

폭염 발생에 따른 취약계층의 사망률 변화와 사회적 비용 추정: 7대 광역시의 65세 이상 고령층을 중심으로*

신동희¹⁾ · 이나영²⁾ · 조용성^{3)**}

Analyzing Mortality Rate and Social Costs of Climate Vulnerable Groups caused by Heat Waves in Korea

Dong-Hee Shin¹⁾ · Na-Young Lee²⁾ · Yongsung Cho^{3)**}

- 1) 고려대학교 기후환경학과 석사졸업(Dept. of Climate Environment, Korea University)
- 2) 고려대학교 식품자원경제학과 박사과정(Dept. of Food and Resource Economics, Korea University)
- 3) 고려대학교 식품자원경제학과 교수(Dept. of Food and Resource Economics, Korea University)

제출: 2014년 9월 22일 수정: 2015년 2월 23일 승인: 2015년 3월 18일

국문 요약

폭염으로 인한 지역별 65세 이상 심혈관계, 호흡기계 초과 사망자 발생의 임계온도와 초과사망자 증가율을 도출하였다. 피해를 경제적으로 계량화하기 위해 통계적 생명가치 방법을 활용하였으며 이중양분선택형 조건부가치평가법을 이용하여 응답자들의 71세 이후 10년간의 삶에 대한 WTP를 측정한 결과, 기후변화로 인한 미래의 사망가능성을 1/1,000로 감소시키는 것에 대한 통계적 생명가치는 연간 약 4억 8천만 원으로 추정되었다. 2015~60년 동안 7개 대도시 지역에서 발생할 것으로 예상되는 폭염에 따른 65세 이상 연령층의 조기 사망자수는 최소 14만 3천 명에서 최대 22만 2천 명으로 추정되었고, 그에 따른 사회적 비용은 최소 약 69조 원에서 최대 약 106조 원에 이를 것으로 추산되었다.

■ 주제어 ■ 양분선택형 조건부가치평가법, 폭염, 조기 사망자, 통계적 생명가치

Abstract

The critical temperature and the rate of increase in excess death caused by heat waves in the age group of 65 years and older are derived. The value of statistical life method was used to quantify economic damages, and the willingness to pay after 71 years of age for 10 years was measured based on the dichotomous choice contingent valuation method survey. The result shows about KRW 481,110,000 is required annually to reduce the possibility of death by climate change to 1/1000.

■ Keywords ■ Dichotomous Choice, CVM, Heat Wave, Value of Statistical Life

* 본 논문은 신동희의 2013년도 고려대학교 석사학위 논문인 '기후변화로 인한 폭염의 경제적 피해분석을 위한 연구'와 이나영의 2013년도 고려대학교 석사학위 논문인 '기후변화로 인한 취약 계층의 사망률 변화분석과 사회적 비용 추정'의 일부를 발췌, 수정한 것임. 본 연구는 고려대학교 특별연구비에 의하여 수행되었음.

** 교신저자 : yscho@korea.ac.kr

I. 서론

전 세계적으로 발생하고 있는 집중호우, 태풍, 가뭄, 폭설 등과 같은 이상기후 현상과 자연재해는 대규모의 인적피해와 경제적 손실을 가져오고 있으며, 그 규모와 피해액은 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 이상기후 현상은 생태계 파괴와 같은 환경 위기를 야기하고 있을 뿐만 아니라, 인류의 지속 가능한 삶에 위협요인으로 작용하고 있다.

세계보건기구(WHO, 2003)에 따르면 여러 가지 형태의 기후현상 중 폭염 혹은 열파와 같은 여름철의 극단적인 고온현상은 일 사망률의 증가와 많은 연관성이 있는 것으로 알려져 있다. 특히 극단적인 폭염은 온대지역의 여름철 사망률과 유병률을 증가시키는 기상재해로 여기고 있다. “과거 피해사례를 보면 2003년 여름, 40℃가 넘는 폭염으로 프랑스에서는 14,802명, 이탈리아에서는 3,134명, 영국에서는 2,045명의 초과사망이 보고되었으며”(이대근 외, 2010, p.110), 우리나라의 경우에는 1994년 서울지역의 여름철 일 최고기온이 38.4℃를 기록하며 폭염으로 인한 사망자가 발생한 것으로 보고되고 있다(최광용, 최종남, 권호장, 2005). 이에 따라 고온 현상에 따른 조기사망자의 발생에 효과적으로 대처하기 위해 미국, 캐나다, 이탈리아, 중국 등에서는 고온건강감시경보시스템(Heat Health Watch Warning System)이 개발되어 사용되고 있다(김지영 외, 2006; 이대근 외, 2010).

이처럼 폭염으로 인한 인명피해 발생에 대한 관심이 높아지면서 사회·경제적으로 취약한 인구집단에 대한 연구의 필요성이 제기되고 있다. 특히, 65세 이상의 고령자는 일반인보다 면역력 감퇴 및 저항력 약화로 외부환경의 변화에 더 민감하게 반응하므로 기후변화에 취약한 인구집단으로 분류된다. 김지영 외(2006)는 어느 연령대가 고온의 환경에 취약한가를 파악하기 위하여 서울지역을 대상으로 기온에 따른 사망자 수의 백분율을 연령대로 분석한 결과, 일 최고기온이 약 35℃를 넘어감에 따라 전체 사망자 수 중 60대 이상 연령층의 사망자 수가 차지하는 비율이 62%에서 68%로 높게 증가하였고, 기온이 38℃ 이상이 될 경우에는 80대 이상의 연령층에서의 사망자 수가 전체 사망자 중 차지하는 비율이 28.3%로 가장 높게 나타났다.

폭염과 관련된 가장 큰 우려는 미래에는 더 큰 피해가 발생할 것이라는 점이다. 기존 연구들(IPCC, 2007; IPCC, 2012; WHO, 2003; Meehl and Tebaldi, 2004)에 따르면, 폭염의 빈도(frequency), 강도(intensity) 그리고 지속기간(duration)이 모두 증가할 것으로 예상된다. 따라서 폭염 발생의 심각성을 인식하고, 65세 이상 고령자 층의 건강에

미치는 영향과 그에 따른 사회적 비용을 연구하는 것이 중요하다.

폭염 발생에 따른 사회적 비용을 추정하기 위해서는 조기 사망자 수 변화에 따른 피해를 금전적으로 나타낼 수 있어야 한다. 이를 위해 먼저 폭염발생과 조기 사망자 수 간의 관계를 파악하는 것이 필요하다. 관련연구로는 조용성(2003), 김지영 외(2006), 이나영, 임재영, 조용성(2014), Lund and Reeves(2002)가 대표적이다. 조용성(2003)은 대기오염 개선에 따른 조기사망률 변화를 측정하기 위해서 Lave and Seskin(1973) 모형을 응용하여 국내 만성호흡기질환 사망자 수와 각 지역의 대기오염물질 농도 간의 관계를 분석하였다. 이나영, 임재영, 조용성(2014)는 2000년부터 2011년까지 서울시 여름철 기상자료를 사망자료 및 지역자료를 이용하여 열지수와 사망률 변화와의 관계를 분석하였다. 반면, 김지영 외(2006)와 Lund and Reeves(2002)는 온도변화에 따른 사망률 변화를 분석하기 위해 전환회귀(switching regression)모형을 사용하였다.

한편, 사망자 수 증감에 따른 사회적 비용을 추정하기 위해서는 조건부가치평가법(contingent valuation method, CVM)을 이용하여 통계적 생명가치(value of statistical life, VSL)를 추정하는 것이 대표적이다. 조용성(2003)은 CVM을 이용하여 VSL을 추정한 후, 그 결과를 이용하여 대기오염 개선으로 인한 조기 사망률 감소의 사회적 후생효과를 추정하였다. 또한, 신영철, 조승현(2003)은 미래의 사망가능성 감소에 대한 지불의사금액(willingness-to-pay, WTP)과 VSL을 측정해 환경 피해액을 추정하고 이를 바탕으로 관련 환경정책에 대한 평가를 실시하였다. 조건부가치평가법 이외에 다른 방법을 사용한 연구로는 신영철(2007, 2008)이 대표적이다. 신영철(2007)은 선택실험법을 이용하여 사망원인, 사망 위험의 자발성, 사망 시기, 사망 위험 감소 크기 등의 속성을 이용하여 10년 동안 1/1,000의 사망 위험을 감소시키기 위한 소비자의 WTP를 추정하였고, 후속연구(신영철, 2008)에서는 암 검진 행위와 비용을 분석하여 암으로 인한 조기 사망률이 낮아질 때의 사회적 후생 변화를 측정하였다.¹⁾

이처럼 CVM은 환경개선의 편익 혹은 오염피해의 사회적 비용을 추정하는 데 많이 사용되고 있다. CVM은 다양한 주제에 대해 적용이 가능하며 경제학 이론에 부합되는 후생측정치인 지불의사금액을 직접 측정할 수 있고 그 도출결과에 있어서 유연성을 가지는 장점이 있다(김태유, 박승준, 엄미정, 1998). 환경오염이 인체의 건강에 미치는

1) EU의 ExternE 보고서(Bickel, P et al., 2005)에서는 VSL과 함께 value of a life year lost (VOLY)에 관련한 방법을 제시하고 있다. 위험(risk)을 감소시키기 위한 WTP를 다루는 VSL과 달리, VOLY는 기대여명(life expectancy)의 손실분(loss)과 관련한 추정 즉, 남은 수명(length of lifetime remaining)에 대한 WTP를 중점적으로 다루고 있다.

영향 즉, 질병발생률의 변화효과를 추정하기 위해 CVM을 이용하여 가상시장에서 특정 질병의 감소에 대한 소비자들의 WTP를 추정할 경우, 추정된 가치는 질병발병에 따른 직접적인 비용지출뿐만 아니라 불쾌감, 고통 등과 같은 간접적인 비용을 반영한다는 장점을 가지고 있다(엄영숙, 1997). 하지만 CVM은 실제 존재하지 않는 가상적인 시장을 전제로 하여 가치를 추정하기 때문에 전략적 편익, 가상적 편익, 시작점 편익, 지불수단편익, 무응답자편익 등 여러 가지 편익이 발생할 수 있다.

