



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

폭염을 중심으로 한
기후변화 취약성평가 지표개선 연구
A Study on Improvement of Climate Change
Vulnerability Index focused on Heat Wave

2017년 2월

세종대학교 대학원
기후변화협동과정
이 태 경

폭염을 중심으로한
기후변화 취약성평가 지표개선 연구

A Study on Improvement of Climate Change
Vulnerability Index focused on Heat Wave

지도교수 전 의 찬

이 논문을 정책학 석사학위논문으로 제출함

2017년 2월

세종대학교 대학원
기후변화협동과정
이 태 경

이태경의 석사학위논문을 인준함

2017년 2월

심사위원장 홍 현 수 (인)

심 사 위 원 박 성 규 (인)

심 사 위 원 전 의 찬 (인)

국문초록

우리나라에 2008년 폭염특보제가 도입된 이후 처음으로, 2016년 여름 전국 모든 지역에 폭염특보가 내려졌다. IPCC 제5차 보고서에 따르면, 21세기에는 전 지구적으로 기온상승이 전망되고 있으며, 이에 따라 폭염의 빈도도 높아질 것으로 예측되고 있다. ‘한반도 기후변화 전망보고서’의 경우에도 2012년 연간 7.3일 수준이었던 폭염일수가 21세기 후반에는 13.1일 수준으로 증가할 것으로 전망되었다.

우리나라는 ‘저탄소녹색성장기본법(2010)’, ‘제1차 국가기후변화적응대책(2010)’, ‘제2차 국가기후변화적응대책(2016)’을 수립하고, 2015년부터 광역지자체 및 기초지자체의 기후변화 적응대책 수립 및 이행을 의무화하여 기후변화에 대응하고자 노력하고 있다. 정부는 기후변화 적응대책의 일환으로 국가기후변화적응센터를 통해 지역적 차원의 기후변화 취약성평가 프로그램인 VESTAP(Vulnerability Assessment Tool to Build Climate Change Adaptation Plan)을 제공하여, 지자체의 기후변화 취약성평가를 지원하고 있다. 지자체가 기후변화에 따른 폭염에 적절히 대응하기 위해서는 먼저 폭염에 대한 취약성을 정확하게 평가해야 한다. 그러나 VESTAP에 따른 기후변화 취약성평가 결과가 실제 지자체의 취약성과 정확하게 일치하지 않는다는 문제점을 갖고 있다. 본 연구에서는 VESTAP의 취약성평가를 보완하기 위해 폭염과 관련된 민감도부문의 지표 및 가중치를 재설정하여 분석하였다.

‘14세 이하 인구’, ‘65세 이상 인구’, ‘기초생활수급자 비율’ 등의 지표를 ‘4세 이하 인구’, ‘70세 이상 인구’, ‘에너지빈곤층 비율’로 대체하였으며, 기존의 가중치 비율을 유지한 배분가중치와 회귀분석 이용하여 산정한 통계가중치를 적용하였다. 이와 같이 대체된 지표와 2가지 가중치를 6가지 조합(대안 1~6)으로 구성하여 폭염에 의한 건강취약성을 평가하였다. 지표 및 가중치 수정 후 도출한 결과의 정합성을 평가하기 위해 연구대상지의

과거 경험 자료와 비교하였다. 그 결과 배분가중치를 사용한 대안 1~3의 분석 결과보다 통계가중치를 사용한 대안 4~6의 분석결과의 정합성이 더 높았다.

VESTAP의 취약성평가 결과의 정확성을 높이기 위해서는 가중치 및 지표를 보완할 필요가 있으며, 지표는 연구목적에 맞게 설정을 할 필요가 있다. 특히, 본 연구를 통해 회귀분석을 이용한 통계가중치를 적용할 경우 VESTAP의 결과와 경험치의 정합도가 더 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

취약성평가는 정책수립의 기초자료로서 매우 중요하다. 향후 국가에서 제공하는 기후변화 취약성평가 프로그램을 보완 및 개선하기 위해서는 취약성평가의 지표 및 가중치 관련 연구가 지속적으로 진행될 필요가 있다.

주요어 : 기후변화 적응, 기후변화 취약성평가, VESTAP

목 차

제 1 장 서론	1
1. 연구의 필요성 및 목적	1
2. 연구의 범위 및 방법	3
제 2 장 이론적 고찰	7
제 1 절 기후변화와 폭염	7
1. 폭염의 정의	7
2. 기후변화에 따른 폭염발생의 증가	9
제 2 절 기후변화 취약성평가와 취약계층	10
1. 기후변화 취약성평가	10
2. 기후변화 취약계층	14
가. 경제적 취약계층	16
나. 생물학적 취약계층	21
제 3 절 선행연구 고찰	24
제 3 장 연구 방법	26
제 1 절 기후변화 취약성평가 모형 VESTAP	26
제 2 절 기후변화 취약성평가 지표 수정	33
1. 에너지빈곤층 비율 지표 산정 방법	33
2. 에너지빈곤층 비율 산정 결과	36
3. 연령 관련 지표 수정	38

제 3 절 기후변화 취약성평가 가중치 재산정	39
1. 기후변화 취약성평가 가중치 산정 방법	39
2. 기후변화 취약성평가 가중치 산정 결과	42
제 4 절 기후변화 취약성평가 결과의 정합성 분석 방법	46
제 4 장 기후변화 취약성평가 결과 비교	48
제 1 절 기존 VESTAP의 기후변화 취약성평가 결과	48
제 2 절 지표 및 가중치 수정 결과	53
제 3 절 지표 및 가중치 수정 전·후 결과와 경험 자료 비교를 통한 정합성 평가	65
제 5 장 결론	69
참 고 문 헌	72
ABSTRACT	75

표 목 차

<표 1-1> 연구대상지역(울산광역시) 행정구역 현황	5
<표 2-1> 각국의 폭염에 대한 절대적 정의	7
<표 2-2> 각국의 폭염에 대한 상대적인 정의	8
<표 2-3> 우리나라의 폭염주의보 및 경보 정의	8
<표 2-4> 기후변화 취약성의 정의	11
<표 2-5> 국내 최저생계비	16
<표 2-6> 에너지빈곤가구에 대한 각국의 정의	18
<표 3-1> VESTAP의 기후변화 취약성평가 분야 및 항목	27
<표 3-2> 기후변화 취약성 평가 지수 산출 식	28
<표 3-3> RCP 시나리오	29
<표 3-4> 빈곤의 종류별 정의와 기준	34
<표 3-5> 각국의 에너지빈곤 개념	35
<표 3-6> 에너지빈곤 비율 산정식	35
<표 3-7> 울산광역시 구·군별 에너지빈곤층 비율	36
<표 3-8> 울산광역시 구·군별 해당 연령의 인구 수	38
<표 3-9> 울산광역시 구·군별 해당 연령의 인구 비율	38
<표 3-10> 가중치 산정 방법의 종류	39
<표 3-11> VESTAP의 폭염에 의한 건강취약성 평가 시 사용되는 민감 도부문 지표 및 가중치	42
<표 3-12> 배분가중치 산정 결과	43
<표 3-13> SPSS를 이용한 가중치 산정 시 사용된 지표	44
<표 3-14> SPSS 프로그램을 이용한 회귀분석 결과	44

<표 3-15> 지표별 표준화계수 및 통계가중치	45
<표 3-16> 울산광역시 구·군별 온열질환자수	46
<표 3-17> 울산광역시 구·군별 폭염 시 일 최고기온 평균	47
<표 4-1> 폭염에 의한 건강 취약성평가 지수 산출식	48
<표 4-2> 기후변화 취약성 평가에 사용된 지표	49
<표 4-3> 대안 및 내용	52
<표 4-4> 기존 VESTAP과 대안 1의 구·군별 취약성 종합지수	54
<표 4-5> 기존 VESTAP과 대안 1의 구·군별 민감도지수	55
<표 4-6> 기존 VESTAP과 대안 2의 구·군별 취약성 종합지수	56
<표 4-7> 기존 VESTAP과 대안 2의 구·군별 민감도지수	57
<표 4-8> 기존 VESTAP과 대안 3의 구·군별 취약성 종합지수	57
<표 4-9> 기존 VESTAP과 대안 4의 구·군별 민감도지수	58
<표 4-10> 기존 VESTAP과 대안 4의 구·군별 취약성 종합지수	60
<표 4-11> 기존 VESTAP과 대안 4의 구·군별 민감도지수	60
<표 4-12> 기존 VESTAP과 대안 5의 구·군별 취약성 종합지수	61
<표 4-13> 기존 VESTAP과 대안 5의 구·군별 민감도 지수	62
<표 4-14> 기존 VESTAP과 대안 6의 구·군별 취약성 종합지수	63
<표 4-15> 기존 VESTAP과 대안 6의 구·군별 민감도지수	63
<표 4-16> 울산광역시 구·군별 온열질환자수 합계 및 순위	65
<표 4-17> 울산광역시 구·군별 폭염 시 일 최고기온 평균 및 순위 ..	66
<표 4-18> 지표 및 가중치 수정 전·후의 기후변화 취약성평가 결과 ..	67
<표 4-19> 울산광역시 경험 자료를 이용한 취약지역 순위	68

그림 목 차

<그림 1-1> 연구대상지역(울산광역시) 지도	4
<그림 1-2> 연구 흐름도	6
<그림 2-1> IPCC의 기후변화 취약성 개념도	10
<그림 2-2> 기후변화 취약성 평가 접근방법	12
<그림 2-3> 에너지빈곤의 원인	19
<그림 2-4> 저소득층과 에너지빈곤층의 범위	20
<그림 2-5> 폭염의 취약계층	22
<그림 3-1> VESTAP의 기후변화 취약성평가 결과 화면 (I)	30
<그림 3-2> VESTAP의 기후변화 취약성평가 결과 화면 (II)	31
<그림 3-4> 기상청 지역별상세관측자료(AWS) 화면	47
<그림 4-1> 울산광역시의 폭염에 의한 건강 취약성평가 결과 (1)	50
<그림 4-2> 울산광역시의 폭염에 의한 건강 취약성평가 결과 (2)	50
<그림 4-3> 대안 1의 결과	54
<그림 4-4> 대안 2의 결과	56
<그림 4-5> 대안 3의 결과	58
<그림 4-6> 대안 4의 결과	59
<그림 4-7> 대안 5의 결과	61
<그림 4-8> 대안 6의 결과	63
<그림 4-9> 지표 및 가중치 수정 전·후의 기후변화 취약성평가 결과 ...	66

제 1 장 서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

2016년 8월 중순, 2008년 폭염특보제를 실시한 이후 처음으로 전국 모든 지역에 폭염경보 내려졌다. 특히, 경북 경산, 대구 등 경북지역에서는 최고기온이 40℃에 달하기도 하였다. 질병관리본부에 따르면, 이러한 기록적인 폭염으로 올해 발생한 온열질환자 수는 2011년 온열질환자 집계를 시작한 이후 가장 많았다고 한다.

IPCC 제5차 보고서에 따르면, 전 지구의 폭염 빈도는 계속 늘어날 것이라고 한다. ‘한반도 기후변화 전망보고서’에 따르면, 한반도 역시 2012년 연간 7.3일 수준이었던 폭염일수가, 21세기 후반엔 13.1일 수준으로 증가할 것으로 전망된다(RCP 4.5).

폭염을 비롯한 기후변화의 피해에 적절하게 대응하기 위해서는 먼저 국가 및 지자체 차원에서 적절한 대책을 세워야 한다. 우리나라는 ‘저탄소녹색성장기본법(2010)’, ‘제1차 국가기후변화적응대책(2011~2015)’, ‘제2차 국가기후변화적응대책(2016 ~ 2020)’ 등을 수립하고, 2015년부터 광역지자체 및 기초지자체의 기후변화 적응대책 수립 및 이행을 의무화하여 기후변화에 대응하고자 노력하고 있다.

기후변화의 피해로부터 적절하게 대응하기 위해서는 지역적 차원의 기후노출 정도와 민감도, 적응 능력을 고려한 생활권 단위의 취약지역 선정이 필요하다. 취약지역을 선정하는데 있어 기후변화 취약성평가는 평가 지역이 기후변화로 부터 취약한 분야를 파악하고, 취약지역 및 기후변화 대응 대책수립의 우선순위를 선정하는 근거를 제공한다. 국가에서는 국가기후변화적응센터를 통해 지역적 차원의 기후변화 취약성평가 프로그램인 VESTAP을 제공하여 지자체의 기후변화 취약성평가를 지원하고 있다.

VESTAP은 IPCC의 취약성 개념을 바탕으로 “기후노출 + 민감도 -

적응능력 = 취약성 지수” 라는 함수를 이용해 기후변화 취약성평가를 진행한다. VESTAP은 폭염에 의한 건강취약성평가를 진행할 때, 민감도부문에서 ‘기초생활수급자 비율’, ‘65세 이상 인구 수’, ‘독거노인(65세 이상) 비율’, 등의 지표를 통해 기후변화 취약성을 평가한다.

그러나 VESTAP에서 사용하고 있는 지표들이 폭염의 실질적 취약계층을 전부 포함한다고 보기엔 부족함이 있다. ‘기초생활수급자 비율’ 지표의 경우 실질적 폭염 취약계층인 일부 차상위계층을 포함하지 못하고 있으며, ‘14세 이하 인구’ 지표는 질병관리본부와 보건복지부에서 정의하는 폭염 취약계층의 기준 연령인 ‘4세 이하’와 일치하지 않는다. 뿐만 아니라 ‘65세 이상 인구’ 지표는 고령사회의 추세를 볼 때, 폭염 취약계층인 노인의 기준 연령으로 적합하지 않다.

본 연구에서는 VESTAP의 취약성평가를 개선하기 위해 ‘14세 이하 인구’, ‘65세 이상 인구’, ‘기초생활수급자 비율’ 지표를 ‘4세 이하 인구’, ‘70세 이상 인구’, ‘에너지빈곤층 비율’로 수정하였다. 또한 기존에 있던 ‘열사병/일사병으로 인한 사망자수’ 지표는 폭염의 취약계층을 나타내는 지표가 아닌 폭염에 의한 피해를 나타내는 지표로 판단하여 민감도부문의 지표에서 삭제하였다. 이와 같이 지표가 삭제 및 수정됨에 따라 가중치의 합이 1이 되지 않는 문제점을 해결하기 위해 기존 VESTAP에서 사용하던 가중치 비율을 유지한 배분가중치와 회귀분석 이용하여 도출한 통계가중치로 가중치를 재 산정하였다. 사용한 가중치 및 지표를 6가지 조합(대안 1~6)으로 구성하여 폭염에 의한 건강취약성을 평가하였다. 지표 및 가중치 수정 후 도출한 결과와 연구대상지의 과거 경험 자료와의 비교를 통해 결과의 정합성을 확인해 보고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 사용하는 VESTAP에는 폭염에 대한 기후변화 취약성평가 항목으로 ‘폭염에 의한 건강취약성’ 과 ‘폭염에 의한 기반취약성’ 두 가지가 있다. 두 항목 중 인간에게 직접적 영향을 미치는 ‘폭염에 의한 건강취약성’ 을 평가하고자 한다.

국립기상연구소(2012)의 ‘폭염과 국민건강과의 관계’ 조사 결과에 따르면 1901년부터 2008년까지 우리나라의 모든 기상재해(태풍, 대설, 폭염 등) 중 가장 많은 사망자수를 가져온 재해는 폭염이다. 국민들이 폭염에 대한 적응 및 대책 방안을 준비하지 못한 경우 사망률은 더욱 증가할 것이며, 이는 해당 지역 국민들의 사회경제적 수준, 도시패적도, 시민들의 폭염에 대한 적응도 등에 따라 달라질 수 있다. 폭염에 의한 기반취약성을 간과할 수 없지만, 폭염이 인간에게 직접적인 피해를 주는 것은 건강부문이라 판단하여 ‘폭염에 의한 건강취약성’ 을 연구 항목으로 선정했다.

