

2016년 서울과 부산지역 폭염특보 정보의 경제적 가치 평가 -폭염대책 비용과 환자 자료를 중심으로-

Evaluating Economic Value of Heat Wave Watch/Warning Information in Seoul and Busan in 2016: Focused on a Cost of Heat Wave Action Plan and Sample of Patients

김인겸, 이승욱, 김혜민, 이대근
국립기상과학원 미래전략연구팀

In-Gyum Kim(kimig@korea.kr), Seung-Wook Lee(antcraft@korea.kr),
Hye-min Kim(hmkim84@korea.kr), Dae-Geun Lee(dglee7@korea.kr)

요약

본 연구의 목적은 공공부문에서 활용되는 기상청의 여름철 폭염특보 정보의 가치를 평가하는 것이다. 폭염 특보는 각 지방자치단체에서 매년 발생하는 고온 피해를 저감하기 위한 대비계획의 행동 수준을 결정하는 주요 투입변수로 활용되고 있다. 비 시장재인 폭염특보 정보의 가치를 평가하기 위해 비용-손실을 고려한 의사결정모형을 수립하였다. 의사결정모형 변수인 비용과 손실은 각각 서울과 부산에서 2016년 사용한 폭염 대책 예산과 건강보험심사평가원이 제공하는 65세 이상 고령자의 건강보험 청구금액으로 설정하였다. 분석 결과 2016년 기상청 폭염특보는 서울과 부산에 각각 41.3억 원과 10.9억 원의 가치를 제공한 것으로 평가되었다. 또한 기상청이 폭염특보의 False Alarm (FA) 오류를 1회 줄이면 서울과 부산에서 각각 76.6백만 원, 16.8백만 원의 가치가 증가하는 것으로 나타났다. 연구 결과는 공공부문에서 활용되는 폭염특보의 가치를 정량적으로 추정하는데 의의가 있다.

■ 중심어 : | 폭염특보 | 경제적 가치 | 의사결정 모델 | 비용-손실 모형 |

Abstract

This study aims to evaluate the economic value of the heat wave watch/warning (HW/W) forecast provided by the KMA (Korea Meteorological Administration) for the public sector. Local governments of Korea currently use the HW/W forecasts as a major input variable to determine the preparative requisite level for reducing potential damage by extreme heat events. To assess the value of the HW/W, which is not a marketable commodity, a decision-making model taking into account the cost and loss was established. The 'cost' variable was defined as the heat wave countermeasures budget for Seoul and Busan in 2016, and the 'loss' variable was set as the amount of health insurance claims for those 65 and older obtained from the Health Insurance Review and Assessment Service. Using this model, the value of the HW/W in 2016 was calculated as KRW 4,133M and KRW1,090M for Seoul and Busan, respectively. In addition, if the KMA reduces the False Alarm of the HW/W by a single instance, the value will be increased by KRW 76.6M and KRW 16.8M for the two cities. The results of this study are useful in quantitatively estimation of the value of the HW/W for the public sector.

■ keyword : | Heat Wave Watch/Warning | Economic Value | Decision-Making Model | Cost-Loss Model |

* 본 연구는 기상청 국립기상과학원 「기상업무지원기술개발연구-기상정보 활용 및 가치창출 지원연구」(1365003084)의 지원으로 수행되었습니다.

접수일자 : 2020년 02월 28일

수정일자 : 2020년 03월 26일

심사완료일 : 2020년 03월 26일

교신저자 : 김인겸, e-mail : kimig@korea.kr

I. 서론

폭염은 다른 어떤 극한 기상현상 보다 사망자 수 증가에 큰 영향을 미친다. 미국에서는 1999-2003년 동안 연평균 688명이 폭염으로 사망하였고, 특히 1995년엔 1,000명 이상이 사망하기도 하였다[1][2]. 2003년 유럽에서는 폭염으로 70,000명 이상이 사망하였고, 2010년 러시아에서는 20,000명 이상이 목숨을 잃었다. 한국에서는 1991~2011년 동안 연평균 9.4일의 폭염으로 21명이 사망하는 것으로 보고되고 있으며, 특히 1994년에는 93명의 사망 원인으로 폭염이 지목되었다[4-7]. 이와 같이 치명적인 기상관련 재해로 기록되고 있는 폭염과 같은 극한 고온 현상들은 아시아, 유럽, 호주에서 빈도가 증가해 왔으며, 기후변화의 진행으로 발생 및 그로 인한 피해는 더욱 증가할 것으로 전망된다[8].

폭염의 건강 영향은 고령일수록 크게 작용한다[9]. 우리나라는 전체인구에서 차지하는 65세 이상 고령인구 비율이 2030년 24.3%, 2050년 38.2%로 급격히 증가하는 초고령 사회로의 진입이 예상되고 있어 폭염으로 인한 취약성은 더욱 높아질 것이다[10]. 효율적인 대책 마련이 요구되는 가운데 각 지방자치단체(이하 '지자체')들은 폭염으로 인한 피해를 줄이기 위해 매년 여름철 '폭염 종합대책 추진계획'을 수립·실행하고 있다. 폭염 종합대책을 통해 취약계층 보호, 취약시설 관리, 피해예방 활동의 실행 여부 및 강도를 결정한다. 이 같은 폭염 대비행동의 수준을 결정하는데 필수적으로 투입되는 선행정보는 기상청의 폭염특보 정보이다[11][12].

폭염특보가 정보로서의 가치가 있는지 평가하는 것은 중요하다. 왜냐하면 폭염 종합 대책에 소요되는 예산이 합리적인 기준에 의해 제대로 사용되고 있는지 평가하고, 이를 바탕으로 향후 새로운 서비스가 기상청 및 민간기상사업자로부터 제공될 때 지자체에게 더 높은 가치를 제공하는 서비스를 구분할 수 있어야 하기 때문이다. 그리고 무엇보다도 불확실성을 필연적으로 내포할 수밖에 없는 기상정보의 가치를 정량적으로 평가하는 것은 국민들로 하여금 정보의 가치 정도를 쉽게 이해시켜 객관적인 활용을 확대·유도함으로써 극한기상으로 인한 사회·경제적 피해를 저감하는 데에도 도움

이 될 수 있다.

