

폭염으로 인한 기후변화 취약계층의 사망률 변화 분석: 서울을 중심으로

이 나 영
(고려대학교)

조 용 성
(고려대학교)

임 재 영*
(고려대학교)

본 연구는 서울특별시의 25개구를 대상으로 2000년부터 2011년까지 여름철(6월, 7월, 8월)의 기상자료와 사망자료 및 지역자료를 이용하여 여름철 열지수와 사망률 변화와의 관계를 살펴보았다. 2000년 이후 설치된 서울 기상청의 기후변화정보센터와 서울시의 각 구별 기상관측소로부터 관측된 기상자료를 이용하여 열지수를 계산하였다. 아울러 통계청의 마이크로 데이터에서 사망자의 사회적·경제적 요인의 영향까지 고려할 수 있는 자세한 원자료(raw data)를 이용하여 사망원인이 호흡기계 및 심혈관계 질환인 만 65세 이상의 고령층을 대상으로 서울시의 구 단위까지 분류하였다. 구별 특성은 서울시 열린데이터광장에서 제공하고 있는 자료를 이용하였다. 이러한 자료를 바탕으로 패널모형을 구축한 후 기후요인에 대한 사망률 영향을 분석하였다. 패널분석 결과, 열지수가 높아질수록 취약계층의 사망률도 증가하는 것으로 나타났고 특히, 소득이 없는 노인의 비율, 독거노인의 비율이 높을수록 폭염과 같은 이상기후에 대해 취약한 것으로 분석되었다. 또한 각 구의 대기오염배출시설이 많이 설치되어 있을수록 사망률 증가에 영향을 미쳤다. 반면, 각 구의 1인당 병·의원수와 녹지면적은 비중이 높을수록 사망률을 감소시키는 효과를 보였다.

주요용어: 기후변화, 열지수, 65세 이상 사망자수

본 연구는 환경부 기후변화특성화대학원사업의 지원으로 수행되었음.

* 교신저자: 임재영, 고려대학교(jylimecon@korea.ac.kr)

■ 투고일: 2013.11.14 ■ 수정일: 2014.3.15 ■ 게재확정일: 2014.3.18

I. 서론

기후변화에 관한 정부간협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)에서는 기후변화를 기후 특성의 평균이나 변동성의 변화를 통해 확인 가능하고 수십 년 혹은 그 이상 오래 지속되는 기후상태 변화로 정의하고 있다. 이는 자연적 변동성 때문이든 인간 활동에 따른 결과이든 시간 경과에 따른 모든 기후 변화를 일컫는다(IPCC, 2007).

지구온난화와 이에 따른 기후변화의 진행은 기상재해나 생태계 파괴와 같은 환경 위기를 야기하고 있을 뿐 아니라, 경제활동, 나아가 인류의 지속 가능한 삶에 상당한 위협요인으로 작용하고 있다. 2011년에 발생한 주요 선진국의 폭염 피해 사례를 살펴보면, 일본은 동년 8월 35℃ 이상 폭염으로 15명이 사망하였으며, 영국은 9월 30일에 100년 만에 이상고온현상이 발생하여 케임브리지 지역의 경우에는 이날 최고 기온이 29.2℃를 기록하였다. 또한 미국은 7월 22일 동부와 중서부지방에 기록적인 폭염과 더불어 특히 뉴저지 주는 42℃의 역대 최고 기온을 기록하였다(질병관리본부, 2012).

아울러 이제 기후변화는 안보적 관점에서 다뤄지면서 기후안보란 말까지 생겨났다. 또한 2007년 1월 다보스에서 열린 세계경제포럼에서는 기후변화가 미래에 가장 영향이 큰 요인으로 선정되었다. 최근 이러한 세계적인 움직임으로 선진국에서는 기후변화에 대한 적응계획을 수립하고 정책의 효과를 정량적으로 평가하는 작업들을 진행하고 있다. 세계보건기구에서는 기후변화로 인한 건강위험 요인으로 매개체를 통한 전염병, 자연재해, 열 스트레스, 대기오염, 극단적 기후현상 등을 제시하였다(WHO, 2008). 또한 이들 위험요인은 피부암, 설사질환, 전염병, 호흡기 질환, 심혈관 질환, 폭염으로 인한 사망 등 다양한 질병 및 건강위해를 미치고 있다고 보고하고 있다.

이러한 맥락에서 기후변화의 영향에 대한 신뢰성 있는 평가척도와 방법이 마련되어야 하고 적절한 기후변화적응(adaptation)체계가 마련되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 서울지역의 기상자료, 사망자료, 지역자료를 이용하여 기상요인 변화에 사회적·경제적 측면에서 상대적으로 취약한 고령층의 건강 영향을 정량적으로 분석하기 위하여 서울의 25개구의 과거 12개년 자료를 구축하여 패널 분석을 하였다.

본 연구에서 고려하고 있는 기후는 장기간의 기후요인들의 평균 상태를 의미하는 것으로 기후변화는 그러한 평균 상태의 변화를 의미한다. 이는 세계기상기구(World

Meteorological Organization; WMO)의 기후변화 정의와도 일맥상통한다.

또한 기후변화로 인한 취약지역을 IPCC의 2007년 보고서의 내용에 따라 도심, 인구밀집 및 저소득 지역 등으로 분류하였다. 더불어 기후변화로 인한 취약 인구집단은 세계보건기구에서 2003년에 발표한 내용에 따라 만성질환자 및 65세 이상 고령자로 분류하였다.

II. 선행연구

기온과 사망의 관계를 이해하기 위한 기존 선행연구의 방법으로 크게 세 가지가 있다. 첫 번째는 서술적 연구(descriptive study) 또는 탐색적 분석(exploratory analysis)으로 이상고온과 사망자 수를 동일 그래프에 그려봄으로써 기온과 사망의 관계를 평가하는 방법이다. 두 번째 방법은 시계열 분석 방법(Time-series Analysis)으로, 상당 기간 동안 설명 변수의 영향을 파악 할 수 있으며 분석하고자 하는 자료 구득이 비교적 쉽다는 장점이 있다. 세 번째는 환자-교차 연구방법(Case-crossover study)으로 사망자 각 개인이 환자(case)가 되며 또한 동시에 대조(control)군이 된다. 이 방법은 각각의 개인에 의해서 발생하는 차이를 완전히 제거 할 수 있다는 장점이 있는 반면, 관련 분석 자료 구득이 용이하지 않다는 단점이 있다(Basu & Samet. et al. 2002).

전술한 방법에 기초하여 기온과 사망과의 관계에 대한 기존 연구들을 첫째, 폭염이 건강악화와 사망증가에 미치는 영향을 전반적으로 다룬 연구, 둘째, 기온에 대한 측정방법을 다양화하여 기온지수가 건강에 미친 영향을 다룬 연구, 그리고 분석 대상 집단을 취약 인구집단으로 한정하여 이들 집단의 건강에 미친 영향을 다룬 연구들로 구분하여 고찰하면 다음과 같다.

1. 폭염이 건강악화와 사망증가에 미치는 영향

환경부(2003)에 따르면 1994년의 7월과 8월의 평균기온은 28.1℃로 1993년과 1995년의 같은 기간에 비해 평균기온이 각각 3.8℃, 2.8℃ 높은 것으로 나타났다. 1994년에 보고된 교통사고를 제외한 총 사망자수는 5,742명으로 1993년과 1995년의 같은 기간에 비해 각각 988명과 789명의 초과사망이 있었음을 고려할 때, 폭염이 사망증가에

미치는 영향이 일정 부분 존재할 수 있음을 알 수 있다. 또한 혹서기간 동안 사망자수가 증가한 원인으로 열사병보다는 심장질환 및 뇌혈관계 질환 악화로 인한 사망을 지적하였다. 김소연(2004)은 서울의 1991년부터 2000년까지의 하절기(6월, 7월, 8월, 9월) 사망률에 대한 기온의 영향을 평가하면서, 전체 기온분포에서 극단 값으로 분류될 수 있는 90분위 수에 해당하는 29.9℃를 기준으로 기온이 1℃ 상승할 때 사망자 수가 3.0% 증가하는 것을 보였다. 특히 이상고온의 지속기간별 사망자 수 변화를 분석한 결과에서는 7일 이상 이상고온이 지속된 경우 사망자수가 9% 이상 증가하는 것을 보였다. 또한 이상고온 발생기간 동안 65세 이상 고령층 인구에서는 사망자 수가 75.3%나 증가하여, 특히 고온 노출에 대한 고령층의 건강수준이 민감한 영향을 받는 것으로 나타났다.