본 연구의 대상지역은 우리나라의 7대 광역시 중 울산광역시로 선정했다. 국토해양부(2012)의 연구에 따르면, 도시의 물리적, 구조적 재해취약 특성을 분석한 결과 인구와 기반 시설 등이 집중된 특별·광역시 지역이 폭염에 상대적으로 취약했다. 폭염에 대한 취약지역(지자체 수) 비중이 가장 높은 지역은 영남권 지역이며, 영남권 지역에는 대구광역시, 부산광역시, 울산광역시가 있다. 대구광역시와 부산광역시의 폭염에 대한 연구는 울산광역시에 비해 많이 진행되었으나, 울산광역시는 비교적 폭염에 대한 연구사례가 적어 울산광역시를 연구 대상으로 선정했다(그림 1-1).



<그림 1-1> 연구대상지역(울산광역시) 지도

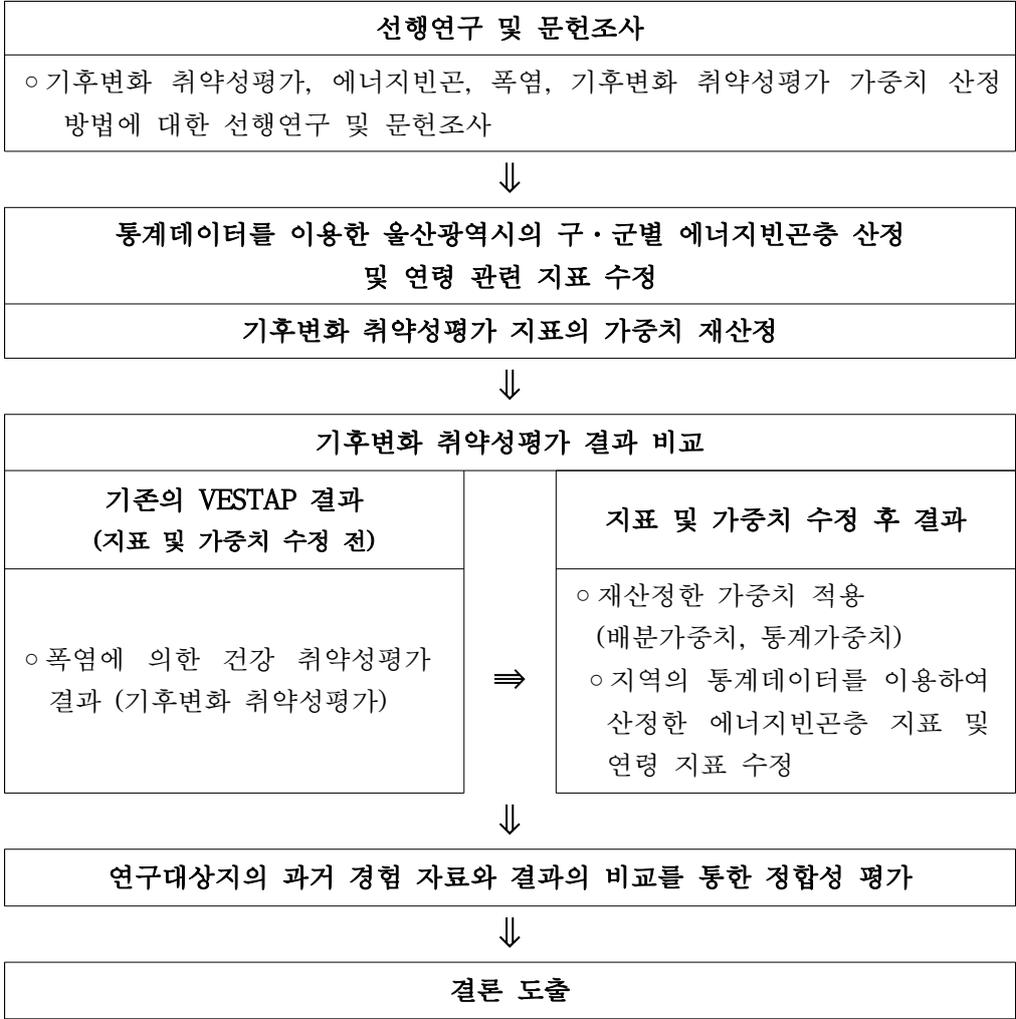
연구대상지인 울산광역시는 서울, 부산, 인천, 대구, 광주, 대전과 함께 한국의 7대 도시 중 한곳이다. 울산광역시는 타 광역시 중 가장 넓은 1,060km²의 면적을 갖고 있으며, 행정구역은 5곳으로 나뉜다. 울산광역시는 북구, 동구, 중구, 남구로 4개의 구와 1개의 군인 울주군으로 나뉘며, 44개의 행정도, 12개의 읍면으로 행정구역 체제가 구성되어있다(표 1-1). 울산광역시의 총 인구는 1,199,717명이고, 이 중 남구가 349,328명으로 가장 많은 인구가 거주하는 행정구역이다.

<표 1-1> 연구대상지역(울산광역시) 행정구역 현황

구·군별 구분	계	중구	남구	동구	북구	울주군	
읍면동 (개)	계	56	13	14	9	8	12
	읍	4					4
	면	8					8
	동	44	13	14	9	8	
면적(km ²)	1,060.96	37.00	73.02	36.04	157.33	757.57	
세대수(세대)	451,688	95,710	133,669	68,359	67,469	86,481	
총인구(명) (주민등록+외국인)	1,199,717	247,016	349,328	181,207	193,737	228,429	

※ 2015년 12월 31일 기준

전체적인 연구의 진행체계는 <그림 1-2>과 같다. 제 1장은 서론 부분으로 연구의 필요성과 목적, 연구의 범위 및 방법에 대하여 서술하였다. 제 2장은 이론적 고찰 부분으로 기후변화와 폭염, 기후변화 취약성평가와 기후변화 취약계층에 대하여 서술하였다. 제 3장은 연구 방법으로 기후변화 취약성평가 모형 VESTAP, 기후변화 취약성평가 지표 및 가중치 수정 방법에 대해 소개한다. 제 4장은 결과 부분으로 앞에서 수정한 지표 및 가중치를 6가지 조합(대안 1~6)으로 구성하여 기후변화 취약성평가 결과를 도출하였다. 지표 및 가중치 수정 전·후 결과를 연구대상지의 과거 경험 자료와 비교하여 결과의 적합성을 평가하였다. 마지막으로 제 5장은 결론으로서 연구의 내용을 요약하고 연구 결과를 바탕으로 연구의 한계와 시사점, 향후과제를 제시하였다.



〈그림 1-2〉 연구 흐름도

제 2 장 이론적 고찰

제 1절 기후변화와 폭염

1. 폭염의 정의

폭염에 대한 구체적인 정의는 없으며, 발생원인, 지역여건 및 피해유형에 따라 일반적인 정의, 절대적인 정의 그리고 상대적인 정의로 구분된다. 폭염은 일반적으로 극한 더위(extreme heat) 또는 극한 열파(heat wave)라고 부르며, 갑작스럽게 찾아오는 심한 더위로서 일정 온도 이상의 기온이 수일동안 지속되는 기상현상을 뜻한다.

폭염의 절대적인 정의는 온도 혹은 열적 스트레스 지수가 어떠한 기준치(임계치)를 초과하는 경우나 초과하는 날의 수로 정의된다. 이와 같은 정의는 기본적으로 모든 인구가 동일 수준으로 계속되는 열적 스트레스에 동일하게 반응한다는 것을 가정한다. 각국의 폭염에 대한 절대적인 정의는 아래 <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> 각국의 폭염에 대한 절대적 정의

국가(관리기관)	정의
미국 기상청 (National Weather Service)	90.0°F(32.3°C)이상 연속 3일 또는 이상의 기간
캐나다	32°C이상 연속 3일 이상의 기간
프랑스	최대기온 36°C이상을 가진 30°C이상의 기온이 4일 이상의 기간
남 스페인	최대기온 41°C이상
네덜란드(왕립기상대) Royal Meteorological Institute	적어도 3일 이상 최대기온 30°C이상을 가지고 최소한 최대기온 25°C 이상이 5일간 지속되는 기간

자료 : 소방방재청, 2009

반면, 폭염에 대한 상대적인 정의는 기상에 대한 순응을 계산에 포함하고 있어, 지역별 표준기후 상태에 따라 다르게 나타는 열적 스트레스를 반영하고 있다(표 2-2).

<표 2-2> 각국의 폭염에 대한 상대적인 정의

국가(관리기관)	정 의
미국(연방재난방재청)	지역의 최고평균기온보다 10°F 이상 높을 때
남아프리카공화국	가장 더운 달의 평균최고 기온보다 3일 최대기온이 5°C 이상 높을 때
캐나다(기상대)	고온기단 발생으로 추가적 사망률이 90% 이상일 때

자료 : 소방방재청, 2009

한국의 경우 건강영향에 기반을 두고 발표하는 기상청의 폭염특보 발령 기준을 통해 폭염의 정의를 알 수 있다. 기상청은 2007년 폭염특보제 시험 운영을 거쳐 2008년 6월부터 폭염특보제를 운영하고 있다. <표 2-3>는 기상청의 폭염특보 발령기준을 정리한 것이다.

<표 2-3> 우리나라의 폭염주의보 및 경보 정의

구분	발령기준
폭염주의보	일 최고기온이 33°C 이상 2일 연속 지속될 것으로 예측될 때
폭염경보	일 최고기온이 35°C 이상 2일 연속 지속될 것으로 예측될 때

2. 기후변화에 따른 폭염발생의 증가

과거부터 하절기에 발생하는 폭염은 항상 있어 왔던 현상이다. 그러나 최근 기후변화로 인해 폭염의 발생빈도 및 강도가 심화되고 발생시기의 불확실성이 가중됨에 따라 폭염으로 인한 피해가 더욱 커지고 있다(하중식, 2014). 서울시 소방재난본부에 따르면 1939년 43일, 1943년 42일, 1994년 29일, 2016년 24일로 역대 4번째 폭염이 발생했다. 2011년 질병관리본부가 온열질환자 감시체계를 작동한 이후 가장 많은 온열질환자수가 집계되었다. 기록적인 폭염은 한국뿐만 아니라 전 세계적으로 나타났다.

2015년 4월 ~ 5월 인도에서의 폭염은 기온이 48℃까지 올라갔으며 2015년 6월 3일 기준으로 2,500명 이상이 사망했다. 같은 해 파키스탄의 경우 기온이 49℃까지 올라갔으며, 카라치 지역에서 가장 큰 피해를 입었다. 파키스탄의 카라치 지역에서는 탈수와 일사병으로 1,140명이 사망했으며, 타 지역까지 총 1,300명이 사망했다.

전 세계적인 폭염 현상에는 여러 원인들이 있지만 기후변화를 가장 큰 원인으로 볼 수 있다. IPCC 제5차 보고서에 따르면 지구 평균기온이 1880년~ 2012년 동안 0.85℃ 상승하였고, 이는 지난 IPCC 제4차 보고서의 1950년~ 2005년의 0.76℃ 상승치 보다 높은 상승률을 보이고 있다. 또한 IPCC 제4차 보고서에 따르면 지구의 표면 온도가 21세기 전반에 걸쳐 상승할 것이며, 폭염의 빈도는 늘어날 것이라고 전망하고 있다.

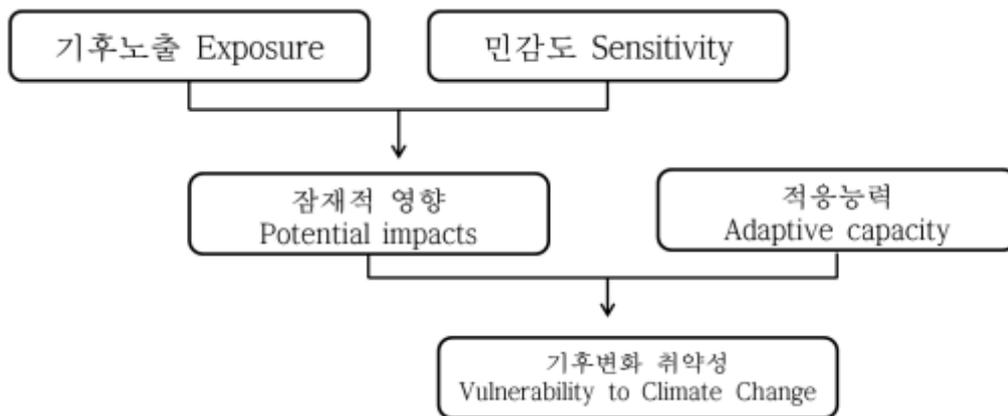
국내 또한 예외가 아니다, 기상청에서 발간한 ‘한반도 기후변화 전망 보고서’는 온난화 전망에 따라 폭염일수, 열대야 일수와 같은 기온과 관련된 극한 지수의 급격한 증가가 예상되며, 폭염일수는 현재(2012년) 연간 7.3일 수준에서 RCP 4.5 시나리오의 경우 21세기 전반 8.8일, 중반기 11.1일 후반기 13.1일 수준으로 증가할 것이라 전망하고 있다.

제 2절 기후변화 취약성평가와 취약계층

1. 기후변화 취약성평가

기후변화에 따른 영향은 사회·경제·환경적 조건에 따라 정도가 다르기 때문에 취약성에 차별이 존재한다(IPCC, 2014). 기후변화 적응대책을 수립하는데 있어서 기후변화 취약성평가는 기후변화 적응대책의 근거가 되며, 우리가 적응해야하는 대상을 파악하고 이해할 수 있도록 돕는다.

기후변화 취약성의 개념은 <표 2-4>와 같이 기관별로 다양하다. 이 중 IPCC의 기후변화 취약성에 대한 정의가 가장 대표적이다. <그림 2-1>은 IPCC의 기후변화 취약성 개념도이며, 이는 기후 변동에 대한 시스템의 노출(exposure), 기후변화에 대한 민감도(sensitivity), 내부적 요인인 적응능력(adaptive capacity)을 포함한 함수를 뜻하는 것을 보여주고 있다. 기후변화의 영향(기후노출, 민감도)이 높을 경우, 한 시스템의 적응능력이 낮으면 기후변화에 대한 취약성은 증가한다. 그러나 기후변화의 영향이 높아도 시스템의 적응능력이 높으면 기후변화에 대한 취약성은 감소한다.