기상정보의 경제적 가치는 사용자의 의사결정과정에 기상정보가 투입되었을 때와 정보가 투입되지 않았을 때의 산출물 간 비교·분석으로 평가될 수 있다[13-15]. 기상정보는 의사결정 과정에 투입되어 사용자로 하여금 특정 수준의 산출물 생산에 더 낮은 비용을 소요하게 하거나 혹은 동일한 비용으로 더 나은 산출물이 도출될 수 있게 한다[16][17]. 이 때 기상정보 가치의 정확한 분석을 위해서는 기상정보가 제공될 때와 제공되지 않을 때 사용자 의사결정에 따라 종속적으로 변화하는 비용과 손실 금액을 적절하게 설정해야 한다.

다양한 연구들에서 폭염 피해 손실은 사망자에 초점을 맞춰 수행되어 왔다[18-20]. 하지만 폭염 피해로 '사망자'를 고려할 경우 개인의 사망 사건을 금전적 손실로 전환하는데 어려움이 따른다. 왜냐하면, 일반적으로 사용되는 VSL(Economic Valuation of Statistical Life)은 연구주체에 따라 산출방법 및 관점의 기준이 다를 수 있고, 상대적으로 젊은 인구에 비해 65세 이상 비경제활동 고령자의 사망 가치를 과소추정하는 한계도 존재하기 때문이다[21][22].

본 연구의 목적은 기상청 폭염특보 정보의 경제적 가치를 평가하는 것이다. 이를 위해 기상청 폭염특보를 사용하는 지자체의 의사결정 모델을 수립하여 대비행동의 여부에 따른 비용-손실 조합을 바탕으로 폭염특보의 경제적 가치 평가를 시도하였다. 특히, 폭염에 더 취약한 65세 이상 고령자를 중심으로 폭염 관련 의료비를 손실로 간주하고, 비용은 서울과 부산 두 도시의 폭염종합 대책 예산금액으로 설정하였다.

II. 의사결정 모델

위험기상에 대비하는 의사결정자는 기상예보 정보를 활용하여 행동의 실행 여부를 선택한다. 의사결정자의 대비행동은 실제 위험기상현상 발생·미발생에 따라 맞거나 틀린 선택이 된다. 그리고 그러한 선택의 결과에 따라 비용 혹은 손실이 발생한다[23].

[그림 1]은 Gruenigen et al. (2014)이 제시한 항공기상정보 사용 의사결정 모델을 폭염특보정보 사용 환

경에 적용하여 대비행동의 결정과 실제 기상현상의 발생 여부에 따라 부담하게 되는 비용-손실의 발생 과정을 도식화한 것이다[24]. 기상청은 일최고 기온이 33℃ 혹은 35℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 각각 ‘폭염 주의보’와 ‘폭염 경보’를 발표한다. 그리고 지자체의 대비행동 결정은 기상청에서 제공하는 폭염특보에 따른다. [그림 1]에서 폭염대책 비용은 정책 추진 기간 동안 폭염 발생여부와 관계없이 일정하게 소요되는 고정비와 운영상의 변동비로 구성된다. 폭염 현상 발생에 대비하여 적절한 조치를 취할 경우 손실은 완화될 수 있지만, 제대로 대비하지 못하면 온전한 손실이 발생한다. 한편, 일단 기상청이 폭염 발생을 예측하면, 결과에 관계없이 변동비가 지출된다.

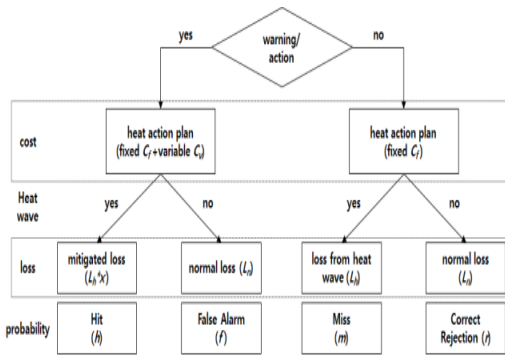


그림 1. 폭염특보-대비행동과 실제 폭염 발생 여부에 따른 비용, 손실 발생 개념도

III. 폭염특보 정보의 경제적 가치 평가 방법

폭염특보 정보의 경제적 가치를 평가하기 위해 비용-손실 모형을 차용하였다. 비용-손실 모형은 [표 1]처럼 위험기상 대비행동과 실제 현상발생 여부 사이의 비용 및 각각의 경우에 수반되는 비용과 손실을 통해 기상정보의 경제적 가치를 평가한다[25][26].

표 1. 예보의 가치스코어 평가에 사용되는 2×2 검정테이블

		예보/행동	
		예보/실행	미예보/미실행
위험 기상	발생	Hit: H (<i>h</i>) Mitigated Loss (<i>L_m</i>)	Miss: M (<i>m</i>) Loss (<i>L</i>)
	미발생	False Alarm: FA (<i>f</i>) Cost (<i>C</i>)	Correct Rejection: CR (<i>r</i>) None (<i>N</i>)

$$\begin{aligned}
 h &= H / (H + M + FA + CR), \quad m = \bar{o} \times (1 - HR), \\
 f &= (1 - \bar{o}) \times FAR, \quad r = (1 - \bar{o}) \times (1 - \overline{FAR}), \\
 HR &= H / (H + M), \quad FAR = FA / (FA + CR), \\
 \bar{o} &= (H + M) / (H + M + FA + CR), \\
 L_m &= (C_f + C_v) + L_h \times x, \quad L = C_f + L_h, \\
 C &= (C_f + C_v) + L_n, \quad N = C_f + L_n
 \end{aligned}$$