대표적인 국외 연구로 Basu와 Samet(2002)은 1992년 미국의 20개 대도시에서 최소 65세 이상의 고령층을 대상으로 기온과 심폐기능 저하로 인한 사망과의 관계를 파악하였다. 기상자료로는 평균 기온과 일별 이슬점 평균을 사용했고 대기 오염 자료로는 일별 평균 오염도를 사용했으며, 사망 자료는 분석의 특성상 각 개인의 사망일, 사망 장소가 포함되어 있는 개인 자료를 사용하였다. 1년 동안의 자료만을 사용했으며 기온과 타 기상 변수를 보정하였는데, 기상요인이 사망에 미치는 영향이 유의하게 존재하고 있음을 주장하였다. Barreca(2012)는 1973년부터 2002년까지 시계열 자료를 이용해 미국지역에서의 습도와 사망률 관계를 분석하는데 중점을 두었다. 상대적으로 온도가 낮고 건조한 지역보다 온도가 높고 습한 지역일수록 사망률이 높다는 분석결과를 통해 습도는 온도와 함께 기후변화로 인한 영향을 분석할 때 중요한 고려대상이 된다는 것을 보였다.

2. 기온지수와 건강영향에 관한 연구

기후변화에 따른 사망 관련 연구에서는 기후요인으로 평균기온, 최고 및 최저기온, 일교차, 고온지속여부, 태양복사, 습도, 풍속, 강수량 등 다양한 기후요인의 영향을 고려하고 있다. 이외에도 기후요인을 인체가 느끼는 정도로 지수화 하여, 보다 인체가 느끼는 영향을 잘 나타내주기 위해 여러 기온지수를 이용하여 분석을 할 수 있다. 기온지수로는 대표적으로 열지수와 인지온도지수 그리고 체감온도지수 등 크게 세 가지가 있다.

열지수는 기온과 습도의 기상요소를 이용하여 사람이 실제로 느끼는 더위를 지수화한 것이다. 고온 다습한 환경에 대한 대국민 폭염특보를 더욱 효율적으로 제시하여 열파에 미리 대처할 수 있는 체제를 개발하기 위해 미국 기상청에서 열지수 프로그램이 개발되어 사용되고 있다. 인지온도지수는 기온, 풍속, 일사의 기상요소를 이용한 지수로 인체가 저온이나 고온에서 스트레스를 느끼는 기본환경을 나타내는 기온지수이다. 인지온도지수는 독일 기상청의 인체 열수지 모델로부터 계산되었다. 체감온도지수는 온도와 풍속의 기상요소를 이용하며 강한 바람과 한기에 인체가 노출되었을 때 피부를 통해 빼앗긴 열에 의해 사람들이 느끼는 추운 정도를 나타내는 온도지수이다. 이는 미국과 캐나다 기상센터의 JAG/II 모델로부터 계산되었다.

기온지수를 활용한 국내연구로, 최광용 외(2005)는 지난 26년간(1973-1998년) 남한에서 발생한 특정 생리기후학적 임계치 이상의 열지수의 빈도와 강도, 지속기간, 지리적 분포 등의 기후학적인 특징을 분석하였다. 이 연구에서 1970년대 이후 진행된 도시화의 영향으로 인구가 급증했던 광역 도시들을 중심으로 그 발생빈도가 뚜렷하게 증가함을 보였으며, 특히 1990년대 들어서면서 각 임계치의 열지수 발생 빈도가 두드러지게 증가함을 보였다.

인지온도를 활용한 연구로 이대근 외(2010)는 여름철 폭염 스트레스와 일 사망률간의 관계를 1991년부터 2005년까지 서울지역자료를 활용하여 분석하였다. 65세 이상의 인구계층이 가장 폭염 스트레스에 취약한 것으로 나타났으며, 임계 온도는 38℃로 유의함을 보였다.

해외 연구로는 미국 동부 11개의 도시에 대해서 기온과 사망과의 관계를 시계열 자료를 토대로 연구한 Curriero 외(2002)가 대표적이다. 동 연구에서는 1973년부터 1994년까지의 자료를 사용하여 고온으로 인한 사망의 관계와 저온으로 인한 사망의 관계를 고찰하였다.

3. 취약 인구집단의 건강영향

최근 폭서로 인한 초과사망의 발생에 대한 보고가 이루어지면서 고온으로 인한 사망률의 변화에 대한 관심뿐만 아니라 사회경제적 취약인구집단에 대한 연구의 필요성도 제기되고 있다. 여러 선행연구들과 보고서를 통해 기후변화에 민감한 인구집단은 크게

첫째, 노인 및 영유아, 둘째, 만성질환자, 셋째, 사회경제적 지위가 낮은 집단, 넷째, 특정 직업에 종사하는 집단 등이 언급되었다.

국내 연구로 전형진(2011)은 폭염으로 인해 야기되는 초과사망의 직접적인 원인이 뇌혈관계와 심혈관계 질환인 것을 고려하면 갑작스런 폭염 등이 저소득층의 초과사망으로 이어질 수 있다고 보고하였다. 건강의 불평등과 대물림은 건강 결정 요인 중 열악한 환경여건이라는 외부조건에 의해서도 가중될 수 있는데 저소득층은 환경여건까지 열악하여 건강수준이 더욱 악화될 수 있다는 것이다. 이러한 열악한 환경조건에 더하여 최근의 기후변화는 경제적 대응력이 상대적으로 낮은 저소득층 질병보유자에게 더 힘든 상황이 될 수 있다.

국외연구로, Diaz 외(2002)는 1986년부터 1997년까지 스페인 마드리드의 사망자료를 이용해 폭염의 영향을 분석한 결과, 75세 이상의 여성 노인인구에서 일 최고기온이 36.5°C 이상인 날이 하루 증가할 때, 그 사망률이 28.4% 증가함을 확인하였다. 특히 노인이나 도시거주자들의 사망률 증가가 큰 것으로 나타났다. Patz 외(2000)는 폭염으로 인한 위험가능인구를 규명하였는데 저소득층, 노년층, 유년층, 면역체계가 약한 층이 기후변화로 인한 건강위험에 취약하다고 제시하였다.

앞서 소개한 대부분의 선행연구들은 기후요인과 사망률과의 관계만을 다루었을 뿐, 지역별 사회경제적인 요인이 혼란변수(confounding factor)로 작용할 가능성에 대한 언급은 찾아보기 힘들다. 따라서 본 연구에서는 고온에 의한 건강 및 사망에 미치는 영향에 대한 연구를 수행함에 있어 이러한 요인을 자료가 허락하는 범위에서 최대한 고려하고자 하였다.

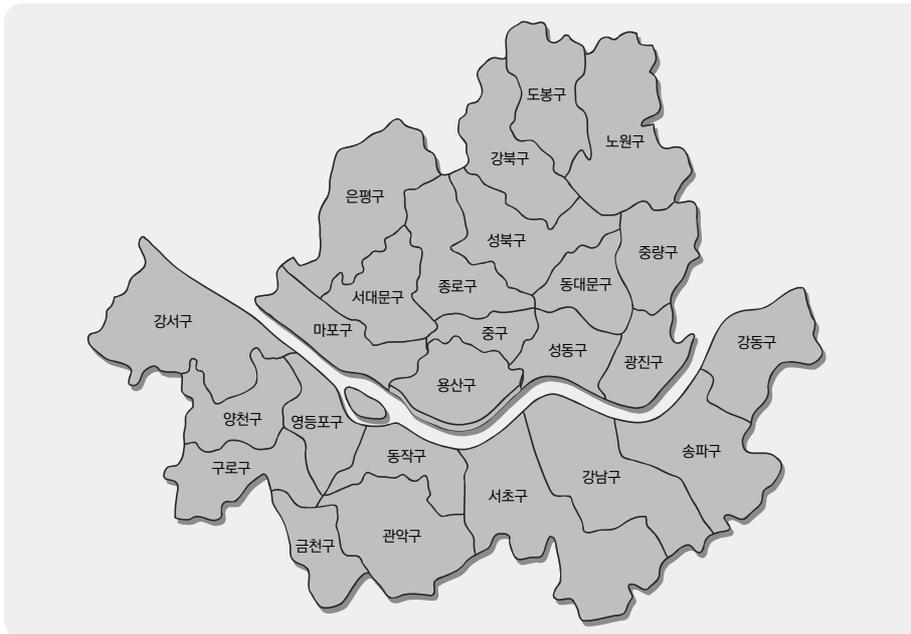
III. 연구 방법

1. 연구 대상

가. 연구 지역 및 기간

기후변화에 의한 여름철 폭서현상이 사망자 수 변화에 미치는 영향을 확인하기 위해서는 일별 사망자 수의 충분한 변동이 전제 되어야 한다. 이러한 특성으로 인하여, 연구 대상 지역은 대도시지역으로 한정할 필요가 있다. 서울특별시는 전 국민의 25%가 거주하고 있을 정도로 인구규모가 가장 큰 지역이므로 본 연구에 적합하다고 판단된다. 서울특별시 각 자치구별 면적과 위치를 비교할 수 있는 서울특별시의 지도는 [그림 1]과 같다.

