연구기간 중 총사망률은 0.4% 증가하고, 황사기간을 제외한 분석에서 총사망률은 0.5% 증가</li> </ul>
배현주 등, 2009	서울시	1999~2004	<ul style="list-style-type: none"> <li>•오존 10ppb 증가당 총사망은 전 연령에서 0.81(0.35~1.26), 65세 이상에서 0.96(0.46~1.47) 증가</li> </ul>

자료 : 임중환, 2012, 「국민 건강 위해성을 고려한 대기질 개선효과 분석 방안 도출」

표 3-9 오존으로 인한 건강영향에 대한 국외 선행연구

저자	연구 대상지역 및 기간	연구방법	주요 연구결과
Zhang et al., 2006	중국, 상하이 2001~2004	시계열 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오존으로 인한 전체염인 사망, 심혈관계 질환, 호흡기계 질환에 대한 사망영향을 확인</li> <li>• 호흡기계 및 심혈관계 질환에 대한 사망률의 증가는 따뜻한 계절(Warm season)보다 추운계절(Cold season)에 더 높은 영향을 받음</li> </ul>
Stafoggia et al., 2010	이탈리아 2001~2004	시계열 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오존으로 인한 사망은 인구집단 특성에서 노인과 여성이 더 취약한 것으로 나타남</li> <li>• lag 0~5에서 오존농도 10<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> 증가에 따른 전체일별 사망자수에 대한 상대위험비는 1.5%(95% CI : 0.9~2.1%), 심장질환 2.3%(95% CI : 1.1~3.5%), 뇌혈관 질환 1.4%(95% CI : 0.1~2.6%), 호흡기계 질환 2.8%(95% CI : 0.3~5.3%) 증가</li> <li>• PM10 보정 시 오존농도 10<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> 증가에 따른 사망률 조사결과, 전체일별 사망자수, 심장질환, 뇌혈관 질환, 호흡기계 질환에 대한 상대위험비는 각각 1.5%, 2.3%, 1.2%, 1.5% 증가(lag 0~5 days)</li> </ul>
Tao Y et al., 2011	중국, 4개 도시 2006~2008	시계열 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오존농도가 낮은 수준(nonpeak period)과 높은 수준(peak period)에서의 급성 사망영향에 대한 차이를 확인</li> <li>• 오존농도가 높은 수준(9~11월)일 때 PM10 보정 시 전체염인 사망률, 심혈관계 질환, 호흡기계 질환의 사망률이 증가하는 것으로 나타남</li> </ul>
Zanobetti et al., 2011	미국, 105개 도시 1985~2006	시계열 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오존의 만성노출영향으로 인한 만성폐쇄성 폐질환, 심혈관계 질환과의 사망영향을 확인</li> <li>• 오존농도 5ppb 증가에 따른 사망률은 심부전증 1.06(95% CI : 1.03~1.08%), 심근경색증 1.09(95% CI : 1.06~1.12%) 증가하는 것으로 나타남</li> </ul>
Garrett P et al., 2011	포르투갈, 리스본 2004~2006	시계열 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오존농도 10<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> 증가에 따른 65세 이상의 전체 일별사망자는 1.11%(65% CI : 0.58~1.64%) 증가하였으며 전체 연령에서는 전체 일별 사망자는 0.96%(95% CI : 0.56~1.35%), 심혈관계 질환은 1.97%(95% CI : 1.119~2.76%) 증가</li> <li>• 오존의 노출-반응 효과는 lag 2~3에서 나타남</li> </ul>

자료 : 국립환경과학원(2011)

### 1.3 고온과 대기오염의 상호작용으로 인한 건강영향

고온으로 인한 건강영향과 대기오염으로 인한 건강영향은 대부분 동시에 발생하기 때문에 이를 명확히 구분하는 것은 한계가 있다. 다만, 고온

과 대기오염에 의한 건강영향이 각각의 효과를 그대로 더한 상가작용(additive effect, 고온영향+대기오염 영향)을 일으키거나, 각각의 효과보다 더 큰 건강영향을 나타내는 상승작용(synergistic effect)을 일으킬 수 있다(WHO, 2009).

오존은 기온이 높고 일조량이 늘어날수록 그 형성속도가 증가하는 특징을 갖고 있다. 그리고 폭풍의 경로변화, 습도, 경계층(대기권의 아래 부분)의 안전성 정도에 영향을 받는다(IWGCCH, 2010). 오존 농도의 증가로 인한 건강 영향은 동절기보다 하절기에 강도가 더 큰 것으로 보고되고 있다(Ito et al., 2005; Moolgavkar, 2003). 고온은 오존과 입자상물질이 심혈관계 질환에 미치는 영향을 증폭시킨다는 증거도 있다. 높은 기온에서 더 많이 형성되는 오존은 심혈관계 건강영향을 심화시키고, 폐포에서의 가스교환 기능을 손상시키는 요인으로 확인되고 있다(Gong et al., 1998). 오존 농도는 기온과 심혈관계 사망률의 관계를 수정시키는 요인이 될 수 있으며(Ren et al., 2008), 오존으로 인한 건강 영향에 대한 고온의 효과수정(effect modification)은 일정한 경향을 보이지만 지역에 따라 다른 결과를 보이기도 한다(Ren et al., 2008; Filleu et al., 2006; Pattendens et al., 2010).

기온과 습도는 PM<sub>2.5</sub> 농도 형성에 어느 정도 영향을 미치고 있다(IW-GCCH, 2010). 많은 연구가 심장마비, 혈전의 형성 등 심혈관계 이상은 PM<sub>2.5</sub>와 연관성이 있다고 지적하고 있다(Baccarelli et al., 2008; Confalonieri et al., 2007; O'Neill et al., 2007; Samoli et al., 2008). 또한 PM으로 인한 심혈관계 이상은 기온이 높을수록 두드러지게 발생하는 현상이 나타나고 있다(Qian et al., 2008).

최근까지 진행된 고온과 대기오염의 상호작용으로 인한 건강영향에 대한 선행연구는 표 3-10과 같다.

표 3-10 기온과 대기오염 농도의 상호작용으로 인한 건강영향 연구

저자	연구대상 지역 및 기간	연구 방법	주요 연구결과
Ren C et al., 2008	60개 미국 동부 대도시, 1987~2000 4~10월	시계열 연구 (Response surface model, Stratification model)	<ul style="list-style-type: none"> <li>미동북지역에서 기온이 낮음, 중간, 높은 경우 사망에 대한 오존효과는 각각 2.22%, 3.06%, 6.22% 추정</li> <li>미동남지역 도시에서 기온이 낮음, 중간, 높은 경우 사망에 대한 오존효과는 각각 1.13%, 1.50%, 1.29% 추정</li> </ul>
Zhengmin Qian et al., 2008	미국	시계열 연구 (Generalized additive model)	<ul style="list-style-type: none"> <li>PM10 10<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> 증가 시 고온(33.1<math>^{\circ}\text{C}</math>)이 지속될 때(lag 0, lag 1) 사망률(사고사 제외)이 2.20% 증가</li> <li>심혈관 관련 질환 사망자는 3.28%, 뇌졸중은 2.35% 증가</li> <li>PM10과 고온에서 사고사를 제외한 사망, 심혈관계 관련 사망에 영향이 있음</li> </ul>
Sofia Pinto de Almeida et al., 2010	포르투갈의 Oporto 2000~2004	시계열 연구 (Generalized additive model)	<ul style="list-style-type: none"> <li>여름철 오존 10<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> 증가 시 사고사 제외 사망률과 심혈관계 관련 사망이 0.95%, 1.58% 증가</li> <li>여름철 PM10 10<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> 증가 시 사고사 제외 사망률이 0.67% 증가</li> <li>여름철의 오존과 PM10 노출이 일반적인 인구집단에 미치는 건강영향이 유의함</li> </ul>
Pattenden S et al., 2010	9개 프랑스 대도시 2003년 혹서기간	시계열 연구 (heat wave 포함/비포함 분석)	<ul style="list-style-type: none"> <li>오존 전체 자료에 대한 효과는 사망에 대해 1.01%, heat wave 기간에는 10.6~85.3%까지 추정</li> </ul>
Li G. et al., 2011	중국, 탄진 2007~2009	시계열 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>고온 기온(30<math>^{\circ}\text{C}</math> 이상) lag 0~1에서 PM10 10<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> 증가 시 사고사 제외 사망 0.62%, 심혈관계 사망 0.92%, 호흡기계 사망 0.74%, 심폐질환 사망 0.89%, 허혈성 심장질환 사망은 1.22% 증가</li> <li>65세 이상 연령집단은 65세 이하 연령집단보다 고온에서 PM10 효과가 높게 나타났음</li> </ul>
M.Stafoggia et al., 2008	이탈리아 9개 도시 1997~2004	환자-교차연구 (case-cross-over design)	<ul style="list-style-type: none"> <li>PM10과 기온의 낮음, 중간, 높은 상태에서의 건강영향 분석</li> <li>PM10 10<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> 증가 시 겨울철에 전체사망이 0.20% 증가했지만 여름철에는 2.54% 증가</li> <li>모든 기온층에서 PM10과 통계적 유의성을 보이지는 않았으나 더운 날 동안 사망에 대한 PM10 효과는 매우 높게 나타남</li> </ul>

자료 : 국립환경과학원(2011)

## 시사점 도출

국내외 기후·환경 조건의 건강영향에 대한 선행 연구의 사례를 분석하는 이유는 향후 시민 건강 위해도를 고려한 기후환경 정책목표의 설정, 기후·환경 변화 요인별 노출로 인한 건강영향 판단 정보의 정확성 및 신뢰성 제고, 그리고 기후환경 조건의 변화에 대응한 과학적인 정책 추진 등에 보다 효과적으로 원용할 수 있기 때문이다. 국내외 기후·환경 조건의 변화에 따른 건강영향 선행연구의 분석방법, 연구 결과 등은 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 대기오염물질의 건강영향은 단기 노출, 장기 노출에 의한 영향으로 구분하여 검토되고 있다. 특히 단기 노출의 건강영향을 분석하기 위한 시계열 통계모형의 적용 연구는 기존 자료를 사용해 대규모 인구 집단에 관한 단기영향 검토가 가능하다. 시계열 연구는 대기오염물질 농도의 변동에 따라 사망이나 기타 건강영향 지표에 미치는 영향의 유의성을 판단할 수 있는 장점을 갖고 있다. 어느 특정지역 집단에서 건강영향 지표에 관한 일단위 자료와 동일 또는 선행하는 몇 일 전의 대기오염물질 일단위 자료 및 기타 시간 변동인자(기온 등)와의 관련성을 일반적으로 추천된 통계모형을 활용하여 적용·분석하게 된다. 이와 달리 코호트(cohort) 연구는 건강영향 및 성별, 연령, 흡연, 직업 등의 잠재적인 개인적 특성 등을 조정하여 위험도를 평가하고 있다. 국내 연구는 시계열 분석을 통한 미세먼지 단기노출과 관련된 사망, 천식 및 호흡기 질환의 입원 분석에 집중되어 있다. 다만, 장기 노출에 의한 천식, 호흡기 증상, 폐기능 수준, 심혈관 질환, 동맥경화와 같은 다양한 질병 발생에 미치는 영향들은 상대적으로 연구성과가 미흡한 수준이다.

둘째, 건강영향을 분석하는 통계모델로서 단기 노출 영향에서는 기상 인자의 공변량 조정에 관한 자유도가 큰 일반화가법 모델(Generalized additive model, GAM)이 가장 잘 이용되고 있다. 시계열 해석에서 혼

란변수로서 가장 중요한 것이 기상인자이기 때문에 대기오염 물질의 단기 노출 영향을 추정하는데 항상 기온 등의 기상인자를, GAM에서 평활 함수(smoothing function)를 적용한 다음에 평가를 실시하고 있다. 셋째, 대기오염 농도와 건강영향의 관련성이 큰 시간적 지연(lag)이 고려되고 있다. 일반적으로 순환계통 관련 영향은 수 시간부터 당일, 혹은 전날의 농도와 관련성이 크며, 호흡계통은 보다 긴 시간적인 지연과 관련성이 크다는 보고가 다수를 차지하고 있다. 이에 따라 많은 시계열 연구가 위험도를 추정할 경우 지연효과를 함께 고려하여 검토하고 있다. 넷째, 대기 중 입자상 물질은 다양한 물리적·화학적 특성을 가지고 있는 집합체로 지역, 시기에 따라 차이가 발생함에 유의하고 있다. 결과적으로 건강에 미치는 영향이나 특징도 다르게 나타나게 되므로, 오염물질의 입경, 성분에 의한 건강영향을 구분하여 평가하는 과정의 한계를 벗어나기 위한 연구가 대두되고 있다.

다섯째, 농도-반응 함수로 해석되는 단기 노출의 시계열 연구를 통해 PM10, PM2.5 농도 증가는 전체 사망, 순환계통 사망, 호흡계통 사망의 증가와 관계가 있는 것으로 파악되고 있다. 건강영향 추정치는 PM10 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당 상대 위험도가 1~8%, PM2.5 농도 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가 시 상대 위험도는 2~6% 정도로 보고되고 있다. 장기 노출 영향에 대한 코호트 연구결과도 대기오염 농도가 높은 지역일수록 사망 위험도가 증가한다고 설명하고 있다. 이들 사례는 서울시가 향후 PM10, PM2.5 농도의 목표관리 방향 설정에 유의하게 활용할 수 있는 시사점을 주고 있다.

## IV 기후·환경 변화의 시민건강 영향분석

- 1 자료수집 및 분석방법
- 2 기후·환경 변화의 건강 영향분석
- 3 기후·환경 변화의 시민건강 위해도 평가

## IV 기후·환경 변화의 시민건강 영향분석

### 1 자료수집 및 분석방법

#### 1.1 기상-대기질-건강영향 기초자료

분석을 위해 1999년~2011년 기간 구축된 서울의 기상-대기질-건강 영향 자료의 통합 데이터베이스, 방재자동기상관측장비(Automatic Weather System, AWS)의 기상 자료, 국립환경과학원의 대기오염 측정자료 및 기상자료, 통계청의 사망자료, 국민건강보험공단의 상병자료를 이용하였다. 상병 관련 질환자료 정보는 시군구별, 일별, 연령별, 질환별 발생자수 정보를, 그리고 사망 관련 통합정보는 일별, 연령별 사망원인별 발생자수 정보를 포함하고 있다.

#### 1.1.1 기상자료

기상청에서 무인으로 운영하는 AWS에서 측정되는 기상자료 가운데 서울기상관측소에 위치한 108번 지점에서 측정된 기온, 이슬점 온도, 습도, 풍향, 풍속, 일사량, 일사시간, 강수량, 전운량 등의 기상자료는 서울 지역 전체의 평균 기상자료로 수집·활용된다. 25개 자치구에 위치한 지점에서 측정되는 AWS 기상자료 가운데 기온, 풍향, 풍속, 강수량의 기상자료 등은 권역 대상 분석과정에서 활용되며, 측정되지 않는 항목인 습도자료는 서울시 25개 대기오염측정망의 지역별 습도 측정자료를 수집·활용한다. 현재 서울시 지역 내 25개 대기측정망에서도 기온, 습도, 풍향, 풍속, 태양열 등의 기상자료가 측정되고 있어 보완자료로 활용이 가능하다.

## 대기오염 자료

25개 대기오염측정소에서 1시간마다 측정되는 SO<sub>2</sub>, CO, PM10, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, 그리고 PM2.5 자료를 수집하였다. 또한 대기오염 농도의 단기노출에 따른 건강영향 분석에 필요한 자료수집·변환을 위해 25개 자치구별로 해당 측정지점을 연계하고, 연계된 지점들의 시간별 각 대기오염물질 농도 평균값 또는 최대값을 구하여 일별 대푯값을 산출하였다.

**표 4-1 서울시 기상자료 수집 범위**

서울 기상		자치구 기상
서울 기상자료 (108번 측정지점)	AWS 기상자료 (400~510 측정지점)	25개 측정망 기상자료
<b>기온(1시간)</b>	<b>기온(1시간)</b>	기온(1시간)
이슬점 온도(3시간)		
<b>습도(1시간)</b>		<b>습도(1시간)</b>
풍향(1시간)	풍향(1시간)	풍향(1시간)
풍속(1시간)	풍속(1시간)	풍속(1시간)
일사량(1시간)		Solar(1시간)
일조시간(1시간)		
강수량(1시간)	강수량(1시간)	
전운량(3시간)		

## 사망자료

사망원인 자료는 통계청에서 구축하고 있는 통계원시자료제공시스템(MDSS)을 통해 입수하였으며, 이 자료에는 해당 기간의 사망자에 대한 사망일자, 사망장소, 사망 원인과 함께 사망자의 주소지, 성별, 직업, 혼인상태, 교육정도, 사망 시 연령 등을 파악할 수 있는 정보가 포함되어 있다.

표 4-2 통계청 사망원인 자료 변수

항목명	항목 설명
신고(년/월/일)	사망신고 연월일
주소지	
성별	남자/여자
사망(년/월/일)	사망 연월일
사망장소	주택/의료기관/사회복지 시설/공공시설/도로/상업서비스 시설/ 산업장/농장/병원 이송 중 사망
사망자 직업	의회임원/고위임직원 및 관리자/전문가/기술준공 및 준전문가/사무직원/ 서비스 종사자 및 판매종사자/농업 및 어업숙련 근로자/기능원 및 관련 기능 근로자/장치, 기계 조작용 및 조립원/단순 노무근로자/ 가사, 학생, 무직/ 미상(군인포함)
진단자	의사/한의사/기타/미상
혼인상태	미혼/배우자 있음/이혼/사별/미상
교육정도	무학/초등학교/중학교/고등학교/대학 이상/대학(교)/대학원 이상/ 중·고등학교/미상
사망원인1	
사망원인2	국제사인분류, 별도파일(질병사인분류코드)
사망시 연령	○○○세(미상은 999)
국적 구분	출생한국인/귀화한국인

114

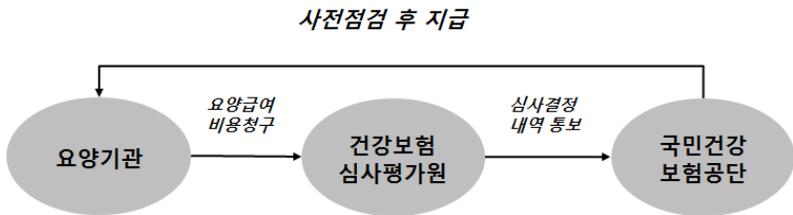
## 상병자료

건강보험자료는 건강보험 및 청구건의 질환 정보를 식별할 수 있는 자료인 건강보험 청구와 의료급여 대상자에 대한 정보인 의료급여 자료의 2가지 유형으로 구분된다.

건강보험청구 절차에 따르면, 건강보험 가입자에게 급여서비스를 제공한 요양기관은 가입자 일반사항 및 진료내역에 대한 세부자료를 작성하여 건강보험 심사평가원에 제출하도록 되어 있다. 연후에 건강보험 심사평가원은 제출받은 요양급여비용 청구자료에 대하여 급여기준에 적합한지 여부를 심사한 후, 심사결과를 요양기관과 국민건강보험공단에 각각 통보하게 된다. 심사평가원이 국민건강보험공단에 심사결과를 통보

할 때 심사결정 내용과 함께 요양기관에서 청구한 전산자료가 함께 인계된다. 최종적으로 국민건강보험공단은 건강보험 심사평가원으로부터 통보받은 심사결과에 따라 급여비를 지급한다.

이러한 일련의 과정을 거친 건강보험 자료는 시계열적으로 건강보험 청구에 따른 다양한 질환 및 의료비용 정보를 포함하고 있어, 건강영향 변수와 함께 분석할 경우 건강영향 수준을 판단할 수 있게 된다.