본 연구의 목적은 기후변화에 취약한 계층을 대상으로 향후 기후변화에 따른 폭염발생이 과연 취약계층의 조기 사망률에 어떠한 영향을 미치고, 그에 따른 사회적 비용은 얼마나 되는지를 추정하는 데 있다. 이를 위해 서울을 비롯한 부산, 대구, 대전, 인천, 광주, 울산에 거주하는 65세 이상 연령층을 대상으로 여름철 폭염으로 인해 발생하는 초과 사망자 수를 예측하고, 이중양분선택형 조건부가치평가법(double-bounded dichotomous choice)을 이용하여 VSL을 추정한 후 그 결과들을 이용하여 폭염발생으로 인한 7대 대도시에서의 65세 이상 연령층의 조기 사망자 발생의 사회적 비용을 추정하였다.

본 연구는 다음과 같이 구성되었다. 제2장에서는 서울특별시와 6개 광역시의 기상자료 및 사망자 자료를 이용하여 여름철 기온 변화에 따른 65세 이상 고령자들의 사망률 변화를 분석하였다. 제3장에서는 이중 양분선택형 조건부가치평가법을 이용하여 통계적 생명가치(VSL)를 추정하였다. 이어서 제4장에서는 IPCC의 기후변화 시나리오를 토대로 2015~60년 동안의 여름철 폭염발생으로 인해 예상되는 65세 이상 고령자 층에서의 초과 사망자 수를 전망한 후, 3장에서 추정된 VSL을 이용하여 서울을 비롯한 7개 대도시에서 2060년까지 폭염으로 인해 예상되는 초과 사망자의 사회적 비용을 추정하였다. 마지막으로 주요 연구결과와 함께 본 연구의 한계와 제약점을 결론에 담았다.

II. 온도변화에 따른 대도시 지역 취약계층의 사망률 변화 분석

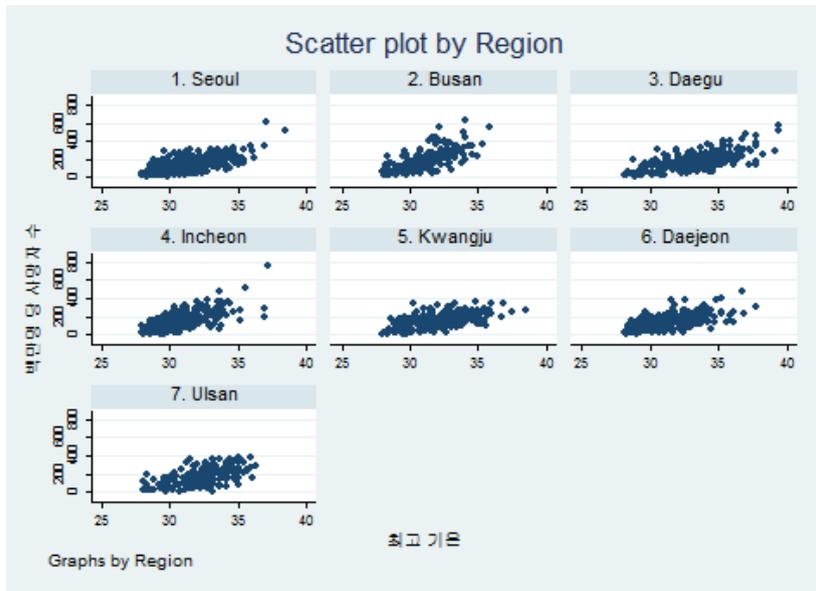
서울을 포함한 7대 광역시(부산, 대구, 대전, 인천, 광주, 울산)에 거주하는 65세 이상의 호흡기계 혹은 심혈관계 질환 환자들을 대상으로 1992년부터 2011년까지 일주일 단위로 최고 기온의 변화에 따라 사망자 수가 어떻게 변하는지 분석하였다²⁾

2) 일 단위가 아니라 주간 단위의 자료를 활용한 이유는 사망자 수 관련 자료의 특수성 때문이다. 일 단위의 자료를 활용할 경우, 65세 이상 호흡기·심혈관으로 인한 사망자의 숫자가 인구가 적은 지역에는 단지 1~2명에 불과하여 서울을 제외한 다른 지역에서는 사망자 수 1~2명의 변화가 전체 자료의 변동성에 큰 영향을 미치기 때문이다. 하지만 일 단위가 아니라 주간

분석 자료 중 사망자와 관련된 정보는 통계청을 통해 원시자료(raw data) 형태로 제공받아 활용하였다. 동 자료는 의사의 사망진단서에 기초한 사망원인통계자료로서 국가에 의해 관리되고 있다.³⁾ 기후와 관련된 자료는 기상청에 청구하여 제공 받은 데이터를 사용하였다.⁴⁾

7개 도시의 여름철 최고 기온의 평균값은 31.8℃이고, 일주일 동안 평균적으로 약 31명의 65세 이상의 호흡기계 혹은 심혈관계 질환 환자들이 사망하는 것으로 나타났다. 또한 65세 이상 인구 백만 명당 호흡기 혹은 심혈관계 질환 사망자 수는 평균적으로 약 157명으로 분석되었다. 즉, 7개 대도시에 거주하는 65세 이상 고령자가 호흡기계 혹은 심혈관계 질환으로 사망할 가능성은 약 0.016%로 추정된다. 한편, 최고 기온이 높아짐에 따라 사망자 수도 증가하고, 특히 임계온도⁵⁾를 넘어서서는 사망자 수가 급속히 증가하는 것으로 나타나고 있다(그림 1 참조).

그림 1 도시별 여름철 최고 기온과 65세 이상 인구 백만 명당 사망자 수의 분포



단위를 사용함으로써 분석결과의 잘못된 해석을 도출할 가능성이 있으므로, 향후 자료제약 문제를 해결하여 일단위 자료를 토대로 분석하는 것이 필요하다.

3) 통계청 마이크로데이터서비스시스템 (<http://mdss.kostat.go.kr>)

4) 기상청 전자민원 (<http://minwon.kma.go.kr>)

5) 기온의 증가에 따라 사망자 수의 변화가 뚜렷하게 나타나는 온도를 지칭한다(Kysely, 2002).

각 도시마다 형태는 다르게 나타나지만 전반적으로 여름철의 최고 온도가 특정 온도 (혹은 임계온도)를 넘어서는 경우, 65세 이상 연령대에서 호흡기 및 심혈관계 질환으로 사망하는 경우가 급증하는 경향을 보이고 있다. 이를 반영하여 온도변화에 따른 취약 계층의 사망률 변화를 분석하기 위해 김지영 외(2006)와 Lund and Reeves(2002)에서 사용한 전환회귀모형(switching regression model)을 이용하여 임계온도 및 회귀계수를 추정하였다. 이 모형은 2개의 위상(phase)의 회귀식을 기반으로, 최고 기온의 변화에 따른 잔차의 자승합이 가장 작은 경우를 기준으로 임계온도를 추정하는 방법이다. 본 연구에서도 조건부 형태의 2개 위상의 회귀식을 구성하고 임계온도 및 도출된 임계온도 전후의 위상에 따른 각 회귀 계수를 추정하였다.

식(1)은 임계온도의 전후에 따른 회귀방정식을 나타낸다. $Y_{i,t}$ 는 i 번째 도시에서 t 번째 주(week) 동안 발생한 65세 이상 인구 백만 명당 호흡기·심혈관계 질환으로 사망한 사람의 빈도(명)를 나타낸다. $X_{i,t}$ 는 i 번째 도시에서 t 번째 주(week)동안 발생한 최고 기온(°C)을, K_i 는 i 번째 도시의 임계온도(°C)를 나타낸다.

$$Y_{i,t} = \begin{cases} \alpha X_{i,t} + \beta & \text{if } X_{i,t} \leq K_i \\ \gamma X_{i,t} + \delta & \text{if } X_{i,t} > K_i \end{cases} \quad (1)$$

임계온도 전후의 위상에서 식(1)이 연결될 수 있도록 재정리하면($X_{i,t} = K_i$) 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_{i,t} = \begin{cases} \alpha X_{i,t} + \beta & \text{if } X_{i,t} \leq K_i \\ \gamma X_{i,t} + K_i(\alpha - \gamma) + \beta & \text{if } X_{i,t} > K_i \end{cases} \quad (2)$$

분석 자료를 이용하여 식(2)를 추정한 결과가 <표 1>에 나타나 있다. 도시마다 패턴은 다르지만 여름철 최고 온도가 높을수록 65세 이상 연령층에서의 호흡기계 질환 혹은 심혈관계 질환으로 사망하는 사람이 증가하는 것으로 나타났다. <표 1>을 통해 알 수 있듯이 서울과 대구의 경우 여름철 최고 기온이 35°C를 넘어서는 경우 사망자 수가 급증하며, 부산과 광주의 경우에는 여름철 최고 기온이 30°C를 넘어서는 경우 65세 이상 연령층에서의 호흡기계 질환 혹은 심혈관계 질환 사망자 수가 급증하는 것으로 분석되었다.

표 1 도시별 전환회귀모형 추정 결과

	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산
K	35.400*** (0.510)	30.400*** (2.230)	35.148*** (0.720)	32.000*** (11.094)	30.240*** (0.974)	33.000** (15.091)	34.199*** (11.817)
α	23.445*** (2.026)	37.941* (22.080)	21.848*** (2.498)	40.813*** (5.450)	36.441*** (13.636)	26.229*** (3.422)	26.675*** (3.640)
β	-600.274*** (62.969)	-974.620 (638.990)	-555.622*** (80.754)	-1108.130*** (162.772)	-986.285** (400.708)	-681.739*** (105.241)	-695.595*** (114.968)
γ	113.415 (580.150)	60.651*** (12.122)	43.936*** (8.207)	39.046*** (8.032)	19.694*** (2.696)	27.240*** (8.102)	28.919 (23.457)
R ²	0.468	0.692	0.488	0.526	0.344	0.395	0.371

주: 괄호 안의 수치는 standard error를 나타내며, *는 10%, **는 5%, ***는 1% 내에서 유의함.