[표 1]에서 H, M, FA, CR은 예보/행동과 위험기상 발생/미발생의 조합에 따른 경우의 수이다. C_f 와 C_v 는 각각 폭염종합대책(이하 ‘폭염대책’)의 고정비와 변동비이고, L_h 와 L_n 은 각각 폭염시와 평상시의 고령자 건강보험 청구금액이다. x 는 폭염대책으로 감소할 수 있는 손실의 비율이다. Benmarhnia et al. (2016)은 이중차분법(Difference-in-Differences Approach)으로 정책적 폭염대비 행동(Heat Action Plans, HAPs)의 사망자 감소 효과를 증명하였다[27]. 그 결과, HAPs는 일평균 38.7명의 비사망 사망자 표본에서 하루 2.52명의 사망자를 감소시킬 수 있는 것으로 평가되었다. 본 연구는 질환으로 인한 병원 방문자에 초점을 맞춰 Benmarhnia et al. (2016)의 사망자 분석과는 연구대상에서 차이가 존재하지만, 보수적 접근을 통해 예보 정보 가치의 과대평가를 방지함으로써 결과에 대한 수용력을 높이고자 폭염대책으로 6.51%(2.52 ÷ 38.7)의 손실이 감소되는 것으로 가정하였다. 따라서 상수 x 는 0.9349이다.

폭염특보의 경제적 가치(EV)는 식(1)처럼 예보 미사용에 따른 기대 비용($E_{n,f}$)과 예보 사용에 따른 기대 비용(E_f) 간의 차이로 계산하였다[24].

$$EV = E_{n,f} - E_f \tag{1}$$

기상청이 제공하는 폭염특보 사용시 지자체가 기대할 수 있는 총 비용은 [표 1]의 모든 비용-손실과 발생 확률간의 곱을 더한 값이다(식 2).

$$E_f = L_m \times h + L \times m + C \times f + N \times r \quad (2)$$

폭염특보가 없다면 지자체는 일반적으로 항상 대비 행동을 하거나 반대로 대비행동을 전혀 취하지 않을 수 있다. Wilks (2001)는 $\frac{C}{L}$ 와 \bar{o} (폭염 발생의 기후학적 확률) 간의 비교를 통해 '항상 대책 실시' 혹은 '항상 대책 미실시'를 결정할 수 있다고 하였지만[28], 폭염으로 인한 심각한 피해와 공공기관으로서 시민의 안전을 위해 노력해야 하는 지자체의 재해예방 의무를 고려할 때, 대비행동을 항상 취하지 않는 결정은 실행되기 어렵다. 본 연구에서는 E_{nf} 를 계산하기 위해 항상 대비행동을 실시하는 경우를 가정하였다. 그 경우 E_{nf} 는 식 (3)으로 계산된다.

$$E_{nf} = L_m \times (h + m) + C \times (f + r) \quad (3)$$

IV. 연구자료

1. 기상자료

분석에 사용된 기상자료는 「기상정보개방포털」에서 제공하는 '폭염특보'와 '지점별 일최고기온' 관측자료이다.

2016년 여름 서울과 부산에서는 각각 24일, 9일의 폭염이 발생하였다. [그림 2]는 일최고기온 변화이고, [표 2]는 폭염특보와 폭염 발생 유무에 따른 경우의 수 및 상대비율을 나타낸다. 일최고기온 33℃ 이상인 날이 이어지면 폭염으로 인한 건강 영향이 급증하기에[29], 본 연구에서는 특보의 기준 온도를 33℃로 정하고, 주의보와 경보를 구분하지 않았다.

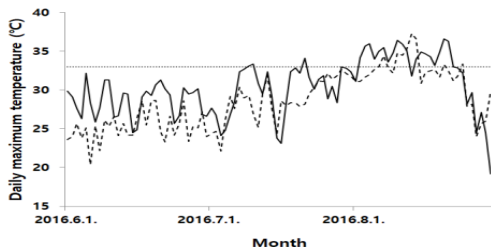


그림 2. 서울(실선), 부산(파선)의 일최고 기온 변화(2016년 6~8월, 가로 점선은 33℃).

서울의 H, M, FA, CR은 각각 23, 1, 15, 53이고 부산은 9, 0, 18, 65이다. 2016년 서울시 폭염특보 정밀도와 재현율은 각각 0.61, 0.96, F₂-score는 0.86이다. 부산시의 정밀도와 재현율은 각각 0.33, 1.00, 그리고 F₂-score는 0.71이다¹. 본 검증값들은 특보 사용자가 특보 발효 여부와 일최고기온 33℃ 이상 발생 유무를 매일 단순 고려하는 상황을 가정한 결과이다. 이와 달리 기상청은 2일 이상 현상발생이 예상될 때 특보 발효를 발표한다.

2. 폭염 종합대책 실행 예산(비용)

서울과 부산은 2016년 5월 「2016년 폭염 종합대책 추진 계획(이하 '폭염 대책)」을 발표하였다. 폭염 대책은 당해연도 여름 동안 시와 관계기관 및 민간단체의 협력을 지원 받은 자치구가 실시한다[11][12]. 주요 활동으로는 폭염정보 전달체계구축, 무더위쉼터 지정·운영, 재난도우미 확보, 공공일자리 안전관리대책 운영, 취약계층 방문건강관리 등이다[표 2].

표 2. 2016년 서울시 폭염 대책 추진 방법

구분	내용	
평상시	폭염 상황관리 TF 구성 및 운영(3팀 16명)	
	취약계층 보호활동, 취약시설 점검, 기상상황 모니터링 등	
폭염 특보시	서울시 폭염종합지원 상황실 운영	
	주요 보	상황총괄반, 시설복구반 등 7개반 운영
	경보	7개반 + 생활지원반, 재난현장환경정비반, 통신지원반, 자원지원반 운영
비상시	(인명피해 발생)재난안전대책본부 구성 및 운영	
	11개반 + 행정지원자원봉사반, 질서·협력반 운영	

2016년 서울과 부산의 폭염 대책 예산은 각각 86.6억 원, 7.1억 원이다. 원시자료는 '행정안전부 정보공개청구'를 통해 제공받았다. 서울시의 폭염 대책 예산 세부사항은 [표 3]과 같다. 예산은 폭염특보 혹은 현상 발생의 관련성에 따라 고정비와 변동비로 구분하였다. 2016년 폭염 대책 기간 동안 고정비는 68.2억 원, 변동

¹ F₂-score = $(1 + 2^2) \times \frac{(\text{정밀도} \times \text{재현율})}{(2^2 \times \text{정밀도}) + \text{재현율}}$, 정밀도 = $\frac{h}{h + f}$, 재현율 = $\frac{h}{h + m}$

비는 18.4억 원이 집행되었다. 일평균 고정비와 변동비는 각각 폭염 대책 운영 기간과 폭염 발생일수 비율에 따라 계산하였다. 부산의 고정비-변동비 예산은 서울시의 비율과 동일하게 가정하였다.