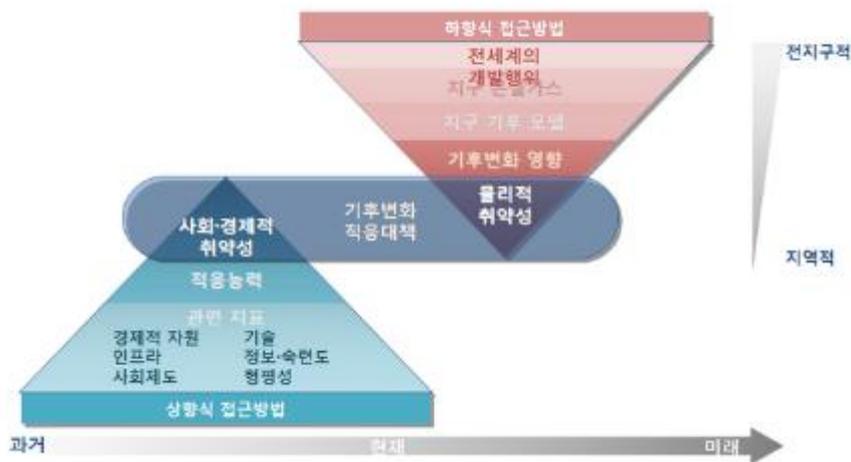
<그림 2-1> IPCC의 기후변화 취약성 개념도

<표 2-4> 기후변화 취약성의 정의

출처	정의
IPCC	기후변동과 극한 기후 상황을 포함한 기후변화의 부정적 영향에 대한 시스템의 민감도 혹은 대처할 수 없는 정도
UNDP	기후변동이나 스트레스에 대한 노출과 이에 대한 대처, 회복, 적응능력에 따른 노출 단위의 위험에 대한 민감도
UKCIP	특정 위험상황에서 야기되는 피해의 범위. IPCC 정의를 바탕으로 취약성은 시스템의 민감도 및 적응능력에 의해 결정됨
UNFCCC	사회, 인구, 생물종, 생태계, 지역, 농업시스템이나 이외의 다른 시스템이 기후변화의 부정적 영향에 민감한 정도 혹은 대처할 수 없는 정도
UN/ISDR	위험의 영향에 대한 지역사회의 민감도를 증가시키는 물리적, 사회적, 경제적, 환경적 요소에 의해 결정되는 일련의 조건 혹은 과정
Australian Greenhouse Office	자연계와 인간 사회가 기후변화, 기후변동, 극한 기후 상황이 야기하는 부정적 영향에 대처할 수 없는 정도. 시스템이나 사회의 민감도, 적응능력뿐 아니라 기후변화에 의해 좌우됨
E. Tomkins (2005)	개인이나 집단, 시스템이 위험이나 스트레스에 노출되어 나타나는 위험과 그에 대한 대처, 회복, 적응능력에 대한 민감도
Pew Center (2004)	기후변화에 대한 시스템의 민감도 측정지표로, 시스템의 노출, 민감도, 적응능력의 함수임
U.S. 에너지부	기후변화에 대한 시스템의 민감도(기후 투입 변화에 따른 결과 혹은 특성의 변화 정도)와 시스템의 적응성(변화가 새로운 조건을 활용할 수 있는 정도)
Blaikie et al. (1994)	자연재해의 영향에서 회복할 수 있는 정도를 포함한 개인이나 집단의 노출
Kelly and Adger (2000)	개인이나 사회집단이 생계와 복지에 영향을 주는 외부적 스트레스에 대처하고 회복하며 적응할 수 있거나 없는 능력
Brooks (2003)	리스크는 기후위해와 취약성의 함수이며, 여기서 취약성은 기후위해와 별개로 시스템 내에 존재하는 상태로서 사회적 취약성과 동일한 의미로 사용

자료 : 기후변화 영향평가 및 적응 시스템 구축 III(한화진 외, 2007)

기후변화 취약성평가는 총 5단계로 취약성평가 방법론 검토, 분야선정 및 세부 항목 검토, 대응변수 선정, 가중치 선정, 표준화 및 취약성 지수 산출로 구성되어 있다. 기후변화 취약성평가 접근법은 상향식과 하향식 그리고 상향식과 하향식 접근법을 종합한 절충형 접근법이 있다(그림 2-2).



<그림 2-2> 기후변화 취약성 평가 접근방법

자료 : 지자체기후변화적응수립지원 및 기반 구축(KEI, 2014)

상향식 접근법은 사회적 취약성에 중점을 둔 접근법으로서 지역의 기후변화 취약성을 설명할 수 있는 각종 사회경제적 지표를 활용하여 민감도, 노출정도 및 적응능력을 정성적 또는 정량적으로 분석하는 접근법이다. 이와 같은 접근법은 비교적 단기적이고 지역적인 적응방안 도출 및 정책 개발에 적합하다. 그러나 자료의 한계로 인한 문제 및 시공간적 비교 분석의 한계가 있다(고재경, 2009).

하향식 접근법은 전 지구적 관점에서 지역적 측면을 바라보는 접근법으로서 기존의 경험적인 자료를 바탕으로 전 지구 및 권역의 미래 기후 시나리오를 적용하는 방법으로 기후변화와 영향과의 관련성을 정량적으로 제시할 수 있는 접근법이다. 분야별로 기후변화 영향을 가장 잘 설명할 수 있는

모형과 모델을 이용하여 취약성을 평가하며, 비교적 넓은 지역에 대한 장기적인 기후변화 영향을 평가할 수 있다. 따라서 하향식 접근법은 주로 국가 단위의 중장기적인 대책을 수립할 때 많이 사용된다.

절충형 접근법은 상향식과 하향식 접근법이 종합된 평가 접근법으로 평가 대상 지역의 장기적 기후 영향 패턴과 지역의 취약성 관련 사회 경제 환경 자료를 통합적으로 고려하여 상향식 접근법과 하향식 접근법에서의 단점을 상호 보완한 평가방법이다.

율'은 사회적 특성을 고려한 지표로, '심혈관질환 사망자수' 및 '열사병/일사병으로 인한 사망자 수' 지표는 개인의 질병유무를 고려한 지표로 나눌 수 있다.

기후변화 취약계층은 기후변화의 영향에 따라서도 달라지지만, 연구자가 정의하는 기후변화 취약계층의 범위에 따라서도 달라진다. 본 연구에서 보다 정확한 기후변화 취약성평가를 위해 기후변화 취약계층을 산정하는 민감도부문의 지표를 수정하고자 한다.

경제적 취약계층을 나타내는 '기초생활수급자 비율' 지표는 '에너지빈곤층 비율' 지표로 수정하고, 생물학적 취약계층을 나타내는 '14세 이하 인구' 지표와 '65세 이상 인구' 지표는 '4세 이하 인구' 지표와 '70세 이상 인구' 지표로 수정하고자 한다.

가. 경제적 취약계층

사회·경제적 취약 여부와 기후변화 대응관계를 파악한 연구에 따르면, 경제적 능력에 따라 폭염과 한파에 대한 적응능력에 차이를 보이는 것을 알 수 있다(이진희 외, 2013). 즉 월평균 소득이 낮은 가구일수록 폭염이나 한파에 대한 적응능력이 월평균 소득이 높은 가구에 비해 떨어지는 것이다. 위 연구의 결과처럼 경제적 취약계층은 폭염에 대한 기후변화 취약계층을 산정하는데 필히 고려해야하는 중요한 지표로 판단된다. 따라서 본 논문에서는 경제적 취약계층을 1) 기초생활수급자, 2) 저소득계층, 3) 에너지 빈곤층으로 구분하여 살펴보았다.

기초생활수급자는 최저생계비 이하의 저소득층에 대한 기초생활을 보장하기 위해 국가로부터 생계, 의료, 주거, 교육에 대한 혜택을 받는 사람을 뜻한다. 소득 및 자격요건에 따라 생계, 의료, 주거, 교육에 대한 혜택을 받을 수 있다. 기초생활수급자를 산정하는 최저생계비는 사람이 육체 및 정신적으로 건강한 생활을 유지하기 위한 최소한의 비용이며, 매년 9월 1일 보건복지부에서 다음년도 최저생계비를 발표한다. 2014년 최저생계비는 <표 2-5>와 같다.

<표 2-5> 국내 최저생계비¹⁾

구분	1인가구	2인가구	3인가구	4인가구	5인가구	6인가구	7인가구
금액 (원/월)	603,403	1,027,417	1,329,118	1,630,820	1,932,522	2,234,223	2,535,925

자료 : 보건복지부(2014)

차상위계층은 정부로부터 기초생활보장수급대상 바로 위의 계층으로 잠재적 빈곤계층으로 볼 수 있다. 2015년 7월부터 차상위계층의 범위는 기

1) 1인 증가 시 마다 301,702원씩 증가

존의 최저생계비 120% 이하에서 중위소득 50%이하로 확대됐다.

저소득계층은 뚜렷한 소득의 기준은 없으나 대개 기초생활수급자계층과 차상위계층을 통틀어 저소득계층이라고 한다. 기초생활수급자계층, 차상위계층, 저소득계층은 모두 가구 소득을 기준으로 개인의 경제적 능력을 고려하는 지표로 사용할 수 있다. 그러나 에너지빈곤층의 경우 위 세 가지의 기준과는 조금 다르다.

에너지빈곤층의 중점인 에너지빈곤의 개념은 1970년대 처음 등장하기 시작했으며, 주로 영국, 아일랜드, 뉴질랜드 등에서 사용되고 있다. 에너지빈곤층(가구)에 대해 각국에서 정의하는 내용은 <표 2-6>와 같다.

<표 2-6> 에너지빈곤가구에 대한 각국의 정의

국가	에너지빈곤가구(층) 정의	비고
유럽연합	한 가구가 WHO의 권고 수준 ²⁾ 에 근거해 자신들의 주택을 난방하기 위해 소득의 10의 1 이상을 지출해야만 하는 상황인 가구	유럽연합의 공동의 정의가 내려진 것이 아니라 정의에 대한 제안이 이루어진 상태
영국	적정 수준의 난방(WHO의 권고수준)을 유지하기 위해 가구소득의 10% 이상을 난방비에 사용하는 계층	
미국	특정기간 중(연간) 실제로 지불한 에너지 비용이 소득에서 차지하는 비중을 ‘에너지 부담(energy burden)’ 라는 용어를 사용해 표현하고 있음	DHHS ³⁾ 에서는 에너지 부담비율이 10.9%이상인 경우 에너지 부담이 높음, 6.5% ~ 10.9% 미만이면 중간수준이라고 간주함.
캐나다	통계청에서 저소득층 기준치(Low Income Cut-Off)를 근거로 에너지빈곤층과 관련된 통계를 작성하고 있음	공식적인 정의는 존재하지 않음
아일랜드	낮은 소득과 주거공간의 에너지비효율성으로 인해 적절한 수준의 안락함과 쾌적성을 확보하기위해 가구소득의 10% 이상을 연료비로 지출해야하는 가구(SEI, 2003)	
국내	녹색성장위원회(녹색성장 5개년계획, 2009)에 따라 에너지 구입비용(광열비)이 가구소득의 10% 이상인 가구로 정의	

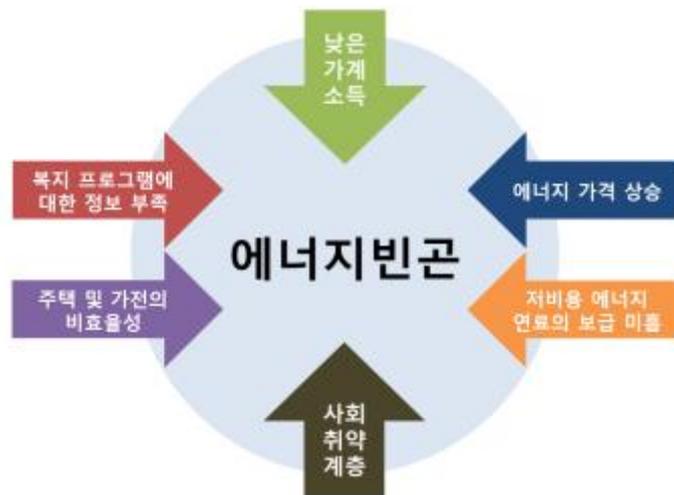
자료 : 김시현(2011), 김진덕(2012), 진상현(2010) 재 정리

2) 적정 수준의 난방이란 세계보건기구(WHO)의 권고에 따라 낮 시간 실내온도가 거실에서는 21℃, 다른 주거공간에서는 18℃로 유지되는 상태를 의미한다.

3) Department of Health and Human Services

국내에는 에너지빈곤(Energy Poverty)에 대한 명확한 정의가 없지만 일반적으로 ‘광열비(전기료, 연료, 난방비) 구입비용이 가구소득의 10% 이상인 가구로 소득에 비해 광열비 비중이 높아 최소한의 에너지마저 제대로 공급 및 사용하기 힘든 사회계층’을 뜻한다.

에너지빈곤에는 여러 가지 원인이 있다. 서울시정개발연구원(2009)에서 실시한 ‘저소득가구의 에너지 소비실태조사·분석’에 따르면, 그 중 가장 큰 원인은 가계의 저소득으로 나타났다. 그 외의 원인으로는 에너지가격의 상승, 주택 및 가전의 비효율성, 사회취약계층, 저비용 에너지연료 보급 미비, 에너지 복지 프로그램에 대한 정보 부족 등이 있다(그림 2-3).



<그림 2-3> 에너지빈곤의 원인

또한 서울시정개발연구원(2009)의 연구결과에 따르면 에너지빈곤층은 대부분 저소득 집단에서도 기초생활 수급자와 일부의 차상위계층이 차지하고 있음을 알 수 있었다(그림 2-4). 대개 가구원중 노인, 어린이, 장애인, 만성질환자 등이 있는 가구일 경우 에너지빈곤에 더욱 취약하게 나타난다(김진덕, 2012).



<그림 2-4> 저소득층과 에너지빈곤층의 범위

저소득층이 사용하는 에너지의 절대적량은 적으나 소득에서 차지하는 에너지 비용 지출액은 많은 부분을 차지한다. 필수 재화인 에너지는 가격인상에 따른 소비감축이 어렵기 때문에 광열비 비중의 증가는 다른 지출항목의 감소를 유발하고 이는 삶의 질을 떨어트린다. 가구의 소득을 기준으로 폭염에 대한 취약계층을 고려하는 것 보다, 에너지의 사용가능 여부를 기준으로 폭염에 대한 취약계층을 고려하는 것이 보다 정확한 기후변화 취약계층을 고려할 수 있을 것이라 판단된다. 또한 광역지자체 및 기초지자체의 기후적 특성에 따라 가구당 사용하는 광열비는 다를 것이다. 때문에 국가에서 지정하는 최저생계비를 기준으로 한 기초생활수급자 보다, 에너지빈곤층이 해당 지자체의 폭염에 대한 취약계층을 정확히 산정해 줄 것으로 판단된다.

본 논문에서는 이와 같은 판단을 근거로 하여 기존의 ‘기초생활수급자 비율’ 지표를 ‘에너지빈곤층 비율’ 지표로 수정하였다.

나. 생물학적 취약계층

생물학적 취약계층은 성별, 연령, 유전적 특성에 의해 환경인자에 더 민감하게 반응하는 계층을 뜻한다. 생물학적 취약계층 또한 연구의 목적 및 기준에 따라 달라질 수 있다.

국회입법조사처(2012)에 따르면 보건의료 취약계층은 1)영아, 2)어린이, 3)임산부, 4)노인으로 정의하고 있다. 어린이의 경우 법에 따라 연령이 달라지는데 보건의료 분야에서는 어린이를 0세~ 12세 이하로 정의하고 있다. 아동복지법에 따르면 아동은 만 18세 미만의 사람으로 볼 수 있다.

VESTAP에서는 ‘14세 이하의 인구’와 ‘65세 이상 인구’를 폭염의 취약계층으로 보고 있다. 그러나 사실상 14세 이하의 인구가 취약하다고 보기는 어렵다. 초등교육이 의무화되면서 폭염 최고조 시간대인 오후 12시~ 5시에 주로 학교에 있으며, 선생님의 관리를 받을 수 있다. 때문에 초등교육을 받기 시작하는 8세 이상의 어린이는 취약계층으로 보면 안된다는 판단 하에 본 논문에서는 생물학적 취약계층인 어린이의 나이를 수정하였다.