III. 설문조사 및 통계적 생명가치 추정

1. 지불의사금액 추정 모형

본 연구에서는 기후변화에 따른 사망률 변화가 초래하는 사회적 비용을 추정하기 위하여 이중양분선택형 조건부가치측정법(double-bounded dichotomous choice model)을 이용하여 통계적 생명가치(VSL)를 추정하였다. 이중양분선택형 질문법은 단일양분선택형 질문법에서 좀 더 발전된 형태로서 응답자의 지불의사금액을 추정하는 데 있어서 조건부가치평가법이 가질 수 있는 다양한 편의를 최소화할 수 있는 장점을 가지고 있다.

응답자의 첫 번째 질문에 대한 지불의사금액(WTP)을 WTP_{1i}^* 로, 두 번째 질문에 대한 대답을 WTP_{2i}^* 로 정의한 후, 두 지불의사금액 간의 일반적인 상관관계를 허용하는 이변량 정규분포모형(bivariate normal distribution model)을 설정하면 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} WTP_{1i}^* &= x_{1i}\beta_1 + \epsilon_{1i} \\ WTP_{2i}^* &= x_{2i}\beta_2 + \epsilon_{2i} \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)의 오차항 ϵ_{1i} 와 ϵ_{2i} 는 이변량 정규분포(bivariate normal distribution)를 따른다고 가정한다. x_{1i} 와 x_{2i} 는 각각 첫 번째 질문과 두 번째 질문에서의 설명변수를 나타낸다. 이 두 식의 설명변수들은 제시금액에 대한 설명변수 외에 다른 변수는 동일하다. β_1 과 β_2 는 각 설명변수에 대한 회귀계수벡터를 의미한다. 본 연구에서는 이변량 정규분포함수를 가정하는 이변량 프로빗 모형(bivariate probit model)을 이용하여 WTP를 추정하였다.

CVM을 이용하여 지불의사금액을 추정할 때 일반적으로 로짓 모형, 프로빗 모형, 토빗 모형 등이 사용되고 있지만, 분석자료가 이중양분선택형의 응답 자료일 경우에는 이변량 정규분포함수를 가정하는 이변량 프로빗 모형을 이용하여 WTP를 추정하는 것이 바람직하다(Cho, Ester, Konishi, 2010).

이변량 프로빗 모형을 이용하여 WTP를 추정하는 방법은 다음과 같다. 이중양분선택형 조건부가치평가법에서는 응답자의 내재된 지불의사금액인 WTP_{1i}^* 와 WTP_{2i}^* 을 직접 관찰할 수가 없고, 단지 제시된 금액과 그에 대한 응답자의 ‘예’ 또는 ‘아니오’의 양분 선택적 응답만을 관찰할 수 있다.

만약 t_{1i} 를 첫 번째 제시금액, t_{2i} 을 두 번째 제시금액이라고 가정하면, t_{1i} 에 지불의사가 있으면 응답자는 ‘예’라고 대답하고 이는 $WTP_{1i}^* = 1$ 로 나타낼 수 있다. 반대로 지불의사가 없으면, 응답자는 ‘아니오’라고 답하고 이는 $WTP_{1i}^* = 0$ 으로 나타낼 수 있다. 응답자의 대답 유형은 $(WTP_{1i}, WTP_{2i}) = (1,1), (1,0), (0,1), (0,0)$ 와 같이 총 4가지로 구분될 수 있다. 이는 각각 설문응답자의 대답이 (예, 예), (예, 아니오), (아니오, 예), (아니오, 아니오)를 의미한다.

지불의사금액 모형에서 확률변수 ϵ_{1i} 와 ϵ_{2i} 는 각각 평균이 1, 분산이 σ_1^2, σ_2^2 이다. 또한 두 지불의사금액 모형 간의 상관계수는 $\rho = \frac{\sigma_{12}}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}$ 를 가지는 이변량 정규분포를 따르며, 누적분포함수는 $\Phi(\cdot)$ 으로 나타낼 수 있다. 이러한 응답자의 내재적 지불의사금액이 관찰될 확률은 식(4)와 같다(Cameron, Quiggin, 1994).

$$\begin{aligned}
 \Pr(WTP_{1i} = 1, WTP_{2i} = 1) &= \Pr(x_{1i}\beta_1 + \epsilon_{1i} \geq t_{1i}, x_{2i}\beta_2 + \epsilon_{2i} \geq t_{2i}) \quad (4) \\
 &= \Phi\left(\frac{t_{1i} - x_{1i}\beta_1}{\sigma_1}, \frac{t_{2i} - x_{2i}\beta_2}{\sigma_2}, \rho\right) \\
 \Pr(WTP_{1i} = 1, WTP_{2i} = 0) &= \Pr(x_{1i}\beta_1 + \epsilon_{1i} \geq t_{1i}, x_{2i}\beta_2 + \epsilon_{2i} < t_{2i}) \\
 &= \Phi\left(\frac{t_{1i} - x_{1i}\beta_1}{\sigma_1}, \frac{t_{2i} - x_{2i}\beta_2}{\sigma_2}, -\rho\right) \\
 \Pr(WTP_{1i} = 0, WTP_{2i} = 1) &= \Pr(x_{1i}\beta_1 + \epsilon_{1i} < t_{1i}, x_{2i}\beta_2 + \epsilon_{2i} \geq t_{2i}) \\
 &= \Phi\left(-\frac{t_{1i} - x_{1i}\beta_1}{\sigma_1}, \frac{t_{2i} - x_{2i}\beta_2}{\sigma_2}, -\rho\right) \\
 \Pr(WTP_{1i} = 0, WTP_{2i} = 0) &= \Pr(x_{1i}\beta_1 + \epsilon_{1i} < t_{1i}, x_{2i}\beta_2 + \epsilon_{2i} < t_{2i}) \\
 &= \Phi\left(-\frac{t_{1i} - x_{1i}\beta_1}{\sigma_1}, -\frac{t_{2i} - x_{2i}\beta_2}{\sigma_2}, \rho\right)
 \end{aligned}$$

또한, i 번째 응답자의 이변량 프로빗 모형의 로그우도함수는 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \log L_i &= (w_{1i}, w_{2i}) \log \left(\int_{t_{1i}}^{\infty} \int_{t_{2i}}^{\infty} \Phi(\cdot) dx_{2i} dx_{1i} \right) \quad (5) \\
 &+ (1 - w_{1i}) w_{2i} \log \left(\int_{-\infty}^{t_{1i}} \int_{t_{2i}}^{\infty} \Phi(\cdot) dx_{2i} dx_{1i} \right) \\
 &+ w_{1i} (1 - w_{2i}) \log \left(\int_{t_{1i}}^{\infty} \int_{-\infty}^{t_{2i}} \Phi(\cdot) dx_{2i} dx_{1i} \right) \\
 &+ (1 - w_{1i}) (1 - w_{2i}) \log \left(\int_{-\infty}^{t_{1i}} \int_{-\infty}^{t_{2i}} \Phi(\cdot) dx_{2i} dx_{1i} \right)
 \end{aligned}$$

로그우도함수는 각 응답자의 대답을 토대로 구성된다. 이러한 개별 로그우도함수를 모두 합하여 총 로그우도함수를 구한 후 이를 극대화시키는 $\beta_1, \beta_2, \sigma_1^2, \sigma_2^2, \rho$ 를 최우 추정법(maximum likelihood estimation)으로 추정하였다.

응답자의 기대 지불의사금액은 주어진 각 특성변수의 값과 응답자에게 제시된 지불 의사금액의 확률밀도함수를 곱한 후, 이 곱한 값을 최대 제시가격까지 적분하여 계산한다. 변수 p 는 응답자에게 주어진 지불의사금액을 나타내는 제시금액을, 함수 $f(p)$ 를 확률밀도함수로 가정하면 지불의사금액의 기댓값, $E(WTP)$ 는 식(6)과 같이 산정할 수 있다.

$$E(WTP) = \int_0^{P_{\max}} xf(x)dx = p_{\max} - \int_0^{P_{\max}} F(x)dx = \int_0^{P_{\max}} [1 - F(x)]dx \quad (6)$$

여기서 $F(\cdot)$ 는 이변량 누적정규확률밀도함수를 나타낸다. 한편, 추정된 WTP의 통계적 검정을 위해 평균값을 중심으로 하는 신뢰구간을 추정할 수 있다(김재홍, 2007). 이와 관련하여 신뢰구간 설정에 필요한 분산을 추정하기 위해 Krinsky and Robb(1986)의 몬테카를로 시뮬레이션 방법을 이용하였다. 이 방법은 통계분석 소프트웨어 중 하나인 STATA 프로그램에서 구현이 가능하며, 이중양분선택형 조건부가치평가법에 의해 추정된 WTP의 신뢰구간을 구하는 데도 활용할 수 있다. 본 연구에서는 이변량 프로빗 모형으로 추정된 파라미터의 이변량정규분포로부터 10,000회 시뮬레이션을 통해 추정된 WTP의 평균값과 95% 신뢰구간을 계산하였다.

2. 설문조사 개요

가. 이중양분선택형 조건부가치측정법 설문지 설계

설문지는 크게 4가지 부분으로 구성되었다. 첫 번째는 기후변화에 대한 인식수준을 파악하기 위한 질문들로 구성되었고, 두 번째는 응답자의 평소 건강상태 및 무더위 체감 정도를 질문하였다. 세 번째 부분에서는 설문조사의 주요 목적인 응답자의 지불의 사금액을 추정하기 위하여 가상의 정책에 따라 사망률이 감소하는 경우에 대한 WTP를 유도하는 질문으로 구성되었다. 마지막 부분에서는 WTP에 영향을 미치는 요인들을 분석하기 위해 응답자의 일반적인 사회·경제적 특징들을 질문하였다.

본 설문(mail survey)에 앞서 세 번의 사전테스트를 시행하였으며, 그 전반적인 구성은 <표 2>와 같다. 첫 번째 사전조사는 연구자가 직접 면담형태로 조사하였으며, 두 번째 사전조사부터 본 설문까지는 학술전문 리서치회사에 의뢰하여 인터넷 설문조사를 실시하였다.