**그림 4-1 건강보험청구명세서 청구지급 절차 및 자료**

자료 : 국립환경과학원, 2010, 「기후변화 및 대기오염에 의한 건강영향의 시공간적 분포 연구」

**표 4-3 국민건강보험공단의 건강보험 및 의료급여 자료 변수**

항목명	항목 설명
주소코드	시군구, 읍면동 코드
지역상세코드	지역(농어촌)/지역(도시)/지역(None)/공무원/교직원/ 일반직장/의료급여/기타
건강보험증번호	가입자의 건강보험증번호
가입자 및 피부양자 구분 코드	가입자/피부양자(세대원)
생년월일, 성별	
개인ID	개인을 식별할 수 있는 고유번호(주민번호 대체)
보험료 분위	20분위
산정보험료	
연말기준나이	
성별	남/여
요양기관기호	

## 표 계속 국민건강보험공단의 건강보험 및 의료급여 자료 변수

항목명	항목 설명
요양기관 종별코드	종합병원/병원/의원/치과병원/치과의원/조산원/ 보건기관/약국/한방기관
주상병	한국표면사인질병분류기호
부상병	한국표면사인질병분류기호
진료형태 소분류	일반입원/일반외래/치과입원/치과외래/조산입원/ 보건기관입원/보건기관외래/정신과낮병동/정신과입원/ 정신과외래/한방기관입원/한방기관외래/약국조제/ 처방조제/기타
진료과목	일반/내과/신경과/정신과/외과/정형외과/신경외과/ 흉부외과/성형외과/마취통증의학과/산부인과/소아과/ 안과/이비인후과/피부과/비뇨기과/진단방사선과/ 치료방사선과/병리과/진단검사의학과/결핵과/ 재활의학과/핵의학과/가정의학과/응급의학과/산업의학과/예 방의학과/그외 자료/구강악안면외과/치과보철과/ 치과교정과/소아치과/치주과/치과보전과/구강내과/ 구강악안면방사선과/구강병리과/예방치과/그외자료/의과/치 과/조산/피임시술/물리치료/한방(시술)/한방(투약)/ 한방(시술+투약)/한방내과/한방부인과/한방소아과/ 한방안·이비인후과·피부과/한방신경정신과/침구과/ 한방재활의학과/사상체질과/한방응급/그외자료/기타
특정기호	상병정보의 특정기호
요양개시일자	수진자가 진료받기 시작한 일자, 조제투여일자
수술여부	수술/비수술
진료결과코드	계속/이송/회송/사망/퇴원
입내원 일수	수진자가 진료받기 위해 요양기관에 내원한 일수 또는 입원일수
급여 일수	수진자를 진료한 총 일수(투약일수 포함)
심결 DRG	
심사결정 총진료비	심사가 완료된 요양급여비용 명세서의 총비용
심사결정 총급여비	심사가 완료된 요양급여비용 명세서상의 공단 부담비용

## 1 2 통합 데이터베이스 구축

### 1 2 1 통합 데이터베이스 자료의 구분

통합 데이터베이스는 건강영향의 결과를 기준으로 사망관련 DB와

상병관련 DB로 구분하였다. 건강영향의 결과 판단에 필요한 역학 자료는 인적(person), 시간(time), 지역(area) 속성에 따라 개인 또는 집단에 일어나는 역학적 빈도와 분포를 적절히 기술할 수 있어야 하기 때문이다.

사망관련 DB에서는 역학 자료는 1999년 1월 1일부터 2011년 12월 31일까지의 일별 사망 발생자수 자료로 구축하였다. 시간적 특성은 사망정보가 일별(day) 수준이므로 일별 변수로 한정하였으며, 지역적 특성은 일별 사망자수의 통계적 분석 가능정도를 고려하여 자치구 단위의 변수로 한정하였다. 인구 특성 변수는 사망자의 연령과 사망원인별로 구분하였는데 연령은 전체 연령, 65세 이상 연령으로 분류하고, 사망원인은 전체 원인 사망, 호흡기계 관련 질환 사망, 순환기계 관련 질환 사망, 환경성 질환 사망으로 구분하였다.

상병관련 DB의 경우 역학 자료는 2006년 1월 1일부터 2011년 12월 31일까지 특정 질환의 일별 발생 환자수로 구축하였다. 시간적 특성은 일별(day) 변수로 한정하였으며, 지역적 특성은 자치구의 일별 특정 질환의 발생 정도를 파악하고자 자치구 단위의 변수로 한정하였다. 질환은 순환기계 환경성 질환(고혈압성 심장병, 허혈성 심장질환, 혈관운동성 및 알레르기성 비염), 호흡기계 환경성 질환(만성 하기도 질환), 피부염 및 습진 질환(아토피 피부염)으로 구분하였다.

사망원인 DB와 상병관련 DB와 관련된 역학 자료 가운데 기상 및 대기질 자료는 각각의 시간적, 지역적 연결을 고려하여 구축하였다. 시간적 연계와 관련하여 기상 및 대기질 자료는 일별 자료로 변화하여 구축하였다. 지역적 연계와 관련하여 기상 및 대기질 자료는 서울과 25개 자치단체를 권역 단위로 변환하여 각 지역적 변수에 맞추어 계산하여 구축하였다.

통합 DB 구축에 이용된 기상자료의 정보는 기온, 습도를 포함하고 있으며, 대기질 자료 정보에는 SO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>와 PM<sub>2.5</sub>의 자료

정보가 포함되어 있다.

그리고 개별 역학 자료의 통합 DB는 각각 3개의 자료로 구성되고, 시간적·지역적으로 연계되며, 연계변수는 일자변수와 행정구역 변수이다.

기상자료	대기질 자료	사망자 자료
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일자</li> <li>• 행정구역</li> <li>• 기온</li> <li>• 습도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일자</li> <li>• 행정구역</li> <li>• SO<sub>2</sub></li> <li>• CO</li> <li>• PM10</li> <li>• NO<sub>2</sub></li> <li>• O<sub>3</sub></li> <li>• PM2.5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일자</li> <li>• 행정구역</li> <li>• 연령대</li> <li>• 성별</li> <li>• 사망원인</li> <li>• 발생수</li> </ul>

그림 4-2 사망 관련 통합 DB 구조

기상자료	대기질 자료	질환자 자료
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일자</li> <li>• 행정구역</li> <li>• 기온</li> <li>• 습도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일자</li> <li>• 행정구역</li> <li>• SO<sub>2</sub></li> <li>• CO</li> <li>• PM10</li> <li>• NO<sub>2</sub></li> <li>• O<sub>3</sub></li> <li>• PM2.5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일자</li> <li>• 행정구역</li> <li>• 연령대</li> <li>• 성별</li> <li>• 질환원인</li> <li>• 발생수</li> <li>• 진료비</li> </ul>

그림 4-3 상병 관련 통합 DB 구조

## 1.2.2 통합 데이터베이스 자료의 가공

### 1) 기상자료

기상자료는 1999.1.1~2011.12.31 동안의 관측 자료를 활용하였다. 지역적 변수와 관련하여 서울의 기상자료로는 108번 측정지점의 기온, 습도 자료, 자치구 기상자료로는 AWS의 기온, 대기측정망의 습도자료가 활용되었다.

### 2) 대기오염물질 자료

대기오염물질 자료는 사망DB, 상병DB 자료와의 연계를 고려하여 1999.1.1~2011.12.31 기간의 측정자료를 활용하였다. 다만 PM2.5는 측정 자료의 연속성 및 대표성을 고려하여 2005.1.1~2011.12.31 기간의 측정자료를 활용하였다. 시간별 자료의 가공과 관련하여 일별 자료를 산출하는 과정에서 24시간 평균값으로 산출하였으며, 오존은 24개 시간별 자료를 이용하여 시간 최대값을 대표치로 가공하였다.

3) **사망자료**

사망자료는 1999.1.1~2011.12.31 기간의 자료를 활용하였다. 그리고 사망자료에는 서울시 25개 자치구별, 일별, 연령별, 사망원인별 일별 발생자수 정보가 포함되어 있다.

4) **상병자료**

진료 에피소드는 ‘질환의 발생부터 종료(사망, 치료 종료, 회복 등)’까지를 하나의 사건으로 측정하는 단위이다. 일반적인 의료이용 관련 연구들에서 입원일수와 방문일수, 투약일수 등과 같은 단위 서비스를 중심으로 결과를 산출하는 접근 방법과 달리 진료에피소드는 질환과 환자를 중심으로 지표를 산출하는 접근 방식이다(Hornbrook et al., 1985). 건강보험 청구건은 크게 외래, 응급, 입원으로 구분하여 발생하고, 응급은 병원에서 치료를 받아도 4시간 미만일 경우에는 외래 청구건으로 청구되며, 4시간 이상일 경우에는 입원으로 청구되는 특성을 가지고 있다. 이 연구에서는 입원 청구건에 한정하여 분석하였다.

입원 에피소드 자료 가공과 관련하여 1단계에서는 해당 질환에 대한 입원 의료서비스를 정의하고, 2단계에서는 정의된 해당 질환 입원 의료서비스를 의료서비스 수진자별로 정의하여 이를 해당 청구건을 이용하여 개별 에피소드로 구분한다. 이 경우 개별 에피소드를 구분하는 것은 무진료 기간(clean period)으로 에피소드 종료 이후 새로운 에피소드 발생시점까지의 기간을 의미한다. 건강보험 청구자료 입원건에서는 입내원 일수정보를 이용하여 해당 입원 청구건에 대한 실제 퇴원 일수를 계산할 수 있다. 이 연구에서는 무진료 기간이 0일인 경우는 동일한 에피소드로 정의하여 자료를 구축하였다.

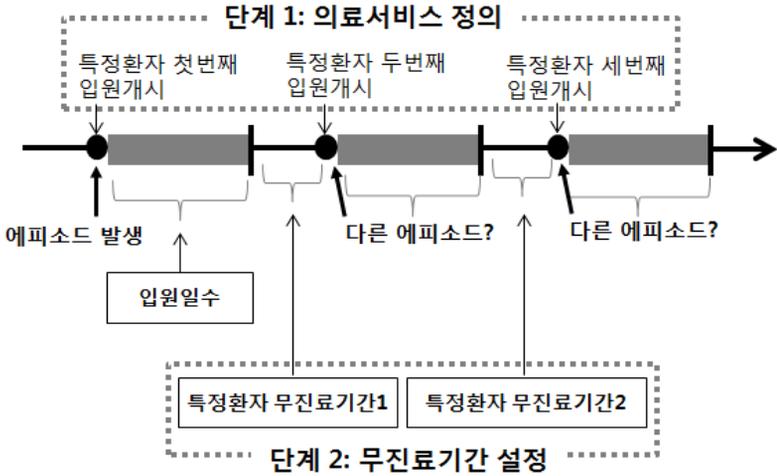


그림 4-4 입원 에피소드 정의

자료 : 한국환경정책평가연구원, 2012, 「기후변화와 대기오염이 환경관련질환에 미치는 영향-기온 상승과 오존 농도 증가의 상호작용을 중심으로」

국민건강보험공단에서 제공하는 상병자료를 바탕으로 기후·환경 조건의 변화에 따른 시민건강 영향(환경성 질환 발생빈도, 의료비용 추가부담 등)을 분석하기 위해, 이 연구에서는 2006.1.1~2011.12.31 기간의 건강보험자료를 활용하였다. 이와 관련하여 상병 관련 통합 DB에 포함된 질환자료 정보는 개인 ID, 주소코드, 연말 기준 나이, 주상병 기호, 부상병 기호, 요양 개시일자, 입내원 일수, 심사결정 총진료비 등이다. 그리고 건강보험자료를 진료 에피소드(Episode of Care) 자료로 변환하여 활용하였다.

환경성 질환 분류<sup>2</sup>

환경성 질환은 국제적으로 통일된 기준이 없고, 질환의 범위도 광범위하다. 우리나라 환경보건법 제2조 제2호에 환경성 질환은 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제2조에 따른 수질오염물질에 의한 질환, 「유해화학물질관리법」 제2조에 따른 유해화학물질에 의한 중독증, 신경계 및 생식계 질환, 석면에 의한 폐질환, 환경오염사고로 인한 장해, 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」 제2조에 따른 오염물질 및 「대기환경보전법」 제2조에 따른 대기오염물질과 관련된 호흡기 및 알레르기질환으로(감염병 제외) 지정되어 있다. 즉 환경성 질환에는 수인성질환, 신경계 질환, 생식계질환, 중독증, 호흡기질환, 알레르기질환 등이 포함된다(국립환경과학원, 2010).

세계보건기구(WHO)는 주요 102가지 질환 중 환경요인에 의한 질환을 85가지로 분류하여 정리하였으며, 설사질환, 신경정신질환, 중독, 하기도호흡기질환, 상기도호흡기질환, 만성폐쇄성폐질환, 천식, 심혈관질환, 백내장, 난청, 말라리아, 샤가스병, 회선사상충증, 리슈만편모충증, 뎅기, 일본뇌염, 성병, HIV, B형간염, C형간염, 결핵, 주산기문제, 선천성기형, 영양실조, 암, 육체활동, 차사고, 낙상, 익사, 불, 기타 비의도적 손상, 폭력, 자살, 근골격질환, 장선충, 트라코마, 림프사상충증, 주혈흡충증 등이 포함된다(WHO, 2006)

이 연구에서는 다양한 환경성 질환 가운데 기후변화 및 대기오염과 모두 관련성이 있다고 보편적으로 보고된 만성폐쇄성 폐질환, 고혈압성 심장질환, 허혈성 심장질환, 천식, 아토피 등의 질환을 환경성 질환으로 구분·적용하였다.<sup>3</sup>

2

환경성 질환에 대한 개요 및 증상에 대한 자료는 국가건강정보포털 (<http://health.mw.go.kr>) 참조

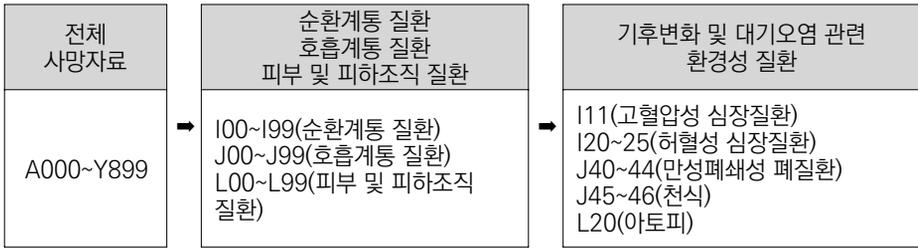


그림 4-5 환경성 질환 추출 흐름

### 2.1.1 고혈압성 심장질환(I11)

고혈압은 방치하거나, 오랜 기간 조절하지 않으면 심장의 구조, 심장혈관(관상동맥), 심장 전도계에 변화를 일으킨다. 이런 변화는 심장 좌심실비대, 관상동맥질환, 심장 전도장애, 심장 기능장애를 일으켜 협심증, 심근경색증, 부정맥(특히 심방세동), 심부전증 등을 유발한다. 따라서, 고혈압성 심장병은 혈압 상승과 직접 또는 간접적으로 연관되어 있는 좌심실비대, 관상동맥질환, 부정맥, 심부전증 등의 심장병을 총칭한다. 고혈압성 심장병은 혈압이 지속적으로 증가하여 발생하며, 90% 정도는 뚜렷한 원인이 없는 본태성고혈압이나, 10% 정도는 신동맥협착, 다낭성신질환, 만성신부전, 혈관질환 등의 신(콩팥)질환, 일차성 고알도스테론증, 갈색세포종, 쿠싱증후군, 갑상선기능 항진증 또는 저하증, 말단거대증 등의 내분비질환과 스테로이드 또는 에스트로겐 등의 약물사용, 대동맥협착증, 수면 무호흡증, 혈관경직도 증가에 의한 수축기고혈압 및 심장병 등 원인질환이 있는 이차성 고혈압이다.

### 2.1.2 허혈성 심장질환(I20~25)

관상동맥이 좁아지거나 막히게 되어 심장근육에 충분한 혈액 공급이 이루어지지 못할 때 나타나는 허혈성 심장질환은 관상동맥질환이라고도 하

3 환경성 질환으로 세부 질병분류 기호는 부록 참조

며, 임상적으로는 협심증, 심근경색증 또는 급사(심장돌연사)로 나타난다. 이 질환은 서구인의 사망원인 중 1위를 차지하며, 최근 생활양식의 변화와 식생활 양식의 서구화 등으로 인해 우리나라에서도 이 질환으로 인한 사망률과 이환율이 급격히 증가하고 있다(윤지창, 2000).

#### 213 만성폐쇄성 폐질환(J40~44)

만성폐쇄성 폐질환은 유해한 입자나 가스의 흡입에 의해 폐에 비정상적인 염증 반응이 일어나면서 이로 인해 점차 기류 제한이 진행되어 폐 기능이 저하되고 호흡곤란을 유발하게 되는 호흡기 질환으로 폐기종, 만성 기관지염 등이 이러한 범주에 포함된다.

이 질환의 주된 증상은 만성적인 기침이며, 처음에는 간헐적으로 발생하나 점점 지속적으로 변하게 된다. 만성적인 가래(객담)가 주 증상일 수도 있으며 이때의 가래는 끈끈하여 양이 적고 아침에 기침과 함께 배출된다. 이 질환이 더 진행되면 운동 시 호흡곤란이 발생하게 되고 이러한 증상은 일단 발병하면 점점 진행된다.

만성폐쇄성 폐질환의 중요한 위험인자는 흡연이며, 실내·외 공기 오염, 직업성 분진과 화학물질(증기, 자극물질, 연기)도 이 질환을 유발할 수 있다(유지홍 외, 2005).

#### 214 천식(J45~46)

천식은 만성적인 기도의 알레르기 염증질환으로 폐 속에 있는 기관지가 때때로 좁아져 호흡곤란, 기침, 천명(음) 등 호흡기 증상이 반복적이고 발작적으로 갑작스럽게 나타나는 질환이다.

유발인자는 천식을 일으키거나 증상을 악화시키는 원인이 되는 물질이다. 천식 발생에 영향을 주는 환경적 유발원인으로는 '원인인자'와 '악화인자'가 있다. 환경적 유발원인으로는 실내·외 항원과 직업성 천식유발 물질이 있다. 실내인자로는 집먼지 진드기, 애완동물, 바퀴벌레, 곰팡이

등이 주된 요인이며, 실외인자로는 꽃가루, 실외 곰팡이가 대표적이다. 직업성 천식은 직업과 연관된 여러 항원 및 동물 등이 원인으로 작용한다(김관형 외, 2005). 그리고 담배연기, 기후변화, 대기오염, 호흡기 감염(감기), 음식 및 약물, 스트레스 등이 천식 증상을 악화시키는 악화요인으로 알려져 있다.

## 215 아토피 피부염(L20)

아토피 피부염(atopic dermatitis)은 오래 지속되는 만성 피부염으로 아동에게서 주로 발생하는 난치성 질환이다(배종면 외, 2009). 이 질환의 증상은 주로 심한 가려움증과 긁거나 문지른 결과에 따라 발생하는 피부 병변으로, 외부의 자극 혹은 알레르기 유발 물질에 매우 민감하게 반응한다.

아토피 피부염 환자는 전 세계적으로 증가 추세에 있는데 1970년대까지는 6세 이하 어린이의 약 3%가 이 질병을 앓고 있다고 보고되고 있다. 그러나 최근에는 어린이의 20%, 성인의 1~3% 정도가 앓고 있는 것으로 추정되고 있다. 우리나라의 경우 아토피 피부염의 유병률은 전 인구의 5~15% 정도이고, 지난 30년간 계속 증가하는 추세이며,<sup>4</sup> 지역, 연령, 성별, 사회문화적 특성에 따라 다양한 유병률을 보이고 있다. 아토피 피부염은 환자의 유전적인 소인과 환경적인 요인, 환자의 면역학적 이상과 피부 보호막의 이상 등 여러 원인이 복합적으로 작용하고 있다. 최근 들어 환경 요인의 중요성이 강조되고 있다. 농촌의 도시화, 산업화, 핵가족화로 인한 인스턴트식품 섭취의 증가, 실내외 공해에 의한 알레르기 물질의 증가 등이 이 질환의 발병과 밀접한 관련이 있다. 또한 자동차 매연, 가스레인지 가스 등의 환경 공해물질이나 식품 첨가물과 같은 음식물이 이 질환의 주된 요인이다.

---

4 Doctor's News, "아토피 피부염 유병률 30년 동안 최고 15% 증가", 2012.6.27

환경성 질환의 발생빈도 변화

사망비율 변화

연도별 사망비율 변화

전체 질환으로 인한 사망률은 증감을 반복하는 추세로 1999년에는 10만명당 364.3명이 사망하였으나, 2011년에는 10만명당 383.0명이 사망한 것으로 조사되었다. 순환계통 질환, 호흡계통 질환으로 인한 사망률은 다소 감소하는 추세로 나타났다.

특히 순환계통 환경성 질환, 호흡계통 환경성 질환을 포함한 전체 환경성 질환으로 인한 사망비율의 변화와 미세먼지(PM10)의 연평균 변화와 비교하면, 미세먼지 농도가 높았던 2002년, 2007년에 환경성 질환으로 인한 사망자수 비율이 높았다. 특기할 사항은 미세먼지의 연평균 농도 변화 패턴과 전체 사망자 대비 환경성 질환 사망자 비율 변화가 상호 유사한 증감 패턴을 보이고 있다는 것이다.