보건복지부와 질병관리본부는 폭염 시 취약계층을 <그림 2-5>과 같이 분류 하였다. 어린이들 중 4세 이하의 경우 체온 조절기능이 충분히 발달되지 않아 폭염에 위험하다. 또한 설사, 호흡기감염, 신경계질환이 있는 어린이들도 폭염의 위험군으로 보고 있다. 65세 이상 노인은 노화로 인해 일반인보다 땀샘이 감소하여 땀의 배출량이 적어져 체온을 낮출 수 있는 능력이 떨어진다. 피부의 온도 감수성이 둔화되어 더위를 느끼기 어려우며 체내 수분양이 젊은 사람보다 적어 탈수 상태에 이르기 쉽다. 노인의 경우 흔히 갖고 있는 만성질환으로 복용하는 약이 체온 조절반응을 저해시킬 수 있다. 이와 같은 이유 때문에 노인, 어린이, 만성질환자를 폭염의 취약계층으로 분류하고 있다.

따라서 본 논문에서는 ‘14세 이하 인구’ 지표를 ‘4세 이하 인구’로 생물학적 취약계층인 어린이의 연령을 수정하였다.



<그림 2-5> 폭염의 취약계층

자료 : 보건복지부, 질병관리본부(2014)

또 다른 생물학적 취약계층인 노인을 나타내는 ‘65세 이상 인구’ 지표는 고령화의 추세에 맞게 ‘70세 이상 인구’ 로 수정하고자 한다. 고령화란 전체 인구에서 65세 이상의 고령자 인구가 총인구에서 차지하는 비율이 높아지는 것을 뜻한다. 국제연합은 65세 이상의 인구가 4% 미만인 사회를 ‘연소인구 사회’, 4~7% 미만의 사회는 ‘성숙인구 사회’, 7%를 넘는 사회를 ‘고령화 사회’, 14%를 넘는 사회를 ‘고령사회’ 라고 한다. 우리나라는 2000년 고령화비율 7.2%로 고령화 사회에 진입하였으며 현재 고령화비율은 13.15%(2015년)으로 고령사회로 진입중이다.

제3차 저 출산 고령사회 기본계획(2016~2020)에 따르면 현재 노인기준연령인 60세~65세 연령을 65세~70세로 높이는 방안에 대한 연구를 하고 있다. 뿐만 아니라 한국노인회에서는 노인의 법적연령을 70세 이상으로 높이자는 안건을 제시한바 있다(2015. 05.). 일본의 경우 이미 고령사회를 맞이한 국가로써 통계를 작성 시 65세~74세와 75세 이상으로 나누어 제공하고 있다.

위와 같은 추세를 따라, 현재 노인의 기준연령인 65세를 70세로 수정하였다. 본 논문에서는 생물학적 취약계층인 어린이와 노인의 연령을 14세 이하에서 4세 이하로, 65세 이상을 70세 이상으로 수정하여 기후변화 취약성평가를 진행하였다.

제 3 절 선행연구 고찰

본 연구를 진행하기 전 선행연구를 통해 지난 연구들의 동향을 살펴보고자 한다. 기후변화 취약성평가와 관련된 선행 연구로써 유가영(2008)은 우리나라의 지역별 기후변화 취약성을 평가할 수 있는 지표인 취약성-탄력성 지표(VRI)를 개발하였다. 이를 이용하여 16개 광역지자체의 기후변화 취약성을 평가하였다. 뿐만 아니라 기후변화 취약성평가 결과를 기반으로 지역별 적응대책 수립의 방향성까지 제시하였다.

고재경(2009)은 경기도의 시·군을 대상으로 기후변화 취약성평가를 위한 지표를 개발했다. AHP 설문조사를 통해 지표별 가중치를 도출하였고, 이를 이용하여 경기도 지역의 상대적 기후변화 취약성을 평가해 적응이 시급한 지역과 취약성의 유형을 파악했다. 경기도의 경우 여주군, 양평군, 김포시, 포천시, 연천군, 하남시의 기후변화 취약성이 높게 나타났으며, 기후노출과 민감도 부문이 높으며 적응능력은 낮은 지역이 해당하는 것으로 나타났다.

기후변화 취약성평가 중 폭염과 관련된 연구는 왕광익(2012)의 연구가 있다. 왕광익(2012)은 기후변화 취약계층을 취약지역에 거주하는 사회·경제적 취약계층으로 정의하고 폭염과 한파에 집중하여 기후변화 취약계층이 밀집한 지역의 실제 현황을 조사하였다. 사례 지역은 기후변화 취약계층 관련 지표를 통해 서울, 대구, 부산으로 선정했다. 해당 지역은 기후변화에 취약한 생물학적, 사회경제적 취약계층 비율이 높고, 주변에 비해 기후노출에 더 많은 자극을 받고 있는 것으로 나타났다. 또한 정주환경, 건강상의 문제, 에너지 접근등에 있어서도 지역별로 차이가 나타났다. 위 연구를 통해 지역별 특성을 고려한 기후변화 적응정책의 필요성을 확인할 수 있었다.

국토해양부(2012)는 전국 도시별 재해취약성 및 특성을 분석하고 적응능력 제고 방안에 관한 연구를 진행하였다. 위 연구는 홍수, 폭염, 폭설, 가뭄, 강풍, 해수면 상승에 대한 전국의 시·군·구별 기후변화 재해 취약성 및 특성을 분석하였으며, 폭염의 경우 전국 232개의 지자체 중 27.6%인

64개의 지자체가 폭염 취약지역으로 나타났다. 특히 인구와 기반시설 등이 집중된 특별·광역시 지역이 폭염에 상대적으로 더 취약한 것으로 나타났다.

한국환경·정책평가연구원(2014)은 기후변화와 연계하여 폭염에 대한 중장기적인 적응대책을 수립하기 위한 연구를 진행하였다. 위 연구에서는 중장기적인 시간적 측면을 고려하고 폭염과 관련한 분야를 포괄하여 사전 예방 차원의 대책들을 통합하는 대책 통합(policy integration)과 사회적 학습이론을 구체화하여 적용가능하게 하는 적응관리(adaptive management)를 활용하여 4단계의 적응대책(안)을 제시하였다. 첫째, 폭염관련 분야별 피해 경로 조사·분석을 통한 대책 근거 마련과 영향 및 취약성평가 강화. 둘째, 계획/정책 수립의 단계로 분야별 적응 옵션 및 기술 개발 및 보급, 분야별 폭염 취약성 지도 작성/제공, 지자체 대책 수립 가이드라인 개발/제공. 셋째, 이해당사자와의 전달 체계 확립을 위한 이행 도구 개방 제안. 넷째, 폭염 관련 분야별 모니터링 지표 개발 및 DB 구축, 지자체 수준의 M&E 가이드라인 개발 및 제공, 폭염대책위원회(가칭)운영, 지자체 담당자의 폭염 대책 피드백을 위한 소통채널 구축 및 운영 등을 제안하였다.

제 3 장 연구 방법

제 1 절 기후변화 취약성평가 모형 VESTAP

환경부 기후변화협력과를 주관으로 국가기후변화적응센터에서는 WEB 기반의 기후변화 취약성평가 도구인 VESTAP(Vulnerability Assessment Tool to Build Climate Change Adaptation Plan)을 제공하고 있다. VESTAP은 광역 및 기초지자체 단위로 기후변화 취약성평가를 진행하며, 기후변화 취약성평가 항목은 7개 분야 32개의 세부 평가항목으로 구성되어 있다(표 3-1).

VESTAP은 앞서 환경부에서 제공한 기후변화취약성평가 프로그램인 CCGIS(Climate Change Adaptation Plan)와 LCCGIS(Local Climate Change adaptation program based on GIS)를 개선하여 만든 프로그램으로 기후변화 취약성지수를 3가지 대리변수인 기후노출, 민감도, 적응능력으로 구분하여 함수식을 이용해 취약성지수를 산출한다. 기후변화 취약성지수 산출식은 <표 3-2>와 같다. 각 대리변수를 산정하기 위해 VESTAP에서 사용되는 지표DB는 455개이며, 이에 관한 원시자료들의 메타정보를 함께 제공하고 있다. 산출식에 사용되는 가중치는 해당 지자체별, 취약성평가항목별 각기 다른 가중치를 적용하게 되며, 국립환경과학원(2012)에서 실시한 델파이 분석으로 도출된 가중치이다.

<표 3-1> VESTAP의 기후변화 취약성평가 분야 및 항목

분야	분야에 따른 취약성 평가 항목(세부 취약성평가 항목)
건강	곤충 및 설치류에 의한 전염병 건강 취약성
	기타 대기오염물질에 의한 건강 취약성
	미세먼지에 의한 건강 취약성
	수인성 매개 질환에 대한 건강 취약성
	오존농도 상승에 의한 건강 취약성
	태풍에 의한 건강 취약성
	폭염에 의한 건강 취약성
	한파에 의한 건강 취약성
	홍수에 의한 건강 취약성
재난/재해	폭설에 대한 기반시설 취약성
	폭염에 대한 기반시설 취약성
	해수면 상승에 대한 기반시설 취약성
	홍수에 대한 기반시설 취약성
농업	가축 생산성의 취약성
	농경지 토양침식에 대한 취약성
	벼 생산성의 취약성
	사과 생산성의 취약성
	재배·사육시설 붕괴의 취약성
산림	가뭄에 의한 산림식생의 취약성
	병해충에 의한 소나무의 취약성
	산림생산성의 취약성
	산불에 대한 취약성
	산사태에 의한 임도의 취약성
	소나무와 송이버섯의 취약성
	집중호우에 의한 산사태 취약성
해양/수산	수온변화에 따른 수산업(양식업)의 취약성
물관리	수질 및 수생태에 대한 취약성
	이수에 대한 취약성
	치수의 취약성
생태계	곤충의 취약성
	국립공원의 취약성
	침엽수의 취약성

자료 : 국가기후변화적응센터 VESTAP

<표 3-2> 기후변화 취약성 평가 지수 산출 식

$$\text{기후변화 취약성평가 지수} = \{(\text{기후노출 지수} \times \text{가중치}) + (\text{기후변화 민감도 지수} \times \text{가중치}) - (\text{적응능력 지수} \times \text{가중치})\}$$

기후변화 취약성평가를 진행하기 위해서 원하는 지자체와 기후변화시나리오를 선택하고, 평가하고자 하는 연대를 선정해야 한다. 연대는 10년 단위로 2001년 ~ 2010년, 2011년 ~ 2020년, 2021년 ~ 2030년, 2031년 ~ 2040년, 2041년 ~ 2050년으로 구분하여 선택할 수 있다.

VESTAP에서 제공하는 기후변화 시나리오는 RCP(Representative Concentration Pathway) 시나리오로써 IPCC 제5차 평가보고서(AR5, 2013)에서 사용된 새로운 시나리오 이다. IPCC 제4차 평가보고서(AR4, 2007)까지 사용했던 SRES 온실가스 시나리오는 미래의 사회경제 형태를 먼저 결정한 후 이에 따른 온실가스 배출량 시나리오를 통해 온실가스 농도를 정한다. 그러나 RCP 시나리오의 경우 인간의 활동이 대기에 미치는 복사량을 이용하여 온실가스 농도를 정한다. 대표적인 복사 강제력에 대해 사회·경제 시나리오는 여러 가지가 될 수 있다는 의미에서 ‘대표(Representative)’ 라는 표현을 사용하였으며, 온실가스 배출 시나리오의 시간에 따른 변화를 강조하고자 ‘경로(Pathway)’ 라는 표현도 사용하였다. RCP 시나리오는 아래 <표 3-3>와 같이 총 4가지로 구성되어 있으며 VESTAP에서 제공하는 시나리오는 RCP 과거관측자료 시나리오, RCP 4.5 시나리오, RCP 8.5 시나리오이다.

<표 3-3> RCP 시나리오

구분	특징	CO ₂ 농도
RCP 2.6	인간 활동에 의한 영향을 지구 스스로가 회복 가능한 경우	420ppm
RCP 4.5	온실가스 저감 정책이 상당히 실행되는 경우	540ppm
RCP 6.0	온실가스 저감 정책이 어느 정도 실행되는 경우	670ppm
RCP 8.5	현재 추세(저감 없이)로 온실가스가 배출되는 경우 (BAU 시나리오)	940ppm

자료 : 제5차 평가보고서(IPCC, 2013)

RCP 과거관측자료 시나리오는 2001년 ~ 2010년대의 취약성평가를 진행할 때 선택 가능하며 다른 연대를 평가하고자 할 때에는 선택이 불가능하다. 지자체와 시나리오 그리고 연대를 선정하고 나면, 평가하고자 하는 기후변화취약성평가 항목을 선택하고 기후변화 취약성평가 결과를 도출할 수 있다. 기후변화 취약성평가 결과는 <그림 3-1>, <그림 3-2>과 같이 취약성 종합지수, 기후노출부문, 민감도부문, 적응능력부문으로 대응변수별 결과 값으로 나타나며 행정구역별로 기후변화 취약성평가 결과를 볼 수 있다. 기후변화 취약성평가 결과를 산출하는데 사용된 데이터는 excel 파일 형식으로 다운로드 가능하며 출처와 가공방법의 확인이 가능하다.

취약성 평가 결과 보기

적용 시나리오 선택 RCP 과거관측자료 2001-2010 적용

[울산광역시의 폭염에 의한 건강 취약성 평가 도출내역]

- 평가 지역 : 울산광역시
- 평가 항목 : 폭염에 의한 건강 취약성

- 평가 분야 : 건강 분야
- 적용 시나리오 : RCP 과거관측자료-2001~2010

* RCP4.5 : 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우
* RCP8.5 : 현재 추세(저감없이)로 온실가스가 배출되는 경우(BAU 시나리오)

인쇄

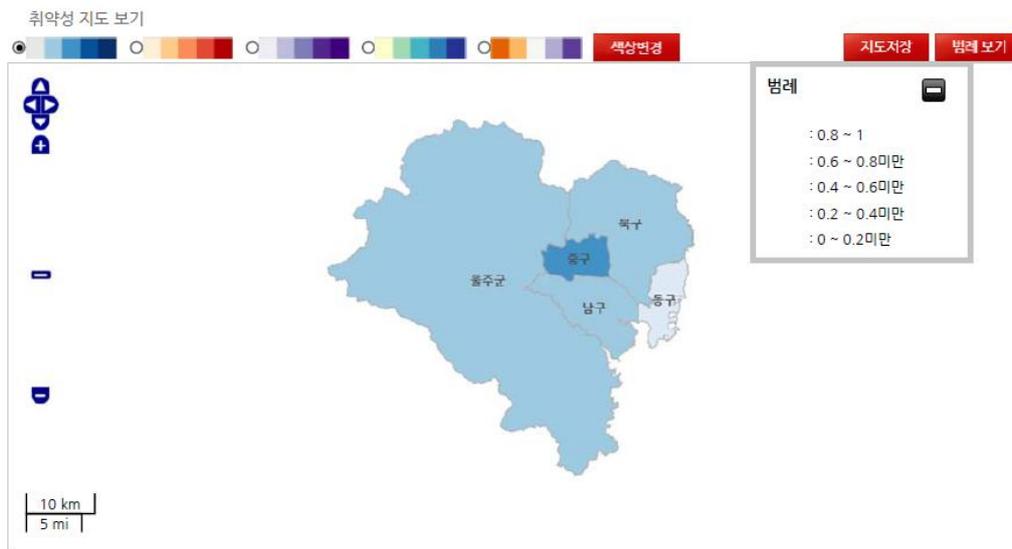
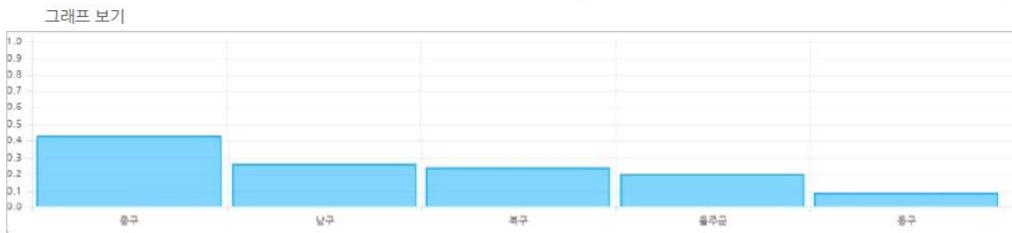
취약성 평가 대용변수 별 결과 값 엑셀다운로드 순위별 정렬

순위	행정구역 명칭	취약성 종합 지수	기후노출 부문	민감도 부문	적응능력 부문	방사형 그래프 보기
1	중구	0.43	0.29	0.18	0.04	▶▶
2	남구	0.26	0.31	0.12	0.17	▶▶
3	북구	0.24	0.32	0.00	0.08	▶▶
4	울주군	0.20	0.16	0.20	0.16	▶▶
5	동구	0.09	0.24	0.01	0.16	▶▶

[방사형 그래프 보기]

1. 왼쪽 방사형 그래프 보기 *클릭*

2. 그래프에 마우스를 올리면 수치가 나타납니다.