표 2 사전조사 및 본 설문조사 개요

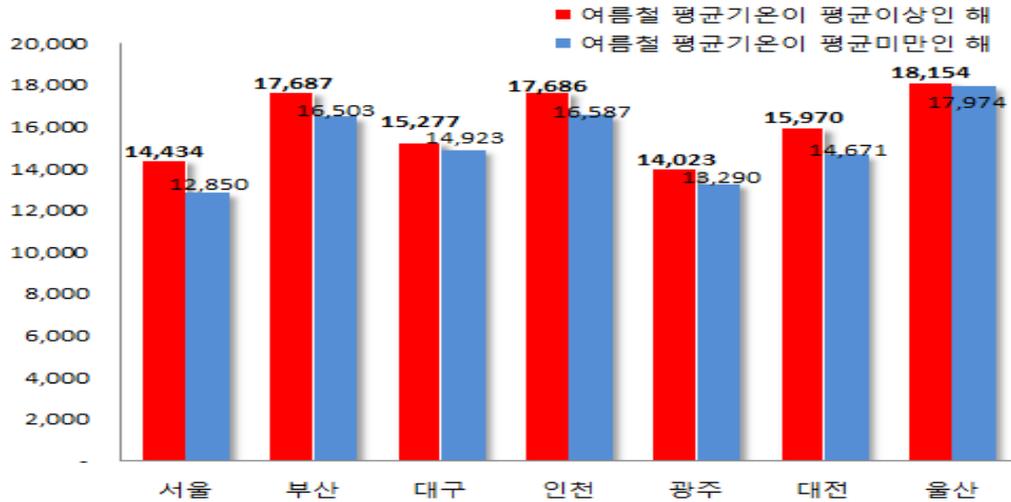
	사전조사			본 설문 조사
	1차	2차	3차	
조사대상	서울 및 경기도지역에 거주하는 성인 남·여	서울지역에 거주하는 성인 남·여	서울지역에 거주하는 성인 남·여	7대 광역시에 거주하는 성인 남·여
자료수집	면담조사	인터넷조사	인터넷조사	인터넷조사
WTP조사방법	개방형	이중양분선택형 및 체크리스트형	체크리스트형	이중양분선택형
조사기간	2013년 4월 21일 - 24일	2013년 5월 10일 - 11일	2013년 5월 21일 - 22일	2013년 5월 30일 - 6월 11일
유효표본	26명	52명	53명	1,320명

한편, 2000년부터 2009년까지 여름철 기간(6-8월) 중 사망 자료를 바탕으로 전체 사망자 수를 7대 광역시로 분류하여 분석하였다. 그 결과, 여름철 평균기온이 24°C가 넘어섰던 해에는 인구 1,000명당 약 2명꼴로 사망자 수가 더 늘어난 점을 알 수 있었다(그림 2 참조). 이를 토대로 설문응답자들에게 사망확률을 절반으로 줄이는 가상 상황 즉, 인구 1,000명당 2명인 사망확률을 1,000명당 1명으로 줄이는 데 대하여 얼마나 지불할 의사가 있는지 질문하였다.

또한, 응답자의 이해도를 높이기 위해, 2011년 한국보건사회연구원의 보고서 내용 중에서 건강수명과 기대여명의 개념을 인용하여 평균적으로 71세 이상 연령부터는 기후변화에 매우 민감하게 영향을 받을 수 있고, 특히 기후변화로 인한 폭염이 증가하는 경우에는 사망률이 더욱 높아질 수 있다는 것을 그림을 이용하여 설명하였다(그림 3 참조). 아울러 이러한 사망위험은 사전 대비를 통해 충분히 낮출 수 있다는 것도 설명하였다.

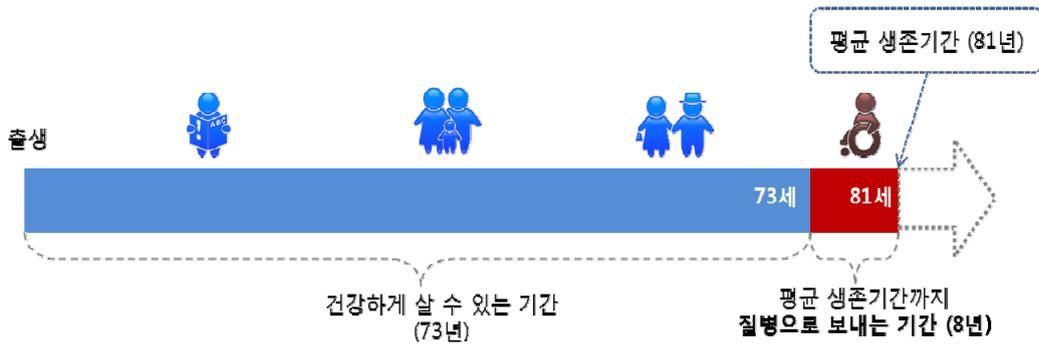
설문조사 대상은 30대와 40대를 주요 설문대상자로 선정하였다. 그 이유는 미래의 사망가능성 변화에 대한 지불의사금액을 묻는 방식이므로, 인구 구성에서 가장 중심에 있는 연령대를 집중적으로 조사대상으로 선정하였고, 또 다른 이유는 예산제약으로 인해 인터넷 설문조사방식을 선택하였기 때문이다. 하지만 인터넷 설문조사의 가장 큰 한계점은 건강에 대해 관심이 많고 사망가능성 변화에 민감하게 반응할 수 있는 50대와 60대 연령층에 대한 조사가 원활하게 이뤄질 수 없다는 점이다. 이러한 점은 본 연구가 가지고 있는 한계점이자 제약이다.

그림 2 주요 도시별 여름철 온도변화에 따른 인구 100만 명당 사망자 수 비교



주: 1) 여름철 평균기온이 24°C 이상인 해 : 2000, 2001, 2004, 2005, 2007년
 2) 여름철 평균기온이 24°C 이하인 해 : 2002, 2003, 2006, 2008, 2009년

그림 3 기대여명과 건강수명



나. WTP 제시금액 범위 선정을 위한 절차 및 결과

WTP질문에 사용할 제시금액의 범위를 결정하기 위하여 총 3회에 걸친 사전테스트를 시행하였다. 첫 번째 사전테스트는 대인면접법으로 26명을 대상으로 실시하였고 개방형으로 지불의사금액을 조사하였다. 제2차 사전조사는 인터넷을 이용하여 이중양분선택형 방식으로 WTP를 조사하였다. 이때 사용한 WTP 제시금액 범주는 월 1,000원,

월 5,000원, 월 10,000원, 월 20,000원, 월 50,000원, 총 5개의 범주로 나누어 52명의 응답자를 대상으로 조사하였다.

한편, 제1차 및 제2차 사전조사에 이어 본 설문조사에서 제시될 WTP 범위 결정에 신중을 기하기 위해 제3차 사전설문조사를 실시하였다. 세 번째 사전조사에서는 이중양분선택형이 아닌 체크리스트방식을 사용하여 응답자들이 지불의사금액을 자유롭게 선택할 수 있도록 하였다. 체크리스트에서 제시된 WTP 금액은 월 1,000원부터 월 100,000원까지 다양하게 제시하였다.

세 번의 사전조사 결과를 종합적으로 고려하여 본 조사에서 사용할 WTP 제시금액 단위와 구간 그리고 제시금액은 월 3,000원, 월 8,000원, 월 15,000원, 월 30,000원, 월 50,000원으로 구성하였다. 두 번째 제시금액은 첫 번째 제시금액에 대해 응답자의 대답이 <예>인 경우에는 처음 제시된 금액의 두 배에 해당하는 금액을 제시하였고, 첫 번째 제시금액에 대한 대답이 <아니오>인 경우에는 처음 제시된 금액의 절반에 해당하는 금액을 제시하였다.

한편, 한국보건사회연구원(2011)⁶⁾ 연구결과와 여름철 온도변화에 따른 사망자 수 변화 등과 같은 정보를 제공한 후, 다음과 같은 질문을 이용하여 응답자들의 WTP를 조사하였다.

“(중략) 평균적으로 71세 이상 연령부터는 기후변화에 매우 민감하게 영향을 받을 수 있고, 특히 기후변화로 인한 폭염이 증가하는 경우에는 사망률이 더욱 높아질 수 있습니다. 이러한 사망위험은 사전 대비를 통해 충분히 낮출 수 있습니다. 즉, 현재부터 10년 동안 비용을 미리 지불하여 대비한다면 그 사망률을 현격하게 줄일 수 있습니다. 위 자료를 토대로 여름철 기간에 질병악화로 인한 연간 사망률을 평균 1,000명당 2명으로 가정한다면 이는 국민 **약 천만명 중 약 2만명은 조기 사망**할 수 있다는 수치입니다. 여기에는 당신이나 당신 가족이 포함 될 수 있습니다. 만약 폭염의 피해를 줄이기 위한 기후변화 적응정책을 시행하여, 이 사망률을 절반으로 감소(1,000명당 2명 → 1,000명당 1명) 시킬 수 있다면, 귀하께서는 **월(P)원(연간 (P×12)원)**을 지불하실 의사가 있으십니까?”

6) 2011년 한국보건사회연구원이 발표한 보고서에 따르면, 2009년을 기준으로 우리나라에 한 아이가 태어나면 81세까지 살 수 있을 것(기대여명)으로 예상되며, 이 중 질병 없이 살 수 있는 기간(건강수명)은 73세인 것으로 나타났다. 이는 73세부터 81세까지 8년 동안을 질병으로 보냄을 의미한다.

다. 기초 통계량

1) 제시가격에 대한 지불의사금액 분포

본 설문조사에서의 WTP 제시가격별 응답분포는 <표 3>과 같다. 사전조사결과와는 달리 제시금액에 대한 응답의 누적분포가 제시금액이 커질수록 지불의사가 낮아지는 형태를 보이고 있음을 알 수 있다.