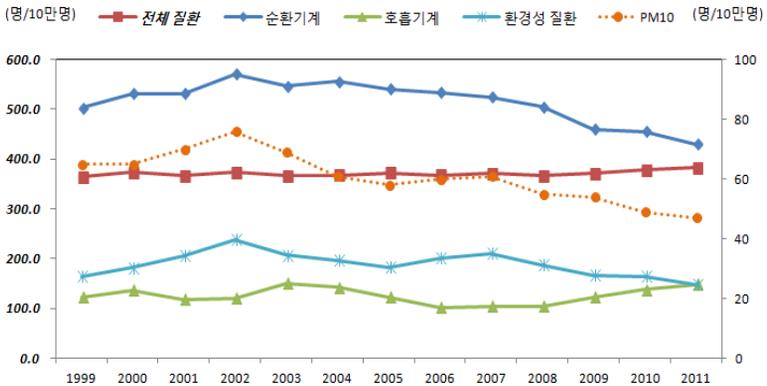


그림 4-6 서울시 미세먼지(PM10) 농도 및 질환별 사망률의 변화

전체 질환으로 인한 10만명당 사망률은 연평균 0.42% 증가하였으나, 순환계통 질환으로 인한 10만명당 사망률은 1.28% 감소하였지만, 호흡

계통 질환으로 인한 10만명당 사망률은 1.61% 증가하고 있다.

표 4-4 서울시 질병 사망률의 변화 비교(1999년, 2011년)

(단위 : 명/10만명, %)

구분	1999년	2011년	연평균 증감비율
전체 질환	364	383	▲0.42
순환계통 질환	84	72	▼1.28
호흡계통 질환	20	25	▲1.61
환경성 질환(1)+(2)	28	25	▼1.28
환경성 순환계통 질환(1)	18	18	▲0.14
환경성 호흡계통 질환(2)	17	7	▼0.81

서울시 25개 자치구를 대상으로 인구대비 사망 비율 비교에서 순환계통 질환 사망 비율은 종로구, 중구가 다른 자치구보다 다소 높았으며, 순환기계 환경질환 사망비율은 1999년~2008년까지 종로구, 용산구가 약간 높았으나 2009년~2011년에는 서대문구가 가장 높게 나타나고 있다.

호흡계통 질환 사망 비율도 종로구, 중구가 다소 높은 비율을 보이고 있다. 그리고 호흡계통 환경질환 사망자 비율은 2002년까지 종로구, 중구가 높았으나, 2002년 이후부터 서대문구, 은평구, 강서구, 동대문구 등이 높게 나타나는 등 일정한 패턴을 보이지 않고 있다.

환경질환 사망 비율은 종로구가 가장 높았으나 2009년~2011년에는 서대문구가 높게 나타나고 있다. 이에 따라 5개 권역으로 구분하여 인구 대비 사망자수 비율을 중심으로 살펴보면, 종로구, 중구, 용산구가 포함된 도심권역의 비율이 가장 높았고, 송파구, 서초구, 강남구, 강동구가 포함된 남동권역의 비율이 가장 낮은 수치를 보이고 있다. 그리고 환경질환 사망 비율은 2009년, 2011년 도심권역보다 북서권역이 가장 높게 나타나고 있음은 향후 권역별 건강영향 분석 및 대응에서 유의할 사항이다.

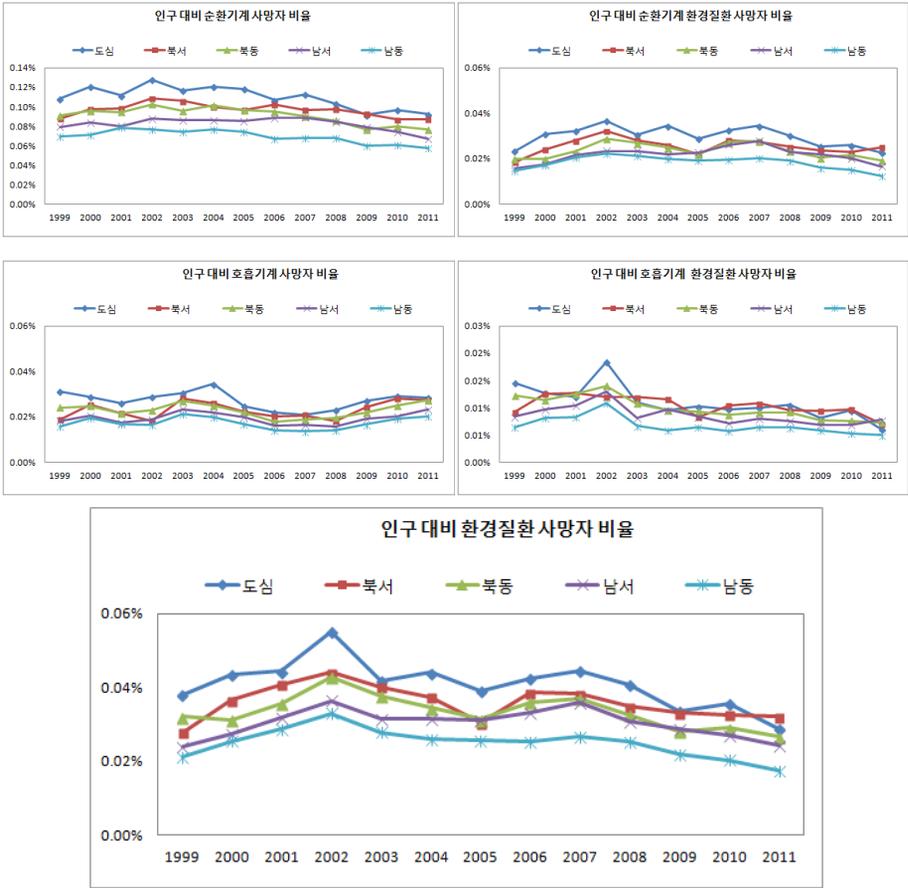


그림 4-7 서울시 연도별 인구대비 질환 사망 비율 변화(1999~2011)

2) 지역별 사망 비율 비교

2011년 전체 사망자수는 노원구가 2,436명으로 가장 높았고, 순환·호흡계통 사망자수 역시 노원구가 613명으로 다른 자치구에 비해 높은 수준을 보이고 있다. 그리고 대기오염 관련 질병에 의한 사망자는 강서구가 172명으로 가장 많은 것으로 분석되고 있다.

전체 사망자 대비 순환·호흡계통 사망자 비율은 중구 29.1%, 서대문구 28.9%, 종로구 28.3% 수준으로 5개 권역 가운데 도심권역에서 상대적

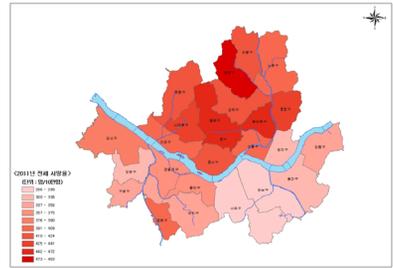
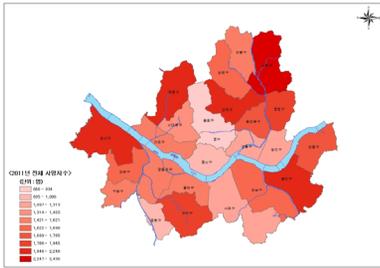
으로 높은 비율을 보이고 있다. 또한 전체 사망자 대비 환경성 질환에 의한 사망자 비율은 서대문구 9.1%, 마포구 8.4%, 중구 8.1% 정도로 북서 권역과 도심권역에서 상대적으로 높게 나타나고 있다.

표 4-5 서울시 25개 자치구별 사망자수(2011년 기준)

(단위 : 명, %)

구분	전체사망자수 (A)	순환·호흡기계 사망자수(B)	환경성 질환 사망자수(c)	(B)/(A)	(C)/(A)
종로구	834	236	57	28.3%	6.8%
중구	666	194	54	29.1%	8.1%
용산구	1,096	268	59	24.5%	5.4%
성동구	1,252	312	77	24.9%	6.2%
광진구	1,259	294	69	23.4%	5.5%
동대문구	1,785	454	115	25.4%	6.4%
종량구	1,890	489	128	25.9%	6.8%
성북구	2,068	498	132	24.1%	6.4%
강북구	1,684	414	111	24.6%	6.6%
도봉구	1,543	374	97	24.2%	6.3%
노원구	2,436	613	158	25.2%	6.5%
은평구	2,113	561	134	26.5%	6.3%
서대문구	1,420	411	129	28.9%	9.1%
마포구	1,615	427	135	26.4%	8.4%
양천구	1,698	437	115	25.7%	6.8%
강서구	2,246	558	172	24.8%	7.7%
구로구	1,583	402	127	25.4%	8.0%
금천구	1,081	271	76	25.1%	7.0%
영등포구	1,621	407	108	25.1%	6.7%
동작구	1,553	379	99	24.4%	6.4%
관악구	1,945	438	108	22.5%	5.6%
서초구	1,313	296	66	22.5%	5.0%
강남구	1,638	408	95	24.9%	5.8%
송파구	2,203	547	124	24.8%	5.6%
강동구	1,778	468	107	26.3%	6.0%
합계	40,320	10,156	2,652	25.2%	6.6%

25개 자치구별 인구 대비 사망 비율과 관련하여 순환계통 질환 사망 비율은 중구가 가장 높았으며, 순환계통 환경성 질환 사망 비율은 서대문구, 중구가 다른 자치구보다 다소 높은 수치를 보이고 있다.



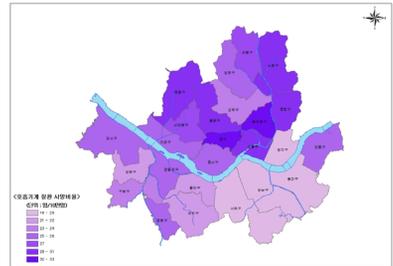
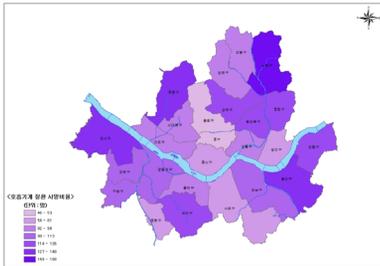
전체 사망자수

자치구별 인구 대비 전체 사망 비율



순환계통 사망자수

자치구별 인구 대비 순환계통 사망 비율



호흡계통 사망자수

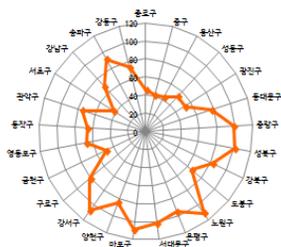
자치구별 인구 대비 호흡계통 사망 비율

그림 4-8 서울시 25개 자치구별 질환에 의한 사망자수 및 인구대비 사망 비율(2011)

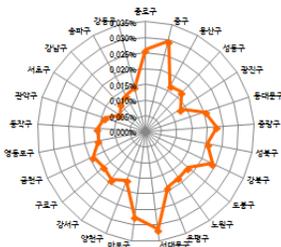
한편 호흡계통 질환 사망 비율, 호흡계통 환경성 질환 사망 비율은 동대

문구가 가장 높았으며, 순환계통·호흡계통 환경성 질환을 모두 포함하는 환경성 질환 사망 비율은 서대문구가 가장 높게 나타나고 있다.

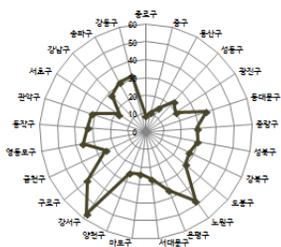
순환계통, 호흡계통 질환 사망 비율은 도심 권역이 다른 권역들에 비해 다소 높았으며, 환경성 질환 관련 사망 비율은 북서권역이 높은 것으로 파악되고 있다.



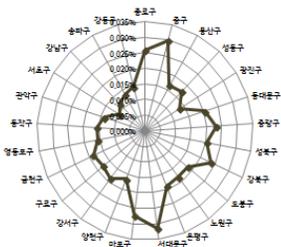
환경성 순환계통 질환 사망자수



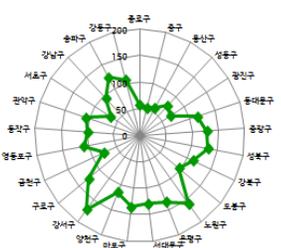
인구대비 환경성 순환계통 질환 사망 비율



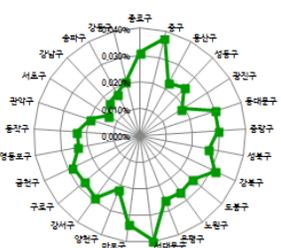
환경성 호흡계통 질환 사망자수



인구대비 환경성 호흡계통 질환 사망 비율



환경성 질환 사망자수



인구대비 환경성 질환 사망 비율

그림 4-9 서울시 25개 자치구별 환경성 질환에 의한 사망자수 및 인구대비 사망 비율(2011)

고령화 시대의 건강도시 만들기 정책수요 대응과 관련하여 2011년 환경성 질환 사망자수를 연령별로 살펴보면, 65세 이상이 78.4%에 달하고 있다. 전체적으로 남성 사망 비율(53.6%)이 여성 사망 비율(46.4%)에 비해 다소 높은 것으로 분석되고 있다.

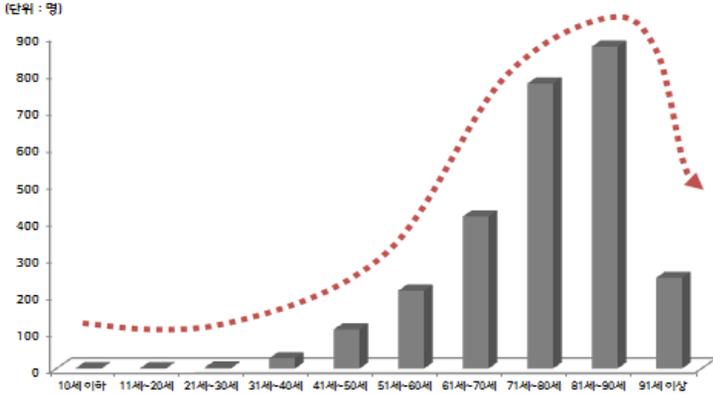


그림 4-10 서울시 환경성 질환에 의한 사망자의 연령 분포

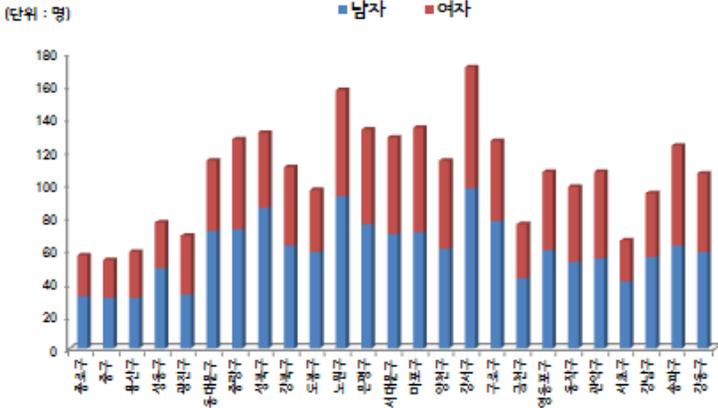


그림 4-11 서울시 환경성 질환에 의한 사망자의 성별 분포

2011년 전체 사망 비율의 78.4%를 차지하고 있는 65세 이상의 질환 민  
 감군인 고령자 인구는 2011년 1,049천명으로 전체 인구의 10.0%로 고  
 령화 사회 기준인 7%를 넘어서고 있다.<sup>5</sup> 지역별로 살펴보면 고령자 인구  
 는 노원구, 은평구, 송파구, 성북구, 강서구, 관악구에 많이 분포되어 있  
 으나, 자치구별 인구 대비 고령자 비율은 종로구, 중구가 12.9%, 12.8%  
 로 가장 높게 나타나고 있다. 권역으로는 도심, 북서, 북동권역이 다른  
 권역에 비해 고령화 정도가 높은 것을 알 수 있다. 이러한 자치구별 고령  
 화 정도와 자치구별 사망비율을 살펴보면 사망 비율이 고령화 정도가 높  
 은 권역일수록 높게 나타나고 있음은 유의할 사항이다.

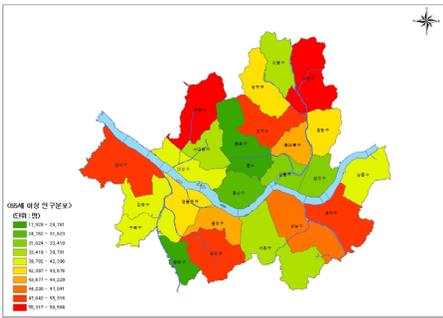


그림 4-12 자치구별 65세 이상 인구(2011)

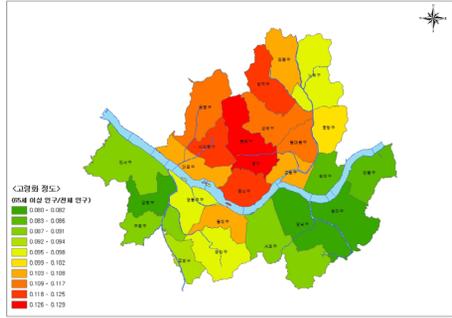


그림 4-13 자치구별 고령화 비율(2011)

## 2.3 유병률 변화

서울시 진료실 인원, 내원일수, 총진료비는 계속 증가하는 추세이며,  
 2011년 서울시민 1인당 지불한 총진료비는 903,006원 정도이다.

자치구별 절대적인 진료실 방문인원은 2006년~2007년에는 노원구,

5 UN에서 규정한 바에 따르면 65세 이상의 인구가 전체 인구의 7% 이상이면 고령화 사회(aging society), 14% 이상이면 고령사회(aged society), 20% 이상이면 초고령사회(super-aged society)로 분류하고 있음.

2008년 이후에는 송파구가 가장 많았으며, 자치구별 인구 대비 진료실 인원 비율은 노원구, 강남구가 다소 높게 나타나고 있다. 권역별 인구 대비 진료실 인원 비율은 서초구, 강남구, 송파구, 강동구가 포함되는 남동 권역이 다른 권역에 비해 높은 수치를 보이고 있다.

표 4-6 서울시 연도별 진료실 인원, 내원 일수 및 총진료비

구분	진료실인원 (명)	내원일수 (일)	총진료비 (천원)	내원일당		총진료비/인구 (원/명)
				진료비 (원)	급여비 (원)	
2006	8,903,330	137,765,033	4,256,900,571	30,900	23,274	411,048
2007	8,992,107	145,880,126	4,863,461,955	33,339	25,236	466,663
2008	8,862,271	164,281,515	7,579,510,791	46,137	24,821	724,893
2009	8,714,055	168,170,208	8,056,562,626	47,907	35,809	769,928
2010	8,579,406	168,349,402	8,416,607,980	49,995	37,808	795,863
2011	9,406,565	184,325,578	9,507,548,232	51,580	39,122	903,006

자료 : 국민건강보험, 2006~2011 지역별 의료이용 통계

2006년~2011년 건강보험공단 자료를 바탕으로 질환 유형별 유병률과 진료비를 분석한 결과 유병률이 증가하고 있음을 알 수 있다. 순환계통 질환의 유병률은 2006년 인구 10만명당 258명에서 2011년 인구 10만명당 270명으로 4.65% 증가하여 연평균 증가율은 0.89% 수준으로 분석되고 있다. 호흡계통 질환의 유병률은 연평균 0.95%, 피부 및 피하조직 질환의 유병률도 연평균 6.01% 증가하고 있다.

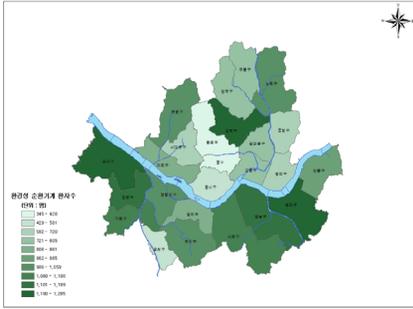
1인당 진료비용과 에피소드는 환경성 피부 및 피하조직 질환을 제외하고 모든 질환에서 증가하고 있다. 순환계통 환경성 질환의 1인당 진료비용은 2006년 3,090천원에서 2011년 3,206천원으로 약 0.74%, 호흡계통 환경성 질환의 1인당 진료비용은 2006년 1,081천원에서 2011년 1,317천원으로 약 4.03% 증가한 것으로 나타나고 있다. 입원 에피소드

별로 살펴보면 순환계통 환경성 질환은 2006년 1인당 6.2건에서 1인당 7.8건으로 4.68%, 호흡계통 환경성 질환은 2006년 1인당 8.7건에서 2011년 1인당 9.8건으로 2.25% 증가하고 있다. 이와 달리 아토피 등의 피부 및 피하조직 질환의 진료비용은 2006년 1인당 569천원에서 2011년 1인당 513천원, 에피소드는 2006년 1인당 7.2건에서 2011년 1인당 6.3건으로 감소한 것으로 나타나고 있다.