그림 1. 서울시 25개 자치구의 위치



자료: 서울특별시청. <http://www.seoul.go.kr/v2012/seoul/seoul.html>(2013.08.21)

서울시의 25개 자치구에 구별로 기상관측소가 설치된 것은 2000년 이후이기 때문에 자료의 가용성을 고려하여 2000년부터 2011년까지 과거 12년간의 자료를 이용하여 분석하였다.

나. 연구 대상

65세 이상의 고령자는 일반인에 비해 면역력 감퇴 및 저항력 약화로 인해 외부 환경의 변화에 더 민감하게 반응하게 되어 기후변화에 취약한 인구집단으로 분류된다. IPCC 제 4차 보고서(2007)에서도 열과 관련한 사망률은 연령 증가와 밀접한 관련성이 있다고 보고되고 있다. 이러한 특성을 고려하여 WHO에서 정한 기후변화에 따른 대표적인 취약 그룹 분류를 준용하여 본 연구에서도 65세 이상의 고령자를 대표적인 취약 그룹으로 결정하였다. 또한 서울지역의 65세 이상 고령자 중에서 호흡기계 및 심혈관계 질환으로 인한 사망자를 대상으로 하였다. 호흡기계 및 심혈관계 질환은 폭염과 밀접한 상관관계가 있는 것으로 많은 의학 및 보건학의 선행연구와 보고서(신호성 외, 2012, 장재연, 2009, 환경부, 2003 등)에서 언급되고 있다.

2. 분석 자료

가. 자료 설명

1) 기상자료

기상자료는 기상청에 청구하여 제공받은 것을 사용하였다. 기상청으로부터 구득한 자료는 각각의 광역시 별 자료로 표면기온(surface temperature)은 1시간에 한번, 상대습도(relative humidity)는 3시간에 한번 씩 측정된 것이다.

일별 기온과 상대습도의 대표치는 1일 8회 측정치(03시, 06시, 09시, 12시, 15시, 18시, 21시, 24시)를 이용하였고, 일별 평균의 경우에는 1일 8회 측정된 값의 평균을 이용하였다. 또한 일별 최댓값은 기상청에서 제공받은 일일 최고 기온자료와 1일 8회 측정치의 최댓값을 구하여 활용하였다. 본 연구에서는 사망자료 및 지역자료와의 연계를 위해, 해당 년도의 6월, 7월, 8월에 한정하여 여름철 평균온도를 구하여 활용하였다.

상대습도의 경우, 전체 서울지역의 대푯값을 이용하였다. 서울시의 각 구별 습도자료는 무인자동기상관측장비(Automatic Weather Station, AWS)를 통해 관측되어 제공되는 지역별 상세 관측 자료를 통해 일부 구에 한정하여 알 수 있다. 이는 비싼 습도센서의 가격부담으로 2010년부터 순차적으로 설치 중이다. 따라서 지역별 상세 관측 자료를 통해서는 2010년 10월 27일 강북구를 시작으로 순차적으로 확인이 가능하다. 2014년 3월 13일 현재에도 중구, 용산, 서대문, 양천, 강서, 금천, 영등포, 서초, 송파, 총 9개구에는 습도센서 미설치로 습도자료가 없다. 이에 본 연구기간에 해당하는 2000년부터 2011년까지 서울시의 모든 25개구의 습도자료를 축적하여 이용할 수 없었다.

한편, 본 연구에서는 기상자료 중 기온과 상대습도를 이용하여 열지수(Heat Index, HI)를 계산하고 이를 이용하여 열지수에 의한 사망 관련성을 추가로 고찰하였는데, 이는 상대습도를 서울의 대푯값으로 사용할 수밖에 없는 연구의 한계성을 극복하기 위해서이다. 열지수는 기온과 습도를 함께 고려하여 계산된 식으로서 여름철 체감온도라고 할 수 있다. 이는 열파지수라고도 하며 열파란 '비정상적이고 불쾌한 느낌을 주는 덥고 습한 날씨'를 말한다.

전술하였듯이 서울 25개구의 각 지자체 별 상대습도는 본 논문의 연구기간에 해당하는 2000년부터 2011년까지의 측정 자료가 없으므로 전체 서울 지역의 대푯값을 이용할 수밖에 없었다. 이 경우 연도별 시계열 자료 값은 상이하겠지만 각 지역별 자료는 차이가 없어진다. 하지만 열지수를 이용하게 되면 상대습도를 고려하면서도 각 지자체 별로 차별된 값을 가질 수 있어 분석에 필요한 충분한 변이 정도를 확보할 수 있게 된다. 열지수의 계산식은 다음 식(1)과 같으며, 열지수 산정에 이용된 계수 값들은 미국 기상청에서 제공된 자료를 이용하였다.¹⁾ 식(1)에서 HI는 열지수를, T와 R은 각각 온도(Fahrenheit)와 상대습도(%)를 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 HI = & -42.379 + (2.04901523 \times T) + (10.1433127 \times R) \\
 & - (0.22475541 \times T \times R) - (6.83783 \times (1/1000) \times T^2) \\
 & - (5.481717 \times (1/100) \times R^2 + (1.22874 \times (1/1000) \times T^2 \times R) \\
 & + (8.5282 \times (1/10000) \times T \times R^2) - (1.99 \times (1/1000000) \times T^2 \times R^2 \quad (1)
 \end{aligned}$$

¹⁾ Rothfus, Lans P., NWS Southern Region Headquarters (1990). The heat index equation.

열지수는 습도와 기온이 복합되어 사람이 실제로 느끼는 더위(체감온도)를 지수화한 것으로, 같은 기온이라도 습도에 따라 지수가 달라질 수 있다. 예를 들어 하절기에 기온이 약 29℃인 경우 상대습도의 정도에 따라서 열지수는 26℃에서 40℃까지 변화할 수 있다. 이러한 열지수는 기온 정보와 상대습도 정보를 모두 가지고 있는 수치 값으로 일반적인 인간이 느끼는 뚜렷한 기온을 직접적으로 제시해 준다.

따라서 본 논문에서는 단순히 기온의 높고 낮음을 가지고 건강영향을 판단하기 보다는 인체가 기온의 변화를 통해 직접 체감하는 정도를 나타내는 열지수를 사용하였다. 열지수 계산을 위한 서울시 자치구별 상세 기상관측자료의 관측위치는 부록에 명시해 놓았다.

2) 사망자료

국내의 경우 사람이 사망 하였을 때 반드시 의사의 사망진단서가 필요하고, 이와 함께 관련 기관에 신고를 하도록 되어있다. 또한 이러한 자료는 국가에 의해 관리되고 있다. 본 논문에서 사용한 자료는 통계청을 통해 구득한 원시자료(raw data) 형태의 사망자 개인 자료로서, 이에 포함된 변수는 사망자의 주소지, 사망일, 사망 장소, 사망원인, 사망 진단자명, 성별, 직업, 혼인상태, 교육 정도, 사망 시 연령 등 이다. 연구대상기간에 근거하여 2000년부터 2011년까지 사망신고 지역이 서울인 사망자로 한정하였다. 질병 사인 항목은 앞서 기술한대로 선행 연구 검토를 통해서 기온 및 오존 농도에 따른 사망률의 연관성이 있다고 보고된 호흡기계 사망(ICD-10, J code)과 심혈관계 사망(ICD-10, I code)을 선정하였다. 또한 사망자의 직업, 혼인상태, 교육 정도, 성별, 주소지 등 사회적·경제적 요인의 영향을 통제하였다.

3) 지역자료

서울시 25개 자치구의 지역자료는 2013년 3월부터 시행하고 있는 서울시청의 열린 데이터광장에서 공개하고 있는 자료를 제공받아 사용하였다. 서울특별시가 지금의 각 25개 자치구로 나누어진 것은 1995년으로 연구대상기간보다 훨씬 이전에 이루어졌으므로 자료의 행정구역상의 변동이나 영향은 고려하지 않아도 된다.

본 연구에 활용한 각 자치구별 지역변수는 다음과 같다. 1인당 녹지면적, 1인당 병·의원 수, 만 65세 이상 인구 중 소득이 없는 노인의 비율, 주간인구지수, 환경오염(대기

오염)물질 배출 시설 수, 만 65세 이상 노인 중 독거노인 비율로 총 6가지 지역 특징 변수를 활용하였다. 다양한 요인을 통해 기후변화에 대한 영향이 있을 수 있지만 자료의 제약으로 모든 변수를 다 고려할 수 없기 때문에 자료 구득이 가능한 변수들을 분석에 이용하였다.