<그림 3-1> VESTAP의 기후변화 취약성평가 결과 화면 (I)

※ 취약성평가 산출식

$$\triangleright \text{폭염에 의한 건강 취약성 (값)} = (\text{기후노출 지수} \times 0.5) + (\text{기후변화 민감도 지수} \times 0.25) - (\text{적응능력 지수} \times 0.25)$$

1

※ 산출에 사용된 기초자료

▷ 구축형태 구분 **A** 시군구 실제데이터 **B** 시도 자료로부터 가공한 데이터 **C** 복합/기타 데이터

- 기후노출 부문 7개 지표, 기후변화 민감도 부문 6개 지표, 적응능력 부문 6개 지표 사용

기후노출 부문			기후변화 민감도 부문			적응능력 부문		
기초자료 이름	구축형태	가중치	기초자료 이름	구축형태	가중치	기초자료 이름	구축형태	가중치
열파 지속지수(HWDI) (지수)	A	0.15	14세이하 인구 (명)	A	0.1	GRDP 보건업 및 사회 복지 서비스업 (백만원)	B	0.16
일 최고기온의 연간 평균값 (°C)	A	0.11	65세이상 인구 (명)	A	0.2	건강보험적용 인구비율 (%)	B	0.1
일 최고기온이 33°C이상인 날의 횟수 (회)	A	0.26	기초 생활수급자 비율 (%)	B	0.1	인구당 보건소 인력 (명/만명)	C	0.16
일 최저기온이 25°C이상인 날의 횟수 (회)	A	0.1	독거노인(65세이상) 비율 (%)	B	0.2	인구당 응급의료 기관수 (개/십만명)	C	0.16
체감온도 (°C)	A	0.13	심혈관질환 사망자 수 (명)	B	0.16	재정 자립도 (%)	B	0.21
1일 상대습도 (%)	A	0.1	열사병/일사병으로 인한 사망자 수 (명)	B	0.24	지역 내 총생산 (GRDP) (백만원)	B	0.21
불쾌지수(온습도지수) (지수)	A	0.15						

기초자료 표로 보기

※ 울산광역시외의 폭염에 의한 건강 취약성평가 도출에 사용된 기초자료를 시/군/구 단위로 확인할 수 있으며, 원하는 경우 Excel로 다운로드 할 수 있습니다.

기후노출 부문 엑셀다운로드

번호	행정구역 명칭	열파 지속지수 (HWDI) (지수)	일 최고기온의 연간 평균값 (°C)	일 최고기온이 33°C 이상인 날의 횟수 (회)	일 최저기온이 25°C 이상인 날의 횟수 (회)	체감온도 (°C)	1일 상대습도 (%)	불쾌지수(온습도지수) (지수)
1	남구	11.61	18.39	11.09	7.86	10.41	66.12	52.55
2	동구	11.87	17.53	4.28	3.4	10.66	66.67	53.47
3	북구	11.67	17.99	8.64	3.3	10.44	67.29	53.54
4	중구	11.62	18.07	10.89	5.47	10.41	66.37	52.71
5	울주군	11.32	17.19	10.23	3.59	10.08	67.46	52.56

<그림 3-2> VESTAP의 기후변화 취약성평가 결과 화면 (II)

VESTAP은 기후노출, 민감도, 적응능력에 대한 지표를 가중연산 하여 읍·면·동 단위의 취약지역 순위와 정규화 된 수치의 취약성평가 결과를 도출한다. 도출된 취약성평가 결과는 평가단위에(광역시 내 혹은 기초지자체단위 내) 대한 상대적인 연산결과 값으로 절대적인 수치가 아니다. 따라서 타 지역과의 취약성평가 결과의 단순 수치비교를 통한 해석은 어렵다 (오관영, 2016).

VESTAP을 이용한 선행연구로써 임채현(2016)의 제주지역에 대한 산불 취약성평가 연구가 있다. 이 연구는 RCP 8.5 시나리오를 기반으로 제주시 및 서귀포시 지역의 산불에 대한 취약성평가를 진행한 연구이다. 표준화 작업을 통해 제주시와 서귀포시를 종합한 제주도 전체의 읍면동의 산불 취약성평가를 산출 하였다. 배민기(2015)는 VESTAP을 이용하여 충청북도의 기후변화 적응계획 수립을 위한 방향을 제시하는 연구를 하였다. 위 연구에서는 RCP 8.5 시나리오를 기반으로 2010년대의 기후변화 취약성평가를 진행하였으며, VESTAP의 기후노출, 민감도, 적응능력, 취약성평가 결과를 모아 충청북도 전체를 지표별로 비교하였다.

제 2 절 기후변화 취약성평가 지표 수정

1. 에너지빈곤층 비율 지표 산정 방법

에너지빈곤층을 산정하기 위해서 우선적으로 빈곤의 정의부터 내려야 한다. 빈곤의 정의에 따라 빈곤층을 산정하는 방법이 달라지기 때문이다. 빈곤은 욕구와 만족이라는 두 개념을 바탕으로 절대빈곤, 상대빈곤, 주관적 빈곤으로 구분된다(이두호 외, 1991).

절대빈곤(absolute poverty)의 개념은 한 가구의 소득이 최소한의 생활을 유지하는데 필요한 생계비에 미달할 경우 빈곤가구라 한다. 따라서 절대빈곤에 대한 개념의 핵심은 최저생활의 정의에 달려있다(서상목, 1981; 진상현, 2010). 국내의 경우 대다수의 연구들이 최저생계비를 기준으로 하여 절대빈곤을 추정하였다(박능후, 2004). 이때 빈곤선의 기준으로 최저생계비를 사용하는데, 최저생계비란 최소한의 필수적인 욕구를 해결하기 위해 필요한 비용을 뜻한다.

상대빈곤(relative poverty)는 사회적 생활수준과 개인의 생활수준의 비교를 통해 정의된 개념이다. 따라서 빈곤선은 사회구성원 대다수가 누리는 생활수준에 따라 달라진다. 선진국의 경우 절대빈곤이 개념정의 및 추계가 현실적으로 어려우며 임의성을 내포하고 있기 때문에 상대빈곤의 개념을 절대빈곤의 개념보다 주로 사용되고 있다(서상목, 1981).

주관적 빈곤은 객관적 기준이 아닌 주관적인 판단에 의해 정의된 개념이다. 주관적 빈곤은 스스로 자신의 빈곤을 판단하는 방식과 제 3자에 의한 평가로 빈곤을 판단하는 방식이 있다.

<표 3-4> 빈곤의 종류별 정의와 기준

빈곤의 종류		정의	기준
객관적 빈곤	절대적 빈곤	객관적으로 결정되는 절대적 최저한도(최저생계비) 보다 적게 가진 상태	<ul style="list-style-type: none"> - 기본욕구 방법 : 음식, 주거, 의복 등 기본적인 욕구를 해결하기 위해 필요한 비용 (C.Booth, 1899) - 음식비 비율 방법 : 음식비가 소득에서 차지하는 비율
	상대적 빈곤	사회구성원 대다수가 누리는 생활 수준에 못 미치는 수준	<ul style="list-style-type: none"> 사회구성원 대다수가 누리는 생활수준에 못 미치는 생활수준 -Runciman에 따른 빈곤선 기준: 평균소득의 50% 혹은 66% 기준으로 설정 -소득분포 기준 하위 10% , 20% -Townsend에 따른 빈곤선 기준 : 생활양태 측정을 통한 상대적 박탈점수 산정으로 기준선 결정
주관적 빈곤		제3자의 판단이 아닌 스스로의 주관적인 판단에 의한 빈곤	<ul style="list-style-type: none"> - 제 3자에게 살아가는데 필요한 최소 비용을 조사하여 얻은 평균값을 이용한 빈곤선 설정 - 자신의 상황을 고려하여 살아가는데 필요한 최소한의 소득과 실제 자신의 소득이 교차하는 지점을 기준으로 자신이 생각하는 최소소득보다 실제 소득이 적을 경우 빈곤한 것으로 판단(Leyden 방법)

자료 : 에너지빈곤의 개념 및 정책대상 추정에 관한 연구(진상현, 2010) 재정리

에너지빈곤의 개념에 대한 국내의 명확한 정의는 없지만 일반적으로 ‘광열비(전기료, 연료, 난방비) 구입비용이 가구소득의 10% 이상인 가구로 소득에 비해 광열비 비중이 높아 최소한의 에너지마저 제대로 공급 및 사용하기 힘든 사회계층’을 뜻한다. 따라서 영국과 같은 상대적 빈곤과 절대적 빈곤의 개념으로 볼 수 있다(표 3-5).

<표 3-5> 각국의 에너지빈곤 개념

국가	에너지빈곤의 개념(정의)	유형
영국	WHO 권고수준을 유지하기 위해 가구소득의 10% 이상을 광열비로 지출해야하는 가구	상대적 빈곤 절대적 빈곤
미국	에너지부담 비율이 10.9% 이상인 가구	상대적 빈곤
아일랜드	응답자의 주관적 판단에 따라 에너지빈곤 추정 적절한 수준의 안락함과 쾌적성 확보를 위해 가구소득의 10% 이상을 연료비로 지출하는 가구	상대적 빈곤 절대적 빈곤 주관적 빈곤

자료 : 에너지빈곤의 개념 및 정책대상 추정에 관한 연구(진상현, 2010)

영국의 경우 가구소득을 기준으로 하위 30%에 속하는 가구의 에너지 비용 비율이 평균적으로 10% 차지하고 있어 에너지빈곤의 기준을 10%로 정하였다(Energie-Cities, 2007). 에너지빈곤 비율(Fuel Poverty Ratio)은 ‘소득대비 에너지비용의 비율’로 정의되는데 산정식은 <표 3-6>와 같다. 소득의 경우 총순소득을 말하며 에너지 비용은 실제 지출액이 아닌 모델링을 통해 WHO권고수준을 유지하기 위해 지출해야하는 에너지 필요량에 에너지원별 가격을 곱하여 산정하게 된다(DEFRA, 2006).

<표 3-6> 에너지빈곤 비율 산정식

$\text{에너지빈곤 비율}(\%) = \text{에너지비용} / \text{소득} * 100$ $\text{에너지비용} = \text{에너지 필요량} * \text{에너지원별 가격}$
--

자료 : 에너지빈곤의 개념 및 정책대상 추정에 관한 연구(진상현, 2010)

2. 에너지빈곤층 비율 산정 결과

본 연구에서는 에너지빈곤층에 대한 정의를 ‘광열비로 가구소득의 10% 이상을 지출하는 가구’로 설정하고, 통계자료를 이용하여 가구의 소득 대비 광열비가 차지하는 비율이 소득의 10%이상인 가구를 에너지빈곤층으로 산출하였다.

본 연구에서는 전국 표준광열비가 아닌 연구대상지인 울산광역시의 표본 가구당 에너지사용량을 기준으로 가구당 평균 광열비를 산정하여 에너지빈곤층을 산정하였다. 에너지빈곤층을 산정하는데 필요한 울산광역시의 표본 가구당 에너지 소비량은 에너지총조사(2015)의 자료를 사용하였으며, 에너지원별 가격은 에너지관리공단에서 제공하는 ‘2015에너지통계 핸드북’의 자료를 사용하였다. 그 결과 표본가구당(평균 가구원수 2.79명) 월평균 광열비는 193,447원/월 으로 산정되었다.

기초생활수급자의 경우 가구원 2.79명 기준 1,265,762원/월 이하의 소득을 버는 가구가 해당하며, 에너지빈곤층으로 산정되는 계층의 경우 1,934,470원/월 이하를 버는 가구가 해당된다. 두 계층 간 월 소득 차이는 약 668,708원이다. 산정한 월평균 광열비와 울산광역시의 구·군별 월평균 가구소득 자료(2014년 울산광역시 사회지표)를 이용하여 울산광역시 구·군별 에너지빈곤층 비율을 산정하였다. 그 결과 아래 <표 3-7>와 같이 나타났다.

<표 3-7> 울산광역시 구·군별 에너지빈곤층 비율

울산광역시의 구·군	중구	남구	동구	북구	울주군
에너지빈곤층 비율(%)	47.1	34	28.3	20.5	37.7
에너지빈곤층 비율이 높은 순서	1	3	4	5	2
기초생활수급자 비율이 높은 순서	1	3	4	5	2

기초생활수급자 보다 더 많은 인구를 포함하는 에너지빈곤층의 분포가 기초생활수급자의 분포와 같게 나타난 이유는 빈곤층의 거주지가 집중되는 현상(경제적 거주지 분리현상)으로 기초생활수급자와 에너지빈곤층의 거주지가 비슷한 지역에 몰리기 때문이다. 또한 광역지자체 내에서의 구·군별 비교이므로 큰 차이가 나지 않은 것으로 판단된다. 전국 혹은 많은 구·군을 갖고 있는 지자체를 대상으로 에너지빈곤층과 기초생활수급자의 분포지역을 비교한다면 차이가 있을 것으로 판단된다.

3. 연령 관련 지표 수정

본 연구에서는 기후변화 취약계층인 어린이와 노인의 연령대를 수정하고자 한다. 기존 VESTAP에서 어린이를 나타내는 ‘14세 이하 인구’ 지표를 ‘4세 이하 인구’ 지표로, 노인을 나타내는 ‘65세 이상 인구’ 지표를 ‘70세 이상 인구’ 로 수정하였다. 지표의 수정을 위해 연구대상지인 울산광역시의 통계연보를 이용하여 구·군별 해당 연령의 인구 데이터를 수집하였다(표 3-8).

<표 3-8> 울산광역시 구·군별 해당 연령의 인구 수(2014년 기준)

구분	14세 이하(명)	4세 이하(명)	65세 이상(명)	70세 이상(명)
중구	32,165	10,077	22,091	13,777
남구	50,584	15,105	25,383	15,388
동구	28,190	10,766	11,971	7,049
북구	35,125	11,735	11,133	7,368
울주군	34,511	10,840	22,970	15,903

구·군별 전체 인구수를 기준으로 해당 연령의 차지 비율을 산정한 결과 아래 <표 3-9>와 같다. 남구의 경우 전체 인구수는 347,759명으로 구·군 중 가장 많으나, 취약계층인 어린이와 노인의 비율은 타 구군에 비해 높지 않다. 반면 북구는 전체 인구수는 다른 구·군들에 비해 높지 않으나 취약계층인 어린이의 비율은 높게 나타났다.