표 3. 2016년 서울시 폭염 대책 예산

구분	항목	금액(백만원)	비중
고정비	특근노인 생활관리사 급여	3,800	55.7%
	그늘막, 쿨루프, 인개시스템 설치	2351.4	34.5%
	에어컨, 선풍기 등 설치	56	0.8%
	에너지복지시민기금	424	6.2%
	무더위 쉼터 등 홍보	190	2.8%
	소계	6,821.4	100.0%
변동비	무더위쉼터 냉방비 등 운영비	1,628	88.5%
	도로살수	204	11.1%
	음료, 선크림 등 물품비	7	0.4%
	소계	1,839	100.0%
총계		8,660.4	-

3. 외래환자 건강보험 청구금액(손실)

국민건강보험은 전 국민을 대상으로 거의 모든 보건 의료기관에서 필요에 따라 보험급여를 지급받을 수 있게 한 사회보장제도이다. 1963년 제정된 「의료보험법」에서 시작하여 1976년 강제성을 전제로 한 당연가입이 개정되는 등 가입자와 의료기관 범위가 지속적으로 확대되어 왔다. 2000년 현재 모습의 국민건강보험이 출범하였고, 현재 우리나라의 국민건강보험 가입자 수는 전 국민의 98%에 달한다[30][31].

건강보험심사평가원에서 제공 중인 국민건강보험 가입환자(외래/입원)의 건강보험 청구자료(이하 '청구자료')는 대표적인 보건 의료 자료로 평가받고 있다. 본 연구에 사용된 2016년 65세 이상 고령자의 청구자료는 '보건 의료 빅데이터 개방 시스템'을 통해 제공받았다. 분석에 사용된 청구자료의 변수는 [표 4]와 같다.

표 4. 2016년 건강보험 청구자료 변수

구분	설명
FOM_TP_CD	서식구분(진료과목 및 입원 외래 구분)
MSICK_CD	주상병코드
SSICK_CD	부상병코드
RVD_RPE_TAMT_AMT	본인부담금+심사결정 보험자부담금
SIDO_CD	시도코드(11=서울, 21=부산)

김록영 외(2013)에 따르면, 건강보험심사평가원에서 제공하는 청구자료의 내부 타당도를 검증한 결과 100개 다빈도 질환에서 표본자료와 모집단의 비율이 동일하고, 일원분산분석시 95% 신뢰구간에서 표본자료와 모집단 간의 평균과 분산에 차이가 없다고 하였다[32]. 입원환자와 고령환자의 샘플비율은 각각 모집단의 13%, 20%이다. 김록영 외(2013)은 입원환자 청구자료의 모집단 환자 수 추정에 샘플비율인 7.692의 가중치를 사용하였다. 본 연구에서는 동일한 방법으로 고령환자 청구건의 모집단 추정에 5의 가중치를 사용하였다. 한편, 입원환자 모집단과 표본자료의 환자당 월별 평균 청구금액의 상대분산은 0.9812이다. 고령환자 표본자료와 모집단의 청구금액 상대분산도 입원환자와 유사한 것으로 가정하였다.

[그림 3]은 서울과 부산의 월별 건강보험 청구건 수 변화이다. 여름철 청구건수가 적은 것은 일반적으로 환절기와 기온이 낮을 때 사망자가 증가하는 것과 관련 있는 것으로 판단된다[33]. 건강보험 청구건 수는 신청인 수를 직접 의미하는 것은 아니다. 개인이 동일 질병으로 복수의 횡수만큼 건강보험을 청구할 경우 모든 청구 횡수가 반영된 것이다.

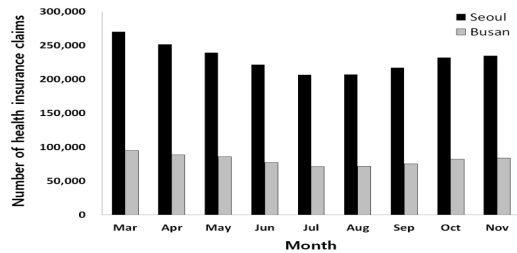


그림 4. 2016년 65세 이상 표본자료의 월별 건강보험 청구건 (단위: 건)

질환 코드 및 시기별 건강보험 청구 금액은 다음의 과정으로 도출하였다.

- ① T67 계열의 질환에 대한 월별 건강보험 청구금액 합계 분포 도출
- ② ①의 월별 분포와 상관관계 높은($p \leq 0.05$) 질환들의 월별 건강보험 청구금액 합계 계산
- ③ 월별 폭염 피해 손실 금액은 ①+②로 계산

- ④ 모집단의 월별 폭염 피해 손실 금액은 ③×5(고령화자 모집단 추정 가중치)
- ⑤ 일별 폭염 피해 손실 금액은 ④÷92일(6~8월)

①단계에서 질환별 질병코드는 '질병분류정보센터'의 '한국표준질병·사인분류' 7차 개정안을 참고하였다(ICD-10 코드). T67은 '열 및 빛의 영향'에 의한 질환으로서 열사병 및 일사병, 열실신, 열경련, 열탈진 등을 포함하고 X30(과다한 자연열에 노출) 및 E86(용적 고갈)과 함께 폭염으로 인한 직접 영향 질환으로 분류된다[34]. 서울과 부산의 2016년 T67 질환에 대한 건강보험 청구금액 변화는 [그림 4]와 같다.