본 연구의 종속변수가 사망원인이 호흡기계 및 심혈관계 질환인 만 65세 이상의 사망자이므로 만 65세 이상 즉, 해당지역의 노년층의 특징을 나타내 줄 수 있는 지표들을 설명변수로 이용하였다. 생활환경을 나타내 줄 수 있는 독거노인 비율, 경제적 수준을 고려할 수 있는 소득이 없는 노인의 비율 등을 고려하였다. 또한 고온으로 인해 공기순환의 흐름이 방해되어 대기오염 물질이 축적될 경우, 만성질환을 더 악화 시킬 수 있으므로 이를 나타내 주는 지표로서 대기오염 배출 시설 수를 이용하였다. 이 외에도 해당 지역의 녹지면적과 병·의원 수 그리고 낮 시간 동안의 이동을 통한 활동 여부를 짐작할 수 있는 주간인구지수 등을 설명변수로 채택하였다.

활용된 변수에 대한 설명은 <표 1>에 제시되어 있으며 이를 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

1인당 녹지 면적은 각 구의 전체 녹지 면적을 각 구의 전체 인구수로 나눈 값이다. 본 연구에 이용된 녹지자료는 크게 시설녹지와 일반녹지로 나뉜다. 자세한 녹지의 종류는 분리대, 수벽, 수림대, 하천변 조경, 간이휴게소, 지하철환기구 주변 녹지, 건물주변녹지, 아파트 및 학교 녹지, 친수공간조성녹지 등이다.

1인당 병·의원 수는 각 구의 전체 병·의원수를 각 구의 전체 인구수로 나눈 값이다. 병·의원은 의료법 제 3조에 의거한 의료기관으로써 서울시 의료기관으로 등록되어있는 곳들을 말한다. 종합병원, 병원, 의원, 특수병원, 치과병원, 조산소, 한방병원 등이며 2010년부터는 의료법 제 3조에 의거하여 부속 병·의원도 포함된다. 특수병원으로는 정신병원, 결핵병원, 한센병원, 노인전문병원도 포함되지만 군인병원은 제외된다. 병원 및 의원 수에 관한 자료는 2006년부터 자료구축단위가 구에서 동으로 세분화되어 보다 자세한 자료를 얻을 수 있다.

소득이 없는 노인비율은 연금, 월급, 이자 소득, 임대 소득 및 용돈을 포함한 정기·비정기적 여부를 불문한 소득이 전혀 없는 노인수의 비율을 말한다. 이는 각 구의 65세 이상 인구수를 각 구의 소득이 없는 노인수로 나누어 나타낸 값이다.

주간인구지수는 주간인구수를 상주인구수로 나눈 값이다. 상주인구는 한 지역에 거주

하는 인구, 즉 야간인구를 말하며 이에는 일반가구 및 집단가구가 포함된다. 집단가구는 6인 이상의 비 혈연가구, 기숙사, 사회시설 등의 인구가 포함된다. 주간인구는 상주인구와 대칭되는 개념으로 특정 지역에 주간에만 현존하는 인구이다. 상주인구와 주간인구 계산에 이용되는 통근·통학 인구는 일반가구 및 집단가구의 12세 이상 인구를 대상으로 한다. 단, 군인 등 특별조사대상 집단이나 외국인은 제외된다.

환경오염물질 배출시설 수는 대기오염물질 배출시설로 한정하였다. 종속변수가 호흡기계 및 심혈관계 질환으로 인한 사망자 수이므로 해당 질환의 발병 및 악화 그리고 사망에 이르는 과정에 관련이 있는 환경오염물질은 대기오염물질이 대표적이기 때문이다. 조용성(2003)은 대기오염개선의 사회적 편익을 추정함에 있어서 만성호흡기 질환 사망률 감소효과를 중심으로 살펴보았다. 본 연구에서 대기오염물질은 가스, 먼지, 매연, 악취 등을 포함한다. 배출시설은 모두 5가지로 분류되는데, 1종시설은 대기오염물질 발생량의 합계가 연간 80톤 이상인 사업장을 말하며, 2종은 연간 20톤 이상에서 80톤 미만, 3종은 연간 10톤에서 20톤 미만, 4종은 연간 2톤에서 10톤 미만, 5종은 연간 5톤 미만인 사업장을 말한다. 한편, 65세 이상 독거노인 비율은 각 자치구의 65세 이상 혼자 살고 있는 노인 수를 각 구의 전체 65세 이상 인구수로 나눈 값을 나타낸다.

표 1. 패널 분석 시, 이용되는 변수의 설명

구분	변수 이름	변수 설명
종속변수	여름철 65세 이상 호흡기계 및 심혈관계 질환 사망자 비율	여름철 65세 이상 호흡기계 및 심혈관계 질환 사망자수 / 65세 이상 인구수
설명변수	열지수	기온과 습도를 이용하여 계산한 기온지수
	1인당 녹지 면적	전체 녹지 면적 / 전체 인구수
	1인당 병·의원 수	전체 병원 수 / 전체 인구수
	소득이 없는 노인비율	노인의 소득 즉, 연금, 월급, 이자 소득, 임대 소득 및 용돈을 포함한 정기·비정기적 여부를 불문한 소득이 전혀 없는 65세 이상 인구수 / 65세 이상 인구수
	주간인구지수	주간인구 / 상주인구
	환경오염(대기오염)물질 배출 시설 수	대기오염물질(가스·먼지·매연·악취)배출 시설 수 / 전체 인구수
	65세 이상 독거노인비율	65세 이상 독거노인 수 / 65세 이상 인구수

나. 기초 통계량

1) 서울 전체

연구대상 기간인 2000년부터 2011년까지의 여름철(6월, 7월, 8월) 65세 이상의 호흡기계 및 심혈관계 질환으로 인한 사망자수와 일 최고온도가 30도 이상이었던 날의 빈도를 [그림 2]에서 비교하여 보았다. 더운 날의 빈도가 높을수록 사망자 수의 증가에 정(+)의 영향을 미칠 수 있는 것을 알 수 있다. 일 최고온도 즉, 한낮의 기온이 30도를 초과하고 일정 시간 지속되는 경우를 무더위라고 부른다. 기상청에서는 6월부터 9월까지의 기간동안 낮기온이 일정 수준을 넘어서는 경우에는 폭염특보를 발표한다. 일 최고기온이 33°C 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 폭염주의보를 발표하고, 일 최고기온이 35°C 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 폭염경보를 발표한다. 과거 2011년까지는 폭염특보기준이 상대습도의 개념이 포함된 열지수로 폭염의 여부를 확인하였다. 일 최고 열지수가 32°C 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 폭염주의보를 발표하고, 일 최고 열지수가 41°C 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 폭염경보를 발표하였다.

[그림 3]은 여름철 서울지역에서의 평균 열지수와 65세 이상 호흡기계 및 심혈관계 질환 사망자수를 비교하여 보았다. 열지수는 [그림 2]에서의 일 최고 기온의 빈도와 비슷한 패턴을 보이기도 하지만 폭염의 강도를 더욱 뚜렷하게 보여주고 있는 것을 알 수 있다.