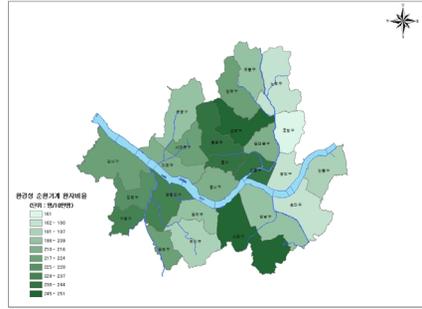
표 4-7 서울시 유병률 및 진료비용, 에피소드(2006년 및 2011년)

구분	유병률(단위 : 명/10만명)			진료비용(단위 : 천원/인당)			에피소드(단위 : 건/인당)		
	2006	2011	연평균 증감비율 (%)	2006	2011	연평균 증감비율	2006	2011	연평균 증감비율 (%)
순환계통	258	270	▲0.89	3,090	3,206	▲0.74	6.2	7.8	▲4.68
환경성 질환	133	139	▲0.95	1,081	1,317	▲4.03	8.7	9.8	▲2.25
피부 및 피하조직	1.3	1.7	▲6.01	569	513	▼2.05	7.2	6.3	▼2.87

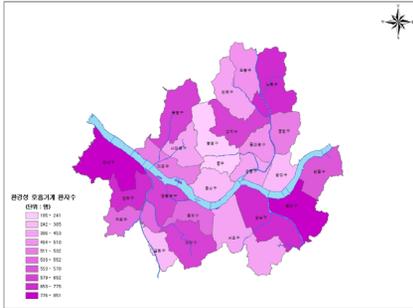
2011년 지역별 환경성 질환의 유병률(인구 10만명당 환자수), 진료비용, 에피소드 등을 살펴보면, 종로구·중구·용산구가 포함된 도심권역은 입원한 환자수가 다른 권역에 비해 다소 적었으나, 유병률은 높은 수준을 보이고 있음이 특기할 사항이다.



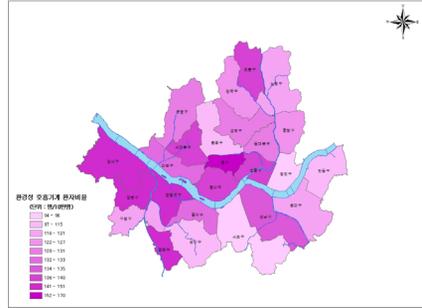
환경성 순환계통 질환 환자수



환경성 순환계통 질환 유병률



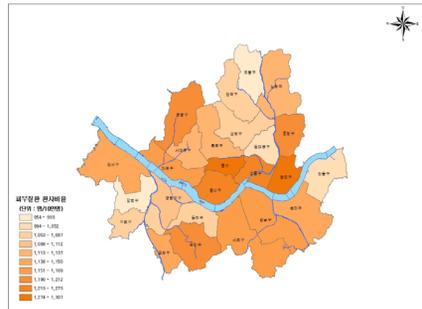
환경성 호흡계통 질환 환자수



환경성 호흡계통 질환 유병률

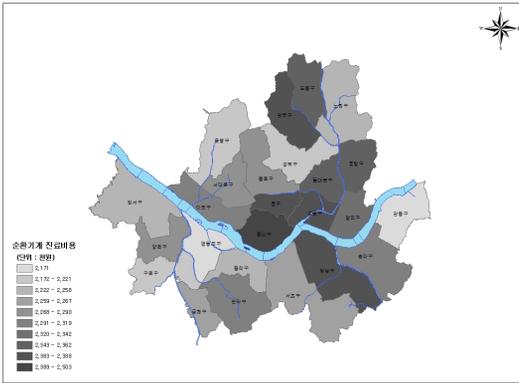


피부 및 피하조직 질환 환자수

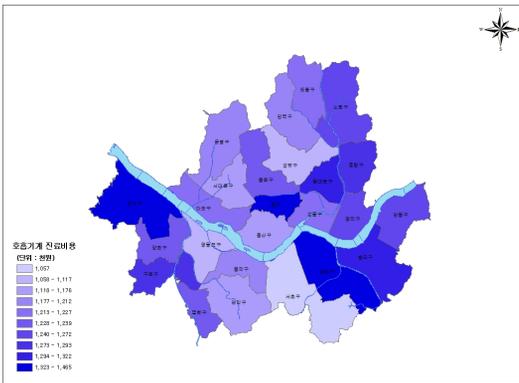


피부 및 피하조직 질환 유병률

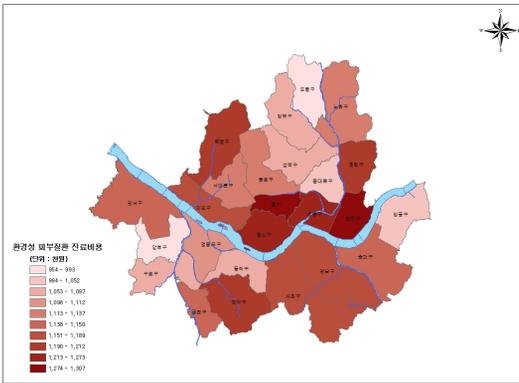
그림 4-14 서울시 자치구별 환경성 질환 유병률 분포(2011)



**순환계통 환경성 질환**



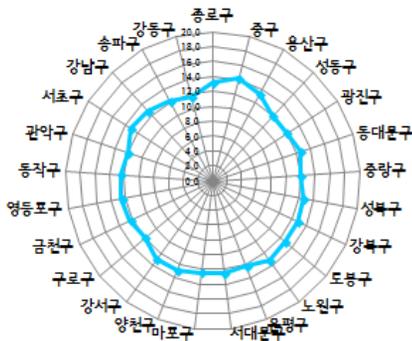
**호흡계통 환경성 질환**



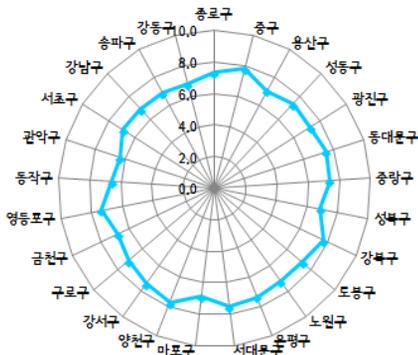
**피부 및 피하조직 환경성 질환**

그림 4-15 서울시 지역별 환경성 질환에 대한 진료비용 분포(2011)

순환계통 환경성 질환



호흡계통 환경성 질환



피부 및 피하조직 환경성 질환

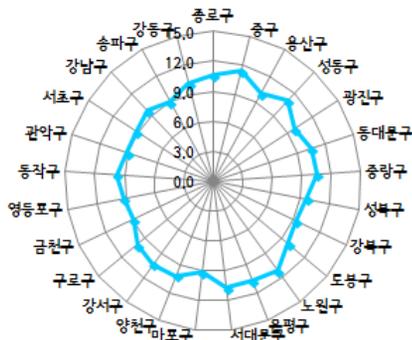


그림 4-16 서울시 지역별 환경성 질환에 대한 에피소드 분포(2011)

## 통계분석 모형

이 연구에서는 기후·환경 조건의 변화에 따른 건강영향을 평가하기 위해 시계열 통계분석 모형을 적용하였다. 시계열 분석모형은 일별 기상자료, 일별 대기오염자료와 일별 건강영향 자료를 이용하여 일별 기상 또는 대기오염이 일별 건강영향 발생에 얼마나 영향을 미치는지를 분석한다. 또한 시계열 연구는 개인에 대한 건강영향을 파악하는 것이 아니라 인구집단에 대한 건강영향을 총괄적으로 일반화하여 평가하는 것이기 때문에 성별 연령 등과 같은 인구학적 특징 및 사회·경제적 특징과 관련된 개인적 특징을 고려하지 않는다.

아래의 공식은 시계열 분석모형의 적용과정에서 일반적으로 활용되고 있는 비선형 포아송회귀모형이다(de boor, 1978; Kim et al., 2006 등).

$$\ln(E(M_t)) = \alpha DOW_t + ns(t, df_t) \\ + ns(Temp_t, df_{Temp}) + ns(Humi_t, df_{Humi}) \\ + pollution$$

단,  $M_t$ 는 t날의 일별 사망자수,

$DOW_t$ 는 t날의 요일,

$Temp_t$ 는 t날의 일별 평균기온,

$Humi_t$ 는 t날의 일별 평균상대습도

이 연구에서는 대기오염이 사망자수에 미치는 영향을 일반화가법 모형 (Generalized Additive Model : GAM)을 이용하여 분석하였다.

$$E(M|X_1, X_2, \dots, X_p) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p$$

단,  $X_1, X_2, \dots, X_p$ 는 일별 사망자수 발생의 예측(설명) 변수군

$$\beta \text{의 } 95\% \text{ 신뢰구간} = \exp(\hat{\beta} \pm 1.96 \times \text{Std.error})$$

여기에서 기후·환경 조건에 대한 사망자료의 비정규성으로 인해 다중 포아송 회귀모형(Multiple Poisson Regression Model)을 대기오염 물질 단위별로 다음과 같이 적용하여 단기노출의 건강영향 기대 수준을 평가하였다.<sup>6</sup>

$$\ln[E(M)] = \alpha + \beta_i X_i + \gamma \cdot Q + \epsilon$$

단,  $Q$ 는 Temp, Humi 등의 자연조건 변수

## 3.2 대기오염물질과 사망발생 영향

3.2.1 일별 PM10 평균 농도, O<sub>3</sub> 최대 농도 및 일별 사망자수의 시계열 변화  
1999년~2011년 기간 서울의 일별 PM10 평균 농도, O<sub>3</sub> 최대 농도, 전체 연령 집단의 순환계통 환경성 질환 일별 사망자수, 호흡계통 환경성 질환 일별 사망자수를 도식화한 것이 그림 4-17이다.

같은 기간 일별 PM10 평균 농도 및 일별 사망자수는 하절기보다 동절기에 상대적으로 높은 계절성을 보이고 있다. 일별 PM10 평균 농도는 지속적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 그리고 일별 O<sub>3</sub> 최대 농도는 동절기보다 하절기에 상대적으로 더 높은 계절성을 보이고 있으며, 분석기간에 지속적으로 증가하는 경향이 있다. 한편 환경성 질환 관련 일별 사망자수는 다소 감소하는 추세를 보이고 있다.

---

6 이 연구에서 적용된 통계모형에 대한 구체적인 정보는 Y.Terzi et al., "Using of generalized additive model for model selection in multiple poisson regression for air pollution data", Scientific Research and Essay Vol.4(11)(2009), 그리고 조용성(2003) 논문 참조

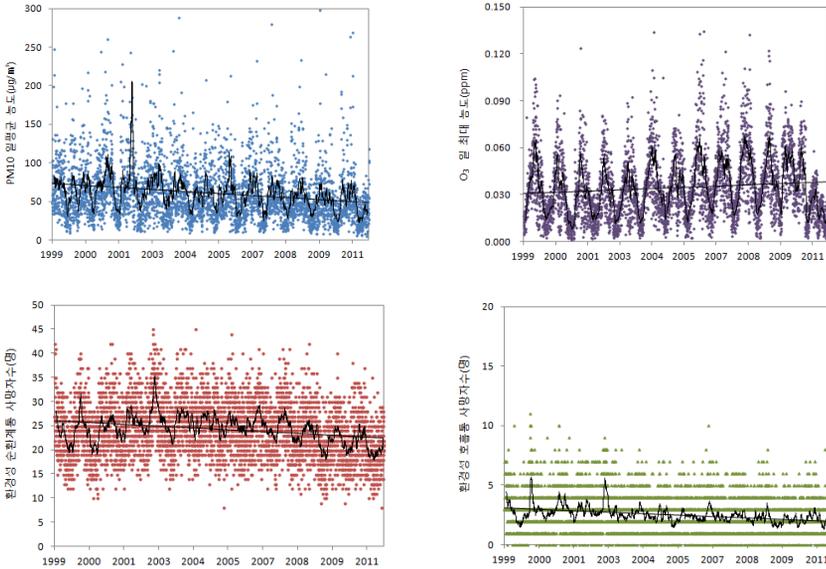


그림 4-17 서울 일별 PM10 평균 농도 및 O<sub>3</sub> 최대 농도, 사망자수의 시계열 경향

### 3.2.2 대기오염물질 노출에 의한 일별 환경성 질환 사망자수 노출반응 추정

#### 1) 서울 전체

시계열 분석모형의 적용 결과, 미세먼지, 초미세먼지는 순환계통, 호흡계통 질환에 대해 유의한 수준에서 시계열 경향을 보이고 있으며, 다만 오존은 순환계통 환경성 질환에 대해 뚜렷한 시계열 경향이 나타나지 않고 있다.

최종 도출된 회귀모형의 계수( $\beta$ )를 이용하여 일별 대기오염물질의 단위 변화에 따른 일별 사망위험의 상대위험비(Relative Risk : RR)를  $\exp(\beta)$ 으로 계산하고, 일별 사망자수의 퍼센트 변화는  $(RR-1) \times 100$ 으로 계산하였다.

대기오염물질별 다중 포아송 회귀모형(Multiple poisson regression Model)을 적용한 분석 결과는 표 4-8~표 4-10과 같다.

**표 4-8 미세먼지(PM10)의 다중 포아송 회귀모형 분석 결과(서울 전체)**

구분	DF	Estimate	Standard error	Wald 95% confidence Limits	Pt)ChiSq		
순환계통	전체 사망자	1	0.0007	0.0002	0.0003	0.0011	0.0008
	65세 이상 사망자	1	0.0007	0.0002	0.0003	0.0012	0.0020
호흡계통	전체 사망자	1	0.0011	0.0003	0.0005	0.0017	0.0004
	65세 이상 사망자	1	0.0011	0.0003	0.0005	0.0018	0.0007

**표 4-9 초미세먼지(PM2.5)의 다중 포아송 회귀모형 분석 결과(서울 전체)**

구분	DF	Estimate	Standard error	Wald 95% confidence Limits	Pt)ChiSq		
순환계통	전체 사망자	1	0.0013	0.0005	0.0002	0.0024	0.0190
	65세 이상 사망자	1	0.0011	0.0006	0.0000	0.0024	0.0668
호흡계통	전체 사망자	1	0.0018	0.0009	0.0000	0.0036	0.0492
	65세 이상 사망자	1	0.0021	0.0010	0.0002	0.0040	0.0275

**표 4-10 오존(O<sub>3</sub>)의 다중 포아송 회귀모형 분석 결과(서울 전체)**

구분	DF	Estimate	Standard error	Wald 95% confidence Limits	Pt)ChiSq		
호흡계통	전체 사망자	1	0.0019	0.0006	0.0008	0.0031	0.0009
	65세 이상 사망자	1	0.0020	0.0006	0.0008	0.0032	0.0010

PM10 농도 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당 일별 사망 상대위험비는 순환계통 환경성 질환이  $\exp(0.007 \times 10) = 1.00702$ , 호흡계통 질환은  $\exp(0.0011 \times 10) = 1.01106$ 으로 나타나, 호흡계통 질환이 순환계통 질환보다 상대위험도가 큰 것을 알 수 있다. 초미세먼지에서도 PM2.5 농도 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당 상대위험도는 호흡계통 질환이 1.8%, 순환계통 질환은 1.3%로 나타나 호흡계통 질환이 상대위험도가 더 큰 것을 알 수 있다. 오존의 경우

10ppb 농도 증가당 호흡계통 질환의 상대위험비는  $\exp(0.0019 \times 10) = 1.01918$ 로 약 1.9% 증가하고 있다. 오염물질별 일별 사망위험의 상대위험비의 추정 결과를 정리하면 표 4-11과 같다.

순환계통, 호흡계통 질환으로 인한 사망위험의 경우 PM2.5는 1.1~2.1%, PM10은 0.7~1.1% 증가하는 것으로 나타나, PM10보다 PM2.5의 건강위해도가 더 높은 것을 알 수 있다.

**표 4-11 오염물질별 일별 사망위험의 상대위험비(서울 전체)**

구분		PM10	PM2.5	O <sub>3</sub>
순환계통	전체 사망자	1.00702	1.01308	-
	65세 이상 사망자	1.00702	1.01106	-
호흡계통	전체 사망자	1.01106	1.01816	1.01918
	65세 이상 사망자	1.01106	1.02122	1.02020

## 2) 5개 권역 비교

5개 권역별 오염물질별 다중 포아송 회귀모형의 적용 결과를 바탕으로 상대위험도를 산출한 결과<sup>7</sup> 오염물질별로 뚜렷한 시계열 경향을 보이지 않는 일부 권역도 나타나고 있다. 그러나 PM10과 관련하여 상대위험비가 산출된 권역만을 대상으로 비교할 경우 순환계통 질환의 상대위험비는 북서권역이 도심 및 북동권역보다 다소 높은 수준임을 알 수 있다. 호흡계통 질환의 상대위험도는 도심권역이 다른 권역에 비해 다소 크게 나타나고 있다.

7 권역별 회귀모형 분석 결과는 부록 참조

표 4-12 서울시 5개 권역별 오염물질별 일별 순환계, 호흡계통 질환 사망위험의 상대위험비

구분		순환계통			호흡계통		
		PM10	PM2.5	O <sub>3</sub>	PM10	PM2.5	O <sub>3</sub>
도심	전체 사망자	1.00803	-	-	1.01410	-	-
	65세 이상 사망자	1.01005	-	-	1.01410	-	-
북동	전체 사망자	1.00803	1.01715	-	1.00904	-	1.00453
	65세 이상 사망자	1.00602	1.01715	-	1.01005	-	1.00603
북서	전체 사망자	1.01207	-	-	-	-	1.00650
	65세 이상 사망자	1.01106	-	-	-	-	1.00660
남동	전체 사망자	-	1.03045	-	1.01308	1.03149	1.00957
	65세 이상 사망자	1.00702	1.03458	-	1.01207	1.03977	1.00831
남서	전체 사망자	1.01005	1.03149	-	1.01106	1.02532	-
	65세 이상 사망자	1.01106	1.02429	-	1.02122	1.03149	-

### 3.2.3 조기사망과 사망부담 추정

대기오염물질 농도 감소(증대)로 인한 건강편익(비용)은 농도-반응 함수(concentration-response function : CR 함수)를 통해 산출할 수 있다. 여기에서 CR 함수는 대기오염물질과 특정 건강영향 사이의 관련성을 의미하며, 이 연구에서는 CR 함수를 직접 도출하지 않고, 분석모형에서 추출한 상대위험비(RR)를 적용한다. 연후에 해당 인구집단의 건강영향 발생률 또는 유병률, 그리고 인구수를 활용하여 조기 사망자수를 계산한다.

특정지역의 대기오염물질 농도로 인한 조기 사망자수 계산 공식은 다음과 같다.

$$Premature\ death = [1 - 1 / \exp(\beta \times \Delta Q)] \times Incidence \times Population$$

여기서 *Premature death*는 해당지역의 초과 사망자수,

$\beta$ 는 해당지역의 농도-반응 함수,  
 $\Delta Q$ 는 해당지역의 대기질 농도,  
*Incidence*는 해당지역의 사망률,  
*Population*은 해당지역의 인구수를 의미한다.

특정지역의 전체 사망자수는 일반적으로 대기오염물질로 인한 건강영향 정도를 포함하고 있음은 유의할 대목이다. 이에 따라 전체 사망자수 중에서 대기오염물질로 인한 사망 영향 정도가 어느 정도인지를 도출하는 것이 중요하다.

해당지역의 대기오염물질로 인한 초과 사망자수는 해당지역의 인구수를 활용하여 인구 10만명당 초과 사망자수로 환산될 수 있다. 이 연구에서는 이를 초과 사망부담으로 정의하였다.

$$Death\ burden = Premature\ death / Population \times 100,000$$

PM10 노출로 인한 순환계통 질환 조기 사망자수, 조기 사망부담은 증가 추세에서 2003년부터 PM10 농도 감소 추세를 반영하여 다소 감소하는 경향을 보이고 있다. 조기 사망부담은 1999년 10만명당 6.43명에서 2011년에는 10만명당 5.21명으로 약 17.4% 감소한 것으로 나타나고 있다. 호흡계통 질환에 의한 조기 사망부담은 1999년 10만명당 4.81명에서 2011년 10만명당 2.80명으로 41.9%나 급감하였으며, 이는 연중 PM10 농도의 감소 경향과 관련성이 높은 것으로 판단된다. 특히 65세 이상 인구를 대상으로 하면, 순환계통 질환의 조기 사망부담은 1999년 대비 58.1%, 호흡계통 질환은 1999년에 비해 72.5% 정도로 급감하고 있다.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> 전체 인구 대상의 질환별 사망률은 (전체 인구 대상 사망자수/전체 인구수)×100,000명으로 산출되며, 65세 이상 인구 대상의 질환별 사망률은 (65세 이상 인구 사망자/65세 이상 인구

PM2.5 노출로 인한 조기 사망자수는 순환계통, 호흡계통 질환 모두 감소경향을 보이고 있다. 2011년 순환계통 조기사망 부담은 2003년 대비 45.3% 감소하여 10만명당 4.98명으로 나타났으며, 순환계통 조기 사망부담 역시 2003년에 비해 47.5% 정도 감소하여 2.43명으로 산출되었다(표 4-14 참조).

한편 O<sub>3</sub> 노출로 인한 전체 인구 대상 호흡계통 질환 조기 사망자수는 O<sub>3</sub>의 농도 수준에 따라 증감하는 경향이 차별적으로 나타나고 있다. 2011년에는 호흡계통 질환의 조기 사망부담이 인구 10만명당 2.10명으로 분석되고 있다.