표 3 본 설문조사에서의 WTP 제시금액별 응답 분포

(단위: 명, %)

응답 \ 제시금액	월 3,000원	월 8,000원	월 15,000원	월 30,000원	월 50,000원	계
예-예	105 (8%)	73 (6%)	67 (5%)	41 (3%)	37 (3%)	323 (24%)
예-아니오	88 (7%)	95 (7%)	78 (6%)	82 (6%)	80 (6%)	423 (32%)
아니오-예	17 (1%)	42 (3%)	32 (2%)	32 (2%)	27 (2%)	150 (11%)
아니오-아니오	53 (4%)	54 (4%)	88 (7%)	109 (8%)	120 (9%)	424 (32%)
계	263 (20%)	264 (20%)	265 (20%)	264 (20%)	264 (20%)	1,320 (100%)

2) 응답자의 인구 통계적 특성

서울(595명, 45%)을 비롯하여 부산(188명, 14%), 대구(139명, 11%), 광주(82명, 6%), 인천(163명, 12%), 대전(86명, 7%), 울산(67명, 5%) 지역주민 1,320명을 대상으로 인터넷 설문조사를 실시하였다. 표본의 남녀 구성은 남성 50.4% 여성 49.6%이며, 응답자의 약 82.4%는 전문대학 이상의 학력을 갖고 있는 것으로 조사되었다. 응답자의 약 60%는 함께 살고 있는 가족 중에 14세 이하 아동 혹은 65세 이상 고령자가 포함되어 있는 것으로 나타났고, 전체 응답자의 약 43%는 납세 후 월 가구 소득이 300~500만 원 범위에 있는 것으로 나타났다. 한편 표본의 평균 연령은 38.6세로 상대적으로 젊은 연령층임을 알 수 있다.

표 4 표본의 가구특성에 관한 기초 통계량(n:1,320)

설문 내용	구 분	빈 도	비 율
성별	남성	665	50.4%
	여성	655	49.6%
학력	고등학교 이하	232	17.6%
	전문대학 이상	1,088	82.4%
납세 후 월 가구 소득	월 150만 원 이하	60	4.5%
	월 150 ~ 300만 원	336	25.5%
	월 300 ~ 500만 원	563	42.7%
	월 500 ~ 700만 원	245	18.6%
	월 700만 원 이상	116	8.8%
14세 이하 아동 혹은 65세 이상 고령자 유무*	있음	795	60.2%
	없음	525	39.8%

(단위: 명)

주: * 14세 이하의 아동과 65세 이상 고령자가 모두 있다고 응답한 비율은 4.9%(65명)임.

그 외 응답자의 기후변화에 대한 인지수준을 5점 척도(1: 낮다, 5: 높다)로 질문한 결과 평균 3.42로 대부분의 응답자는 기후변화 이슈에 대해 잘 알고 있는 것으로 나타났고, 기후변화가 일상생활에 미치는 영향에 대해서는 평균 3.9점으로 높게 나타났다. 또한, 응답자의 12.3%와 8.7%는 각각 심혈관계 질환 진료 경험 및 호흡기계 질환 진료 경험이 있는 것으로 나타났고, 응답자 중 약 59.2%는 건강보험 외에 별도로 생명보험과 같은 민간보험을 가입하고 있는 것으로 나타났다.

표 5 응답자의 기후변화에 대한 인식 및 질환진료 경험 유무(n:1,320)

질문 내용	구 분	빈 도	비 율	평 균	표준편차
응답자의 기후변화에 대한 인지도	1(낮다)	9	0.7%	3.42 (3.00)	0.71
	2	91	6.9%		
	3	616	46.7%		
	4	547	41.4%		
	5(높다)	57	4.3%		
기후변화가 일상생활에 미치는 영향	1(낮다)	4	0.3%	3.9 (4.0)	0.8
	2	53	4.0%		
	3	334	25.3%		
	4	673	51.0%		
	5(높다)	256	19.4%		

질문 내용	구분	빈도	비율	평균	표준편차
심혈관계 질환진료 경험 유무	있음	163	12.3%		
	없음	1,157	87.7%		
호흡기계 질환진료 경험 유무	있음	115	8.7%		
	없음	1,205	91.3%		

주: 괄호 안의 수치는 중앙값을 나타냄.

3. 모형의 변수 설명

지불의사금액 추정을 위해 다음과 같은 설명변수들을 설정하였다. 첫 번째 제시금액(WTP1), 두 번째 제시금액(WTP2), 납세 후 월 가구소득(INC), 성별(GENDER), 부양가족 즉, 14세 이하의 아동 혹은 65세 이상의 고령자가 가구원에 포함되어 있는지 여부(FAM), 호흡기계 및 심혈관계 질환으로 병원진료를 받은 적이 있는지 여부(EXP), 기후변화가 일상생활에 미치는 영향에 대한 인식(LIFE), 직장 및 지역보험 이외에 민간보험(예: 생명보험) 가입여부(INSURANCE) 등이다. 종속변수는 첫 번째 제시금액에 대한 응답(RES1)과 두 번째 제시금액에 대한 지불의사 응답(RES2)이다. 변수에 대한 설명과 정리는 <표 6>에 제시하였다.

표 6 WTP 추정모형의 종속변수와 설명변수

구분	변수 이름	변수 설명	비고
종속 변수	RES1	첫 번째 제시금액에 대한 응답	예=1, 아니오=0
	RES2	두 번째 제시금액에 대한 응답	예=1, 아니오=0
설명 변수	WTP1	첫 번째 제시금액	3,000~50,000원
	WTP2	두 번째 제시금액	1,500~100,000원
	INC	납세 후 월 가구소득	1: 150만 원 미만 2: 150~300만 원 3: 300~500만 원 4: 500~700만 원 5: 700만 원 이상
	GENDER	성별	남자=1, 여자=0
	FAM	부양가족(14세 이하 아동 및 65세 이상 노인)의 가구원 포함 여부	있음=1, 없음=0
	EXP	호흡기계 및 심혈관계 질환의 진료경험 여부	있음=1, 없음=0
	LIFE	기후변화가 일상생활에 미치는 영향	전혀 심각하지 않다=1 ~ 매우 심각하다=5
	INSURANCE	직장 및 지역보험 이외에 민간보험(예: 생명보험) 가입여부	가입=1 비가입=0

4. 지불의사금액 추정 결과

이변량 프로빗 모형은 서로 상관된 이변량 정규분포를 따르는 확률밀도함수를 바탕으로 양분선택의 확률을 추정하는 모형이므로, 이변량 정규분포의 파라미터들 간의 상관관계에 대한 가정에 따라 <표 7>과 같은 2가지 모형을 설정하는 것이 가능하다 (Cameron, Quiggin 1994; 신영철, 1997; 한택환, 홍이석, 박창석, 2013).

표 7 이변량 프로빗 모형의 2가지 가정별 모형 설정

분석 모형	모형의 성격 및 제약
모형 1	회귀계수 값 및 분산이 동일하다는 제약을 준 이변량 정규분포 모형
모형 2	제약이 없는 이변량 정규분포 모형

[모형 1]은 설명변수들의 계수 값 및 분산이 동일하다는 가정을 전제로 하고 있는 모형이고, [모형 2]는 일반적인 형태의 이변량 정규분포 모형이다. 따라서 [모형 1]의 경우에는 첫 번째 응답과 두 번째 응답의 내재 지불의사에 영향을 주는 설명변수들의 회귀계수가 다르지 않다는 제약이 있는 이변량 모형으로 추정된 변수들의 파라메타 값들이 모두 동일하게 나온다.

<표 8>을 통해 알 수 있듯이 두 모형 모두에서 해당 가구의 소득수준(INC), 성별(GENDER), 제시금액(WTP1, WTP2)을 나타내는 변수들이 1% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 즉, 가구 소득 수준이 높을수록 지불의사가 높게 나타났다. 또한, 여성보다는 남성일 경우 지불의사가 높게 나타났다. 반면 제시금액이 높을수록 지불의사가 낮게 나타나고 있다. 부양가족의 포함여부(FAM)는 [모형 2]에서는 5%에서 유의하고, [모형 1]에서는 1%에서 통계적으로 유의한 결과가 나왔다. 즉, 14세 이하의 아동이나 65세 이상의 노인이 부양가족으로 포함되어 있을수록 지불의사가 높게 나타났다. 호흡기계 및 심혈관계 질환여부(EXP)에 관한 변수는 [모형 2]의 첫 번째 제시금액에 대한 응답을 제외한 모든 모형과 응답에서 1%에서 통계적으로 유의하였다. 이는 호흡기계 질환(폐렴, 결핵, 만성호흡기질환, 폐암 등) 및 심혈관계 질환(심장질환, 심부전증, 심근경색증, 고혈압, 뇌혈관 질환 등)으로 병원진료를 여부와 관련하여 답변한 내용에 대한 변수이다. 즉, 호흡기계 및 심혈관계 질환을 경험한 사람일수록 지불의사가 높다는 것을 알 수 있다. 반면 기후변화가 일상생활에 미치는 영향(LIFE)과 관련한

변수와 직장 및 지역보험 이외에 개인적으로 가입한 건강관련 민간보험(예: 생명보험 등)이 있는지 여부(INSURANCE)와 관련한 변수는 통계적으로 유의하지 않았다.)

표 8 이변량 프로빗 모형 추정결과

변 수		모형 1		모형 2	
		추정치	t value	추정치	t value
RES1	constant	-0.647***	-4.03	-0.327	-1.59
	WTP1	-0.106x10 ⁻⁵ ***	-8.35	-0.137x10 ⁻⁴ ***	-6.70
	INC	0.858x10 ⁻⁷ ***	5.07	0.832x10 ⁻⁷ ***	3.84
	GENDER	0.214***	3.92	0.212***	2.97
	FAM	0.182***	3.27	0.179**	2.47
	EXP	0.215***	2.89	0.128	1.37
	LIFE	0.048	1.33	0.050	1.09
	INSURANCE	0.020	0.37	0.037	0.50
RES2	constant	상동		-1.016***	-4.89
	WTP2			-0.813x10 ⁻⁵ ***	-5.46
	INC			0.942x10 ⁻⁷ ***	4.33
	GENDER			0.227***	3.16
	FAM			0.1874**	2.54
	EXP			0.311***	3.32
	LIFE			0.051	1.09
	INSURANCE			0.002	0.03
ρ		0.331***	6.53	0.357***	6.61
log likelihood		-1737.941		-1671.731	

주: *는 10%, **는 5%, ***는 1% 내에서 유의함.

본 연구에서는 <표 9>에 제시된 것처럼 일반적인 이변량 프로빗모형(모형2)과 함께, 제약 조건을 준 모형(모형 1) 간의 동일성 여부를 우도비 검정법(likelihood ratio test)을 이용하여 검정하였다(김재홍, 2007). 우도비 검정 결과, 1% 유의수준下에서 [모형1]과 [모형2]가 동일하다는 귀무가설을 기각하는 것으로 나타났다. 또한, 두 모형의 ρ 값이 각각 0.331과 0.357로 1%에서 유의한 값을 나타냈다.