그림 2. 여름철 서울지역, 65세 이상 호흡기계 및 심혈관계 질환 사망자수와 일 최고온도가 30도 이상인 날의 빈도

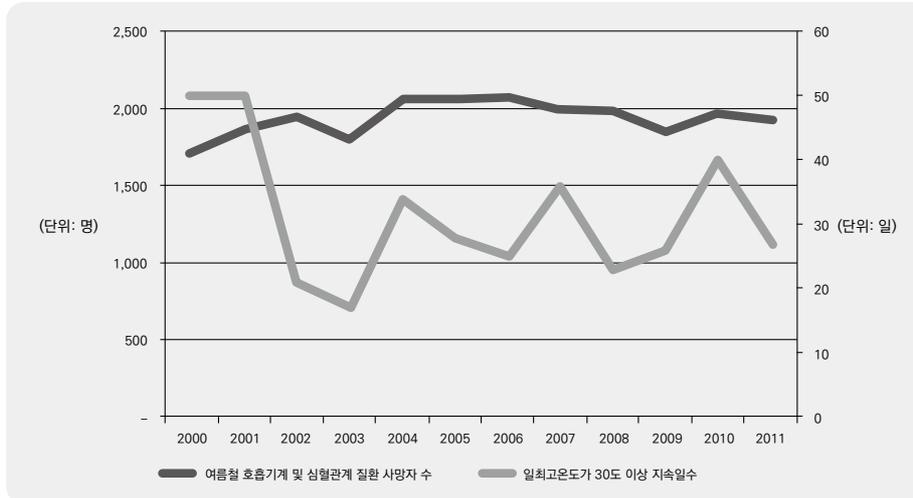
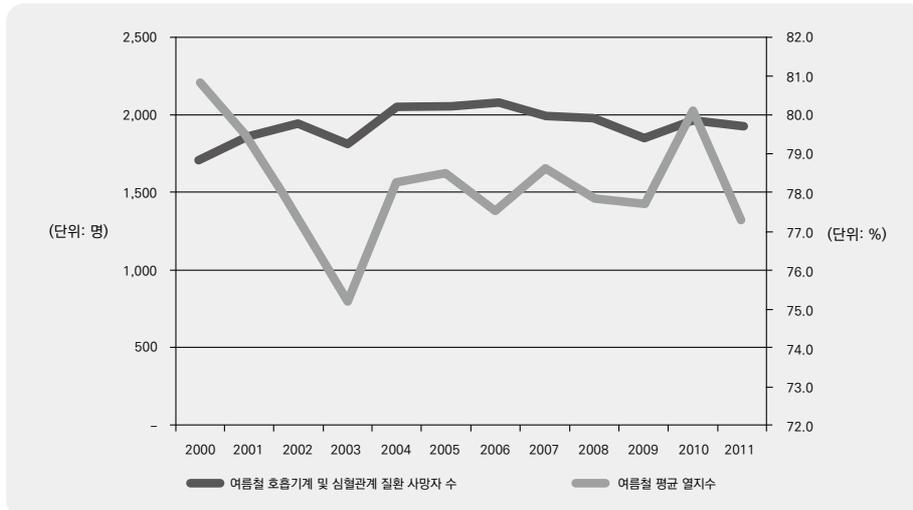
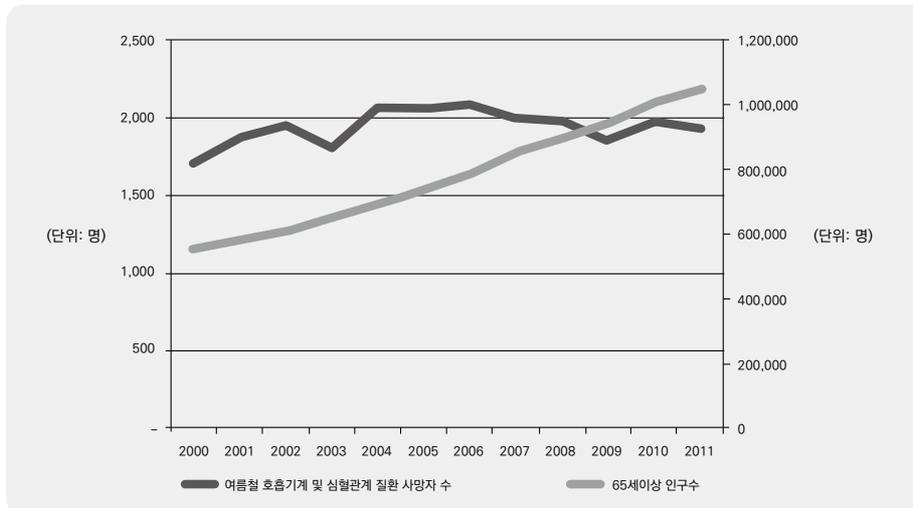


그림 3. 여름철 서울지역, 65세 이상 호흡기계 및 심혈관계 질환 사망자수와 평균 열지수



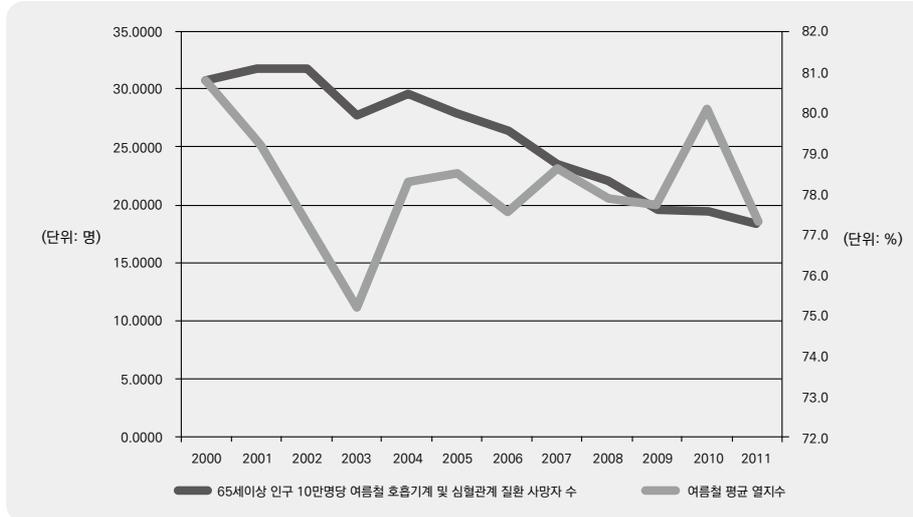
여름철 서울지역의 65세 이상 호흡기계 및 심혈관계 질환 사망자를 대상으로 분석을 할 때 인구의 고령화 현상, 즉 65세 인구 증가의 정도를 고려해야 할 필요가 있다. 가속화되는 인구 고령화 현상이 고령층의 사망에 주는 영향에 대해서도 고려해야 하기 때문이다. [그림 4]에서 여름철 서울지역에서의 65세 이상 호흡기계 및 심혈관계 질환 사망자수와 65세 이상 인구수를 비교하여 보았다. 본 연구의 자료에서도 인구의 고령화 현상이 가속화되고 있는 것을 볼 수 있다.

그림 4. 여름철 서울지역, 65세 이상 호흡기계 및 심혈관계 질환 사망자수와 65세 이상 인구수



이와 같이 인구의 고령화 현상이 가속화되는 것을 고려하여 본 연구의 종속변수로 여름철 서울지역에서의 65세 이상 호흡기계 및 심혈관계 질환으로 인한 사망자수를 65세 이상 인구수로 나눈 값을 활용하였다. 이 값을 인구 10만명 당으로 환산하여 [그림 5]에서 본 연구의 주요 설명변수인 여름철 서울지역의 평균 열지수와 비교하여 보았다. 고령인구수가 사망자수보다 더 빠르게 증가하고 있기 때문에 시간이 흐를수록 감소하는 형태로 보인다.

그림 5. 여름철 서울지역, 65세 이상 인구 10만명당 호흡기계 및 심혈관계 질환 사망자수와 평균 열지수



2) 서울의 각 25개구

앞서 살펴 본 서울시 전체의 자료 흐름을 <표 2>에서는 각 구별로 나누어 패널 분석 시에 이용되는 변수들의 기초 통계량을 살펴보았다. 연구기간인 2000년부터 2011년까지의 평균값과 표준편차를 제시하였다. 이를 통해 같은 서울 지역 내에서도 각 지역구들이 변수마다 평균값이 다른 것을 통해 각 지역구별로 각각 가지고 있는 특징들이 다르다는 것을 알 수 있다. 특히 노원구, 중구, 강남구는 모든 변수들에서 큰 차이를 보였다.

표 2. 패널 분석 시, 이용되는 변수의 지역별 기초 통계량

지역	사망률 (mortality)		열지수 (HI)		일인당 녹지비율 (green)		일인당 병·의원수 (hospital)	
	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차
서울시	0.26	0.06	78.47	1.92	0.83	0.58	0.14	0.07
강남	0.26	0.07	79.39	1.43	1.48	0.73	0.33	0.06
강동	0.28	0.05	78.96	1.23	0.56	0.16	0.12	0.02
강북	0.26	0.06	79.88	1.77	0.20	0.08	0.11	0.01
강서	0.28	0.05	77.51	0.99	1.27	0.40	0.10	0.01
관악	0.25	0.06	76.46	1.64	0.24	0.04	0.11	0.01
광진	0.24	0.08	79.61	1.60	0.54	0.28	0.11	0.02
구로	0.28	0.06	77.80	1.59	0.58	0.17	0.09	0.02
금천	0.26	0.03	77.79	1.60	0.85	0.08	0.09	0.01
노원	0.29	0.05	77.10	0.94	0.71	0.21	0.09	0.01
도봉	0.25	0.07	77.43	1.34	0.38	0.11	0.08	0.01
동대문	0.25	0.05	79.86	1.46	0.50	0.33	0.16	0.01
동작	0.24	0.05	77.34	1.35	0.47	0.06	0.11	0.01
마포	0.25	0.04	79.22	1.55	2.17	0.20	0.13	0.02
서대문	0.25	0.05	76.46	1.11	0.59	0.33	0.12	0.01
서초	0.24	0.07	80.02	1.39	2.24	0.48	0.21	0.03
성동	0.26	0.05	79.09	1.52	0.81	0.21	0.10	0.01
성북	0.24	0.06	77.43	1.22	0.40	0.12	0.10	0.01
송파	0.24	0.05	79.70	1.25	1.07	0.11	0.12	0.02
양천	0.27	0.05	80.15	1.56	0.72	0.12	0.10	0.01
영등포	0.25	0.05	80.00	1.47	1.34	0.12	0.14	0.01
용산	0.24	0.05	79.83	1.47	0.82	0.35	0.11	0.01
은평	0.26	0.05	77.61	1.11	0.33	0.12	0.10	0.01
종로	0.26	0.07	77.62	1.43	1.04	0.16	0.26	0.01
중구	0.26	0.06	75.92	1.16	0.96	0.25	0.36	0.02
중랑	0.27	0.05	79.55	1.49	0.59	0.29	0.10	0.01