2011년 대기오염물질 노출로 인한 순환계통 질환의 조기 사망부담을 살펴보면, 인구 10만명당 PM10은 5.21명, PM2.5는 4.98명으로 나타났으며, 호흡계통 질환의 조기 사망부담은 PM10 2.8명, PM2.5 2.43명, O<sub>3</sub> 2.10명으로 PM10이 PM2.5, O<sub>3</sub>보다 큰 것으로 파악되고 있다.

---

수)×100,000명임. 이에 따라 65세 이상 인구의 사망률이 전체 인구 대상 사망률보다 큰 것으로 분석됨. 그러므로 조기 사망부담은 사망률에 따라 산정되므로 65세 이상 인구의 조기 사망부담이 전체 인구 대상의 조기 사망부담보다 크게 나타남. 65세 이상 사망부담 관련 자료는 부록 참조

표 4-13 서울시 연도별 PM10 농도, 순환계통, 호흡계통 질환의 조기사망자 및 조기 사망부담(전체 인구 대상)

구분	평균 농도 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	인구수 (명)	순환계통 질환			호흡계통 질환		
			사망률 (10만명당)	조기 사망자수 (명)(95% CI)	조기 사망부담 (10만명당)(95% CI)	사망률 (10만명당)	조기 사망자수 (명)(95% CI)	조기 사망부담 (10만명당)(95% CI)
1999	65	10,321,449	18	664(322~928)	6.43(3.12~8.99)	9	497(270~650)	4.81(2.61~6.30)
2000	65	10,373,234	20	752(364~1,051)	7.25(3.51~10.13)	10	554(301~726)	5.34(2.90~7.00)
2001	70	10,331,244	23	930(455~1,289)	9.00(4.40~12.48)	11	612(336~792)	5.92(3.26~7.67)
2002	76	10,280,523	23	991(490~1,360)	9.64(4.76~13.23)	11	645(360~826)	6.28(3.50~8.04)
2003	69	10,276,968	23	920(449~1,277)	8.95(7.37~12.43)	9	510(280~662)	4.96(2.72~6.44)
2004	61	10,287,847	23	834(402~1,174)	8.11(3.90~11.41)	9	458(246~605)	4.45(2.39~5.88)
2005	58	10,297,004	22	759(363~1,073)	7.37(3.53~10.42)	8	408(218~543)	3.97(2.12~5.27)
2006	60	10,356,202	23	823(396~1,160)	7.95(3.82~11.20)	8	412(221~545)	3.98(2.13~5.27)
2007	61	10,421,782	27	966(465~1,359)	9.27(4.46~13.04)	9	433(233~572)	4.16(2.23~5.49)
2008	55	10,456,034	23	767(365~1,090)	7.34(3.49~10.42)	8	391(207~523)	3.74(1.98~5.00)
2009	54	10,464,051	21	678(322~965)	6.48(3.08~9.22)	7	342(181~459)	3.27(1.73~4.39)
2010	49	10,575,447	20	618(291~887)	5.84(2.75~8.38)	7	321(168~436)	3.04(1.58~4.12)
2011	47	10,528,774	19	548(257~790)	5.21(2.44~7.50)	7	294(153~401)	2.80(1.45~3.81)

표 4-14 서울시 연도별 PM2.5 농도, 순환계통, 호흡계통 질환의 조기사망자 및 조기 사망부담(전체 인구 대상)

구분	평균 농도 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	인구수 (명)	순환계통 질환			호흡계통 질환		
			사망률 (10만명당)	조기 사망자수 (명)(95% CI)	조기 사망부담 (10만명당)(95% CI)	사망률 (10만명당)	조기 사망자수 (명)(95% CI)	조기 사망부담 (10만명당)(95% CI)
2003	38	10,276,968	23	936(176~1,436)	9.11(1.71~	9	475(0~715)	4.62(0~6.96)
2004	30	10,287,847	23	775(140~1,232)	7.54(1.36~	9	391(0~619)	3.80(0~6.01)
2005	29	10,297,004	22	715(128~1,141)	6.94(1.24~	8	352(0~561)	3.4.2(0~5.45)
2006	30	10,356,202	23	775(140~1,232)	7.49(1.35~	8	356(0~563)	3.44(0~5.44)
2007	30	10,421,782	27	898(162~1,427)	8.61(1.55~	9	370(0~585)	3.55(0~5.61)
2008	26	10,456,034	23	689(122~1,115)	6.59(1.16~	8	322(0~523)	3.08(0~5.00)
2009	26	10,464,051	21	618(109~1,000)	5.91(1.04~	7	286(0~464)	2.73(0~4.44)
2010	25	10,575,447	20	590(104~960)	5.58(0.98~	7	279(0~458)	2.64(0~4.33)
2011	24	10,528,774	19	524(92~856)	4.98(0.87~	7	256(0~422)	2.43(0~4.01)0

표 4-15 서울시 연도별 O<sub>3</sub> 농도, 호흡계통 질환의 조기사망자 및 조기 사망부담(전체 인구 대상)

구분	평균 농도 (ppb)	인구수 (명)	호흡계통 질환		
			사망률 (10만명당)	조기 사망자수 (명)(95% CI)	조기 사망부담 (10만명당)(95% CI)
1999	16	10,321,449	9	255 (117~380)	2.47(1.13~3.68)
2000	17	10,373,234	10	299(138~444)	2.89(1.33~4.28)
2001	15	10,331,244	11	282(129~424)	2.73(1.25~4.10)
2002	14	10,280,523	11	266(121~401)	2.59(1.17~3.90)
2003	14	10,276,968	9	224(102~338)	2.18(0.99~3.2.9)
2004	14	10,287,847	9	219(99~330)	2.13(0.97~3.21)
2005	14	10,297,004	8	202(92~305)	1.96(0.89~2.96)
2006	17	10,356,202	8	235(108~349)	2.27(1.05~3.37)
2007	18	10,421,782	9	257(119~379)	2.46(1.14~3.64)
2008	19	10,456,034	8	261(121~383)	2.50(1.16~3.67)
2009	21	10,464,051	7	251(118~366)	2.40(1.13~3.49)
2010	19	10,575,447	7	234(109~343)	2.21(1.03~3.25)
2011	19	10,528,774	7	221(103~324)	2.10(0.98~3.08)

순환계통 및 호흡계통 환경성 질환을 모두 포함한 PM10, PM2.5의 단기 노출에 대한 환경성 질환 조기사망자수와 조기 사망부담을 정리한 결과는 표 4-16~표 4-17과 같다.

연중 일별 PM10 평균 농도 노출로 인한 환경성 질환의 조기 사망자수는 2003년 이후 감소하다 2006년에 다소 증가하였으나, 2008년 이후 지속적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 2011년에 조기 사망자수는 843명이었으며, 조기 사망부담은 인구 10만명당 8.00명으로 1999년 보다 28.8% 감소하였다.

PM2.5와 관련된 환경성 질환의 조기 사망자수, 조기 사망부담은 PM10과 유사한 증감 패턴을 보이고 있으며, 이는 PM2.5 농도 변화와 관련이 있는 것으로 판단된다. 2011년 조기 사망자수는 780명, 조기 사망부담은 10만명당 7.41명이었다.

표 4-16 서울시 연도별 PM10에 따른 환경성 질환의 조기사망자 및 조기 사망부담(전체 인구 대상)

구분	평균 농도 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	인구수 (명)	환경성 질환(순환계통 + 호흡계통)		
			사망률 (10만명당)	조기 사망자수 (명)(95% CI)	조기 사망부담 (10만명당)(95% CI)
1999	65	10,321,449	624	1,160 (591~1578)	11.24(5.73~15.29)
2000	65	10,373,234	664	1,306(665~1776)	12.59(6.42~17.12)
2001	70	10,331,244	713	1,542(791~2082)	14.92(7.66~20.15)
2002	76	10,280,523	683	1,636(850~2186)	15.91(8.26~21.27)
2003	69	10,276,968	615	1,430(729~1939)	13.91(7.09~18.87)
2004	61	10,287,847	570	1,292(648~1778)	12.56(6.30~17.29)
2005	58	10,297,004	505	1,168(581~1616)	11.34(5.65~15.69)
2006	60	10,356,202	489	1,236(617~1705)	11.93(5.95~16.47)
2007	61	10,421,782	507	1,399(698~1931)	13.43(6.70~18.53)
2008	55	10,456,034	429	1,158(572~1613)	11.08(5.47~15.43)
2009	54	10,464,051	367	1,021(503~1424)	9.75(4.81~13.61)
2010	49	10,575,447	268	939(458~1322)	8.88(4.33~12.51)
2011	47	10,528,774	257	843(410~1191)	8.00(3.89~11.31)

표 4-17 서울시 연도별 PM2.5에 따른 환경성 질환의 조기사망자 및 조기 사망부담(전체 인구 대상)

구분	평균 농도 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	인구수 (명)	환경성 질환(순환계통 + 호흡계통)		
			사망률 (10만명당)	조기 사망자수 (명)(95% CI)	조기 사망부담 (10만명당)(95% CI)
2003	38	10,276,968	33	1,411(242~2,492)	13.73(1.71~20.93)
2004	30	10,287,847	32	1,166(192~2,136)	11.34(1.36~17.99)
2005	29	10,297,004	31	1,067(176~1,980)	10.36(1.24~16.53)
2006	30	10,356,202	31	1,131(194~2,178)	10.92(1.35~17.34)
2007	30	10,421,782	35	1,267(226~2,544)	12.16(1.55~19.31)
2008	26	10,456,034	31	1,010(170~1,989)	9.66(1.16~15.66)
2009	26	10,464,051	28	904(151~1,752)	8.64(1.04~14.00)
2010	25	10,575,447	27	870(144~1,701)	8.23(0.98~13.41)
2011	24	10,528,774	26	780(128~1,528)	7.41(0.87~12.14)

1999년 기준 PM10 농도, 인구수, 사망률, 조기 사망부담은 시계열적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 조기 사망부담은 2003년 및 2008년에 감소하였으며 이는 서울의 PM10 노출 농도 감소에 영향을 받은 것으로 판단된다. 고령 인구의 증가는 사망부담 증가와 밀접한 관련이 있으나 PM10 농도 개선에 따라 사망부담 증가를 완화시키는 요인으로 작용하고 있다. PM2.5의 조기 사망부담은 시계열적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. O<sub>3</sub> 노출로 인한 조기 사망부담은 2005년까지 감소하였으나 2009년까지 증가한 후 다시 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 이는 O<sub>3</sub>의 농도 변화와 유사한 패턴을 보이고 있다.

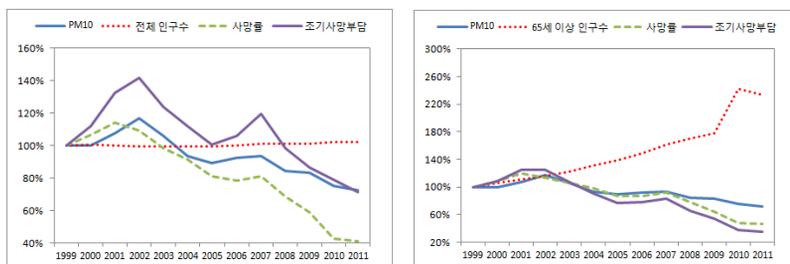


그림 4-18 서울시 PM10 농도, 인구수, 사망률, 조기 사망부담의 변화(1999년 기준)

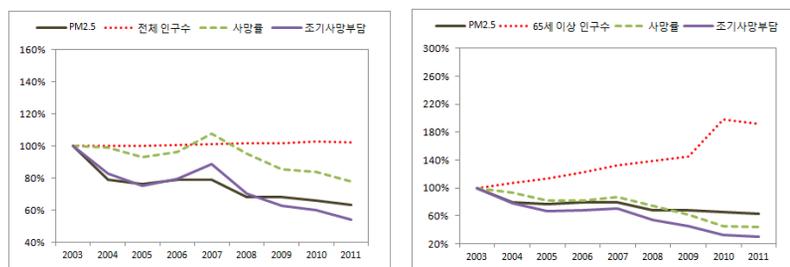


그림 4-19 서울시 PM2.5 농도, 인구수, 사망률, 조기 사망부담의 변화(2003년 기준)

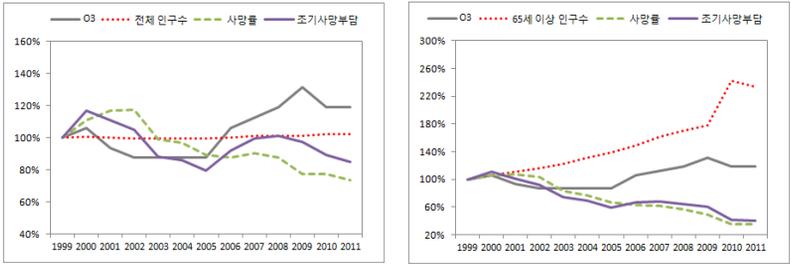


그림 4-20 서울시 O<sub>3</sub> 농도, 인구수, 사망률, 조기 사망부담의 변화(1999년 기준)

서울시 기후·환경 조건의 변화에 따라 단기노출의 건강영향을 분석하기 위한 시계열 통계분석 모형에서 도출된 연도별 조기 사망자수 수치와 PM10 농도 수준을 대상으로 회귀분석을 한 결과, PM10 농도가 증가(감소)할수록 조기 사망자수와 조기 사망부담이 증가(감소)하는 것을 알 수 있다.<sup>9</sup> PM10 농도가 2000년 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  수준에서 2011년 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 개선되어 조기 사망자수는 463명이 줄어들어 35.5% 정도 감소함을 추정할 수 있다.

서울의 대기오염 변화패턴을 반영하듯 PM10 농도 개선에 따라 순환계통 및 호흡계통 조기 사망자수는 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 조기 사망자 감소경향은 PM2.5 사례에서도 대동소이하게 나타나고 있다. 다만 오존 오염의 경우에는 뚜렷한 패턴이 나타나지 않고 있음을 볼 수 있다.

한편 PM10의 조기 사망 부담도 2000년 10만명당 206명에서 2011년 10만명당 66명으로 줄어들어 67.7% 정도 급감하였다.

<sup>9</sup> PM10 농도와 조기 사망자수의 회귀분석 결과,  $Y=25.76X-324.69$ 의 회귀식이 도출되었으며,  $R^2=0.868$ 임.

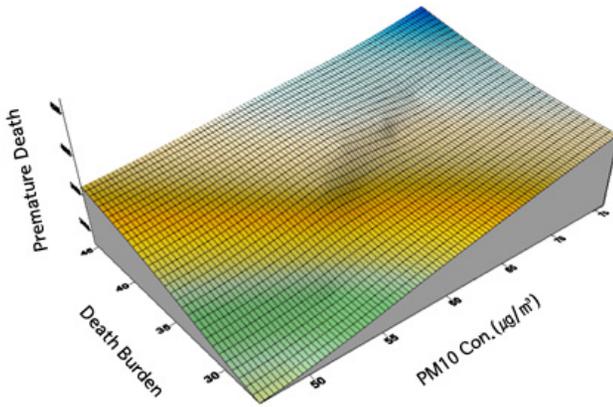
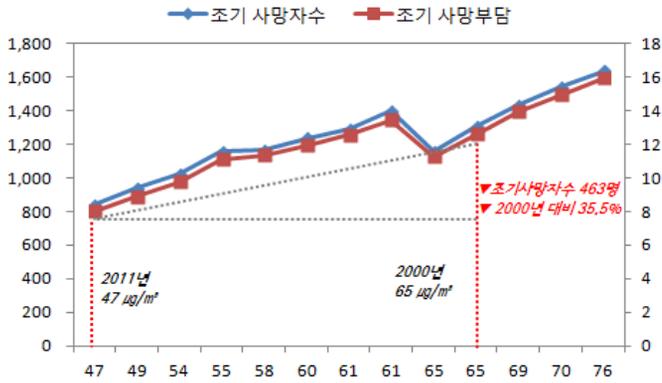


그림 4-21 서울시 PM10 농도별 조기 사망자수와 조기 사망부담 변화 비교

### 3.3 대기오염물질과 건강비용 부담

환경성 질환에 대한 진료비용 부담은 기후·환경 조건의 변화에 따른 대기 오염의 단기 노출로 인한 건강영향 분석에서 도출된 조기사망 부담의 상대 위험도 산정방법과 동일하게 다중 포아송 회귀모형을 적용하여 추정하였다. 최종 회귀모형의 계수( $\beta$ )를 이용하여 일별 대기오염물질의 단위 변화에 따른 일별 진료비용의 상대 의료 비용부담비(Relative Cost : RC)를  $\exp(\beta)$ 로 계산하였으며, 그 결과는 표 4-18과 같다.

PM10 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가할 때 진료비용은 순환계통 환경성 질환이 약 0.7%, 호흡계통 질환은 0.2%, 아토피 등 피부 및 피하조직 질환은 0.7%씩 증가하는 것으로 분석되었다. PM2.5와 관련해서는 순환계통이 1.1%, 호흡계통이 0.4%, 피부 및 피하조직 질환이 0.5%씩 증가해 PM10보다 PM2.5의 농도에 의해 진료비용은 상대적으로 더 증가함을 알 수 있다. 한편 O<sub>3</sub> 노출에 대한 진료비용은 순환계통 질환에서는 뚜렷한 시계열적 특성을 보이지 않아 상대비용을 추정할 수 없었으며, O<sub>3</sub> 농도가 10ppb씩 증가할 때 진료비용은 호흡계통 질환이 2.9%, 피부 및 피하조직 질환이 0.08%씩 증가하는 것으로 나타났다(표 4-19 참조).

**표 4-18 진료비용의 상대 의료비용 부담비(Relative Cost : RC) 추정 결과**

구분	Estimate	Standard error	Pr>ChiSq
PM10	순환계통 질환	0.0007	0.0000
	호흡계통 질환	0.0002	0.0000
	피부 및 피하조직 질환	0.0007	0.0000
PM2.5	순환계통 질환	0.0011	0.0000
	호흡계통 질환	0.0004	0.0000
	피부 및 피하조직 질환	0.0005	0.0000
O <sub>3</sub>	순환계통 질환	-*	-
	호흡계통 질환	0.0029	0.0000
	피부 및 피하조직 질환	0.0008	0.0000

주 : \*통계분석의 유의성이 낮음

**표 4-19 오염물질별 일별 환경성 질환 의료비용의 상대 의료비용 지불비**

구분	PM10	PM2.5	O <sub>3</sub>
순환계통 질환	1.00702	1.01106	-
호흡계통 질환	1.00200	1.00401	1.02942
피부 및 피하조직 질환	1.00702	1.00501	1.00803

대기오염물질 감소로 인한 의료비용 평균 지불액은 농도-반응 함수를 통해 산출할 수 있다.<sup>10</sup> 의료비용 평균 지불액은 본인 부담의 의료비용과 국민건강보험공단이 부담하는 보험 의료비용을 합산한 전체 의료비용이며, 해당 질환별 의료비, 전체 의료비와 에피소드를 활용하여 초과 의료비용 부담을 도출한다.

다음은 특정지역의 대기오염물질 농도로 인한 의료비용 부담 평균지불액 계산 공식이다.

$$Medical\ Cost\ Payment = [1 - 1/\exp(\beta \times \Delta Q)] \times Incidence \times TMC$$

여기서,

*Medical Cost Payment*는 해당 질환의 의료비용 평균 지불액

$\beta$ 는 해당지역의 농도-반응 함수,

$\Delta Q$ 는 해당지역의 대기질 농도,

*Incidence*는 해당 질환의 의료비용 비율,

TMC는 전체 의료비용을 의미한다.

그리고 해당지역의 대기오염물질로 인한 질환별 의료비용 평균 지불액은 해당 질환별 에피소드를 활용하여 에피소드당 초과 의료비용 부담 비용으로 환산될 수 있다. 이 연구에서는 이를 초과 의료비용 한계 부담으로 정의하였다.

$$Cost\ burden = Medical\ Cost\ Payment / episode$$

---

10 대기오염의 단기노출로 인한 조기사망 및 사망부담 추정에서 CR 함수의 직접 적용에 대신하여 분석모형에서 추출한 상대위험비(RR) 적용과 같은 맥락에서 상대의료 비용부담비(RC)를 적용함.

PM10 노출로 인한 순환계통 질환의 의료비용 평균 지불액은 증가하였다가 2011년부터 감소하고 있으며, 호흡계통의 의료비용 평균 지불액은 증감을 보이다 2010년 이후 다시 감소하는 추세이다. 그리고 피부 및 피하조직 질환의 의료비용 평균 지불액은 2007년 이후 지속적으로 감소하는 경향이다.