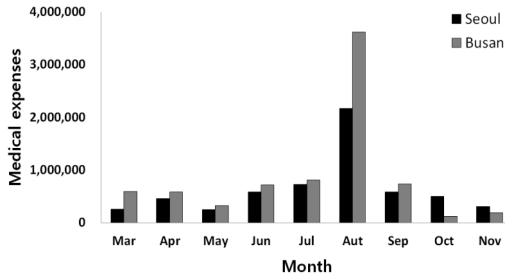


그림 4. 2016년 65세 이상 '열 및 빛의 영향(T67)' 질환의 월별 건강보험 청구금액(단위: 원)

②단계에서 T67 질환과의 상관분석은 Sarofim et al(2016)이 제시한 폭염 관련 간접영향 질환을 대상으로 실시하였다[35]. 해당 질환은 심혈관/뇌혈관/호흡기/신장 질환, 당뇨병, 정신장애, 전해질 불균형이 포함된다.

V. 결과 및 고찰

1. 서울시의 폭염특보 가치

봄~가을의 건강보험 청구금액은 각각 11.9억 원, 12.8억 원, 11.9억 원이다. 여름철 청구금액은 폭염시 손실, 봄과 가을의 평균 청구금액은 비폭염시의 손실로 간주하였다. 이를 기초로 계산된 일평균 비용-손실 금액은 [표 5]와 같다.

표 5. 예보사용에 따른 기대 비용-손실 발생 금액

		폭염특보/서울시 폭염대책	
		발표(실시)	미발표(미실시)
위험 기상	발생	193,255,853원	121,154,983원
	미발생	193,022,768원	116,397,768원

[표 5]의 각 값들은 여름철 서울시의 폭염대책 행동과 실제 폭염현상 발생의 조합에 따라 매일 평균적으로 해당 금액만큼의 비용(손실)이 발생하는 것을 의미한다. 선행연구와 달리 [표 5]에서 L (121,154,983원)보다 L_m (193,255,853원)이 더 큰 이유는 서울시 폭염대책으로 손실은 6.51%만 줄어드는 반면, 대비행동을 취할 경우 일평균 76.6백만 원 (1,839백만 원÷24일)의 변동비용이 추가되게 모형이 설정됐기 때문이다. [표 6]은 T67 질환과 기타 폭염 간접 관련 질환 간의 상관분석 결과 T67 계열을 제외하고 25종의 질환을 정리한 것이고, [표 7]은 [표 5]를 활용하여 예보 사용 및 미사용에 따른 기대비용과 특보 가치를 계산한 결과이다.

폭염특보의 일평균 가치는 44.9백만 원이다. 92일(6~8월) 동안 누적되는 폭염특보의 경제적 가치는 41.3억 원으로 추정할 수 있다. 이는 서울시가 2016년 소요한 폭염대책 예산 86.6억 원의 47.73%에 해당하며, 폭염대비 예산 중 '그늘막, 쿨루프, 안개시스템 설치'와 '무더위쉼터 냉방비 등 운영비'를 합한 것보다 큰 금액이다. 그리고 2016 회계연도 당시 기상청 지출예산인 3,961.5억 원의 1.04%에 해당한다.

한편, 2016년 기준 기상청이 폭염특보의 FA 오류를 한 번 줄일 때마다 여름 동안 76.6백만 원의 폭염특보 가치가 증가된다. 이는 지자체가 불필요한 변동비 지출을 회피한 결과이다. 100% 정확도 달성시 여름철 동안의 특보 가치는 52.1억 원으로 평가되었다. 이는 현재 수준의 폭염특보가 완전해질 경우 23.98%의 가치가 상승할 수 있음을 의미한다[표 8].

서울시가 사용한 폭염대책 예산은 서울 시민 전체를 위한 것으로 예산 총액을 시민 수(9,930,616명)로 나누면 872원이다. 이는 시민 1인당 폭염 대책을 위해 지불된 금액으로 간주될 수 있다. 그런데, 65세 이상 고령자를 고려한 폭염 가치는 41.3억 원으로 이를 서울시의 65세 이상 인구(1,229,365명)로 나눌 경우 3,362원이 된다. 서울에 거주하는 65세 이상 고령자들은 본인이

표 6. T67과 상관분석 결과 95% 신뢰수준에서 유의미한 질환들의 월별 건강보험 청구금액(서울) (단위: 만 원)

질환분류	번호	질환코드	봄			여름			가을		
			Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov
전해질 불균형	1	E875	30,022	27,415	26,801	27,826	27,942	30,971	28,019	28,176	27,973
정신 및 행동 장애	2	F103	28	27	27	27	15	76	85	23	14
	3	F232	82	67	54	134	192	216	104	209	96
	4	F239	66	58	61	36	48	104	48	31	75
	5	F318	1,415	1,102	1,237	1,206	1,366	1,831	1,042	1,184	1,358
	6	F330	774	759	690	671	703	846	685	666	697
	7	F332	457	477	363	729	790	776	677	662	611
	8	F348	58	84	63	109	94	124	105	68	58
	9	F401	99	91	55	67	63	135	70	74	72
	10	F410	5,321	5,146	5,821	5,326	5,024	6,382	5,525	5,401	5,277
	11	F432	620	508	577	490	578	689	565	552	494
	12	F603	8	20	3	19	16	31	8	8	8
	심혈관 질환	13	I212	51	58	10	65	35	74	46	19
14		I249	260	174	199	302	366	435	437	366	269
뇌혈관 질환	15	I601	145	153	177	183	239	240	228	174	149
	16	I604	18	6	2	62	3	57	10	1	1
	17	I6349	74	71	62	64	86	96	56	75	59
	18	I661	283	302	171	127	211	468	69	61	25
	19	I688	1,906	1,175	1,546	1,787	1,720	2,061	1,607	1,556	1,520
호흡기 질환	20	J341	12	103	34	61	43	126	51	20	22
	21	J351	16	13	17	17	11	95	86	48	24
	22	J382	415	336	316	380	483	641	375	224	205
	23	J3840	74	75	82	97	427	380	158	79	58
	24	J4511	41	23	36	49	46	63	42	32	37
	25	J950	7	9	13	52	68	79	3	1	12
열 및 빛의 영향	26	T67	26	46	25	58	73	217	58	50	31
합계			42,278	38,298	38,442	39,944	40,642	47,213	40,159	39,760	39,158