표 2. 패널 분석 시, 이용되는 변수의 지역별 기초 통계량(계속)

지역	소득이 없는 노인비율 (no income)		주간인구지수 (density)		대기오염물질 배출 시설 수 (air)		독거노인비율 (alone)	
	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차
서울시	26.98	13.53	1.16	0.56	42	51.05	0.18	0.05
강남	28.43	14.94	1.76	0.08	32	4.68	0.18	0.03
강동	30.20	12.78	0.84	0.01	24	7.62	0.16	0.03
강북	34.59	16.79	0.81	0.02	15	1.98	0.19	0.04
강서	23.41	13.19	0.89	0.04	90	6.50	0.20	0.03
관악	27.58	13.23	0.84	0.03	7	2.43	0.19	0.03
광진	31.32	15.24	0.93	0.01	14	2.62	0.16	0.05
구로	27.96	13.34	1.02	0.01	100	10.81	0.16	0.03
금천	19.78	12.06	0.98	0.10	152	35.62	0.20	0.05
노원	25.93	8.39	0.86	0.01	24	4.82	0.20	0.02
도봉	28.95	10.78	0.79	0.02	28	1.53	0.13	0.02
동대문	20.76	10.80	1.20	0.09	18	1.75	0.21	0.04
동작	31.13	16.42	0.91	0.01	5	1.50	0.16	0.04
마포	26.22	13.57	1.07	0.03	33	3.56	0.20	0.02
서대문	23.65	9.33	1.10	0.02	4	1.69	0.19	0.03
서초	29.30	10.89	1.32	0.10	32	2.68	0.14	0.04
성동	33.98	12.54	1.02	0.02	182	14.63	0.19	0.05
성북	32.58	8.75	0.97	0.01	9	3.29	0.17	0.03
송파	34.66	9.83	0.96	0.01	64	7.54	0.15	0.04
양천	21.59	10.23	0.83	0.01	16	2.72	0.16	0.04
영등포	22.30	13.21	1.36	0.02	150	4.01	0.17	0.04
용산	20.58	7.45	1.31	0.03	10	1.48	0.17	0.04
은평	23.78	13.62	0.82	0.02	8	0.64	0.17	0.04
종로	26.28	16.07	2.34	0.16	7	1.18	0.22	0.04
중구	22.26	16.77	3.27	0.30	12	3.00	0.25	0.03
중랑	27.29	12.47	0.81	0.02	26	3.28	0.18	0.05

3. 분석 모형

본 연구에서는 서울시 25개구의 연간 기온 및 사망자료를 이용한 패널분석을 통해 65세 이상 인구 중, 호흡기계 및 심혈관계 질환으로 사망한 사람의 비율과 각 지역자치구의 여름철 평균 열지수의 관계를 분석하였다. 패널분석모형으로는 서울의 총 25개구를 대상으로 하여 지역 더미(dummy)변수와 시간 더미 변수를 사용하는 고정효과모형(fixed effect model)²⁾을 사용하였다. 패널분석을 위해 활용된 기본 회귀모형은 다음 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} \ln mortality_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \ln HI_{it} + \beta_2 \ln GREEN_{it} + \beta_3 \ln HOSPITAL_{it} & (2) \\ & + \beta_4 \ln NOINCOME_{it} + \beta_5 \ln DENSITY_{it} + \beta_6 \ln AIR_{it} \\ & + \beta_7 \ln ALONE_{it} + \epsilon_i + \lambda_t + \eta_{it} \end{aligned}$$

여기서 i 는 1부터 25까지의 서울시 각 자치구를 나타내고, t 는 2000년부터 2011년까지의 각 연도를 의미하며, 오차항은 개별효과항(ϵ_i)과 시간효과항(λ_t) 및 순수오차항(η_{it})의 합으로 나타낸다.

위 모형 (2)에서 종속변수는 사망자료와 지역자료를 이용한 여름철 65세 이상 인구수 대비 사망원인이 호흡기계 및 심혈관계 질환인 65세 이상 사망자 비율(mortality)이며, 설명변수로는 기상자료를 이용하여 계산한 열지수(HI)와 지역자료를 이용한 1인당 녹지면적(GREEN), 1인당 병·의원 수(HOSPITAL), 소득이 없는 노인비율(NOINCOME), 주간인구지수(DENSITY), 대기오염물질 배출 시설 수(AIR), 마지막으로 65세 이상 인구 대비 65세 이상 독거노인비율(ALONE)을 활용하였다. 또한 분석에서는 분포상의 특징을 고려하여 모형 (2)와 같이 모든 변수들에 로그변환을 하여 사용하였다.

2) 하우스만 검정 (Hausman test)결과 P-value 가 0.01 보다 작게 나오고, chi-square 검정통계량이 84.71로 나타난 바, 본 연구에서는 이러한 하우스만 검정 결과를 통해 그룹별 고정효과가 설명변수와 의 상관관계가 큰 고정효과모형을 선택하였다.

IV. 분석 결과

전술하였듯이, 본 논문에서는 서울 25개구 지역의 횡단면자료와 2000년부터 2011년 기간 동안의 시계열 자료를 결합하여 얻은 변수 당 총 300개의 관찰치를 이용하였다.

본 연구에서는 패널분석을 총 세 번에 걸쳐서 나누어 실시하였다. 우선 처음에는 서울 25개구 전체를 대상으로 패널 분석을 하였다. 그리고 이후 열지수와 사망률의 상관관계에 따라 두 그룹으로 나누어 패널 분석을 각기 시행하였다. 첫 번째 그룹은 열지수와 사망률의 상관계수가 양수인 나머지 17개 구 중에서 0.3 이상의 높은 상관계수를 보이는 8개구를 대상으로 패널분석을 하였고, 두 번째 그룹은 열지수와 사망률의 상관계수가 음수인 서울 8개구를 대상으로 분석하였다. 상관계수가 음수인 지역과 강한 양수를 나타내는 지역을 분리하여 분석을 수행한 것은 일종의 민감도분석을 수행하기 위한 목적으로 이루어졌다. 즉 본 논문에서는 이들 지역을 따로 분리하여 얻은 분석결과와 전체 지역을 대상으로 분석한 결과를 비교함으로써 열지수가 사망률에 미치는 영향이 분석대상 지역에 따라 어떻게 변하는지를 고찰하고자 하였다.

1. 서울 25개 구 전체를 대상으로 한 분석결과

<표 3>은 서울 25개구 전체를 대상으로 분석한 결과를 나타낸다. 분석결과를 보면, 전체 25개구를 대상으로 한 패널분석 결과, 열지수는 65세 이상 전체 인구 중에서 심혈관계 및 호흡기계 질환으로 사망한 사람의 비를 나타내는 사망률에 유의하게 정(+)의 방향으로 영향을 미치고 있었다. 이러한 결과는 앞서 언급한대로 기후변화로 인한 폭염 현상이 65세 이상 고령 인구계층 같은 취약계층의 건강수준에 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 나타낸다.

또한 대기오염 배출시설 수, 소득이 없는 노인의 비율, 독거노인의 비율도 유의하게 정(+)의 방향으로 영향을 미친 바, 이러한 결과는 열지수, 대기오염 배출시설 수, 소득이 없는 노인의 비율, 독거노인의 비율이 높을수록 심혈관계 질환 및 호흡기계 질환으로 인한 사망자의 수가 증가할 가능성이 있다는 의미를 가진다.

반면 1인당 녹지면적과 1인당 병·의원수는 사망률에 음(-)의 방향으로 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 녹지 면적이 넓고 병·의원 등의 지역 인프라가 잘 갖추어져

있다면 폭염현상이 65세 이상 고령 인구계층의 건강수준에 미칠 수 있는 부정적인 효과를 다소 상쇄시킬 수 있는 가능성이 존재함을 의미한다.