<표 3-9> 울산광역시 구·군별 해당 연령의 인구 비율(2014년 기준)

(단위 : %)

구분	전체 인구(명)	14세 이하	4세 이하	65세 이상	70세 이상
중구	238,825	13.5	4.2	9.2	5.8
남구	347,759	14.5	4.3	7.3	4.4
동구	176,668	16.0	6.1	6.8	4.0
북구	188,733	18.6	6.2	5.9	3.9
울주군	214,392	16.1	5.1	10.7	7.4

제 3 절 기후변화 취약성평가 가중치 산정

1. 기후변화 취약성평가 가중치 산정 방법

특정 대상을 평가하기 위해 개별지표의 측정 평가치를 종합하여 최종적인 평가를 진행할 경우, 각 지표의 중요성 또는 평가대상을 대변하는 정도 및 강도의 차이를 반영하기 위해 가중치를 부여하는 방안을 사용하고 있다. 가중치를 산정하는 방법은 주관적 방법, 통계적 방법, 사회적 판단방법 세 가지로 구분할 수 있다(표 3-10).

<표 3-10> 가중치 산정 방법의 종류

구분	가중치 산정 방법의 예
주관적 방법	설문조사
통계적 방법	회귀분석
	요인분석
사회적 판단 방법	계층분석과정(AHP)
	퍼지집합이론

자료 : 국가과학기술혁신역량 평가지표의 가중치 산정방법에 관한 연구(이정호, 2010)

주관적 방법은 지수를 구성하는 개별지표의 가중치를 작성기관 또는 연구자의 주관으로 가중치를 결정하는 방법이다. 주로 전문가 설문조사를 통해 측정한다. 주관적 방법의 경우 작성기관 또는 연구자가 전문가 설문조사를 통해 개인의 자의적으로 가중치를 산정하기 때문에 측정 방법은 단순하고 이해하기 쉽다. 그러나 주관적 방법으로 얻은 가중치는 지표가 평가 대상에 미치는 영향을 객관적, 합리적으로 평가하기 어렵다는 단점을 갖고 있다(이정호, 2010).

통계적 방법은 세부지표의 실제 자료 값을 통계분석방법을 이용하여 세부지표에 대한 가중치를 산정하는 방법으로, 주로 회귀분석(regression

analysis)과 요인분석(factor analysis)을 사용하고 있다. 회귀분석을 이용하는 경우, 각 독립변수의 회귀계수가 각 세부지표(독립변수)와 종속변수간의 관련정도를 나타내는 척도라고 가정하고 이를 세부지표의 가중치로 활용한다. 반면 요인분석을 이용하는 경우 세부지표들 사이의 상관관계를 분석하여 세부지표들에 대한 정보 손실을 최소화 시키고, 전체 세부지표를 소수의 요인들로 축약하는 방법이다. 통계적인 방법은 통계분석방법을 이용하여 가중치를 산정하기 때문에 객관적인 결과를 산출한다(이정호, 2010).

사회적 판단방법은 전문가 혹은 다수의 일반인의 판단에 따라 세부지표의 중요성 정도를 결정하고 이를 바탕으로 세부지표의 가중치를 산정하는 방법이다(이정호, 2010). 주로 전문가 조사를 통한 계층분석과정(AHP : Analytic Hierarchy Process)과 퍼지집합이론(Fuzzy set theory)이 사용된다. 사회적 판단방법은 전문가 또는 다수의 일반인들의 판단에 따라 세부지표의 가중치가 결정되기 때문에 특정 지표에 대한 중요성의 기준이 시대별, 사회별로 변화할 경우 이를 과학적이고 체계적인 절차에 따라 적절하게 반영할 수 있다는 측면에서 합리적이다. 그러나 전문가나 일반인들의 구성에 따라 가중치 산정결과가 달라 질 수 있다는 문제점을 갖고 있다(이정호, 2010).

유소민 외(2013)은 SPSS를 이용하여 가중치를 산정하고 이를 대입하여 기후변화 취약성평가를 실시하였다. 전국을 대상으로 농경지 침식/침하 취약성, 가뭄에 의한 산불 취약성 그리고 폭염에 의한 건강 취약성평가를 진행하였다.

$$y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3+b_4x_4+ \dots \quad (1)$$

식 (1)과 같은 회귀방정식을 이용하여 가중치를 산정하였다. 독립변수 x는 종속변수 y의 결과를 일으키는 원인을 나타내며, 종속변수인 y는 예측변수로 결과물이나 효과를 나타낸다. 위 연구에서는 폭염에 의한 사망자수 통계를 종속변수(y)로 사용하였으며, 각 독립변수(x)에는 기후노출, 민감

도, 적응능력의 지표를 사용하였다. 종속변수와 독립변수는 표준화된 값으로 입력하였으며, 통계 프로그램인 SPSS의 회귀분석을 이용해 분석하였다. 도출된 지표별 표준화계수를 표준화계수의 합으로 나눠 각 지표의 가중치로 산정하였으며, 같은 규준에 속하는 지표들의 가중치를 합한 값을 각 규준의 가중치로 산정하였다.

2. 기후변화 취약성평가 가중치 산정 결과

본 연구에서는 기존 VESTAP의 지표가 삭제 및 수정됨에 따라 가중치의 합이 1이 되지 않는 문제점을 해결하기 위해 가중치를 재 산정하였다. 가중치를 재 산정하는데 있어 두 가지 방법을 이용하였다. 첫 번째 방법은 기존 VESTAP에서 사용하고 있는 가중치를 재분배하여 산정하는 방법이다. 본 연구에서 지표를 수정하는 부분은 민감도 부분으로 총 6가지의 지표가 있다(표 3-11).

<표 3-11> VESTAP의 폭염에 의한 건강취약성 평가 시 사용되는 민감도 부문 지표 및 가중치

지표	가중치
14세 이하 인구	0.1
65세 이상 인구	0.2
기초 생활수급자 비율	0.1
독거노인 비율	0.2
심혈관질환 사망자 수	0.16
열사병/일사병으로 인한 사망자 수	0.24

위 지표들 중 ‘열사병/일사병으로 인한 사망자 수’ 지표는 본 연구에서 폭염에 의한 피해의 정도를 나타내는 지표로 판단하여 민감도부문의 취약성평가 항목 지표에서 삭제하였다. 때문에 ‘열사병/일사병으로 인한 사망자 수’ 지표에 할당되어 있던 가중치 0.24가 삭제되어 민감도부문 지표들의 가중치 합이 0.76으로 1이 되지 않는다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 기존의 가중치에서 ‘열사병/일사병으로 인한 사망자 수’ 가중치를 나머지 지표에 동일하게 배분하는 방법으로 가중치를 재 산정하였다(표 3-12). 앞으로 본 논문에서는 위와 같은 방법을 이용하여 산출한 가중치를 ‘배분가중치’로 정의하였다.

<표 3-12> 배분가중치 산정 결과

지표	기존 VESTAP의 가중치	배분가중치
14세 이하 인구	0.1	0.148
65세 이상 인구	0.2	0.248
기초 생활수급자 비율	0.1	0.148
독거노인 비율	0.2	0.248
심혈관질환 사망자 수	0.16	0.208
열사병/일사병으로 인한 사망자 수	0.24	-

두 번째 방법은 앞장에서 서술한 통계적 방법을 이용하여 가중치를 산정하는 방법이다. 본 연구에서는 유소민 외(2013)의 가중치 산정방법과 동일하게 종속변수를 폭염으로 인한 피해를 나타내는 ‘온열질환자수’로, 독립변수는 민감도부문에 해당하는 지표들로 설정하여 가중치를 산정하였다.

위 산정과정은 회귀계수의 유의성을 검증하기 위한 것이 아니라 이미 정해진 지표들을 이용하여 상대적 가중치를 구하는 것이 목적이다. 따라서 유의확률 및 t값, 혹은 가설 등 다른 통계적인 부분은 고려하지 않았으며, 표준화계수만을 이용하여 새로운 가중치를 산정하였다.

가중치 산정 시 사용한 데이터는 2006년부터 2013년까지의 울산광역시 단위의 연평균 통계 데이터를 이용하였으며 <표 3-13>는 사용된 지표와 출처에 대한 내용이다.

가중치 산정 시 SPSS 통계 프로그램을 이용하여 회귀분석을 하였으며, 그 결과는 아래 <표 3-14>과 같다.

<표 3-13> SPSS를 이용한 가중치 산정 시 사용된 지표

구분	지표	출처
종속변수	온열질환자수	국민건강보험공단 제공
독립변수	14세 이하 인구(수)	울산광역시통계연보, 통계청
	65세 이상 인구(수)	울산광역시통계연보, 통계청
	65세 이상 독거노인	통계청
	기초생활수급자 비율	울산광역시통계연보, 통계청
	심혈관질환 사망자수	사망원인통계

<표 3-14> SPSS 프로그램을 이용한 회귀분석 결과

지표	비표준화 계수		표준화계수
	B	표준오차	베타
14세 이하 인구	-3.509	2.653	-3.440
65세 이상 인구	6.868	4.389	6.285
기초생활수급자비율	-1.554	0.645	-1.751
독거노인비율	-11.047	7.297	-10.486
심혈관계질환자수	0.012	0.310	0.012

회귀분석결과의 표준화계수(베타) 값을 이용하여 가중치를 산정하기 위해 각 독립변수별 표준화계수를 합한 후, 각 지표의 표준화계수를 합한 값으로 나누어 산정하였다. VESTAP은 부문별 가중치의 합이 1이 되어야 프로그램이 실행되므로 이와 같은 과정을 통해 산출하였다. 음의 값으로 산출된 표준화계수를 양의 값으로 전환해 주기위해 모든 표준화계수에 절대값을 취해 가중치를 산정하였다(표 3-15). 본 논문에서는 위와 같은 방법을 이용하여 산출한 가중치를 ‘통계가중치’로 정의하였다.

<표 3-15> 지표별 표준화계수 및 통계가중치

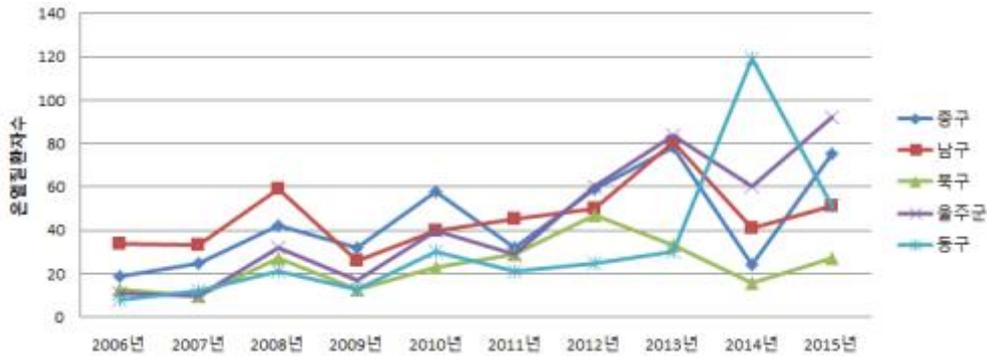
지표	표준화계수(절대값)	통계가중치
14세 이하 인구(수)	3.44	0.157
65세 이상 인구(수)	6.285	0.286
65세 이상 독거노인	1.751	0.080
기초생활수급자 비율	10.486	0.477
심혈관질환 사망자수	0.012	0.001
합계	21.974	1

제 4 절 기후변화 취약성평가 결과의 정합성 분석 방법

본 연구는 지표 및 가중치를 수정하여 보다 정확한 기후변화 취약성평가 결과를 도출하는 것이 목적이다. 지표 및 가중치 수정 후 도출한 결과가 연구대상지의 실질적인 기후변화 취약성을 얼마나 반영하였는지 확인하기 위해, 연구대상지인 울산광역시의 과거 경험(통계데이터)와의 비교를 통해 정합성을 평가하고자 한다.

결과의 정합성을 평가하기 위해 폭염의 피해를 나타내는 ‘온열질환자수’와 ‘폭염 시 일 최고기온’ 데이터를 사용하였다. ‘온열질환자수’ 데이터는 국민건강보험공단을 통해 2006년부터 2015년까지, 10년 동안 집계된 울산광역시 구·군별 데이터를 제공받아 사용하였다(표 3-16).

<표 3-16> 울산광역시 구·군별 온열질환자수(2006년-2015년)



울산광역시의 구·군별 ‘폭염 시 일 최고기온’ 데이터는 기상청 지역별 상세관측자료(AWS)를 통해 구축하였다. 지역별상세관측자료(AWS)의 경우 2007년 데이터부터 존재하며, 각 측정 지점별 기온, 풍속, 일강우량 등에 대한 자료를 제공한다(그림 3-4). 데이터 구축을 위해 2007년부터 2016년까지 폭염발생 시 지점별 일 최고기온을 수집하여 폭염 시 일 최고기온 평균을 산정하였다(표 3-17).

지상관측자료 | 지역별상세관측자료(AWS)



<그림 3-4> 기상청 지역별상세관측자료(AWS) 화면

<표 3-17> 울산광역시 구·군별 폭염 시 일 최고기온 평균(2007년 -2016년)

울산광역시 구·군	중구	남구	북구	울주군	동구
폭염 시 일 최고기온 평균(°C)	34.3°C	35.3°C	33.2°C	32.8°C	28.8°C

위와 같은 경험(통계데이터)를 이용하여 연구대상지인 울산광역시의 구·군별 기후변화 취약성 순위를 도출하고, 이를 지표 및 가중치 수정 전·후 결과와 비교하여 결과의 정합성을 평가하고자 한다.

제 4 장 기후변화 취약성평가 결과 비교

제 1 절 기존 VESTAP의 기후변화 취약성평가 결과

기후변화 취약성평가 도구인 VESTAP을 이용하여 RCP 과거자료 시나리오를 바탕으로 2001년 ~ 2010년대의 울산광역시 구·군별 폭염에 의한 건강취약성을 평가하였다. 울산광역시의 통계자료를 이용하여 새로운 지표인 ‘에너지빈곤층 비율’, ‘4세 이하 인구’, ‘70세 이상 인구’를 도출하고 이를 지표로 적용하기 위해 2001년 ~ 2010년을 평가기간으로 설정하였다.

기후변화 취약성평가 결과는 <표 4-1>의 산출식과 <표 4-2> 지표와 가중치를 이용해 산출되었다. 취약성평가에 사용된 지표는 기후노출 부문 7개, 민감도 부문 6개, 적응능력 부문 6개로 총 19개의 지표가 사용되었다.

<표 4-1> 폭염에 의한 건강 취약성평가 지수 산출식

$$\begin{aligned} & \text{폭염에 의한 건강 취약성(지수)} \\ & = (\text{기후노출} \times 0.5) + (\text{기후변화 민감도 지수} \times 0.25) - (\text{적응능력 지수} \times 0.25) \end{aligned}$$

<표 4-2> 기후변화 취약성 평가에 사용된 지표

기후노출 부문		기후변화 민감도 부문		적응능력 부문	
지표	가중치	지표	가중치	지표	가중치
열파 지속지수(HWDI)	0.15	14세 이하 인구(명)	0.1	GRDP 보건업 및 사회복지 서비스업(백만원)	0.16
일 최고기온의 연간 평균값(℃)	0.11	65세 이상 인구(명)	0.2	건강보험 적용 인규비율(%)	0.1
일 최고기온이 33℃ 이상인 날의 횟수(회)	0.26	기초 생활수급자 비율(%)	0.1	인구당 보건소 인력(명/만명)	0.16
일 최저기온이 25℃ 이상인 날의 횟수(회)	0.1	독거노인(65세이상) 비율(%)	0.2	인구당 응급의료 기관 수(개/십만명)	0.16
체감온도(℃)	0.13	심혈관질환 사망자수(명)	0.16	재정 자립도(%)	0.21
1일 상대습도(%)	0.1	열사병/일사병으로 인한 사망자 수(명)	0.24	지역 내 총생산(GRDP)(백만원)	0.21
불쾌지수(온습도지수)	0.15				

폭염에 의한 건강취약성평가 결과 중구의 취약성 종합지수가 0.43으로 울산광역시외의 다른 구·군들 중 가장 취약한 지역으로 나타났다. 다른 구·군들에 비해 중구의 적응능력이 낮으며, 적응능력에 비해 기후노출과 민감도 부문이 높아 취약한 지역으로 나타났다. <그림 4-1>와 <그림 4-2>는 VESTAP에서 산출된 결과 값과 각 대응변수별 지수를 보여주고 있다.