2006년 순환계통 질환의 초과 의료비용 부담은 에피소드 1건당 691,038원에서 2011년 1건당 623,876원으로 9.7% 정도 감소하였다. 호흡계통 질환은 2006년 에피소드 1건당 82,871원에서 2011년 1건당 77,864원, 피부 및 피하조직 질환은 2006년 에피소드 1건당 188,027원에서 2011년 1건당 173,888원으로 각각 6.0%, 7.5% 정도 초과 의료비용 부담이 감소한 것으로 나타났다. 이는 연중 PM10 농도의 감소와 관련되는 것으로 판단된다.

PM2.5의 환경성 질환별 의료비용 평균 지불액과 초과 의료비용 부담은 표 4-21과 같다. 초미세먼지 농도 수준에 따라 의료비용 평균 지불액이 증가하고 있다. 2011년 PM2.5 노출에 의한 의료비용 평균지불액은 순환계통 질환이 21,624백만원, 호흡계통 질환이 1,608백만원, 피부 및 피하조직 질환이 24백만원으로 추정된다. 그리고 초과 의료비용 부담은 순환계통 질환이 2006년 566,358원/건에서 2011년 516,326원/건으로 약 8.8% 감소한 것으로 나타나고 있다. 호흡계통은 2006년 82,871원/건에서 2011년 79,442원/건, 피부 및 피하조직 질환이 2006년 76,368원/건에서 2011년 70,136원/건으로 초과 의료비용 부담이 각각 4.1%, 8.2% 정도 감소한 것으로 분석되고 있다.

표 4-20 PM10 단위 증가와 의료비용 평균 지불액 및 초과의료비용 부담

구분		PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	질환별 의료비용 (백만원)	전체 질환 의료비용 (백만원)	의료비용 비율 (%)	질환별 의료비용 평균 지불액 (백만원)	에피소드 (건)	초과 의료비용 부담 <sup>1)</sup> (원/건)
순환 계통 질환	2006	60	80,145	4,256,901	1.88	27,486	39,775	691,038
	2007	61	94,039	4,863,462	1.93	32,682	47,937	681,773
	2008	55	101,888	7,579,511	1.34	32,558	48,160	676,042
	2009	54	107,489	8,056,563	1.33	33,834	55,008	615,078
	2010	49	113,437	8,416,608	1.35	32,938	57,217	575,665
	2011	47	77,129	9,507,548	0.81	21,624	34,660	623,876
호흡 계통 질환	2006	60	14,377	4,256,901	0.34	1,626	19,618	82,871
	2007	61	17,163	4,863,462	0.35	1,971	20,499	96,160
	2008	55	18,405	7,579,511	0.24	1,917	23,047	83,185
	2009	54	19,082	8,056,563	0.24	1,953	23,772	82,175
	2010	49	18,889	8,416,608	0.22	1,763	22,766	77,454
	2011	47	17,925	9,507,548	0.19	1,608	20,654	77,864
피부 및 피하 조직 질환	2006	60	76	4,256,901	0.002	26	138	188,027
	2007	61	109	4,863,462	0.002	38	185	204,990
	2008	55	114	7,579,511	0.002	37	253	144,399
	2009	54	106	8,056,563	0.001	33	188	177,458
	2010	49	101	8,416,608	0.001	29	180	162,420
	2011	47	87	9,507,548	0.001	24	140	173,888

주 : 1) PM10 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가 수준에 따른 초과 의료비용 지불수준의 변화임.

표 4-21 PM2.5 단위 증가와 의료비용 평균 지불액 및 초과의료비용 부담

구분		PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	질환별 의료비용 (백만원)	전체 질환 의료비용 (백만원)	의료비용 비율 (%)	질환별 의료비용 평균 지불액 (백만원)	에피소드 (건)	초과 의료비용 부담 <sup>1)</sup> (원/건)
순환 계통 질환	2006	30	80,145	4,256,901	1.88	22,527	39,775	566,358
	2007	30	94,039	4,863,462	1.93	26,432	47,937	551,396
	2008	26	101,888	7,579,511	1.34	25,343	48,160	526,231

표 계속 PM2.5 단위 증가와 의료비용 평균 지불액 및 초과의료비용 부담

구분		PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	질환별 의료비용 (백만원)	전체 질환 의료비용 (백만원)	의료비용 비율 (%)	질환별 의료비용 평균 지불액 (백만원)	에피소드 (건)	초과 의료비용 부담 <sup>1)</sup> (원/건)
순환 계통 질환	2009	26	107,489	8,056,563	1.33	26,737	55,008	486,048
	2010	25	113,437	8,416,608	1.35	27,273	57,217	476,667
	2011	24	77,129	9,507,548	0.81	17,896	34,660	516,326
호흡 계통 질환	2006	30	14,377	4,256,901	0.34	1,626	19,618	82,871
	2007	30	17,163	4,863,462	0.35	1,941	20,499	94,676
	2008	26	18,405	7,579,511	0.24	1,818	23,047	78,879
	2009	26	19,082	8,056,563	0.24	1,885	23,772	79,287
	2010	25	18,889	8,416,608	0.22	1,798	22,766	78,957
	2011	24	17,925	9,507,548	0.19	1,641	20,654	79,442
피부 및 피하 조직 질환	2006	30	76	4,256,901	0.002	11	138	76,368
	2007	30	109	4,863,462	0.002	15	185	82,160
	2008	26	114	7,579,511	0.002	14	253	55,086
	2009	26	106	8,056,563	0.001	13	188	68,726
	2010	25	101	8,416,608	0.001	12	180	65,728
	2011	24	87	9,507,548	0.001	10	140	70,136

주 : 1) PM2.5  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가 수준에 따른 초과 의료비용 지불수준의 변화임.

O<sub>3</sub> 노출에 대한 질환별 평균 의료비용의 평균 지불액은 2009년까지 증가하였으나 2010년 이후 감소하는 경향을 보이고 있다. 호흡계통 질환의 초과 의료비용 부담은 2006년 에피소드 1건당 285,235원에서 2011년 1건당 367,657원으로 28.9% 증가하였으며, 피부 및 피하조직 질환의 초과 의료비용 부담은 2006년 69,715원/건에서 2011년 87,461원/건으로 25.5% 증가한 것으로 나타났다. 이러한 분석결과는 연중 O<sub>3</sub> 농도의 증가 경향 패턴과 관련성이 높은 것으로 판단된다.

표 4-22 O<sub>3</sub>의 의료비용 평균 지불액 및 초과의료비용 부담

구분	O <sub>3</sub> (ppb)	질환별 의료비용 (백만원)	전체 질환 의료비용 (백만원)	의료비용 비율 (%)	질환별 의료비용 평균 지불액 (백만원)	에피소드 (건)	초과 의료비용 부담 <sup>1)</sup> (원/건)	
호흡 계통 질환	2006	17	14,377	4,256,901	0.34	5,596	19,618	285,235
	2007	18	17,163	4,863,462	0.35	6,980	20,499	340,484
	2008	19	18,405	7,579,511	0.24	7,797	23,047	338,299
	2009	21	19,082	8,056,563	0.24	8,703	23,772	366,117
	2010	19	18,889	8,416,608	0.22	8,002	22,766	351,486
	2011	19	17,925	9,507,548	0.19	7,594	20,654	367,657
피부 및 피하 조직 질환	2006	17	76	4,256,901	0.002	10	138	69,715
	2007	18	109	4,863,462	0.002	15	185	79,104
	2008	19	114	7,579,511	0.002	16	253	63,721
	2009	21	106	8,056,563	0.001	16	188	87,185
	2010	19	101	8,416,608	0.001	14	180	78,878
	2011	19	87	9,507,548	0.001	12	140	87,461

주 : 1) O<sub>3</sub> 10ppb 증가 수준에 따른 초과 의료비용 지불수준의 변화임.

연도별 오염물질별 전체 환경성 질환에 대한 의료비용 평균 지불액과 초과 의료비용 부담을 정리하면 표 4-23과 같다. PM10의 경우, 의료비용 평균 지불액은 2006년 29,138백만원에서 2011년 23,256백만원으로 20.2% 감소하였고, PM2.5는 2006년 24,163백만원에서 2011년 19,546백만원으로 19.1% 감소한 반면 O<sub>3</sub>는 2006년 5,605백만원에서 2011년 7,606백만원으로 35.7% 증가하였다.

PM10, PM2.5의 초과 의료비용 부담은 감소 경향을 보이다 2011년에 다소 증가한 것으로 나타났다. PM10의 초과 의료비용은 2006년

961,936원/건에서 2011년 875,628원/건, PM2.5는 2006년 725,598원/건에서 2011년 665,905원/건으로 각각 9.0%, 8.2% 감소하였으나, O<sub>3</sub>의 초과 의료비용 부담은 2006년 에피소드 1건당 354,950원에서 2011년 1건당 455,118원으로 28.2% 증가하였다.

표 4-23 오염물질별 환경성 질환의 의료비용 평균 지불액 및 초과 의료비용 부담

구분		PM10	PM2.5	O <sub>3</sub>
의료비용 평균 지불액 (백만원)	2006	29,138	24,163	5,605
	2007	34,691	28,388	6,994
	2008	34,512	27,175	7,813
	2009	35,821	28,634	8,720
	2010	34,730	29,083	8,016
	2011	23,256	19,546	7,606
초과 의료비용 부담 (원/건)	2006	961,936	725,598	354,950
	2007	982,923	728,232	419,588
	2008	903,625	660,197	402,020
	2009	874,711	634,061	453,302
	2010	815,539	621,352	430,364
	2011	875,628	665,905	455,118

### 3.4 건강영향 평가의 한계

#### 3.4.1 평가 자료의 적용

기후·환경 조건의 변화를 고려한 건강영향 분석 연구에서 중요한 쟁점 중의 하나는 단기 노출로 인한 급성 건강영향과 장기 노출로 인한 만성 건강영향의 차이이다. 비록 대기오염의 건강영향 연구에서 이 두 연구는 의미 있는 기여를 한 것으로 평가될 수 있으나(WHO, 2000), 코호트 연

구를 통한 대기오염의 만성 건강영향이 시계열 연구의 급성 연구영향보다 약 5~10배 높게 추정되는 것으로 보고되고 있다(Kunzli et al., 2001). 이 연구는 PM10, PM2.5, O<sub>3</sub> 단기노출로 인한 사망영향을 중심으로 사망부담을 산출하였다.

단기 노출 영향을 평가하는데 이용되고 있는 평가 자료는 대기오염 물질의 일평균 농도이며, 영향 지표는 일단위의 사망자수나 입원·진찰수이다. 단기 노출에 의한 사망부담 산출을 위한 대기오염 수준은 통계적, 수학적 모형을 활용하기 때문에 일일 평균자료의 이상치 판별 및 적용 범위에 따라 사망부담 산출에 영향을 미칠 수 있음에 유의할 필요가 있다. 또한 사망부담은 특정날의 0시~24시간의 사망자수와 하루 동안 변동하는 농도의 평균값과의 관련성을 검토하여 산출하는 것으로 두 개 자료의 관련성이 24시간보다 짧은 시간에 발생한다고 하면, 시간의 차이 때문에 영향정도가 또한 달라질 수 있다.

그리고 장기 노출로 인한 건강영향은 실외 대기오염에의 만성적 노출과 관련된 사망률에 대한 전향적 코호트 연구와 같은 장기적인 연구 형태로 검토되고 있다. 이러한 코호트 연구에서는 개인의 특성에 대한 보정이 가능하기 때문에 장기 노출로 인한 건강영향을 확실하게 파악할 수 있다. 이에 따라 장기노출에 의한 천식, 호흡기 증상, 폐기능 수준, 심혈관 질환, 동맥경화와 같은 환경성 질병에 미치는 영향들은 조사되고 있지 못하므로, 향후 일정기간 민감 계층을 대상으로 한 코호트 연구의 보완이 필요하다.

### 3.4.2 건강위해도(RR) 판단

기후환경 변화요인의 노출 수준은 건강영향 관련성을 나타내는 농도-반응 함수(CR function)로 도출된다. 미세먼지의 발생원은 지역에 따라 미세먼지 성분이나 입경분포에 차이가 있으며, 대기오염물질의 영향에 대한 민감도가 높은 집단의 비율이나 특징에도 차이가 있다. 특히 지역

에 따라 대기오염 물질에 대한 노출 영향에 미치는 인자가 다를 가능성이 있다. 예를 들면, 기후조건 등에 의한 환기율, 발생원의 공간분포, 기상 패턴의 차이 등에 따른 대기오염 농도의 공간 변동 등이다. 이러한 지역에 따라 영향도에 차이가 발생함에도 모든 지역을 대상으로 인구집단에 동일한 농도-반응함수를 적용하는 것은 불확실성을 초래할 수 있다. 일반적으로 대기오염물질 노출로 인한 건강영향은 노출지역 및 노출된 인구 특성에 따라 달라질 수 있다. 많은 연구에서 영아나 어린이, 노약자는 동일한 수준의 오염물질에 노출되더라도 더 큰 영향을 받는 것으로 보고되고 있다(Lin et al., 2005; Schwartz, 2004; Bobak et al., 1999). 뿐만 아니라 동일한 PM에 노출되더라도 해당 노출지역의 지역적인 특성에 따라 건강영향 정도는 달라질 수 있다(Samet et al., 2001; Lin et al., 2000; Dockery et al., 1993). 이와 같이 기후·환경 조건의 노출에 따른 건강영향을 검토하는 경우에는 성별, 연령, 흡연 등과 같은 요소와 교육수준, 개인병력, 의료 서비스 접근도 등 사회·경제 상태에 따라 위해도 수준이 달라질 수 있음에 유의할 필요가 있다.

### 3 4 3 대기오염물질의 복합영향 분석

기후환경 변화에 의한 일반적인 건강영향 시계열 분석법은 단일 오염물질 농도의 건강영향 관련성을 추정하는 방법이 주류를 이루고 있다. 그러나 대기 중 다양한 오염물질의 상관성이 높을 경우, 단일 오염물질의 건강영향 분석결과 해석은 복합 오염물질의 결합영향(joint effects of multiple air pollution)으로 일부 축소 또는 확대될 가능성이 있다. 즉 다양한 오염물질 변수를 분석 모델에 투입할 경우 오염물질의 상호 예방적 효과(protective effects)로 인하여 추정계수의 (-) 부호가 출현할 수 있다. 이를 해결하기 위한 접근 방법의 일환으로, 최적화(optimization) 과정을 통한 추정계수의 (-) 부호 제거방법이 검토되고 있다. 다만, (-) 부호 제거를 위해 복합 오염물질의 통합분석에서 나타날 수 있는 최적화 과

정은 개별 오염물질의 독립적인 계수 추정에 한계를 보이고 있음은 유의할 사항이다. 이에 향후 다양한 오염물질의 상호 예방효과를 고려하되, 모델 분석 결과의 유의성을 제고할 수 있는 분석방법 적용은 개선될 사항이다.<sup>11</sup>

---

11 대기오염물질의 전통적인 건강영향 시계열 분석방법의 한계를 극복하기 위한 “대기오염물질의 복합 건강영향 평가모델” 제안은 Steven Roberts, 2006, “A New Model for Investigating the Mortality Effects of Multiple Air Pollutants in Air Pollution Mortality Time-Series Studies”, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A ; Current Issues*, 69: 417~435 참조

## V 기후 · 환경 변화의 시민 건강영향 대응 방안

- 1 기후 · 환경조건 기반 시민건강 영향 모니터링 체계 구축
- 2 시민건강 위해도 정보를 활용한 지역별 차별화 대응 전략
- 3 기후변화 적응계획과의 연계성 확보방안

# V 기후 · 환경 변화의 시민 건강영향 대응 방안

## 1 기후 · 환경조건 기반 시민건강 영향 모니터링 체계 구축

### 1.1 기후 · 환경변화 고도적용 기초정보 인프라 구축

서울시 지역에 위치·운영되고 있는 AWS 자동기상관측시스템, 대기오염자동측정망의 대기환경 및 기상자료의 체계적 관리를 통해 신뢰성 있고 유용한 정보를 실시간으로 시민에게 제공하는 서울기후대기환경정보시스템의 구축·운영이 바람직하다. 환경복지 실현을 위한 선행단계로서 기후·환경 조건의 변화에 따른 시민건강 영향을 실질적으로 분석·평가하고 대응하기 위해서는 일차적으로 대기오염 농도, 건강영향 기초자료, 인구 집단 특성 등과 관련된 기초정보 인프라가 구축되어야 한다. 이와 함께 시민건강 위해도 추정의 불확실성을 정량적으로 평가하기 위해 부문별·지역별·대상별 기초정보의 유기적 통합 관리체계 마련이 U-City 전략과 함께 검토하여야 할 것이다.



〈서울시 대기환경정보시스템〉



〈통합 기초정보 DB〉

### 1.2 기후 · 환경 변화의 건강영향 판단 정보의 생산

환경복지는 자연의 한계 내에서 환경자원 및 서비스에 대한 접근성, 정

책결정 과정 참여 기회가 동등하게 제공되고, 환경비용과 편익을 공평하게 배분하여 인간답게 살기 위한 질 높은 삶을 보장하는 사회정의와 밀접하다.

그러나 환경피해, 환경서비스 혜택이 사회·경제적 능력에 따라 불평등하게 제공되고 있음은 유의할 사항이다. 환경약자가 건강한 환경에서 소외되지 않도록 인프라 투자, 생활환경 개선 등 정책의 우선순위 조정 및 분배 효과를 고려할 필요가 있다. 즉 소득이 낮은 사회적 약자와 어린이, 노인 등 생물학적 약자는 환경오염에 더 많이 노출되지만, 오염 회피 능력은 부족하다. 따라서 환경서비스 형평성 제고를 위한 맞춤형 정책 개발과 지표 설정이 이루어져야 한다. 이의 일환으로 기후·환경 조건의 변화에 의한 건강영향을 완화하기 위한 차원에서 특정지역, 저소득계층, 어린이 등에 오염피해가 집중되는 정도를 지표화하여 오염물질 노출이 많고 취약 그룹이 많이 사는 지역에 대한 환경오염 피해 모니터링 및 건강피해 저감 대책을 마련하는 방안이 모색되어야 할 것이다.

이에 따라 환경복지 증진을 위한 필요조건을 충족할 수 있도록 기후변화 적응 및 대기오염원 관리의 선택과 집중관리 등 맞춤형 관리대책의 수립·추진을 위해 기후·환경 변화의 건강영향을 판단할 수 있는 정보의 생산·구축이 이루어져야 할 것이다. 특히 제2차 수도권 대기환경 관리기본계획(2015~2024) 수립과 관련하여 대기환경 정책의 우선순위를 오염물질의 목표 농도관리에서 건강위해도 개선에 둠에 따라, 향후 기후·환경 조건의 변화에 따른 시민건강 영향을 개선할 수 있는 기초정보의 생산과 적용방안이 요구되고 있기 때문에 더욱 그러하다.

## 제2차 수도권 대기환경관리 기본계획

### • 정책 목표 : 시민건강 위해도 관리를 위한 먼지(PM2.5)의 집중 관리

맑은 날 남산에서  
인천 앞바다를 볼 수 있는  
시정거리 확보  
(PM10=40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

- 1차 기본계획 슬로건 -

조기사망자수 1/2 ▼  
평균 수명 1년 ▲  
호흡기 질환 1/3 ▼

- 2차 기본계획 슬로건 -

### • 관리 목표

• PM10=40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (동경 수준)  
• NO<sub>2</sub> = 22ppb (파리 수준)

- 1차 기본계획 -

• PM2.5=15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
• PM10=30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
• NO<sub>2</sub> = 22ppb  
• O<sub>3</sub> = 측정소의 환경기준 달성률

- 2차 기본계획 -

### • 중점 대책

- 먼지(PM2.5) 건강 위해도 개선을 위한 권역별·구별 배출원 파악 및 감축계획 수립·추진
- 디젤PM의 집중 관리를 교통환경 통합관리

## 2 시민건강 위해도 정보를 활용한 지역별 차별화 대응 전략

### 2.1 기후환경 변화 건강영향 평가지도 제작 및 활용

서울시 기후지도 작성과 연계하여 건강영향 평가를 바탕으로 기후·환경 변화 영향 부문별·지역별 건강영향 평가지도 제작할 필요가 있다. 대기오염 건강영향 평가지도, 고온 및 열파 건강영향 지도 등 부문별 건강영향 평가 지도는 향후 도시의 토지이용 개발계획 및 적응수립의 적합성을 판단할 수 있는 정책정보의 역할 담당뿐만 아니라, 기후·환경 변화 적응의 교육자료 및 홍보자료로 활용할 수 있는 효과가 있다.

이에 따라 서울시 25개 자치구의 특성을 반영한 건강위해 요인을 파악하고, 대기 배출원 확인 및 고농도 국지지역(Hot-Spot) 중심 배출량 관리 정책의 도입, 미세먼지, 오존 등 예·경보제도 운용 등 기후환경 변화

의 고도적응 건강도시 기본계획 수립에의 활용 등을 적극 검토하는 것이 바람직하다.