표 3. 서울 전체 25개구 패널 분석 결과

설명 변수	pooled OLS (t-value)	고정효과모형 (t-value)
절 편	-6.396598*** (-26.27053)	-18.76846*** (-9.432712)
열지수	0.142498 (0.270453)	1.191495*** (2.700342)
1인당 녹지 면적	-0.096776*** (-4.560667)	-0.186262*** (-7.277682)
1인당 병·의원 수	-0.003768 (-0.098671)	-1.068990*** (-11.44137)
월 평균 소득이 없는 노인비율	0.057487*** (3.669162)	0.017661* (1.869452)
주간인구지수	-0.180464 (-0.375267)	-0.287800 (-0.972776)
환경오염(대기오염)물질 배출 시설 수	0.048711*** (3.676388)	0.099560** (2.047317)
65세 이상 독거노인비율	0.052670 (0.874604)	0.074999** (2.084684)
R-squared	0.179762	0.734998
Adjusted R-squared	0.158095	0.700911
F-statistic	8.296683***	21.56218***

주: *는 10%, **는 5%, ***는 1% 내에서 유의함. 괄호안의 수치는 t-값을 나타냄.

2. 열지수와 사망률의 상관관계가 양수인 서울 8개구를 대상으로 한 분석결과

<표 4>는 열지수와 65세 이상 인구 수 대비 같은 연령대 인구 중 호흡기계 및 심혈관계 질환으로 사망한 사망자 수의 상관관계가 양수이면서 그 계수 값이 0.3 이상으로 상대적으로 높게 나타나는 서울의 8개 지역을 대상으로 분석한 결과를 나타낸다. 여기서 8개 지역구는 중구, 용산, 성동, 영등포, 관악, 서초, 송파, 강동이다.

<표 4>를 보면 열지수가 사망률에 미치는 영향을 나타내는 계수값이 앞서 전체 25개구를 대상으로 분석하여 얻은 계수값보다 더 강한 양(+)의 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 그렇지만 앞서 전체 25개구를 대상으로 분석하여 얻은 <표 2>의 결과와 비교했을 때, 비록 1인당 병·의원수가 미치는 영향은 유의하지 않았지만 1인당 녹지비율의 경우는 여전히 통계적으로 유의한 영향을 나타내는 것으로 알 수 있어 사망률 감소에 녹지비율이 미치는 영향이 여전히 존재함을 알 수 있다.

표 4. 열지수와 사망률의 상관계수가 양수인 8개구 패널 분석 결과

설명 변수	pooled OLS (t-value)	고정효과모형 (t-value)
절편	-16.06324*** (-3.946380)	-18.47206*** (-5.018987)
열지수	1.989085** (2.046537)	2.576681*** (2.874146)
1인당 녹지 면적	-0.066398** (-2.432484)	-0.088029*** (-3.005972)
1인당 병·의원 수	-0.120496 (-1.05539)	-0.101201 (-0.871989)
소득이 없는 노인비율	0.159221*** (4.217567)	0.150535*** (4.632672)
주간인구지수	0.231468** (2.288656)	0.241016** (2.352621)
환경오염(대기오염)물질 배출 시설 수	-0.025649 (-0.190067)	0.010270 (0.082427)
65세 이상 독거노인비율	0.026776 (0.275440)	0.008323 (0.092368)
R-squared	0.304846	0.368965
Adjusted R-squared	0.244020	0.313749
F-statistic	5.011776***	6.682258***

주: *는 10%, **는 5%, ***는 1% 내에서 유의함. 괄호안의 수치는 t-값을 나타냄.

3. 열지수와 사망률의 상관계수가 음수인 서울 8개구를 대상으로 한 분석결과

아래 <표 5>는 열지수와 사망률의 상관계수가 음수를 나타낸 서울시 8개구 즉 종로, 광진, 중랑, 도봉, 노원, 서대문, 강서, 금천구 지역의 2000년부터 2011년까지 과거 12년 동안의 총 96개의 관찰치를 이용하여 얻은 패널분석 결과이다. 이들 지역은 <표 2>에서 제시한 지역별 기초통계량과 비교해 볼 때, 상대적으로 주간인구지수가 낮고, 대기오염물질 배출 시설 수가 적게 분포하는 등 베드타운으로서의 성격을 가지고 있다고 할 수 있다. 비교적 낮 시간의 활동이 적은 노년층이 많이 분포하는 지역이라 볼 수 있다.

표 5. 열지수와 사망률의 상관계수가 음수인 8개구 패널 분석 결과

설명 변수	pooled OLS (t-value)	고정효과모형 (t-value)
절 편	-0.990265 (-0.171711)	0.088082 (0.017136)
열지수	-1.915697* (-1.718763)	-2.110359** (-2.133553)
1인당 녹지 면적	-0.193329*** (-3.007218)	-0.210638*** (-3.802697)
1인당 병·의원 수	-0.439780 (-1.643269)	-0.405955* (-1.734499)
소득이 없는 노인비율	0.026477 (1.221554)	0.028062 (1.466342)
주간인구지수	0.574198** (2.450357)	0.471218** (2.248159)
환경오염(대기오염)물질 배출 시설 수	0.064469** (2.245297)	0.066599*** (3.057278)
65세 이상 독거노인비율	0.050600 (0.543669)	0.004016 (0.046844)
R-squared	0.350938	0.430958
Adjusted R-squared	0.294145	0.381166
F-statistic	6.179261***	8.655293***

주: *는 10%, **는 5%, ***는 1% 내에서 유의함. 괄호안의 수치는 t-값을 나타냄.

분석 결과, 이들 지역의 경우 열지수가 사망률에 미친 효과가 유의하게 음수로 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 앞서 분석한 전체 지역을 대상으로 한 분석결과와 다소 상이한 것으로 간주된다. 그렇지만 1인당 녹지면적과 1인당 병·의원수는 여전히 유의하게 사망률을 감소시키는 효과가 있는 것으로 나타났다. 아울러 이는 전체 지역을 대상으로 분석한 결과를 나타내는 <표 3>과 비교해보았을 때, 이들 변수의 효과가 더욱 큰 계수 값으로 음(-)의 방향을 나타내고 있음을 고려할 때, 이러한 시설 확충이 사망률 감소에 미치는 영향을 더욱 뚜렷하게 나타내고 있다.

4. 분석결과 종합

사망원인이 호흡기계 및 심혈관계 질환인 65세 이상의 고령층에 대한 열지수의 영향을 살펴 본 결과, 전반적으로 열지수가 사망률에 유의한 정(+)의 효과를 나타냈다. 열지수의 영향이 유의하게 음(-)의 효과를 나타내는 8개의 지역자치구도 있었지만 이 그룹을 포함한 전체 25개구에 대한 분석에서 유의하게 정(+)의 효과를 나타낸 것으로 보아 전체적으로는 폭염현상이 사망률 증가에 유의한 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

또한 설명변수 중 1인당 녹지면적은 모든 그룹에서 유의한 결과를 나타낸 반면, 1인당 병·의원 수는 열지수와 사망률이 양수인 8개구의 그룹에서 통계적으로 유의하지 않았다. 이를 고려할 때, 폭염으로 인한 사망률을 낮추기 위한 정책으로 보다 예방적 차원의 정책이 효과적일 수 있음을 알 수 있다

V. 결론

본 연구는 2000년부터 2011년까지 여름철(6-8월)기간 동안 서울특별시의 25개구를 대상으로 여름철 열지수와 취약계층의 사망률 간 관계를 살펴보았다. 본 연구는 기후변화로 인한 고온의 영향이 취약계층에 어떠한 영향을 주는지 알아보는데 있어서 서울시의 상세한 자료를 취합하고 분류하여 패널분석을 수행하였다. 그 결과 고온에 의한 건강 및 사망에 미치는 영향에 대한 기전연구와 더불어 사회적 요인도 함께 고려할 수 있었다.

서울의 총 25개의 구별 지역을 대상으로 2000년부터 2011년까지 과거 12년의 시계열 자료를 바탕으로 패널분석을 수행한 결과, 열지수가 여름철 취약계층의 사망률에 통계적으로 유의하게 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 즉, 이는 열지수가 증가할 때 여름철에 호흡기계 및 심혈관계 질환으로 인한 65세 이상의 사망자가 증가하고 있음을 의미한다. 또한 열지수와 사망률의 상관관계에 따라 그룹을 나누어 분석하였다. 열지수와 취약계층의 사망률 간에 상관관계가 0.3 이상으로 상대적으로 강한 양(+)의 값을 나타내는 서울의 8개구(중구, 용산, 성동, 영등포, 관악, 서초, 송파, 강동)를 대상으로 분석한 결과, 예상대로 전체 25개구를 대상으로 했던 패널분석의 결과보다 더 높은 양(+)의 계수 값을 나타낸 바, 이는 사망률 증가에 열지수가 더 큰 영향을 보이고 있음을 알 수 있었다. 본 연구에서 흥미 있는 그룹분석은 열지수와 취약계층의 사망률 간에 음(-)의 상관관계가 나타나는 서울의 8개구(종로, 광진, 중랑, 도봉, 노원, 서대문, 강서, 금천)를 대상으로 한 분석이었다. 연구의 가설은 전체 구별분석 모두 열지수와 사망률 간의 관계가 양의 상관관계를 가질 것이라고 예상했지만, 음의 상관관계를 가지는 그룹을 대상으로 한 분석에서는 예상과 다른 결과가 도출되었다.