취약성 평가 결과 보기

▶ 적용 시나리오 선택 RCP 과거관측자료 2001~2010 적용

[울산광역시의 폭염에 의한 건강 취약성 평가 도출내역]

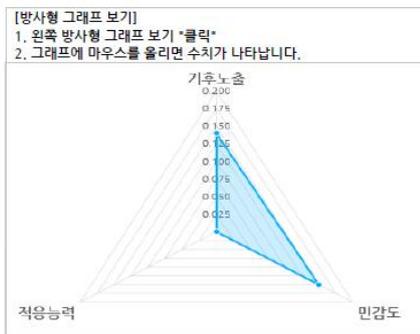
- 평가 지역: 울산광역시
- 평가 항목: 폭염에 의한 건강 취약성
- 평가 분야: 건강 분야
- 적용 시나리오: RCP 과거관측자료-2001~2010

* RCP4.5 : 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우
* RCP8.5 : 현재 추세(저감없이)로 온실가스가 배출되는 경우(BAU 시나리오)

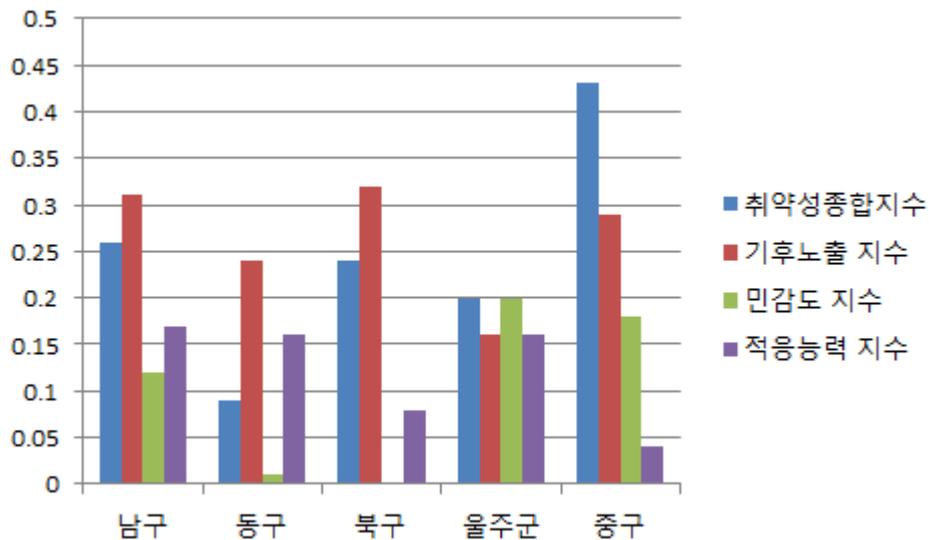
인쇄

취약성 평가 대응변수 별 결과 값 엑셀 다운로드 순위별 정렬

순위	행정구역 명칭	취약성 종합 지수	기후노출 부문	민감도 부문	적응능력 부문	방사형 그래프 보기
1	중구	0.43	0.29	0.18	0.04	
2	남구	0.26	0.31	0.12	0.17	
3	북구	0.24	0.32	0.00	0.08	
4	울주군	0.20	0.16	0.20	0.16	
5	동구	0.09	0.24	0.01	0.16	



<그림 4-1> 울산광역시의 폭염에 의한 건강 취약성평가 결과 (1)



<그림 4-2> 울산광역시의 폭염에 의한 건강 취약성평가 결과 (2)

기후노출 부문에 있어서 가장 취약한 지역은 북구이며 남구, 중구, 동구, 울주군 순으로 취약한 것으로 나타났다. 민감도부문에 있어서 가장 취약한 지역은 울주군이며 중구, 남구, 동구, 북구 순으로 나타났다. 적응능력부문에 있어서는 중구가 가장 취약한 지역으로 나타났으며 북구, 울주군과 동구 그리고 남구 순으로 취약한 것으로 나타났다.

박인규(2016)의 연구에 따르면 VESTAP을 이용한 결과와 해당지역의 실질적 통계데이터의 차이는 VESTAP의 평가지표로 사용되는 기초데이터가 구·군별로 제공되기 어려우며, 울산광역시에 대한 데이터를 공간보간법의 가공과정을 거치면서 입력되기 때문에 발생하는 것으로 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 위와 같은 문제점을 보완하기 위해 폭염에 대한 건강취약성평가에 사용되는 데이터를 구·군별 실제데이터로 대체하고 지표 및 가중치를 수정하여 기후변화 취약성평가를 진행하였다.

또한 현재 VESTAP의 기후변화 민감도부문 지표로 들어가 있는 ‘열사병/일사병으로 인한 사망자 수’ 지표는 폭염의 취약성을 평가하기 위한 지표보다, 폭염에 의한 결과 지표로 볼 수 있을 것으로 판단하여 민감도 부문의 지표에서 제외하고 기후변화 취약성평가를 진행하였다. VESTAP의 경우 각 부문별 가중치의 합이 1이 되어야 하는데, 위와 같은 지표의 수정 및 삭제로 인해 지표별 가중치의 합이 1이 되지 않는다. 때문에 기존 VESTAP에서 사용하는 가중치가 아닌 배분가중치와 통계가중치를 이용하였다.

본 연구에서 보다 정확한 기후변화 취약성평가 결과의 도출을 위해 <표 4-3> 와 같이 지표 및 가중치의 조합을 6가지 조합(대안 1~6)으로 구성하여 기존 VESTAP결과와 비교하고자 한다. 아래 <표 4-3>는 각 대안별로 사용하는 가중치에 대한 내용과 수정한 지표에 대한 내용을 작성해 둔 것이다.

<표 4-3> 대안 및 내용

구분	내용
대안 1	배분가중치를 사용하고 '기초생활수급자 비율' 지표를 '에너지빈곤층 비율' 지표로 수정함
대안 2	배분가중치를 사용하고 '14세 이하 인구', '65세 이상 인구' 지표를 '4세 이하 인구', '70세 이상 인구' 지표로 수정함
대안 3	배분가중치를 사용하고 '기초생활수급자 비율', '14세 이하 인구', '65세 이상 인구' 지표를 '에너지빈곤층 비율', '4세 이하 인구', '70세 이상 인구' 지표로 수정함
대안 4	통계가중치를 사용하고 '기초생활수급자 비율' 지표를 '에너지빈곤층 비율' 지표로 수정 함
대안 5	통계가중치를 사용하고 '14세 이하 인구', '65세 이상 인구' 지표를 '4세 이하 인구', '70세 이상 인구' 지표로 수정함
대안 6	통계가중치를 사용하고 '기초생활수급자 비율', '14세 이하 인구', '65세 이상 인구' 지표를 '에너지빈곤층 비율', '4세 이하 인구', '70세 이상 인구' 지표로 수정함

제 2 절 지표 및 가중치 수정 결과

본 연구에서는 VESTAP의 ‘기초생활수급자 비율’ 지표를 ‘에너지빈곤층 비율’ 지표로, ‘14세 이하 인구’ 지표를 ‘4세 이하 인구’ 지표로, ‘65세 이상 인구’ 지표를 ‘70세 이상 인구’ 지표로 수정하였다. 또한 가중치는 지표의 수정 및 삭제로 인해 가중치의 합이 1이 되지 않아 재 산정하였다. 본 절에서는 지표 및 가중치를 6가지 조합(대안 1~6)으로 구성하여 폭염에 의한 건강취약성을 평가하였다.

대안 1의 폭염에 의한 건강 취약성 평가 결과는 중구, 남구, 북구와 울주군, 동구 순으로 기존 VESTAP 결과인 중구, 남구, 북구, 울주군, 동구 순서와 크게 다르지 않게 나타났다(그림 4-3). 대안 1의 취약지역 순서는 북구와 울주군을 제외하고 기존 VESTAP의 취약지역 순서와 같게 나타났으나, 취약성 종합지수는 서로 다르게 나타났다. 기존 VESTAP의 구·군별 취약성 종합지수는 중구 0.43, 남구 0.26, 북구 0.24, 울주군 0.20, 동구 0.09 이다. 그러나 대안 1의 구·군별 취약성 종합지수는 중구 0.38, 남구 0.37, 북구와 울주군 0.20, 동구 0.15로, 기존 VESTAP의 취약성 종합지수에 비해 중구와 북구는 감소하였으며, 남구와 동구는 증가하였다(표 4-4).

다. 이는 기초생활수급자에서 에너지빈곤층으로 기후변화 취약계층의 범위가 수정됨에 따라 민감도지수의 변화가 나타난 것으로 판단된다. 취약계층의 범위가 넓어짐에 따라 민감도지수가 증가할 것으로 예상했으나, 결과는 증가한 구·군도 있고, 오히려 감소한 구·군도 있는 것으로 나타났다.

<표 4-5> 기존 VESTAP과 대안 1의 구·군별 민감도지수

구분	기존 VESTAP의 민감도지수	대안 1의 민감도지수
중구	0.18	0.18
남구	0.12	0.22
울주군	0.20	0.19
북구	0.00	0.01
동구	0.01	0.03

대안 2의 폭염에 의한 건강 취약성 평가 결과는 남구, 중구, 울주군, 북구, 동구 순으로 기존 VESTAP의 결과와 다르게 나타났다(그림 4-4). 대안 2의 구·군별 취약성 종합지수는 남구 0.39, 중구 0.37, 울주군 0.21, 북구 0.20, 동구 0.14로 기존 VESTAP의 구·군별 취약성 종합지수와 다르게 나타났다. 대안 2에서 남구, 동구, 울주군의 취약성 종합지수는 기존 VESTAP의 취약성 종합지수에 비해 증가 하였으며, 중구와 북구는 감소하였다(표 4-6).

취약성 평가 결과 보기

적용 시나리오 선택 RCP 과거관측자료 2001~2010 적용

[울산광역시시의 대안 2 평가 도출내역]
 - 평가 지역 : 울산광역시
 - 평가 항목 : 대안 2
 - 평가 분야 : 건강 분야
 - 적용 시나리오 : 과거기초-2000S

* RCP4.5 : 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우
 * RCP8.5 : 현재 추세(저감없이)로 온실가스가 배출되는 경우(BAU 시나리오) 인쇄

취약성 평가 대응변수 별 결과 값 엑셀다운로드 순위별 정렬

순위	행정구역 명칭	취약성 종합 지수	기후노출 부문	민감도 부문	적응능력 부문	방사형 그래프 보기
1	남구	0.39	0.31	0.24	0.16	
2	중구	0.37	0.29	0.17	0.09	
3	울주군	0.21	0.16	0.20	0.15	
4	북구	0.20	0.32	0.01	0.13	
5	동구	0.14	0.24	0.02	0.12	

[방사형 그래프 보기]
 1. 왼쪽 방사형 그래프 보기 *클릭*
 2. 그래프에 마우스를 올리면 수치가 나타납니다.

<그림 4-4> 대안 2의 결과

<표 4-6> 기존 VESTAP과 대안 2의 구·군별 취약성 종합지수

구분	기존 VESTAP의 취약성 종합지수	대안 2의 취약성 종합지수
중구	0.43	0.37
남구	0.26	0.39
울주군	0.20	0.21
북구	0.24	0.20
동구	0.09	0.14

<표 4-7>을 보면 대안 2의 구·군별 민감도지수는 남구 0.24, 울주군 0.20, 중구 0.17, 동구 0.02, 북구 0.01 이다. 그러나 기존 VESTAP의 구·군별 민감도지수는 울주군 0.20, 중구 0.18, 남구 0.12, 동구 0.01, 북구 0 으로 대안 2의 값과는 다르게 나타났다. 중구의 경우, 대안 2의 민감도지수가 기존 VESTAP에서 산출된 민감도지수에 비해 감소하였으며, 남구, 동구, 북구의 경우 증가하였다.

<표 4-7> 기존 VESTAP과 대안 2의 구·군별 민감도지수

구분	기존 VESTAP의 민감도지수	대안 2의 민감도지수
중구	0.18	0.17
남구	0.12	0.24
울주군	0.20	0.20
북구	0.00	0.01
동구	0.01	0.02

대안 3의 폭염에 의한 건강 취약성 평가 결과는 남구, 중구, 울주군, 북구, 동구 순으로 기존 VESTAP의 결과와 다르게 나타났다(그림 4-5). 대안 3의 구·군별 취약성 종합지수는 남구 0.37, 중구 0.37, 울주군 0.21, 북구 0.20, 동구 0.15로 기존 VESTAP의 구·군별 취약성 종합지수와 다르게 나타났다. 대안 3의 남구, 동구, 울주군의 취약성 종합지수는 기존 VESTAP에서의 취약성 종합지수보다 증가 하였으며, 중구와 북구의 경우 감소하였다(표 4-8).

<표 4-8> 기존 VESTAP과 대안 3의 구·군별 취약성 종합지수

구분	기존 VESTAP의 취약성 종합지수	대안 3의 취약성 종합지수
중구	0.43	0.37
남구	0.26	0.37
울주군	0.20	0.21
북구	0.24	0.20
동구	0.09	0.15

취약성 평가 결과 보기

적용 시나리오 선택 RCP 과거관측자료 2001~2010 적용

[울산광역시시의 대안 3 평가 도출내역]

- 평가 지역 : 울산광역시
- 평가 항목 : 대안 3

- 평가 분야 : 건강 분야
- 적용 시나리오 : 과거기초-2000S

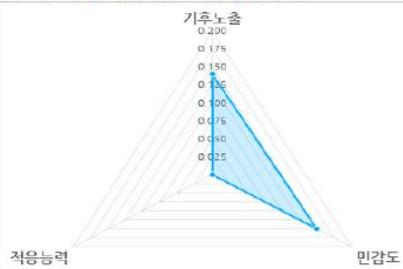
* RCP4.5 : 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우
* RCP8.5 : 현재 추세(저감없이)로 온실가스가 배출되는 경우(BAU 시나리오)

인쇄

취약성 평가 대응변수 별 결과 값 엑셀다운로드 순위별 정렬

순위	행정구역 명칭	취약성 종합 지수	기후노출 부문	민감도 부문	적응능력 부문	방사형 그래프 보기
1	남구	0.37	0.31	0.22	0.16	
2	중구	0.37	0.29	0.17	0.09	
3	울주군	0.21	0.16	0.20	0.15	
4	북구	0.20	0.32	0.01	0.13	
5	동구	0.15	0.24	0.03	0.12	

[방사형 그래프 보기]
1. 왼쪽 방사형 그래프 보기 "클릭"
2. 그래프에 마우스를 올리면 수치가 나타납니다.



<그림 4-5> 대안 3의 결과

대안 3에서 도출한 남구, 북구, 동구의 민감도 지수는 기존 VESTAP의 민감도지수보다 증가하였다. 반면 대안 3에서 도출한 중구의 민감도지수는 0.17로 기존 VESTAP에서 산출한 민감도 지수인 0.18보다 감소하였다(표 4-9).