표 7. 예보사용 및 미사용에 따른 비용 및 경제적 가치

구분	금액
E_f	148,157,205원
E_{nf}	193,083,573원
(daily) EV	44,926,368원
(summer) EV	4,133,225,870원

표 8. 폭염특보의 정확도 상승 효과

구분	가치
FA 오류 1회 개선시	76,625,000원
100% 정확도 달성시	5,210,500,040원

부담한 폭염 대책 예산의 3.86배 가치를 기상청의 폭염 특보 서비스로 이미 제공받고 있다고 할 수 있다[표 9].

표 9. 서울시 폭염대책 비용과 폭염특보의 경제적 가치 비교

구분	서울시 폭염대책	폭염특보
금액(원)	8,660,400,000	4,133,225,870
인구(명)	9,930,616	65세 이상: 1,229,365
금액÷인구	872.09원	3362.08원
비용대비 가치비율(%)	1	3.86

2. 부산시의 폭염특보 가치

서울과 동일한 방식으로 부산시의 예보가치를 평가 하여 요약 결과를 [표 10-표 12]에 정리하였다. 2016년 부산시에 제공된 폭염특보의 경제적 가치는 10.9억 원으로 서울시의 26% 비율을 보였다. 1인당 가치에서도 부산시는 1,900원으로 서울의 3,362원에 비해 1,462원이 적은 것으로 평가됐다.

서울과 부산 간에 발생한 가치의 절대적 차이는 폭염

종합대책에 투입된 예산의 크기에서 기인한다. 그 이유는 비용인 폭염대책 예산을 늘리면 [표 1]을 기반으로 계산되는 기대비용의 크기가 커져 예보 가치가 증가할 수 있기 때문이다. 만약 부산시의 폭염대책 예산을 10% 증가시키면, 폭염특보의 가치 또한 10% 증가한 12.0억 원이 된다. FA 1회 오류 개선시 증가하는 가치는 16.8백만 원이다.

표 10. 부산시 폭염특보의 경제적 가치

구분	금액
(daily) EV	11,852,130원
(summer) EV	1,090,395,940원

표 11. 부산시 폭염대책 비용과 폭염특보의 경제적 가치 비교

구분	부산시 폭염대책	폭염특보
금액(원)	711,000,000	1,090,395,940
인구(명)	3,440,484	65세 이상: 573,795
금액÷인구	206.66원	1,900.32원
비용대비 가치비율(%)	1	9.20

표 12. T67과 상관분석 결과 95% 신뢰수준에서 유의미한 질환들의 월별 건강보험 청구금액(부산) (단위: 만 원)

질환분류	번호	질환코드	봄			여름			가을		
			Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov
당뇨병	1	E1170	260	247	231	223	357	602	6	4	222
정신 및 행동 장애	2	F101	286	265	303	262	523	518	258	262	188
	3	F102	8,401	7,486	8,568	8,043	7,859	9,064	6,908	7,049	6,112
	4	F103	221	251	259	248	720	793	512	264	257
	5	F200	2,497	2,639	2,489	2,483	2,493	2,719	2,363	2,442	2,481
	6	F203	634	605	628	607	645	1,432	597	620	613
	7	F322	2,606	2,274	1,987	2,146	2,150	2,748	2,621	2,174	1,746
	8	F331	841	450	469	560	582	770	476	409	460
	9	F432	193	236	285	221	408	682	212	298	248
	10	F515	13	18	3	5	1	47	13	1	5
	11	F718	8	8	8	9	8	16	8	8	8
심혈관 질환	12	I2080	73	264	190	54	84	995	257	377	289
뇌혈관 질환	13	I601	46	22	323	449	24	5,394	1,651	1,586	790
	14	I6301	480	659	322	350	639	2,769	3,398	748	304
	15	I6311	236	211	223	316	229	459	48	232	230
	16	I6353	1,494	1,243	1,267	961	1,215	3,092	1,704	628	245
	17	I638	25,361	24,245	24,648	26,861	26,957	27,376	23,025	23,337	22,759
호흡기 질환	18	J0510	11	36	7	5	24	227	39	4	13
	19	J170	1	2	1	11	1	16	1	1	4
	20	J438	253	203	120	217	176	476	285	340	191
	21	J4481	390	93	378	99	79	588	138	51	74
	22	J4501	84	116	102	62	76	227	204	124	65
	23	J4502	223	195	150	124	106	390	180	124	183
	24	J47	1,493	1,769	1,795	2,304	1,866	2,872	2,053	1,642	1,924
	25	J869	20	569	92	2,173	2,916	3,035	541	27	750
26	J931	423	496	37	640	586	763	361	11	21	
열 및 빛의 영향	27	T673	4	9	15	28	9	65	14	1	17
합계			46,552	44,611	44,900	49,461	50,733	68,135	47,873	42,764	40,199

서울과 부산의 폭염특보 가치는 서울시가 크지만, 각 도시에서 지출한 예산 대비 65세 이상 고령자들에게 제공된 혜택의 상대적 비율은 부산(1:9.20)이 서울

(1:3.86)보다 높게 나타났다. 이는 서울과 부산의 폭염 일수 차이 때문으로 사료된다. 특보 정보가 주어지지 않은 경우 항상 대비행동을 취하는 상황을 가정하였기

때문에, 실제 폭염 발생빈도가 낮으면 상대적으로 틀린 결정이 될 확률이 커지고, 이는 특보를 사용할 때의 기대비용과의 차이를 확대할 수 있다. 서울은 24일의 폭염이 발생한 반면, 부산의 폭염일수는 9일이었다. 폭염 특보의 가치 평가에서 비용-손실과 함께 폭염 현상의 발생일 차이가 도시 간 혹은 지역 간 가치 비교시 중요한 요소로 작용할 수 있음을 알 수 있다.