7) 본 연구의 핵심인 통계적 생명가치에 대한 WTP는 세대 간 및 연령별로 차이가 발생할 수 있다. 이러한 점을 분석하기 위해서는 연령을 나타내는 변수의 포함이 필요하다. 하지만 본 연구에서 사용된 자료는 30대와 40대를 대상으로 한 인터넷 설문조사 자료라는 제약을 갖고 있어 WTP 추정모형에 연령 변수가 포함되지 못하였다. 이로 인해 WTP 추정결과에 대한 편의가 발생할 수 있으므로 동 연구결과의 확대 재해석 시 주의가 필요하다.

표 9 모형 간의 우도비 검정결과

귀무가설	$-2(LR_r - LR_{u,r})$	1% 유의수준 기각임계치	가설검정
모형1 = 모형2	132.42	$\chi^2_{0.01}(df = 8) = 96.22$	기각

따라서 일반적인 이변량 프로빗 모형(모형2)의 추정결과를 사용하여, 평균 지불의사금액을 추산하였다. 이 경우, 각각의 응답에 대한 두 가지 평균 지불의사금액이 계산된다. 이를 1인당 평균 지불의사금액이라 가정한 후 관련 수치들을 <표 10>에 제시하였다. 두 응답에 대한 평균 지불의사금액은 1인당 월 약 40,093원으로 추산되었으며, 이는 연간 약 481,110원이 된다. 동 수치는 95% 신뢰구간에서 하위금액일 경우에는 월 32,092원(연간 385,106원)에서 상위금액일 경우에는 월 51,803원(연간 621,640원)사이가 된다.⁸⁾

표 10 지불의사금액 추정 결과

구분	대상	시간 단위	평균 지불의사금액	95% 신뢰구간	
				하위금액	상위금액
1차 응답	개인	월	33,779.62원	28,286.45원	41,572.72원
		년	405,355.44원	339,437.40원	498,872.64원
2차 응답	개인	월	46,405.45원	35,897.82원	62,033.94원
		년	556,865.40원	430,773.84원	744,407.28원
평균	개인	월	40,092.54원	32,092.14원	51,803.33원
		년	481,110.42원	385,105.62원	621,639.96원

따라서 본 연구에서 기후변화로 여름철 기온상승에 의한 사망가능성을 1/1,000으로 감소시키는데 통계적 인간생명의 가치는 약 4억 8,111만 원(= 481,110원 x 1,000)이 된다. 95% 신뢰구간에서 약 3억 8,510만 원(= 385,106원 x 1,000)부터 약 6억 2,164만 원(= 621,640원 x 1,000)의 사이의 값이다. 본 연구에서 추정된 기후변화와 관련한 통계적 인간생명의 가치는 정책의 효과 등 당장 나타나는 것이 아니라 자신의 노년기의 사망가능성 감소를 위한 지불의사금액으로부터 도출된 것이다.⁹⁾ <표 11>에 제시된 기존의

8) 월 단위로 조사된 WTP를 이용하여, WTP/월에 12를 곱하여 WTP/년으로 확장하는 것은 기존 연구(김재홍, 2007; 김봉구, 조용성, 곽재은, 2001; Mullen, Norton, Reaves, 1997)에서도 사용되고 있지만, 설문조사 단계에서 부터 년 단위로 WTP를 묻고 이를 이용하는 것이 바람직하다.

국내연구에서 나온 금액과 비교해보면 본 연구결과는 기존 연구결과 범위 안에 있음을 알 수 있다.

표 11 국내 기존 연구의 통계적 생명가치 추정 결과

연구자	내 용	연간 통계적 생명가치 (95%신뢰구간)
신영철·조승헌 (2003)	환경적 피해에 대한 미래사망가능성 감소	4억 6,600만 원 (3억 3,900만 원~5억 9,400만 원)
엄영숙(1997)	안전벨트 착용여부에 대한 인간생명가치 추정	1억 8,000만 원~8억 6,000만 원
신영철(2007)	Estimating Values of Statistical Lives using Choice Experiment Method	청소년 이하(18세 미만): 11.65~13.67억 원, 성인(18~59세): 16.31~18.33억 원, 노인(60세 이상): 11.28~13.30억 원
엄영숙(2000)	음용수 성분 중 유해물질로부터의 건강위험 감소	630만 원~11억 6,000만 원
조용성(2003)	대기오염에 의한 호흡기계 조기사망 감소	471만 원~552만 원

IV. 시나리오별 폭염 발생에 따른 사회적 비용 추정

1. 분석 시나리오

미래의 기온 변화에 따라 65세 이상 고령자 층에서 심혈관계 및 호흡기계 질환으로 사망하는 사람이 얼마나 증가하는지 그리고 그에 따른 사회적 비용을 추산하기 위해서는 우선 미래의 온도 변화에 대한 예측과 65세 이상 고령자 층의 인구 변화에 대한 전망이 필요하다.

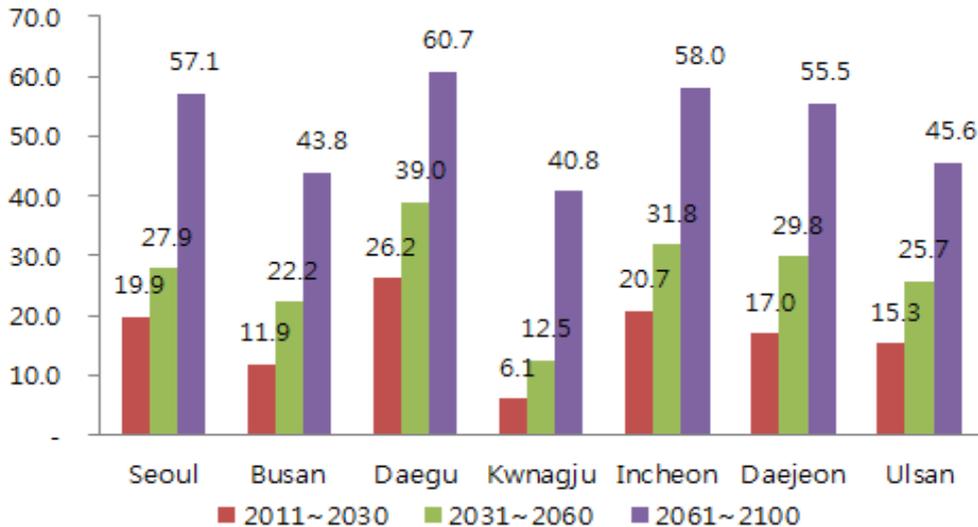
온도변화 예측은 IPCC의 대표농도경로(Representative Concentration Pathways, RCP)를 사용하였다. 다양한 RCP 시나리오 중 2100년경 지구상의 온실가스 농도가 650ppm이 될 것이라는 RCP4.5 저농도 시나리오와 1,270ppm이 된다는 RCP8.5 고농도 시나리오를 사용하였다.

9) 바라보는 시각에 따라서는 추정된 WTP는 71세 이후의 10년 동안 기후변화로 인한 사망가능성이 1/1000 감소하는 것에 대한 지불의사금액이라기 보다는 현재시점부터 전 생애 동안의 mortality risk reduction에 대한 지불의사금액으로 해석할 수 있는 가능성이 있다. 이러한 애매모호한 해석을 방지하기 위해서는 설문조사 시 응답자들에게 명확히 설명하는 것이 필요한데, 이를 위해서는 우편조사 혹은 인터넷 조사보다는 개인면담방식이 더 바람직하다.

RCP4.5 저농도 시나리오를 기준으로, 7개 대도시의 여름철 기온이 33℃ 이상 되는 일수를 3개 기간(2011~2030년, 2031~2060년, 2061~2100년)으로 구분하여 추정한 결과가 [그림 4]에 나타나 있다. 7개 대도시 중 대구시에서의 폭염발생 일수가 가장 많을 것으로 전망되었다. 특히, 2061~2100년 기간에는 대부분의 대도시에서 여름철 폭염발생 가능성이 매우 높을 것으로 예측되고 있는데, 서울은 약 5배, 부산 약 7배, 대구의 경우 약 3배 증가할 것으로 예측되었다. 이처럼 여름철 폭염발생 일수가 많아질수록 대도시 지역에 거주하는 65세 이상 고령자의 심혈관계 및 호흡기계 질환으로 인한 사망가능성도 높아질 것으로 예상된다.

그림 4 RCP4.5 시나리오下에서의 여름철 일 최고기온이 33℃ 이상일 것으로 예상되는 일수

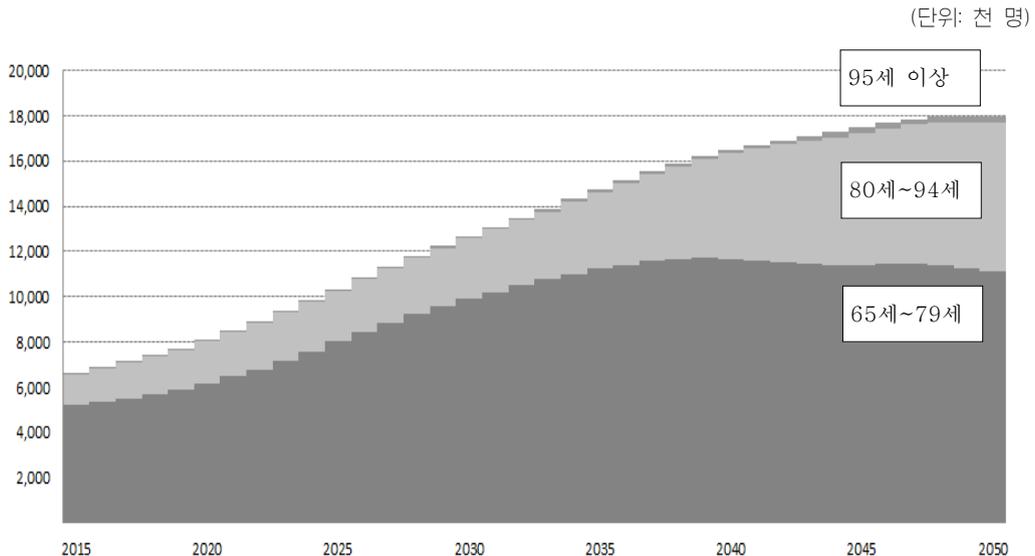
(단위: 일)



