

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, O₃ 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 O_3 5ppb 증가에 따라 심부전증 사망률이 1.06%, 심근경색증 1.09% 증가하였으며, 리스본(2004~2006)에서는 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 (%)			
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, O₃ 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.
 - 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, O₃는 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
- O₃의 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 ₃
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