VI. 결론

본 연구는 비용-손실 모형을 사용하여 기상청에서 제공하는 폭염특보의 경제적 가치를 평가하였다. 분석을 위해 예보 정보를 사용하여 폭염에 대비하는 서울과 부산시의 예산과 도시별 65세 이상 고령자들의 폭염 관련 질환으로 인한 건강보험 청구금액을 수집하였다. 폭염대책 예산은 고정비와 변동비로 구분하였고, 건강보험 청구금액에서 폭염 관련 질환을 추출하기 위해 T67 질환과 상관분석을 실시하여 95% 신뢰수준에서 유의미한 질환을 선정하였다. 예보 정보 미사용시 각 도시는 매일 대비행동을 실시하는 것으로 가정하였다.

분석 결과, 2016년 기상청 폭염특보는 서울과 부산시에 매일 각각 44.9백만 원과 11.9백만 원, 6~8월 여름 동안 41.3억 원과 10.9억 원의 가치를 제공한 것으로 평가되었다. 평가된 가치는 두 도시가 사용한 폭염 종합대책 예산 대비 서울 47.73%, 부산 153.36%에 달해 각종 운영비 혹은 예산 전체보다 큰 가치를 제공하였다. 비록 20% 정도의 오보율을 보이는 기상청 폭염특보 정보지만, 지자체가 수행하는 대비 행동에 소요되는 운영비 혹은 전체 예산 비용을 절감하는데 도움이 되고 있음을 알 수 있다. 서울과 부산에 100% 정확한 예보가 주어질 경우 여름 동안 폭염특보의 가치는 각각 52.1억 원, 15.3억 원에 달하는 것으로 나타났다. 또한 기상청이 폭염특보의 FA 오류를 1회 줄이면 여름 동안 서울 76.6백만 원, 부산 16.8백만 원의 가치를 추가적으로 제공할 수 있다.

한편, 이 같은 분석은 폭염 발생빈도가 비슷한 도시 간 비교시 시민 1인이 부담하는 예산과 정보의 가치를 고려함으로써 지자체가 적정 수준의 예산을 투입하고

있는지 판단하는데 도움이 될 수 있을 것이다. 단, 더 정확한 비교를 위해 폭염종합대책의 수혜집단을 확장한 분석이 선행될 필요는 있다.

비용-손실 모형의 특성상 예보정확도 보다 대비행동으로 인한 비용과 위험기상 발생에 의한 피해 손실의 규모에 따라 폭염특보의 가치는 크게 달라질 수 있다. 그러나, 본 연구는 고령환자 자료의 수집 한계로 인해 2016년의 폭염특보 가치만을 평가함으로써 시기별·연도별 비교·분석과 일반화된 결과를 제시하지는 못했다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 실제 비용과 손실 데이터를 활용하여 폭염특보의 가치분석을 시도하여 기존에 국내에서 주로 수행되어 왔던 지불의사금액을 활용한 기상정보의 가구당 경제적 가치평가 연구를 확장한데 의의가 있다. 향후 폭염이 극심하였던 2018년의 건강보험 청구자료가 제공될 경우 본 연구 결과와 비교를 통해 시기별 가치 변화 분석이 가능할 것으로 기대한다.

* 본 연구에 사용된 환자 보험청구자료는 건강보험심사평가원 환자표본자료(HIRA-APS-2016)를 활용한 것이며, 연구결과는 건강보험심사평가원 및 보건복지부와 관련이 없음을 밝힙니다.

참고 문헌

- [1] G. Luber, C. Sanchez, and L. Conklin, "Heat-related death-United States, 1999-2003," *Morbidity and Mortality Weekly Report*, Vol.55, No.29, pp.796-798, 2006.
- [2] http://www.weather.gov/mkx/1995_heat-wave, 2020.2.10.
- [3] M. A. Palecki, S. A. Changnon, and K. E. Kunkel, "The nature and impacts of the July 1999 heat wave in the midwestern United States: Learning from the lessons of 1995," *Bulletin of American Meteorological Society*, Vol.82, No.7, pp.1353-1367, 2001.
- [4] B. Revich and D. A. Shaposhnikov, "Climate change, heat waves, and cold spells as risk factors for increased mortality in some regions of Russia," *Studies on Russian Economic*