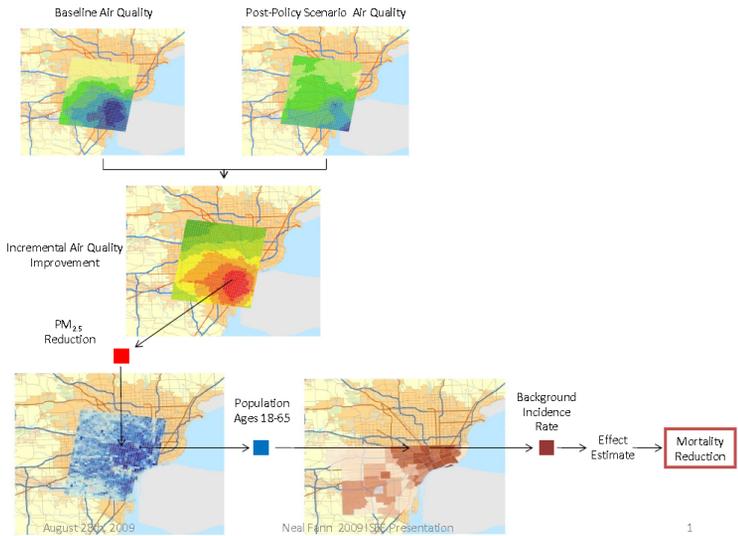
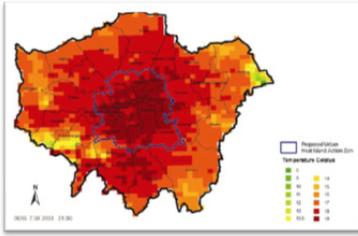


그림 5-1 EPA의 BenMap 작성 흐름도

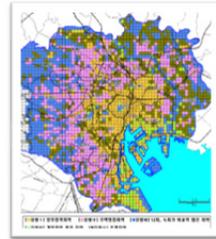
자료 : <http://www.epa.gov/air/benmap>

## 2.2 기후환경 변화의 건강영향 지역 집중관리

지역 특성에 기반을 두고 권역별로 구분하여 지역 특성에 기초한 열섬대책 매뉴얼의 개발·활용을 검토할 필요가 있다. 즉 취약성 분석, 고온·열파 지도와 도시열섬 지도 등을 토대로 도시열섬 현상이 강하게 나타나는 지역을 “도시열섬 집중관리지역(가칭)”으로 지정하여 관리지역에서 시행하는 신규개발에 대하여 옥상정원, 쿨링시스템, 식재, 마감재, 포장재 등의 기준 또는 가이드라인이 작성·활용되도록 한다.



〈런던 Heat Island Action Zone〉



〈도쿄의 열환경 지도〉

### 2.3 기후친화도시(Climate-Positive City) 관리의 정책정보 활용

기후변화-대기오염-건강영향의 정량적인 연관성에 근거하여 정책을 수립하고, 나아가 정책들의 효과를 평가함으로써 기후변화-대기오염이 시민 건강에 미치는 영향을 최소화하기 위해서는 기후환경 변화 요인의 통합 관리 및 역할 분담이 이루어져야 할 것이다.

우선 기후·환경 조건의 변화와 관련된 기초자료를 생산하고 관리하는 일차적인 주체인 서울시와 환경부, 기상청, 통계청, 보건복지부(국민건강보험공단), 수도권 자치단체 등 관련 기관의 적극적인 협력관리가 선행되어야 한다. 다음으로 통합된 원 자료를 적절하게 가공하고 운영할 수 있는 인력과 인프라가 확보되어야 할 것이다. 이러한 방대한 자료를 이용하여 적시에 활용될 수 있도록 하기 위해서는 관련 연구 자료들의 활용과 성과의 공유가 이루어질 필요가 있다. 마지막으로 기후변화 요인의 통합관리에 의해 생산된 건강영향 정보를 정책정보로 적극 활용하고, 활용 결과가 다시 통합관리 시스템에 피드백될 수 있는 모니터링 기능의 확보가 필요하다.

### 2.4 맞춤형 건강관리 대책 수립

기후·환경 조건의 변화는 대기오염이 다양한 건강피해를 유발하고, 특

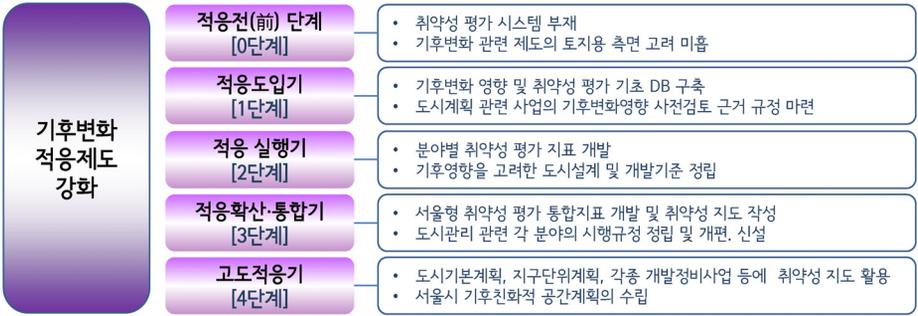
히 호흡기질환, 심혈관질환의 위험과 사망위험도를 증가시킨다는 것이 여러 연구사례를 통해 밝혀지고 있다. 특히 동일 농도의 대기오염물질에 노출되는 경우에도 어린이, 고령자, 심장 또는 폐질환을 앓고 있는 사람들이 더 취약하다는 연구결과가 확인되고 있다. 2012년에 서울시는 총 인구 중 65세 이상 고령 인구 비중이 10.6%로 본격적인 고령화 사회로 진입했으며, 이러한 추세는 더욱 가속화될 전망이다. 즉 시민 중 대기오염에 취약한 인구집단이 증가하고 이로 인해 대기오염 피해가 더욱 커질 수 있음을 의미한다. 이에 따라 고령인구 및 취약계층을 고려한 대책이 마련되어야 할 것이며, 향후 지역별 건강영향 평가를 토대로 정책 시행의 우선순위가 판단되어야 한다.

현재 인구 대비 65세 이상 고령자의 환경성 질환 관련 사망률이 높은 권역은 중구, 종로구, 용산구가 포함된 도심권역이나, 노인 전문병원은 강남구, 서초구, 송파구에 많이 분포되어 있는 실정이다. 향후 고령인구의 건강영향 평가를 기초로 취약한 지역에 우선적으로 공공 의료 서비스를 제공하는 등 건강영향 정보에 기초한 맞춤형 건강대책 마련에 높은 정책적 배려가 필요하다.

### 3 기후변화 적응계획과의 연계성 확보방안

#### 3.1 서울시 기후변화 고도적응 기준(안) 개발 및 적용

기후변화 대책의 단계별 추진사항 관리 및 사회전반의 기후적응 수준을 평가함으로써 기후적응 능력을 지속적으로 향상시켜 나갈 수 있도록 평가시스템이 구축되어야 한다. 즉 기후변화 고도적응 기준(안)을 개발하여, 이러한 적응 유형별·단계별 기준을 토대로 정기적 평가가 가능한 목표관리체계를 구축하는 것이 바람직하다.



특히 기후·환경변화에 따른 건강영향을 최소화하고 예방하기 위한 다양한 적응프로그램들이 계획되고 있다. 건강영향 평가, 진단과 예측 방법을 활용하여 산출되는 과학적 결과를 기반으로 하여 기후변화 건강부문의 적응대책의 계획을 체계적으로 수립하고 정책을 추진한다면, 적응대책의 시행효과를 높이고 효율성을 향상시켜, 향후 기후친화도시 실현의 선도적 위치가 확보될 수 있을 것으로 기대된다.

### 3.2 대기오염에 따른 건강영향 감시 및 예방강화

현재 대기 중 미세먼지 농도가 일정기준 이상으로 높게 나타났을 때 경보를 발령함으로써 인체 및 생활환경의 피해를 최소화하고 대기오염 저감에 대한 시민들의 관심과 환경의식을 고양하기 위해 서울시는 2005년 2월부터 미세먼지 예·경보제를 시행하고 있다.

그러나 최근의 연구 결과에 의하면, PM2.5 농도 변화가 질병의 발생 및 사망에 미치는 영향이 PM10에 비해 매우 높은 것으로 보고되고 있기 때문에 PM2.5 농도를 지속적으로 측정하여 추가 분석함으로써 미세먼지와 사망과의 관련성, 미세먼지의 농도 감소와 질병 사망률 변화와의 관련성을 파악하고, 건강영향을 고려한 경보제 운영이 요구되고 있다. 이와 함께 서울시는 최근까지 대기환경의 목표농도 관리를 바탕으로 일부

가시적 성과를 보이고 있으나, 향후 평균농도 관리보다는 오염 최고치가 더욱 건강 영향을 미칠 수 있으므로 건강 위해도를 반영한 고농도 국지 지역 관리에도 정책적 배려가 필요하다.

## VI 결론

## VI 결론

세계도시 서울의 환경복지 수준을 향상시키고, 건강한 삶의 조건을 확보하기 위해서는 서울의 도시기후 및 대기환경 조건의 변화에 따른 시민건강 영향을 분석하고, 이에 근거한 기후환경 변화 요인에 대한 대응방안을 마련하려는 접근이 필요하다. 이 연구는 서울시민의 건강에 주된 영향을 미치는 요인인 도시기후 및 대기환경(도시 열스트레스와 대기오염)의 변화 패턴을 파악하여, 시민 환경복지 개선의 장애요인인 기후·환경조건의 요인별 건강영향을 분석하고, 이를 바탕으로 향후 서울시 기후·환경 변화의 고도 적응도시 실현에 필요한 기초 정책정보를 제시하고자 하였다. 연구의 성과는 다음과 같이 5가지로 요약할 수 있다.

첫째, 시민건강에 주된 영향을 미치는 도시기후와 대기환경 수준의 변화 패턴을 살펴보기 위해 1999년부터 2011년까지의 기상자료, 대기오염 자료를 사용하여 기상인자와 대기오염 물질의 변화 추이와 공간적 분포 특성을 분석하였다. 서울시 25개 자치구, 권역별 미세먼지(PM10), 오존 등의 일차 대기오염물질 이외에 초미세먼지(PM2.5)의 시·공간적 특성 변화도 파악하였다.

둘째, 기상-대기질-건강자료를 기반으로 사망자 통합 데이터베이스와 질환자 통합 데이터베이스를 구축하였다. 통합 데이터베이스는 기상자료, 대기질 자료, 건강자료가 시공간적으로 연계되도록 구축하였다. 시간적으로는 일별로 연계하였으며, 공간적으로는 사망자 통합 데이터베이스의 5개 권역이 연결되도록 하였다. 특히 건강영향자료는 연령별, 성별 질환 또는 사망원인별로 자료체계를 세분화하는 등 기후·환경조건 변화에 따른 시민건강 영향 평가를 모니터링할 수 있는 기반을 마련하였다.

셋째, 천식, 아토피, 만성폐쇄성 폐질환, 허혈성 심장질환, 고혈압성 심장질환 등 순환계통 환경성 질환, 호흡계통 환경성 질환의 유병률에 대한 시간적, 공간적 분포 현황을 파악하였다. 즉 2006년부터 2011년까지 환경성 질환의 수준을 서울시 25개 자치구 단위로 살펴보고, 인구 집단별, 지역별 환경성 질환에 대한 규모도 제시하였다. 이들 자료는 향후 환경성 질환 관리 우선순위에 활용함으로써 보다 효과적인 환경보건 정책을 수립하는데 기여할 수 있다.

넷째, 대기오염이 건강에 미치는 영향을 규명하기 위해 대기오염물질 노출에 의한 일별 환경성 질환 사망자수 노출반응을 서울과 5개 권역별로 추정된 연후에 질환별 조기 사망자수, 조기 사망부담을 추정하였다. 대기오염물질 노출에 따른 환경성 순환계통, 호흡계통 질환으로 인한 사망 위험은 PM10, PM2.5 농도가  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가할 경우, 각각 0.7~1.1%, 1.1~2.1% 증가하는 것으로 나타나, PM10보다 PM2.5의 건강위해도가 더 높은 것을 알 수 있다.

서울시 5개 권역별로 살펴보면, PM10과 관련하여 상대위험비가 산출된 권역만을 대상으로 비교할 경우에 순환계통 질환의 상대위험비는 북서권역이 도심·북동권역보다 다소 높은 것을 알 수 있다. 호흡계통 질환은 도심권역이 다른 권역과 비교해 다소 위험도가 큰 것으로 파악되고 있다. 그리고 2011년 대기오염물질 노출로 인한 조기 사망부담을 살펴보면, 순환계통 질환은 인구 10만명당 PM10이 5.21명, PM2.5가 4.98명, 호흡계통 질환은 PM10이 2.8명, PM2.5가 2.43명, O<sub>3</sub>이 2.10명으로 나타나, PM10이 PM2.5, O<sub>3</sub>보다 큰 것으로 분석되었다. 연중 일별 PM10 평균 농도 노출로 인한 환경성 질환의 조기 사망자수는 2003년 이후 감소하다 2006년에 다소 증가하였으나, 2008년 이후 지속적으로 감소하는 경향을 보이고 있다.

PM10의 전체 환경성 질환에 대한 의료비용 평균 지불액은 2006년

29,138백만원에서 2011년 23,256백만원으로 20.2% 감소하였으며, 초과 의료비용 부담은 2006년 961,936원/건에서 2011년 875,628원/건으로 9.0% 감소하였다.

다섯째, 기후환경 변화에 따른 시민건강 영향분석 결과를 바탕으로 서울시가 환경복지 증진 차원에서 적용할 수 있는 정책방향을 도출하였다. 우선 건강 위해성을 평가하기 위한 대기오염 농도, 건강영향 기초자료, 인구 집단 특성 등과 관련된 기초정보 인프라의 구축과 기후·환경 변화의 건강영향을 판단할 수 있는 정보의 생산 등 기후·환경조건 기반 시민건강 영향 모니터링 체계가 구축되어야 한다. 다음으로 기후변화 영향 부문별·지역별 건강영향 평가지도 제작, 기후환경 변화의 건강영향 지역 집중관리, 기후환경 변화의 건강영향 지역 집중관리, 기후친화도시(Climate-Positive City) 협력관리 등에 시민건강 위해도 정보를 적극 활용하고, 이를 바탕으로 지역별 차별화 대응 전략이 마련되어야 한다. 마지막으로 기후변화 대책의 단계별 추진사항 관리 및 사회전반의 기후적응 수준을 평가함으로써 기후적응 능력을 지속적으로 향상시켜 나갈 수 있는 평가시스템 구축, 건강영향을 고려한 경보제의 운영 시 등 기후변화 적응계획과의 연계성을 확보하는 것이 바람직하다.

## 참고문헌

# 참고문헌

- 고재경 외 5인, 2012, “미래의 복지는 환경복지”, 「이슈&진단」 35
- 공성용, 2012, 「초미세먼지(PM2.5)의 건강영향 평가 및 관리정책 연구 I」, 한국환경정책평가연구원.
- 권호장, 2007, “대기오염이 노년인구의 건강에 미치는 영향”, 「대한의사협회지」 50(2)
- 김예신·박희성·이용진·임영욱·신동천, 2003, “서울 지역에서 인체 위해도에 입각한 대기오염물질의 관리 우선 순위 선정에 관한 연구”, 「대기환경학회지」 19(2)
- 박정웅·임영희·경선영 외4인, 2003, “황사기간 중 천식 환자에서 대기 중 미세먼지(PM10)가 최대호기 유속과 호흡기 증상에 미치는 영향”, 「결핵 및 호흡기질환」 55(6)
- 박희원, 2009, 「환경요인들이 뇌혈관 질환 사망자에 미치는 영향에 대한 시계열 분석」.
- 배현주, 2010, 「기후변화와 대기오염으로 인한 건강영향 연구 - 사회경제적 변수에 따른 사망영향」, 한국환경정책평가연구원.
- 배현주, 2010, 「기후변화와 대기오염이 환경관련 질환에 미치는 영향 - 기온 상승과 오존 농도 증가의 상호작용을 중심으로」, 한국환경정책평가연구원.
- 조용성, 2003, “대기오염개선의 사회적 편익 추정 : 만성호흡기 질환 사망률 감소효과를 중심으로”, 「환경정책」 11(1)
- 조용성·이종태·김윤신, 2004, “대전광역시 대기오염과 일별 사망자수의 상관성에 관한 시계열적 연구 (1998년~2001년)”, 「환경영향평가」 13(1)
- 조혜미, 2004, 기후변화와 대기오염이 호흡기 및 알레르기 질환에 미치는 영향”, 「주간 건강과 질병」 5(7)
- 최은진, 2008, “기후변화에 대한 보건부문의 적응대책”, 「보건복지포럼」
- 양희은, 2004, 「일반화 가법 모형을 이용한 대기오염과 일별 사망자수와의 연관성」.
- 이지나·허청송·임종환·최예용·김선태, 2004, “샘플러를 통한 대기오염노출 평가와 건강영향 조사”, 「한국환경독성학회지」 19(2)
- 임종환, 2012, 「국민건강 위해성을 고려한 대기질 개선효과 분석 방안 도출」.
- 임연희·김호, 2011, “기후변화와 건강 - 저온과 고온이 사망에 미치는 영향에 관한 체계적 고찰”, 「한국환경보건학회지」 37(6)
- 하경하 외 5인, 2011, “미세먼지 농도와 심뇌혈관 질환으로 인한 사망과의 관련성”, 「대한고혈압학회지」 17(2).
- 홍수중·서주희, 2011, “기후변화와 건강영향”, 「대한의사협회지」 54(2)

홍윤철·조수현, 2001, “대기분진에 의한 건강영향”, 『예방의학회지』 34(2)

국립기상연구소, 2009, 「기후변화 이해하기Ⅲ-서울의 기후변화」.

국립환경과학원, 2008, 「황사 및 미세먼지의 건강영향 연구」.

국립환경과학원, 2011, 「기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구」.

국립환경과학원, 2010, 「기후변화 및 대기오염에 의한 건강영향의 시공간적 분포 연구」.

국민건강보험, 2006~2011, 「지역별 의료이용 통계」.

서울특별시, 2013, 「2012년 서울대기질 평가보고서」.

환경부, 2013, 「대기오염 위해성 관리를 위한 정책방향 설정 연구」.

APHEIS, 2005, Health impact assessment of Air Pollution and Communication Strategy

A.Zanobetti et al., 2000, **Gneralized additive distributed lag models; quantifying mortality displacement**, *Biostatistics*, 99.279-292

Caroline Barakat-Haddad et al., 2012, **Does Chronic Exposure to Air Pollution in Childhood Impact Long-Term Respiratory Health?**, *The Professional Geographer*, 64(3), pages 446~463

C. Arden Pope III et al., 2006, **Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect**, *Journal of the Air & Waste Management Association*, Volume 56

Dongruethai Buadong et al., 2009, **Association Between PM10 and O3 Levels and Hospital Visits for Cardiovascular Diseases in Bangkok, Thailand**, *J Epidemiol*;19(4):182-188

Dockery DW et al., 1993, **An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities**, *N. Engl. J. Med*, 329, 1753-1759

Efthimios Tagaris et al., 2010, **Sensitivity of Air Pollution-Induced Premature Mortality to Precursor Emissions under the Influence of Climate Change**, *J. Environ. Res. Public Health*, 2222-2237

EPA, 2005, **Effect of common air pollutants**

Howard H. Chang et al., 2010, **Impact of Climate Change on Ambient Ozone Level and Mortality in Southeastern United States**, *J. Environ. Res. Public Health*, 2866-2880

Margherita Grasso et al., 2012, **The Health Effects of Climate Change: A Survey of Recent Quantitative Research**, *J. Environ. Res. Public Health*, 1523-1547

Marco Mesa-Frias et al., 2013, **Uncertainty in environmental health impact assessment: Quantitative methods and perspectives**, *International Journal of Environmental Health Research*, Vol. 23, No. 1, 16-0

Moolgavkar SH, 2003, **Air pollution and daily mortality in two U.S. counties : season-specific**

analyses and exposure-response relationships, *Inhal Toxicol*, Aug;15(9):877~907.