미래의 기온 변화와 함께 고려해야 할 사항은 인구 변화이다. 우리나라는 인구가 노령화되어 가고 있으며, 출산율이 OECD 국가 중 최저 수준을 기록하고 있다. 따라서 전체 인구는 감소 추세를 보이지만 65세 이상 고령자 인구 비중은 지속적으로 증가할 것으로 예상되고 있다. 본 연구에서 미래의 인구 중 65세 이상 연령층에 대한 인구전망 자료는 통계청 자료를 활용하였다. 통계청에서는 인구변동요인을 출산, 사망, 국제 이동으로 가정하여 3가지 시나리오 즉, 고위 시나리오(High), 중위 시나리오(Medium), 저위 시나리오(Low)를 제공하고 있다. 이 중 본 연구에서는 현재의 인구증가 추세를

반영한 중위 시나리오와 인구 성장이 둔화되고 장기적으로 감소할 것이라는 저위 시나리오를 선택하였다. 분석에 사용된 자료는 통계청 국가통계포털¹⁰⁾의 '가정별·연령별 전국 추계인구'를 기초로 하였다. 전체 인구에서 차지하는 65세 이상 인구의 비중은 2020년 약 16%에서 2040년에는 약 32%, 2050년에는 약 38%까지 증가할 것으로 전망되고 있다. 중위 시나리오下에서의 연령별 전국 추계인구 중 65세 이상 인구의 미래 전망은 <그림 5>와 같다. 시간이 흐름에 따라 미래에는 고령화 현상이 심화될 것이라는 것을 알 수 있다.

그림 5 중위 시나리오(Medium)下에서의 전국 65세 이상 인구 전망



미래의 여름철 온도변화에 따른 65세 이상 연령층에서의 호흡기계 질환 및 심혈관계 질환으로 사망하는 사망자 수 예측을 위해 <표 12>와 같은 4가지 시나리오를 설정하였다. 시나리오1은 2100년까지 지구 대기 중의 온실가스 농도는 650ppm이 되고, 인구 수는 장기적으로 감소한다는 것을 가정한 것이다. 반면, 시나리오4는 온실가스 농도가 높아지면서 여름철의 기온상승이 크게 변하며, 인구증가율 역시 높은 추세를 나타내고 이에 따라 65세 이상 고령자 층의 비중이 커진다는 것을 의미하고 있다.

10) 통계청 국가통계포털(www.kosis.kr)

표 12 미래의 기후변화와 인구 변화를 고려한 4가지 시나리오

		미래의 인구 변화	
		현재 추세 지속(중위)	감소 추세(저위)
미래의 기후 변화	RCP4.5	시나리오1	시나리오2
	RCP8.5	시나리오3	시나리오4

2. 초과 사망자 수 예측 및 사회적 비용 추정

앞서 언급한 각 도시별 여름철 최고 온도와 65세 이상 심혈관계 질환 및 호흡기계 질환 사망자 수와의 관계를 토대로 미래의 온도 변화와 이에 따른 각 도시의 초과 사망자 수를 시나리오별로 추정한 결과가 <표 13>에 정리되어 있다. 서울과 부산지역의 피해가 상대적으로 높은 이유는 서울의 경우는 상대적으로 인구가 집중되어 있기 때문이며, 부산은 임계온도가 타 지역보다 낮아 기온이 급격하게 상승할 경우 상대적으로 더 큰 피해를 입을 것으로 예상된다.

표 13 시나리오별 65세 이상 인구의 초과 사망자 수 예측 결과

(단위: 명)

	연도	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산
시나리오1	2020년	1,010	893	233	229	61	79	47
	2030년	381	745	30	419	48	23	-
	2040년	-	1,012	32	452	45	46	3
	2050년	-	2,054	359	749	60	114	83
	2060년	2,306	1,722	340	445	91	100	38
시나리오2	2020년	968	855	224	219	58	76	45
	2030년	354	691	28	389	45	21	-
	2040년	-	912	29	408	40	41	3
	2050년	-	1,784	312	650	52	99	72
	2060년	1,944	1,452	287	375	77	84	32
시나리오3	2020년	-	217	46	138	-	27	3
	2030년	344	1,421	270	404	-	132	45
	2040년	282	633	335	517	-	96	22
	2050년	7,930	4,165	1,031	1,058	471	379	194
	2060년	2,560	2,706	585	870	239	310	58
시나리오4	2020년	-	208	44	132	-	26	3
	2030년	319	1,319	251	375	-	123	41
	2040년	254	571	302	466	-	86	20
	2050년	6,889	3,618	895	919	409	329	169
	2060년	2,518	2,281	493	734	201	261	49

추정된 통계적 생명가치를 이용하여 초과 사망자 발생에 따른 사회적 비용을 추산하기 위해서는 세 가지의 가정이 필요하다. 첫째는 기온변화에 따른 인체 위해의 수준은 바뀌지 않는다는 것이다. 이는 기온변화에 인체가 적응하여 임계온도 이상에서 인체의 피해가 늘어나는 수준이 변하지 않는다는 가정으로 기후변화에 의한 적응능력이 현재와 동일하다는 것을 의미한다. 두 번째 가정은 통계적 생명가치가 미래에도 변하지 않을 것이라는 가정이다. 통계적 생명가치는 추정되는 것으로 미래의 상황에 따라 변화할 수 있으나 이를 적용하는 것은 본 연구의 범위를 벗어나기 때문에 미래에도 통계적 생명가치가 동일할 것이라는 가정하에 매년 동일한 통계적 생명가치를 초과사망자에 적용하였다. 마지막으로 현재와 미래에 있어서 각 도시의 인구비율은 동일하게 유지된다고 가정하였다.

이러한 가정하에 2015년부터 2060년까지 예상되는 65세 이상 초과 사망자 수에 추정된 통계적 생명가치를 곱하여 시나리오별 사회적 비용을 산정하였다. 분석기간이 30년 이상이라는 장기 기간인 점을 감안할 때 사회적 할인율 등과 같은 이자율을 적용하여 미래가치(future value)를 환산한 후 이를 반영하는 것이 필요하다. 하지만 미래 시점에 대한 할인율을 적용하는 데 있어서도 할인율의 선택 및 시간에 따른 할인율의 변화 등과 같은 추가적인 가정이 필요하므로, 본 연구에서는 분석의 단순화를 위해 미래시점에 대한 할인율을 고려하지 않았다.

<표 14>와 <그림 7>을 통해 알 수 있듯이 시나리오에 따라 다르지만 2015~60년 동안 7개 대도시 지역에서 발생할 것으로 예상되는 폭염에 따른 65세 이상 연령층의 조기 사망자수는 최소 14만 3천 명에서 최대 22만 2천 명으로 추정되었고, 그에 따른 사회적 비용은 최소 약 69조 원에서 최대 약 106조 원에 이를 것으로 추산되었다.

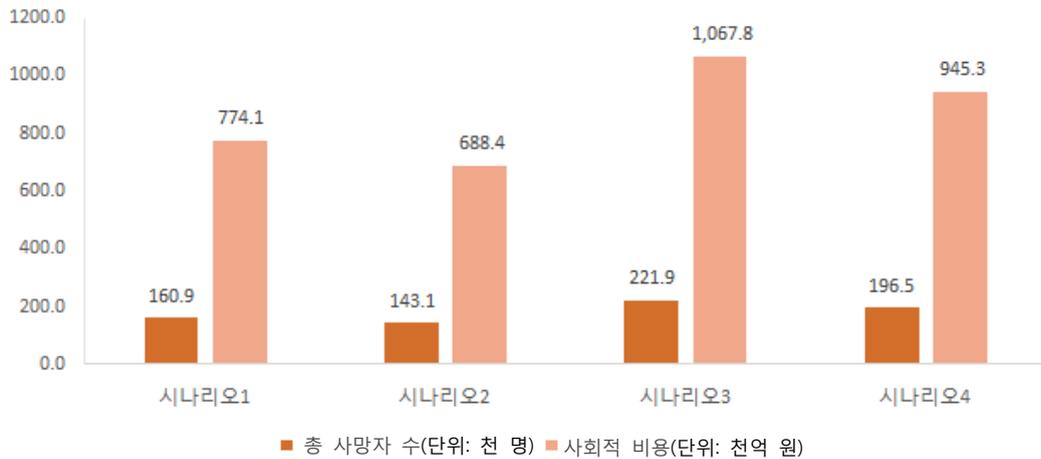
시나리오별로 살펴보면, 두 번째 시나리오의 결과가 다른 시나리오에 비해 사회적 비용이 가장 적은 것으로 나타났다. 또한, 지역적으로도 인구가 집중되어 있는 서울의 사회적 비용이 가장 높게 나타났다. 부산의 경우, 상대적으로 피해 규모가 클 것으로 예상되고 있는데, 그 이유는 다른 도시에 비해 부산이 폭염에 대한 적응 능력이 낮기 때문으로 해석할 수 있다. 즉, 초과사망에 대한 임계온도가 다른 도시에 비해 낮은 상황에서 향후 여름철 온도가 급격히 상승하는 경우 65세 이상 고령자의 호흡기계 질환 및 심혈관계 질환으로 인한 사망 가능성이 높아질 것으로 예상된다.