- Development, Vol.23, No.2, pp.195-207, 2012.
- [5] J. M. Robine, S. L. K. Cheung, S. Le Roy, H. Van Oyen, C. Griffiths, J. P. Michel, and F. R. Herrmann, "Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003," *Comptes Rendus Biologies*, Vol.331, No.2, pp.171-178, 2008.
- [6] 김지영, 이대근, J. Kysely, "한반도와 유럽에서 발생한 폭염의 중관기후학적 특성 비교," *대기*, 제18권, 제4호, pp.355-365, 2008.
- [7] 김도우, 정재학, 이종실, 이지선, "우리나라 폭염 인명 피해 발생특징," *대기*, 제24권, 제2호, pp.225-234, 2014.
- [8] IPCC, *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.)], IPCC Geneva, Switzerland, 2014.
- [9] S. Hajat and T. Kosatky, "Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity," *Journal of Epidemiology & Community Health*, Vol.64, No.9, pp.753-760, 2010.
- [10] K. S. Eun, "Population Aging and Social Strategies for Aging Problems in Korea," *Korea Journal*, Vol.48, No.4, pp.5-34, 2008.
- [11] 서울특별시, 2016년 폭염 종합대책 추진 계획, 2016.
- [12] 부산광역시, 2016년 폭염대응 종합대책, 2016.
- [13] R. Katz and A. Murphy, *Economic Value of Weather and Climate Forecasts*, Cambridge University Press, 1997.
- [14] J. W. Freebairn and J. W. Zillmann, "Economic benefits of meteorological services," *Meteorological Applications*, Vol.9, No.1, pp.33-44, 2002.
- [15] A. H. Murphy, "Decision making models in the cost-loss ratio situation and measures of the value of probability forecasts," *Monthly Weather Review*, Vol.104, No.8, pp.1058-1065, 1976.
- [16] R. W. Katz, "Dynamic cost-loss ratio decision-making model with an autocorrelated climate variable," *Journal of Climate*, Vol.6, No.1, pp.151-160, 1993.
- [17] T. Frei, S. Von Gruenigen, and S. Willemse, "Economic benefit of meteorology in the Swiss road transportation sector," *Meteorological Applications*, Vol.21, No.2, pp.294-300, 2014.
- [18] S. Whitman, G. Good, E. R. Donoghue, N. Benbow, W. Shou, and S. Mou, "Mortality in Chicago Attributed to the July 1995 Heat Wave," *American Journal of Public Health*, Vol.87, No.9, pp.1515-1518, 1997.
- [19] D. Norma, D. S. W. Thomas, and S. Hussein, "Heat Disaster and the Elderly," *Journal of Gerontological Social Work*, Vol.38, No.4, pp.53-66, 2003.
- [20] A. Bouchama, "The 2003 European heat wave," *Intensive Care Medicine*, Vol.30, No.1, pp.1-3, 2004.
- [21] Y. H. Kim, "Estimating the Value of Life: Method and Limitations," *Korea Review of Applied Economics*, Vol.18, No.3, pp.105-124, 2016.
- [22] K. L. Ebi, T. J. Teisberg, L. S. Kalkstein, L. Robinson, and R. F. Weiher, "Heat Watch/Warning Systems Save Lives: Estimated Costs and Benefits for Philadelphia 1995-98," *Bulletin of American Meteorological Society*, Vol.85, No.8, pp.1067-1073, 2004.
- [23] M. Gray, *Public Weather Service Value for Money Review*, Public Weather Service Customer Group Secretariat, 2015.
- [24] S. V. Gruenigen, S. Willemse, and T. Frei, "Economic Value of Meteorological Services to Switzerland's Airlines: The Case of TAF at Zurich Airport," *Weather, Climate, and Society*, Vol.6, No.2, pp.264-272, 2014.
- [25] 김인겸, 정지훈, 김정윤, 신진호, 김백조, 이기광, "기상예보 정보 사용자 그룹의 만족가치 제고 방안: 강수 예보를 중심으로," *한국콘텐츠학회논문지*, 제13권, 제11호, pp.382-395, 2013.
- [26] K. K. Lee and J. W. Lee, "The economic value of weather forecasts for decision making

problems in the profit/loss situation,” Meteorological Applications, Vol.14, No.4, pp.455-463, 2007.

- [27] T. Benmarhnia, Z. Bailey, D. Kaiser, N. Auger, N. King, and J. S. Kaufman, “A Difference-in-Differences Approach to Assess the Effect of a Heat Action Plan on Heat-Related Mortality, and Differences in Effectiveness According to Sex, Age, and Socioeconomic Status (Montreal, Quebec),” Environmental Health Perspectives, Vol.124, No.11, pp.1694-1699, 2016.
- [28] D. S. Wilks, “A skill score based on economic value for probability forecasts,” Meteorological Applications, Vol.8, No.2, pp.209-219, 2001.
- [29] 정우식, 박종길, 김은별, 송정희, “고온건강경보시스템 기준 설정에 관한 연구(II): 설정 기준 개선,” 한국환경과학회지, 제18권, 제7호, pp.781-796, 2009.
- [30] D. S. Kim, “Introduction: Health of the Health Care System in Korea,” Social Work in Public Health, Vol.25, No.2, pp.127-141, 2010.
- [31] 안영창, “국민건강보험 인식수준과 만족도의 관계,” 한국콘텐츠학회논문지, 제14권, 제8호, pp.277-286, 2014.
- [32] 김록영, 사공진, 김윤, 김세라, 김수경, 최병호, 정형선, 이태립, “입원 환자 표본 개발에 관한 연구: 국민건강보험 청구자료를 중심으로,” 보건행정학회지, 제23권, 제2호, pp.152-161, 2013.
- [33] 김동겸, “계절변화에 따른 사망률의 특징,” KiRi 고령화리뷰, Vol.8, pp.31-33, 2017.
- [34] Y. Zhang, M. Nitschke, and P. Bi, “Risk factors for direct heat-related hospitalization during the 2009 aAdelaide heatwave: A case crossover study,” Science of The Total Environment, Vol.442, No.1, pp.1-5, 2013.
- [35] M. C. Sarofim, S. Saha, M. D. Hawkins, and D. M. Mills, Ch. 2: Temperature-Related Death and Illness, the Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: a Scientific Assessment, U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, 2016.

저 자 소 개

김 인 겸(In-Gyum Kim)

정회원



- 2006년 2월 : 인제대학교 경영학부 (경영학사)
- 2008년 2월 : 인제대학교 경영학과 (경영학석사)
- 2010년 1월 ~ 현재 : 국립기상과학원

<관심분야> : 기상예보 가치, SCM, 감성분석

이 승 욱(Seung-Wook Lee)

정회원



- 2011년 2월 : 제주대학교 사회교육학과 지리교육전공(문학사)
- 2013년 8월 : 제주대학교 교육학과 지리교육전공(교육학석사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 국립기상과학원

<관심분야> : 기후, 열스트레스, WBGT

김 혜 민(Hye-Min Kim)

정회원



- 2009년 8월 : 서울과학기술대학교 경영학과(경영학사)
- 2013년 2월 : 서울과학기술대학교 에너지정책학과(경제학석사)
- 2015년 2월 ~ 현재 : 국립기상과학원

<관심분야> : 기상정보 가치평가, 자원-환경경제

이 대 근(Dae-Geun Lee)

정회원



- 2006년 2월 : 인제대학교 대기환경정보공학과(이학석사)
- 2018년 2월 : 서울대학교 보건대학원 환경보건학과(보건학박사)
- 2006년 2월 ~ 현재 : 국립기상과학원

<관심분야> : 폭염·한파 건강영향 진단 및 예측