Theodora Poulidou et al., 2008, **Assessing the health impacts of air pollution: a re-analysis of the Hamilton children's cohort data using a spatial analytic approach**, *International Journal of Environmental Health Research* Vol. 18, No. 1, 17-5

Y. Terzi, M. A. Cengiz, 2009, **Using of generalized additive model for model selection in multiple poisson regression for air pollution data**, *Scientific Research and Essay* Vol.4 (9), pp 867-871

Nelson Gouveia et al., 2000, **Time series analysis of air pollution and mortality:effects by cause, age and socioeconomic status**, *Epidemiol Community Health*, 54:750-55

Susan M. Bernard, Jonathan M. Samet, Anne Grambsch, Kristie L. Ebi, and Isabelle Romieu, 2001, **The Potential Impacts of Climate Variability and Change on Air Pollution-Related Health Effects in the United States**, *Environmental Health Perspectives* Vol.109(2)

Steven Roberts, 2006, **"A New Model for Investigating the Mortality Effects of Multiple Air Pollutants in Air Pollution Mortality Time-Series Studies"**, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A ; Current Issues*, 69: 417-435

Frank C. Curriero et al., 2002, **Temperature and Mortality in 11 Cities of the Eastern United States**, *American Journal of Epidemiology*, Vol. 155, No. 1

Shakoor Hajat et al., 2007, **Outdoor air pollution and infant mortality: analysis of daily time-series data in 10 English cities**, *J Epidemiol Community Health*, 61:719-22

WHO, 2000, **Quantification of the Health Effects of Exposure to Air Pollution : Report of a WHO Working Group**

WHO, Europe, 2009, **Improving public health responses to extreme weather/heat-waves euroHEAT ; Technical summary**

環境省, 2008, 「微小粒子状物質健康影響評価検討会 報告書」

東京都微笑粒子状物質(PM2.5) 検討会, 2013, 「東京都微笑粒子状物質検討会 報告書」.

<http://stat.seoul.go.kr/>

서울통계

<http://cleanair.seoul.go.kr/>

서울특별시 대기환경정보

<http://www.kosis.kr/>

국가통계포털

<http://www.kostat.go.kr/>

통계청

## 부 록

부록 1 환경성 질병 분류 코드

분류	소분류		
[100-199] 순환계통의 질환	[110-115] 고혈압질환	[111] 고혈압성 심장병	[111.0] (울혈성) 심부전을 동반한 고혈압성 심장병 [111.9] (울혈성) 심부전이 없는 고혈압성 심장병
		[120] 협심증	[120.0] 불안정 협심증 [120.1] 연속의 기재가 있는 협심증 [120.8] 기타형태의 협심증 [120.9] 상세불명의 협심증
		[121] 급성 심근경색증	[121.0] 전벽의 급성 전층심근경색증 [121.1] 하벽의 급성 전층심근경색증 [121.2] 기타 부위의 급성 전층심근경색증 [121.3] 상세불명 부위의 급성 전층심근경색증 [121.4] 급성 심내막하 심근경색증 [121.9] 상세불명의 급성 심근경색증
		[122] 이차성 심근경색증	[122.0] 전(벽)의 이차성 심근경색증 [122.1] 하벽의 이차성 심근경색증 [122.8] 기타 부위의 이차성 심근경색증 [122.9] 상세불명 부위의 이차성 심근경색증
		[123] 급성 심근경색증에 의한 특정 현존 합병증	[123.0] 급성 심근경색증에 의한 현존 합병증으로서의 혈심낭 [123.1] 급성 심근경색증에 의한 현존 합병증으로서의 심방중격결손 [123.2] 급성 심근경색증에 의한 현존 합병증으로서의 심실중격결손 [123.3] 급성 심근경색증에 의한 현존 합병증으로서의 혈심낭과 관련이 없는 심장벽의 파열 [123.4] 급성 심근경색증에 의한 현존 합병증으로서의 심근색의 파열 [123.5] 급성 심근경색증에 의한 현존 합병증으로서의 유두근의 파열 [123.6] 급성 심근경색증에 의한 현존 합병증으로서의 심방, 심이 또는 심실의 혈전증 [123.8] 기타 급성 심근경색증에 의한 현존 합병증

**부록 1 계속 환경성 질병 분류 코드**

분류	소분류		
[I00-I99] 순환계통의 질환	[I20-I25] 허혈성 심장질환	[I24] 기타 급성 허혈성 심장질환	[I24.0] 심근경색증을 유발하지 않은 관상동맥혈전증 [I24.1] 드레슬러증후군 [I24.8] 기타 형태의 급성 허혈성 심장병 [I24.9] 상세불명의 급성 허혈성 심장병
		[I25] 만성 허혈성 심장병	[I25.0] 죽상경화성 심혈관질환으로 기술된 것 [I25.1] 죽상경화성 심장병 [I25.2] 오래된 심근경색증 [I25.3] 심장의 동맥류 [I25.4] 관상동맥류 [I25.5] 허혈성 심근병증 [I25.6] 무중상성 심근허혈 [I25.8] 기타 형태의 만성 허혈성 심장병 [I25.9] 상세불명의 만성 허혈성 심장병
[J00-J99] 호흡계통의 질환	[J30-J39] 상기도의 기타 질환	[J30] 혈관운동성 및 알레르기성 비염	[J30.0] 혈관운동성 비염 [J30.1] 화분에 의한 알레르기비염 [J30.2] 기타 계절성 알레르기비염 [J30.3] 기타 알레르기비염 [J30.4] 상세불명의 알레르기비염
		[J40] 급성인지 만성인지 명시되지 않은 기관지염	
	[J40-J47] 만성 하기도질환	[J41] 단순성 및 점액농성 만성 기관지염	[J41.0] 단순 만성 기관지염 [J41.1] 점액농성 만성 기관지염 [J41.8] 단순성 및 점액농성 혼합형 만성 기관지염
		[J42] 상세불명의 만성 기관지염 [J43] 폐기종	[J43.0] 맥로드 증후군 [J43.1] 범소엽성 폐기종 [J43.2] 중심소엽성 폐기종 [J43.8] 기타 폐기종 [J43.9] 상세불명의 폐기종

## 부록 1 계속 환경성 질병 분류 코드

구분	대분류
[J00-J99] 호흡계통의 질환	[J40-J47] 만성 하기도질환 [J44] 기타 만성 폐색성 폐질환 [J44.0] 급성 하기도 감염을 동반한 만성 폐색성 폐질환 [J44.1] 급성 악화를 동반한 상세불명의 만성 폐색성 폐질환 [J44.8] 기타 명시된 만성 폐색성 폐질환 [J44.9] 상세불명의 만성 폐색성 폐질환 [J45] 천식 [J45.0] 주로 알레르기성 천식 [J45.1] 비알레르기천식 [J45.8] 혼합형 천식 [J45.9] 상세불명의 천식 [J46] 천식지속 상태 [J46.0] 주로 알레르기성 천식을 동반한 [J46.1] 비알레르기천식을 동반한 [J46.8] 혼합형 천식을 동반한 [J46.9] 상세불명의 천식을 동반한
[L00-L99] 피부 및 피하조직의 질환	[L20-L30] 피부염 및 습진 [L20] 아토피 피부염 [L20.0] 베스니에가려움발진 [L20.8] 기타아토피피부염 [L20.9] 상세불명의 아토피피부염

**부록 2 서울시 5개 권역별 환경성 질환에 대한 미세먼지(PM10)의 통계분석 결과**

구분		DF	Estimate	Standard error	Wald 95% confidence Limits	Pt)ChiSq	
도심	전체 사망자	1	0.0008	0.0007	0.0000	0.0022	0.2558
	65세 이상 사망자	1	0.0010	0.0008	0.0000	0.0026	0.2308
북동	전체 사망자	1	0.0008	0.0003	0.0001	0.0014	0.0200
	65세 이상 사망자	1	0.0006	0.0004	0.0000	0.0014	0.1005
순환 계통	전체 사망자	1	0.0012	0.0005	0.0002	0.0022	0.0239
	65세 이상 사망자	1	0.0011	0.0006	0.0000	0.0023	0.0591
남동	전체 사망자	1	뚜렷한 시계열 경향을 보이지 않음				
	65세 이상 사망자	1	0.0007	0.0006	0.0000	0.0020	0.2312
남서	전체 사망자	1	0.001	0.0004	0.0003	0.0017	0.0065
	65세 이상 사망자	1	0.0011	0.0004	0.0003	0.0020	0.0084
도심	전체 사망자	1	0.0014	0.0012	0.0000	0.0037	0.2225
	65세 이상 사망자	1	0.0014	0.0013	0.0000	0.0040	0.2831
북동	전체 사망자	1	0.0009	0.0004	0.0001	0.0018	0.0349
	65세 이상 사망자	1	0.0010	0.0005	0.0000	0.0019	0.0420
호흡 계통	전체 사망자	1	뚜렷한 시계열 경향을 보이지 않음				
	65세 이상 사망자	1	뚜렷한 시계열 경향을 보이지 않음				
남동	전체 사망자	1	0.0013	0.0006	0.0001	0.0026	0.0343
	65세 이상 사망자	1	0.0012	0.0004	0.0004	0.0020	0.0039
남서	전체 사망자	1	0.0011	0.0004	0.0003	0.0020	0.0093
	65세 이상 사망자	1	0.0021	0.0006	0.0010	0.0033	0.0002

**부록 3 서울시 5개 권역별 환경성 질환에 대한 초미세먼지(PM2.5)의 통계분석 결과**

구분		DF	Estimate	Standard error	Wald 95% confidence Limits	Pt)ChiSq	
도심	전체 사망자		뚜렷한 시계열 경향을 보이지 않음				
	65세 이상 사망자		뚜렷한 시계열 경향을 보이지 않음				
북동	전체 사망자	1	0.0017	0.0009	0.0000	0.0035	0.053
	65세 이상 사망자	1	0.0017	0.001	0.0000	0.0037	0.0918
순환 계통	전체 사망자		뚜렷한 시계열 경향을 보이지 않음				
	65세 이상 사망자		뚜렷한 시계열 경향을 보이지 않음				
남동	전체 사망자	1	0.003	0.0014	0.0001	0.0058	0.0394
	65세 이상 사망자	1	0.0034	0.0016	0.0001	0.0066	0.0405
남서	전체 사망자	1	0.0031	0.001	0.0012	0.0050	0.0012
	65세 이상 사망자	1	0.0024	0.0011	0.0002	0.0046	0.029
도심	전체 사망자		뚜렷한 시계열 경향을 보이지 않음				
	65세 이상 사망자		뚜렷한 시계열 경향을 보이지 않음				
북동	전체 사망자		뚜렷한 시계열 경향을 보이지 않음				
	65세 이상 사망자		뚜렷한 시계열 경향을 보이지 않음				
호흡 계통	전체 사망자		뚜렷한 시계열 경향을 보이지 않음				
	65세 이상 사망자		뚜렷한 시계열 경향을 보이지 않음				
남동	전체 사망자	1	0.0031	0.0023	0.0000	0.0077	0.1782
	65세 이상 사망자	1	0.0039	0.0024	0.0000	0.0086	0.1054
남서	전체 사망자	1	0.0025	0.0017	0.0000	0.0058	0.1306
	65세 이상 사망자	1	0.0031	0.0018	0.0000	0.0066	0.0740

부록 4 서울시 5개 권역별 환경성 질환에 대한 오존(O<sub>3</sub>)의 통계분석 결과

구분		DF	Estimate	Standard error	Wald 95% confidence Limits	Pt)ChiSq
도심	전체 사망자					
	65세 이상 사망자					뚜렷한 시계열 경향을 보이지 않음
북동	전체 사망자	1	4.5218	1.9033	0.7914 8.2521	0.0175
	65세 이상 사망자	1	6.0088	2.0283	2.0334 9.9842	0.0031
호흡계통	전체 사망자	1	6.4422	3.0910	0.3839 12.5005	0.0371
	65세 이상 사망자	1	6.6086	3.3275	0.0868 13.1303	0.0470
남동	전체 사망자	1	9.5238	2.6378	4.3537 14.6938	0.0003
	65세 이상 사망자	1	8.2764	2.8242	2.7411 13.8117	0.0034
남서	전체 사망자					
	65세 이상 사망자					뚜렷한 시계열 경향을 보이지 않음

부록 5 서울시 연도별 PM10 농도, 순환계통, 호흡계통 질환의 조기사망자 및 조기 사망부담(65세 이상 인구 대상)

구분	평균 농도 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	65세 이상 인구수 (명)	순환계통 질환			호흡계통 질환		
			사망률 (10만명당)	조기 사망자수 (명)(95% CI)	조기 사망부담 (10만명당)(95% CI)	사망률 (10만명당)	조기 사망자수 (명)(95% CI)	조기 사망부담 (10만명당)(95% CI)
1999	65	446,833	269	439(213~	98.17(47.58~145.45)	180	412(224~556)	92.14(50.05~124.40)
2000	65	473,093	297	514(249~	108.56(52.61~160.84)	190	460(250~621)	97.17(52.79~131.19)
2001	70	496,637	344	662(324~	133.30(65.18~195.56)	193	514(283~686)	103.48(56.91~138.04)
2002	76	518,652	322	689(340~	132.84(65.65~192.64)	186	547(305~720)	105.52(58.88~138.83)
2003	69	546,631	323	676(330~	123.69(60.37~181.81)	150	437(240~574)	79.88(43.82~106.82)
2004	61	585,414	301	612(294~	104.54(50.31~156.14)	140	399(215~544)	68.22(36.69~93.01)
2005	58	621,698	269	559(267~	89.85(43.00~135.01)	120	351(187~482)	56.44(30.13~77.54)
2006	60	665,984	277	632(303~	94.86(45.56~141.96)	113	365(196~499)	54.77(29.38~74.87)
2007	61	722,970	301	756(364~	104.60(50.33~156.23)	111	393(211~536)	54.36(29.23~74.12)
2008	55	759,596	248	602(287~	79.26(37.73~119.83)	101	349(185~483)	45.95(24.34~63.62)
2009	54	795,353	204	510(242~	64.11(30.46~97.14)	88	312(165~433)	39.19(20.71~54.40)
2010	49	1,082,197	152	476(224~	44.03(20.73~67.41)	64	291(152~409)	26.87(14.02~37.80)
2011	47	1,044,750	147	430(202~	41.14(19.30~63.25)	63	265(137~374)	25.35(13.15~35.85)

부록 6 서울시 연도별 PM2.5 농도, 순환계통, 호흡계통 질환의 조기사망자 및 조기 사망부담(65세 이상 인구 대상)

구분	평균 농도 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	65세 이상 인구수 (명)	순환계통 질환			호흡계통 질환		
			사망률 (10만명당)	조기 사망자수 (명)(95% CI)	조기 사망부담 (10만명당)(95% CI)	사망률 (10만명당)	조기 사망자수 (명)(95% CI)	조기 사망부담 (10만명당)(95% CI)
2003	69	546,631	323	603(66~1056)	110.31(12.04~193.18)	150	451(60~641)	82.57(10.99~117.34)
2004	61	585,414	301	495(52~904)	84.55(8.89~154.39)	140	382(48~571)	65.23(8.13~97.52)
2005	58	621,698	269	457(48~839)	73.54(7.70~135.01)	120	339(42~511)	54.58(6.74~82.16)
2006	60	665,984	277	518(54~945)	77.74(8.17~141.96)	113	353(44~528)	52.99(6.60~79.22)
2007	61	722,970	301	612(64~1117)	84.60(8.90~154.48)	111	376(47~562)	51.98(6.48~77.71)
2008	55	759,596	248	469(48~875)	61.69(6.37~115.13)	101	324(39~497)	42.59(5.13~65.45)
2009	54	795,353	204	403(42~752)	50.66(5.23~94.55)	88	293(35~450)	36.82(4.43~56.58)
2010	49	1,082,197	152	395(41~740)	36.46(3.74~68.42)	64	285(34~441)	26.34(3.15~40.77)
2011	47	1,044,750	147	356(36~671)	34.05(3.48~64.25)	63	260(31~405)	24.86(2.94~38.75)

# Abstract

# Abstract

## A Study on Investigating Air Pollution and Urban Climate-Induced Health Effects in Seoul

WoonSoo Kim · Jeong-Ah Kim

With the growing recognition that air pollution and urban climate change-induced health effects are already underway and widely verified from lots of research works. According to the WHO's report(2007), world-wide annual mortality statistics due to air pollution is about 3 million people, equivalent to 5% of the total death statistics. Health Insurance Review & Assessment Service in Korea has recently noticed that environmental disease would be one of the major causes, thereby leading to the increase of both healthcare expenses and number of medical service episodes. Like many other mega cities in the world, concerns on clean air quality in Seoul are not new ones, but no more urgent demanding than the present. Moreover the phenomena of urban climate change might be another factor to exacerbate air quality via mutual coupling process effects. To cope with these problems, city of Seoul is now implementing the choice and concentration strategies for enhancing clean air quality and adaptation to urban climate change.

The aim of this research is to figure out the association between daily mortality or hospital healthcare cost and daily ambient air pollution concentrations with AWS monitoring data. The standard Poisson regression model is applied in GLM context, and PROC GENMOD in SAS can be used, with assuming that a log linear form for the conditional expectation be maintained between responded mortality or healthcare cost value and sets of predictor variables. The data used in this research were obtained from the database from Statistics Korea Mortality, Seoul Air Pollution Monitoring Stations, National Health Insurance Service, and Korea Meteorological Administration. The data extracted consists of concurrent daily

time series of mortality, weather, and air pollution for city of Seoul for the period of 1999 to 2011, and healthcare cost for the period of 2006 to 2011, Table 1 and 2 contains the results of the simulations from the viewpoints of PM10 health effects.

**Table 1 Annual PM10 Mortality effects of Environmental Disease in Seoul**

	AverCon. ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Population (people)	Environmental Disease(circulatory + respiratory)		
			mortality (per 100,000 people)	Premature death (per 100,000 people) (95% CI)	Death Burden (per 100,000 people) (95% CI)
1999	65	10,321,449	624	1,160 (591~1578)	11.24(5.73~15.29)
2000	65	10,373,234	664	1,306(665~1776)	12.59(6.42~17.12)
2001	70	10,331,244	713	1,542(791~2082)	14.92(7.66~20.15)
2002	76	10,280,523	683	1,636(850~2186)	15.91(8.26~21.27)
2003	69	10,276,968	615	1,430(729~1939)	13.91(7.09~18.87)
2004	61	10,287,847	570	1,292(648~1778)	12.56(6.30~17.29)
2005	58	10,297,004	505	1,168(581~1616)	11.34(5.65~15.69)
2006	60	10,356,202	489	1,236(617~1705)	11.93(5.95~16.47)
2007	61	10,421,782	507	1,399(698~1931)	13.43(6.70~18.53)
2008	55	10,456,034	429	1,158(572~1613)	11.08(5.47~15.43)
2009	54	10,464,051	367	1,021(503~1424)	9.75(4.81~13.61)
2010	49	10,575,447	268	939(458~1322)	8.88(4.33~12.51)
2011	47	10,528,774	257	843(410~1191)	8.00(3.89~11.31)

**Table 2 Annual Medical Cost Payment and Excess Cost Burden of Environmental Disease in Seoul**

구분		PM10	PM2.5	O <sub>3</sub>
Medical Cost Payment (million won)	2006	29,138	24,163	5,605
	2007	34,691	28,388	6,994
	2008	34,512	27,175	7,813
	2009	35,821	28,634	8,720
	2010	34,730	29,083	8,016
	2011	23,256	19,546	7,606
Excess Cost Burden (원/건)	2006	961,936	725,598	354,950
	2007	982,923	728,232	419,588
	2008	903,625	660,197	402,020
	2009	874,711	634,061	453,302
	2010	815,539	621,352	430,364
	2011	875,628	665,905	455,118

note : Medical Cost Payment, Excess Cost Burden denotes the 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  unit increased of PM10, PM2.5, 10ppb for O<sub>3</sub>

The next step is seeking the way to use the information on air pollution and urban climate-induced health effects in Seoul. The policy directions from this experimental study to deal with air pollution and urban climate-induced health effects can be summarized as follows: (1) establishment of health effects monitoring information system, (2) adoption of differentiation strategies by health monitoring information, and (3) linkage management with climate change adaptation strategies.

# Table of Contents

## **Chp.1 Introduction**

- 1 Background and Purpose
- 2 Research Framework

## **Chp.2 Characteristics of Air Pollution and Urban Climate in Seoul**

- 1 Variational Distribution of Climatological Factors
- 2 Temporal and Spatial Variation of Air Pollution

## **Chap.3 Case Studies on Air Pollution & Urban Climate-Induced Health Effects**

- 1 Reviews on Foreign and Domestic Research Cases
- 2 Research Implications

## **Chap.4 Analysis of Air Pollution & Urban Climate-Induced Health Effects**

- 1 Data Collection and Research Methodology
- 2 Classification of Air Pollution & Urban Climate-Induced Health Effects
- 3 Statistical Analysis of Relative Health Risk

## **Chap.5 Policy-Directions To Air Pollution & Urban Climate-Induced Health Effects**

- 1 Establishment of Health Effects Monitoring Information System
- 2 Adoption of Differentiation Strategies by Health Monitoring Information
- 3 Linkage Management with Climate Change Adaptation Strategies

## **Chap.6 Conclusions**

**References**

**Appendices**

서울연 2013-PR-05

서울시 기후·환경 변화의 건강영향 분석연구

발행인 이창현

발행일 2013년 7월 31일

발행처 서울연구원

137-071

서울특별시 서초구 남부순환로 340길 57

전화 (02)2149-1234 팩스 (02)2149-1025

값 8,000원 ISBN 978-89-8052-991-9 93530

본 출판물의 판권은 서울연구원에 속합니다.