설명변수 중 1인당 녹지면적에 대한 변수는 모든 그룹에서 유의한 결과를 나타내었다. 반면 1인당 병·의원 수에 대해서는 서울 25개구 전체에 대한 분석과 열지수와 사망률의 상관관계가 음수인 8개구를 대상으로 한 분석에서는 유의하게 나왔지만 열지수와 사망률의 상관관계가 양수인 8개구를 대상으로 하였을 때는 유의하지 않았다. 특정한 이 두 변수를 비교해 보았을 때, 사망에 대한 예방차원에서의 정책이 보다 효과적일 수 있다는 것을 알 수 있다. 구별 녹지비율을 단계적으로 올려나가는 등 무더위에 대비할 수 있는 정책이 마련된다면 녹지는 무더위를 피할 수 있는 쉼터가 되고, 주변 환경의 기온을 떨어뜨려주고, 고온으로 인해 공기순환의 흐름이 방해되어 대기오염 물질이 축적될 수 있는 대기환경을 개선해주는 등 폭염대비에 많은 도움이 될 것이다.

본 연구에 이용된 사망자료, 기상자료, 지역자료는 서울시의 각 구별 자료였다. 이러한 자료들을 취합하여 서울의 각 구 단위까지 분류해내어 다양한 분석을 하였다는데 본 연구가 다른 연구들과 차별성을 가지고 의미가 있는 부분이라 할 수 있다. 사망 자료는 통계청의 마이크로 데이터를 이용하여 사망자의 보다 자세한 정보를 이용할 수 있었다. 본 연구에서는 사망자의 주소지, 사망원인, 사망 당시 나이 등을 바탕으로 분류하였지만 사망자의 다른 정보들을 이용하여 지역적·외부 환경적 요인 외에 개인적인 요인

들을 고려한 연구를 해본다면 또 다른 의미 있는 연구가 나올 수 있을 것이라 기대한다. 지역자료는 2013년 3월 서울시청에서 '서울시 열린 데이터 광장'을 서울시청 홈페이지에 개설하여 서울시와 관련하여 구별·연도별 등 자세한 자료를 공개하고 있다. 최근 공개 후 이용을 권장하고 있으나 아직 이를 활용한 선행연구가 없다는데 의미가 있다. 또한 기상자료는 각 구별로 기온 등 기후요소를 측정하는 기상관측소가 2000년 처음 설치된 이후의 축적된 자료를 이용하였다. 이전에는 서울 기상청에서 측정하는 대푯값을 서울지역의 기후요소로 이용하여 분석할 수밖에 없었다. 이러한 자료의 제약을 이유로 선행연구에서는 주로 광역시 별 분석이 많았다. 하지만 본 연구에서는 기후변화의 최근 흐름을 각 구별로 세분화하여 시계열 자료를 살펴보았다는데 의미가 있다. 본 연구의 연구기간인 2000년부터 2011까지 각 구별 습도자료는 서울의 대푯값을 이용하였다는 것이 아쉬운 점이다. 습도센서는 설치비용이 비싸서 아직 서울시에도 전체 구별로 설치되어있지 않다. 추후에 설치가 다 되어 자료가 축적된다면 보다 더 풍성한 연구가 될 수 있을 것이라 기대한다.

이나영은 중앙대학교에서 경제학사, 고려대학교에서 경제학 석사학위를 받았으며, 주요 관심분야는 환경경제, 기후변화이다.

(E-mail: nylee0117@naver.com)

조용성은 고려대학교에서 경제학 학석사 학위를, 미국 미네소타대학교에서 응용경제학 박사학위를 받았으며, 현재 고려대학교 식품자원경제학과 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 비시장 재화의 가치평가, 온실가스 감축정책이며, 현재 기후변화의 경제적 효과를 연구하고 있다.

(E-mail: yscho@korea.ac.kr)

임재영은 서울대학교에서 경제학사, 보건학 석사학위를, 미국 노스캐롤라이나대학교에서 경제학 박사학위를 받았으며, 현재 고려대학교 식품자원경제학과 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 보건경제, 보건정책이며, 현재 의료기술 경제적 효과를 연구하고 있다.

(E-mail: jylimecon@korea.ac.kr)

참고문헌

- 김소연(2004). 기후변화로 인한 여름철 폭서현상이 사망률에 미치는 영향. 박사학위논문, 의학과, 아주대학교, 수원.
- 이대근, 변재영, 최영진, 김규광(2010). 인지온도를 이용한 여름철 폭염 스트레스와 일 사망률 증가와의 관련성 연구. *한국대기환경학회지*, 26(3), pp.253-264.
- 신호성, 백현주, 임종한, 이수형, 서성우, 임유라 외(2012). 사회·보건 분야 기후변화 취약성 평가 및 적응 역량 강화(3차년도). 서울: 경제·인문사회연구회.
- 장재연(2009). 기후변화와 건강. *환경과 생명*, 59(2009), pp.127-138.
- 전형진(2011). 기후변화가 취약 인구집단의 건강에 미치는 영향. 박사학위논문, 보건학과, 한양대학교, 서울.
- 조용성(2003). 대기오염개선의 사회적 편익 추정: 만성호흡기 질환 사망률 감소효과를 중심으로. *환경정책*, 11(1), pp.29-53.
- 질병관리본부(2012). 2012 폭염건강피해백서. 충북: 질병관리본부.
- 최광용, 최종남, 권호장(2005). 높은 체감온도가 서울의 여름철 질병 사망자 증가에 미치는 영향. *예방의학회지*, 38(3), pp.283-290.
- 환경부(2003). 한반도 기후변화 영향평가 및 적응 프로그램마련-기후변화로 인한 건강 피해 가능성 조사 및 피해 저감정책 방향에 관한 연구. 세종: 환경부.
- Barreca, A. I. (2012). Climate change, humidity, and mortality in the United States. *Journal of Environmental Economics and Management*, 63(1), pp.19-34.
- Basu, R., Samet, J. M. (2002). Relation between Elevated Ambient Temperature And Mortality: A Review of the Epidemiologic Evidence. *Epidemiologic Reviews*, 24(2), pp.190-202.
- Curriero, F. C., Heiner, K. S., Samet, J. M., Zeger, S. L., Strug, L., Patz, J. A. (2002). Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States. *American journal of epidemiology*, 155(1), pp.80-87.
- Diaz, J., Jordan, A., Garcia, R., Lopez, C., Alberdin, J., Hernandez, E., et al. (2002). Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health Of the elderly. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 75(3), pp.163-170.

Intergovernmental Panel on Climate Change(2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.

Patz, J. A., McGeehin, M. A., Bernard, S. M., Ebi, K. M., Epstein, P. R., Grambsch, A., et al. (2000). The Potential Health Impacts of Climate Variability and Change for the United States: executive summary of the report of the health sector of the US National Assessment. *Environmental Health Perspectives*. 108(4), pp.367-376.

Rothfusz, Lans P., NWS Southern Region Headquarters (1990). *The heat index equation (or, more than you ever wanted to know about heat index)*. Fort Worth, Texas, USA: National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, Office of Meteorology.

World Health Organization (2008). *Protecting health from climate change: World Health Day 2008*. Geneva, Switzerland: World Health Organization (WHO).

Effect of Climate Change on Mortality Rate Analysis of Vulnerable Populations

Lee, Na Young
(Korea University)

Cho, Yongsung
(Korea University)

Lim, Jae Young
(Korea University)

This study aimed at the relationship between Heat Index and mortality changes in 25 gu in Seoul from 2000 to 2011 in summer (June, July, August) by using the regional data, the weather data and the mortality data. The Heat Index was calculated via the weather data from the Climate Change Information Center of Seoul Meteorological Administration and each of the local constituencies observed Meteorological Station installed since 2000 in Seoul. In addition, using the detailed raw data on death from the micro-data of the National Statistical Office which includes the social and economic characteristics. The cause of death is limited to respiratory and cardiovascular disease which might be regarded as susceptible to high temperature and the sample is restricted to the age of 65 above. The results of the Panel analysis say that the Heat Index induces the mortality of vulnerable groups to increase, and additionally the elderly people living alone were analyzed to be vulnerable to extreme hot weather. On the other hand, it shows that the number of hospitals and green coverage area was effective in reducing mortality.

Keywords: Climate Change, Heat Index, Mortality of the Age of 65 Above