표 14 시나리오별 2015~60년 동안의 총 사망자 수와 사회적 비용

(단위: 명, 억 원)

시나리오	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	
1	총 사망자 수	47,312	69,803	12,005	21,357	4,074	4,429	1,922
	사회적 비용	227,622	335,829	57,757	37,150	7,086	7,704	3,343
2	총 사망자 수	41,891	62,197	10,682	19,061	3,612	3,931	1,714
	사회적 비용	72,870	108,193	18,581	33,157	6,283	6,838	2,981
3	총 사망자 수	78,399	85,006	19,482	23,042	5,139	7,455	3,414
	사회적 비용	136,376	147,869	33,889	40,082	8,939	12,968	5,938
4	총 사망자 수	69,172	75,458	17,238	20,462	4,524	6,609	3,021
	사회적 비용	120,326	131,260	29,985	35,594	7,869	11,496	5,255

그림 6 시나리오별 7개 대도시 지역의 미래 폭염발생에 따른 총 사망자 수 및 사회적 비용



V. 결론

본 연구는 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산, 7대 대도시에 거주하는 65세 이상 연령층 중 호흡기계 혹은 심혈관계 질환자의 사망률과 여름철 온도 간의 상관관계를 분석한 후, 미래의 기온변화와 인구 추계를 전망하고 통계적 생명가치를 이용하여 여름철 폭염발생에 따른 7대 대도시의 65세 이상 연령층의 초과 사망자의 사회적 비용

을 추정하였다. 구체적으로는 일 최고 기온 변화에 의한 지역별 65세 이상 심혈관계 혹은 호흡기계 초과 사망자 발생의 임계온도와 초과 사망자 증가율을 도출하였다. 조기 사망자 발생피해를 경제적으로 계량화하기 위해 통계적 생명가치 방법을 활용하였으며 이중양분선택형 조건부가치평가법을 기반으로 한 설문조사를 실시하여 응답자들의 71세 이후 10년간의 삶에 대한 WTP를 추정하였다. 그 결과, 1인당 평균지불의사금액은 연간 약 481,110원으로 나타났다. 따라서 기후변화로 인한 미래의 사망가능성을 1/1,000로 감소시키는데 통계적 생명가치는 연간 약 4억 8,111만 원으로 추정되었다.

본 연구에서는 연구의 단순화를 위해 미래의 VSL이 변하지 않는다는 가정을 설정하고 사회적 할인율 등과 같은 이자율을 적용하지 않은 한계점이 있다. 따라서 추정된 미래의 사회적 비용은 과소 추정되었을 가능성이 있다. 향후 할인율 변화에 따른 민감도 분석 등과 같은 추가적인 분석연구가 필요하다.

본 연구는 기온과 사망률 간의 인과분석이라는 기존의 보건학적 측면의 연구를 벗어나 설문조사를 통해 얻어진 통계적 생명가치를 이용하여 기후변화 폭염으로 발생하는 초과 사망자에 대한 경제적 피해를 산정해보았다는 점에서 의미를 갖고 있다. 또한, 장기적으로 기후변화로 인한 재난·재해의 경제적 충격을 연구하기 위한 기본 자료로 활용될 수 있다는 점에서 그 의미를 지닌다고 할 수 있다.

그러나 본 연구는 온도변화에 따른 대도시 지역 취약계층의 사망률 변화 분석 시, 일 단위 자료가 아닌 주간 단위 자료를 사용한 한계점을 가지고 있다. 향후 지역 단위를 조정하고 일 단위 자료 확보 등을 통해 보다 구체적인 자료를 확보하여 분석할 필요가 있다. 또한, 본 연구에서 추정된 비용은 폭염으로 인해 발생하는 온열질환자의 유병률 증가로 인한 사회적 피해, 농업, 어업, 임업 그리고 축산업 등 연관 산업의 생산성 저하 및 노동력 상실을 통한 간접 피해, 그리고 불쾌지수 증가 등에 의한 사회적 피해 등 폭염이 광범위하게 야기할 것으로 예상되는 사회전반적인 측면에서의 사회·경제적 피해를 추정한 것이 아니다. 향후 보다 포괄적인 사회·경제적인 비용을 추정하는 것이 필요하다. 향후 이러한 내용을 시나리오화하여 연산가능일반균형(CGE) 모델 등의 경제적 피해 산출 모델로 확장시켜 분석을 정교화할 필요가 있다. 아울러 개인의 노력 및 정책으로 인한 적응능력의 향상은 폭염에 의한 피해를 크게 줄여줄 수 있으므로, 폭염에 대한 적응능력을 수치화하고 적용하는 연구가 필요하다.

한편 본 연구에서 IPCC 시나리오와 통계청의 인구전망 시나리오를 이용하여 7개 대도시 지역의 기온 변화에 따른 지역별 초과 사망자 수, 특히 미래의 폭염발생으로 인해

65세 이상 호흡기계 혹은 심혈관계 질환자의 초과 사망자 수를 전망하고 그에 따른 사회적 비용을 추산한 결과, 2015년부터 2060년까지 기후변화 시나리오에 의해 폭염으로 인한 초과사망으로 발생하는 사회적 피해는 서울과 부산 지역에 집중되고, 대구와 인천 지역도 상당한 피해가 발생할 것으로 분석되었다. 특히 부산지역은 가장 많은 피해가 예상되기 때문에 중앙정부와 지방정부 차원에서는 관련 정책을 집중적으로 수립하고 실행할 필요가 있다.

마지막으로 본 연구는 WTP 측정을 위한 CVM 적용에 있어 지불수단과 지불 빈도 등 한계점을 가지고 있다. 폭염의 피해를 줄이기 위한 기후변화 적응정책에 대해 지불 의사금액을 유도함에 있어서 월 단위 WTP를 년 단위 WTP로 확장하여 사용하고 있고, 지불수단에 대한 명확한 언급이 없이 WTP를 조사한 점 등은 본 연구가 가지고 있는 한계점이다. WTP 조사 시 어떤 단위로 물어보는가에 따라 응답자의 WTP는 달라질 수 있고 지불수단에 따라 응답자의 WTP는 달라질 수 있으므로 처음 설문지 설계 때부터 WTP의 단위와 지불수단 등에 대해 신중하게 결정하는 것이 필요하다. 이러한 연구의 한계점들은 본 연구결과를 확대 혹은 재해석 시 신중한 판단이 필요하다는 점을 의미한다.

참고 문헌

<국내 자료>

- 김봉구, 조용성, 곽재은. 2001. “팔당호 수질개선에 대한 소비자 지불의사액 추정”. 「자원·환경경제연구」 10(3): 433-460.
- 김재홍. 2007. “시민지불의사에 기초한 태화강 수질개선의 사회적 편익”. 「환경정책연구」 6(1): 83-109.
- 김지영, 이대근, 박일수, 최병철, 김정식. 2006. “한반도에서 여름철 폭염이 일 사망률에 미치는 영향”. 「대기」 16(4): 269-278.
- 김태유, 곽승준, 엄미정. 1998. “대기오염으로 인한 건강영향의 가치평가: CVM을 통한 지불의사 접근법을 이용하여”. 「자원경제학회지」 8(1): 1-26.
- 신영철. 1997. “이중양분선택형 질문 CVM을 이용한 한강수질개선 편익 측정”. 「환경경제연구」 6(1): 171-192.
- _____. 2007. “Estimating Values of Statistical Lives using Choice Experiment Method”. 「자원·환경경제연구」 16(3): 683-701.
- _____. 2008. “질병예방행위 분석을 통한 확률적 인간생명가치 추정: 암 검진 행위 분석을 중심으로”. 「자원·환경경제연구」 17(4): 845-873.
- 신영철, 조승현. 2003. “미래의 사망가능성 감소에 대한 지불의사금액과 통계적 인간생명의 가치 측정: 환경적피해와 환경정책의 평가를 위한 통계적 인간생명의 가치”. 「자원·환경경제연구」 12(1): 49-74.
- 엄영숙. 1997. “자기보호행동을 통한 인간생명 가치의 추정 ; 안전벨트 착용을 사례로”. 「자원·환경경제연구」 6(1): 107-130.
- _____. 2000. “실험시장접근법을 이용한 먹는 물 수질개선에 대한 지불의사 측정”. 「자원·환경경제연구」 9(4): 747-772.
- 이나영, 임재영, 조용성. 2014. “폭염으로 인한 기후변화 취약계층의 사망률 변화 분석: 서울을 중심으로”. 「보건사회연구」 34(1): 456-484.
- 이대근, 최영진, 김규량, 변재영, Laurence S. Kalksten, Scott C. Sheridan. 2010. “대도시 폭염의 기후-보건학적 특성에 기반한 고온건강경보시스템 개발”. 「한국기후변화학회지」 1(2): 109-120.

- 정용호, 고숙자. 2011. “Health Plan 2020의 건강성과에 대한 기대효과”. 「한국보건사회연구원·건강증진사업지원단」.
- 조용성. 2003. “대기오염개선의 사회적 편익 추정: 만성호흡기 질환 사망률 감소효과를 중심으로”. 「환경정책」 11(1): 29-53.
- 최광용, 최종남, 권호장. 2005. “높은 체감온도가 서울의 여름철 질병 사망자 증가에 미치는 영향, 1991-2000”. 「예방의학회지」 38(3): 283-290.
- 한택환, 홍이석, 박창석. 2013. “이중양분선택법에 의한 한강 수변 경관의 가치 추정과 그 시사점”. 「자원·환경경제연구」 22(1): 179-214.

<국외 자료>

- Bickel, P et al. 2005. *ExternE Externalities of Energy Methodology 2005 Update*.
- Cameron, T. A., J. Quiggin. 1994. “Estimation Using Contingent Valuation Data from a Dichotomous Choice with Follow-up Questionnaire”. *Journal of Environmental Economic Management*, 27: 218-234.
- Cho, Y, K. W. Ester, Y. Konishi. 2010. “Economic Evaluation of the New U.S. Arsenic Standard for Drinking Water: A Disaggregate Approach”. *Water Resources Research*, 46(10).
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, NY, USA.
- _____. 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge University Press, NY, USA.
- Krinsky, I., A. L. Robb. 1986. “On Approximating the Statistical Properties of Elasticities”. *The Review of Economics and Statistics*, A. 64.(4): 715-719.
- Kysely, J. 2002. “Temporal Fluctuations in Heat Waves at Prague-Klementinum, the Czech Republic, from 1901-1997, and their Relationships to Atmospheric Circulation”. *International Journal of Climatology*, (22): 33-50.
- Lave, L. B., E. P. Seskin. 1973. “An Analysis of the Association between US Mortality and Air Pollution”. *Journal of the American Statistical Association*, 68(342): 284-290.

- Lund, R., Reeves, J. 2002. "Detection of undocumented changepoints: A revision of the two-phase regression model". *Journal of Climate*, 15(17): 2547–2554.
- Meehl, G. A., C. Tebaldi. 2004. "More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century". *Science*, 305(5686): 994–997.
- Mullen, J. D., Norton, G. W., Reaves, D. W. 1997. "Economic analysis of environmental benefits of integrated pest management". *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 29: 243–254.
- WHO. 2003. *WHO Health and Global Environmental Change Report*.