<표 4-9> 기존 VESTAP과 대안 4의 구·군별 민감도지수

구분	기존 VESTAP의 민감도지수	대안 3의 민감도지수
중구	0.18	0.17
남구	0.12	0.22
울주군	0.20	0.20
북구	0.00	0.01
동구	0.01	0.03

대안 4의 폭염에 의한 건강취약성 평가 결과는 남구, 중구, 울주군, 북구, 동구 순으로 기존 VESTAP 결과와 다르게 나타났다(그림 4-6). 기존 VESTAP의 구·군별 취약성 종합지수는 중구 0.43, 남구 0.26으로 1위(중구)와 2위(남구)의 지수 값 차이가 컸다. 그러나 대안 4의 취약성 종합지수는 남구 0.38, 중구 0.37로 두 구의 취약성 종합지수 차이가 크지 않았다(표 4-10).

취약성 평가 결과 보기

▶ 적용 시나리오 선택 RCP 과거관측자료 2001~2010 적용

[울산광역시 대안 4 평가 도출내역]
 - 평가 지역: 울산광역시
 - 평가 항목: 대안 4
 - 평가 분야: 건강 분야
 - 적용 시나리오: 과거기초-2000S

* RCP4.5 : 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우
 * RCP8.5 : 현재 추세(저감없이)로 온실가스가 배출되는 경우(BAU 시나리오)

인쇄

취약성 평가 대응변수 별 결과 값 엑셀다운로드 순위별 정렬

순위	행정구역 명칭	취약성 종합 지수	기후노출 부문	민감도 부문	적응능력 부문	방사형 그래프 보기
1	남구	0.38	0.31	0.23	0.16	
2	중구	0.37	0.29	0.17	0.09	
3	울주군	0.21	0.16	0.20	0.15	
4	북구	0.20	0.32	0.01	0.13	
5	동구	0.15	0.24	0.03	0.12	

[방사형 그래프 보기]
 1. 왼쪽 방사형 그래프 보기 *클릭*
 2. 그래프에 마우스를 올리면 수치가 나타납니다.

<그림 4-6> 대안 4의 결과

<표 4-10> 기존 VESTAP과 대안 4의 구·군별 취약성 종합지수

구분	기존 VESTAP의 취약성 종합지수	대안 4의 취약성 종합지수
중구	0.43	0.37
남구	0.26	0.38
울주군	0.20	0.21
북구	0.24	0.20
동구	0.09	0.15

취약성 종합지수뿐만 아니라 민감도지수에서도 대안 4의 결과는 기존 VESTAP 결과와 다르게 산출되었다. 기존 VESTAP에서 산출된 남구의 민감도지수는 0.12이나, 대안 4에서 산출된 남구의 민감도지수는 0.23으로 증가 하였다(표 4-11). 그러나 중구의 경우 기존 VESTAP에서 산출된 민감도지수가 0.18이나, 대안 4에서 산출된 민감도지수는 0.17로 감소하였다. 이는 기초생활수급자에서 에너지빈곤층으로 기후변화 취약계층의 범위가 수정됨에 따라 민감도지수의 변화가 나타난 것으로 판단된다. 취약계층의 범위가 넓어짐에 따라 민감도지수가 증가할 것으로 예상했으나, 결과는 증가한 구·군도 있고, 오히려 감소한 구·군도 있는 것으로 나타났다.

<표 4-11> 기존 VESTAP과 대안 4의 구·군별 민감도지수

구분	기존 VESTAP의 민감도지수	대안 4의 민감도지수
중구	0.18	0.17
남구	0.12	0.23
울주군	0.20	0.20
북구	0.00	0.01
동구	0.01	0.03

<표 4-13> 기존 VESTAP과 대안 5의 구·군별 민감도 지수

구분	기존 VESTAP의 민감도지수	대안 5의 민감도지수
중구	0.18	0.16
남구	0.12	0.24
울주군	0.20	0.20
북구	0.00	0.01
동구	0.01	0.03

기존 VESTAP에서 산출된 남구의 민감도지수는 0.12인 것에 비해, 대안 5에서 산출된 남구의 민감도지수는 0.24으로 증가하였다. 그러나 중구의 경우 대안 5에서 산출된 민감도지수가 0.16으로, 기존 VESTAP에서 산출된 0.18보다 감소하여 나타났다.

‘14세 이하 인구’, ‘65세 이상 인구’ 지표가 ‘4세 이하 인구’, ‘70세 이상 인구’로 지표들이 수정되면서 기후변화 취약계층의 범위는 좁아졌다. 그러나 민감도지수는 지표들이 수정되기 전보다 높게 산출되었다. 이는 취약계층의 범위는 좁아졌으나, 14세와 65세를 기준으로 했을 때 보다, 4세와 70세를 기준으로 했을 때 더 취약하기 때문에 민감도지수가 높게 산출된 것으로 사료된다.

마지막으로 대안 6의 폭염에 의한 건강취약성 평가 결과 남구, 중구, 울주군, 북구, 동구 순으로 나타났다(그림 4-8). 이는 기존 VESTAP의 결과와는 다르나, 대안 4와 대안 5의 결과와는 동일한 순서로 나타났다(표 4-14). 기존 VESTAP의 구·군별 민감도지수는 중구 0.43, 남구 0.26, 북구 0.24, 울주군 0.20, 동구 0.09인 것에 비해, 대안 6에서는 중구 0.16, 울주군 0.21으로 감소하였으며, 남구 0.23, 북구 0.01, 동구 0.03으로 증가하였다(표 4-15).

취약성 평가 결과 보기

적용 시나리오 선택 RCP 과거관측자료 2001~2010 적용

[울산광역시시의 대안 6 평가 도출내역]

- 평가 지역 : 울산광역시
- 평가 항목 : 대안 6

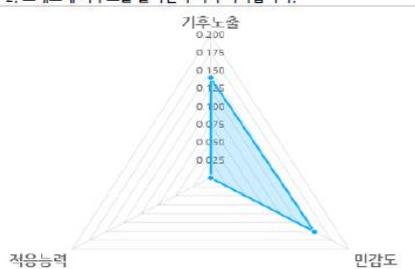
- 평가 분야 : 건강 분야
- 적용 시나리오 : 과거기초-20005

* RCP4.5 : 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우
* RCP8.5 : 현재 추세(저감없이)로 온실가스가 배출되는 경우(BAU 시나리오) 인쇄

취약성 평가 대응변수 별 결과 값 엑셀다운로드 순위별 정렬

순위	행정구역 명칭	취약성 종합 지수	기후노출 부문	민감도 부문	적응능력 부문	방사형 그래프 보기
1	남구	0.38	0.31	0.23	0.16	
2	중구	0.36	0.29	0.16	0.09	
3	울주군	0.22	0.16	0.21	0.15	
4	북구	0.20	0.32	0.01	0.13	
5	동구	0.15	0.24	0.03	0.12	

[방사형 그래프 보기]
1. 왼쪽 방사형 그래프 보기 "클릭"
2. 그래프에 마우스를 올리면 수치가 나타납니다.



<그림 4-8> 대안 6의 결과

<표 4-14> 기존 VESTAP과 대안 6의 구·군별 취약성 종합지수

구분	기존 VESTAP의 취약성 종합지수	대안 6의 취약성 종합지수
중구	0.43	0.36
남구	0.26	0.38
울주군	0.20	0.22
북구	0.24	0.20
동구	0.09	0.15

<표 4-15> 기존 VESTAP과 대안 6의 구·군별 민감도지수

구분	기존 VESTAP의 민감도지수	대안 6의 민감도지수
중구	0.18	0.16
남구	0.12	0.23
울주군	0.20	0.21
북구	0.00	0.01
동구	0.01	0.03

기후변화 취약계층을 나타내는 민감도부문의 지수가 증가한 것은 기존의 국민기초생활수급자에 한하여 산정되던 기후변화 취약계층(경제적 취약계층)의 범위가 에너지빈곤층으로 지표가 수정됨에 따라 확대된 것으로 볼 수 있다. 뿐만 아니라 기후변화취약계층인 어린이와 노인의 연령대가 수정됨에 따라 기후변화 취약계층의 범위는 좁아졌으나, 변경된 범위의 계층이 더 취약한 것을 나타내는 것으로 볼 수 있다.

제 3 절 지표 및 가중치 수정 전·후 결과와 경험 자료 비교를 통한 정합성 평가

앞장에서 도출한 대안 1~6의 결과를 바탕으로 연구대상지의 과거 경험 자료를 이용하여 결과의 정합성을 평가하고자 한다. 정합성을 평가하기 위해 폭염의 피해를 나타내는 ‘온열질환자수’ 와, ‘폭염 시 일 최고기온’ 데이터를 사용하였다. ‘온열질환자수’ 데이터는 국민건강보험공단을 통해, 2006년부터 2015년까지 10년 동안 집계된 울산광역시 구·군별 데이터를 제공받아 사용하였다(표 4-16). ‘온열질환자수’ 데이터를 기준으로 폭염에 의한 건강취약성이 높은 지역은 남구, 중구, 울주군, 동구, 북구 순으로 볼 수 있다.

<표 4-16> 울산광역시 구·군별 온열질환자수 합계 및 순위(2006년-2015년)

울산광역시 구·군	중구	남구	북구	울주군	동구
10년간 온열질환자수 합계(명)					
2006년-2015년 합계	444	460	238	435	330
온열질환수가 많은 순위	2위	1위	5위	3위	4위

자료 : 국민건강보험공단

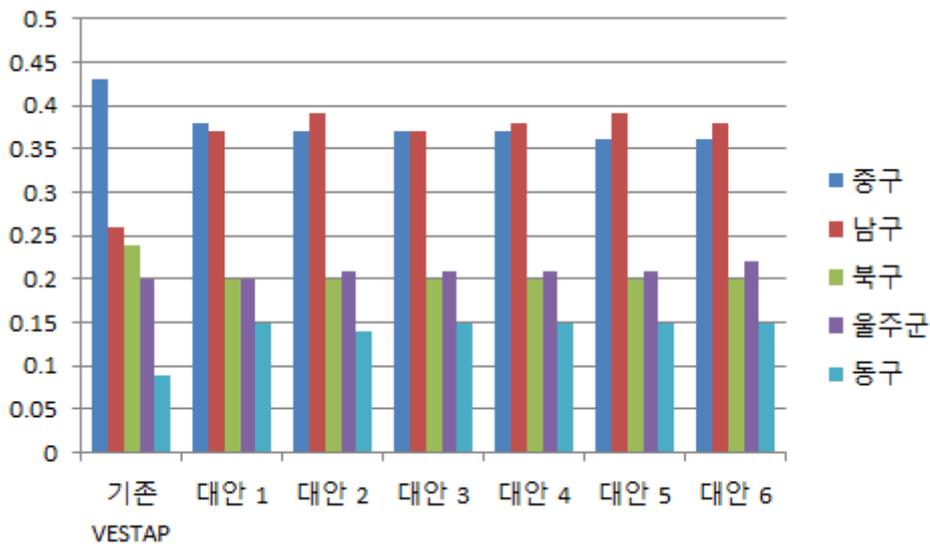
울산광역시의 폭염 시 구·군별 일 최고기온 데이터는 2007년부터 2016년 까지 폭염발생 시 지점별 일 최고온도를 수집하여 평균값을 산정하였다(표 4-17). 폭염 시 일 최고온도가 35.3℃로 남구가 가장 높았으며, 28.8℃로 동구가 가장 낮았다. ‘폭염 시 일 최고온도’ 데이터를 기준으로 폭염에 의한 건강취약성이 높은 지역은 남구, 중구, 북구, 울주군, 동구 순으로 볼 수 있다.

<표 4-17> 울산광역시 구·군별 폭염 시 일 최고기온 평균 및 순위
(2007년-2016년)

울산광역시 구·군	중구	남구	북구	울주군	동구
폭염 시 일 최고기온 평균(℃)	34.3℃	35.3℃	33.2℃	32.8℃	28.8℃
폭염 시 일 최고기온이 높은 순위	2위	1위	3위	4위	5위

자료 : 기상청 지역별상세관측자료(AWS)

연구대상지의 과거 경험 자료를 이용하여 지표 및 가중치 수정 전·후의 기후변화 취약성평가 결과와 비교하였다(그림 4-9). <표 4-18>은 지표 및 가중치 수정 전·후의 기후변화 취약성평가 결과이다.



<그림 4-9> 지표 및 가중치 수정 전·후의 기후변화 취약성평가 결과

<표 4-18> 지표 및 가중치 수정 전·후의 기후변화 취약성평가 결과
(단위 : 지수)

순위		기존 VESTAP (지표 및 가중치 수정 전)	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6
가장 취약한 지역	1	중구 (0.43)	중구 (0.38)	남구 (0.39)	남구 (0.37)	남구 (0.38)	남구 (0.39)	남구 (0.38)
	2	남구 (0.26)	남구 (0.37)	중구 (0.37)	중구 (0.37)	중구 (0.37)	중구 (0.36)	중구 (0.36)
	3	북구 (0.24)	울주군 (0.20)	울주군 (0.21)	울주군 (0.21)	울주군 (0.21)	울주군 (0.21)	울주군 (0.22)
가장 덜 취약한 지역	4	울주군 (0.20)	북구 (0.20)	북구 (0.20)	북구 (0.20)	북구 (0.20)	북구 (0.20)	북구 (0.20)
	5	동구 (0.09)	동구 (0.15)	동구 (0.14)	동구 (0.15)	동구 (0.15)	동구 (0.15)	동구 (0.15)

<표 4-18>에 따르면 같은 배분가중치를 사용한 대안 1~3의 취약지역 순위는 같지 않았으나, 통계가중치를 사용한 대안 4~6의 취약지역 순위는 같았다. 대안 1의 경우 가장 취약한 지역은 중구로 나타났으나, 대안 2와 대안 3의 경우 가장 취약한 지역은 남구로 나타났다. 대안 2와 대안 3의 경우 도출된 취약지역 순위는 같으나, 취약성 종합지수는 다르게 나타났다. 대안 4~6의 경우 취약지역 순위는 동일하게 남구, 중구, 울주군, 북구, 동구 순으로 나타났으나, 각 구·군별 취약성 종합지수는 다르게 나타났다.

위의 결과를 바탕으로 연구대상지의 과거 경험 자료를 이용하여 결과의 정합성을 평가하였다(표 4-19). 경험 자료에 의하면 가장 취약한 지역은 남구로 나타났으며, 그 다음 취약지역은 중구로 나타났다. 두 가지의 경험 자료에 의한 결과가 3위~5위까지 일치하지 않으므로, 폭염에 의한 건강취약성 평가 시 정합성평가에 조금 더 적합한 ‘온열질환자수’ 자료의 순서를 결과로 사용하였다.

<표 4-19> 울산광역시 경험 자료를 이용한 취약지역 순위

순위		폭염 시 일 최고기온 평균이 높은 순 (2007년 ~ 2016년)	온열질환자수 합이 높은 순 (2006년 ~ 2015년)
가장 취약한 지역	1	남구	남구
	2	중구	중구
	3	북구	울주군
가장 덜 취약한 지역	4	울주군	동구
	5	동구	북구

<표 4-18>과 <표 4-20>를 비교하여 지표 및 가중치 수정 전·후 결과와 연구대상지의 경험 자료의 정합성을 평가하였다. 그 결과, 지표 및 가중치 수정 전인 기존 VESTAP의 결과와 대안 1의 결과는 경험 자료를 이용하여 도출한 결과와 일치하지 않았다. 기존 VESTAP과 대안 1의 경우 가장 취약한 지역이 중구로 나타났으나, 경험 자료를 이용하여 도출한 결과 가장 취약한 지역은 남구로 나타났다.

지표 및 가중치 수정 전인 기존 VESTAP의 결과 1위(중구)와 2위(남구)의 취약성 종합지수 차는 1위 중구(0.43), 2위 남구(0.26) 3위~5위의 차이에 비해 크다. 그러나 경험 자료인 ‘온열질환자수’ 자료를 보면 1위 남구(460명) 2위 중구(444명)으로 3위~5위까지 차이가 각 순위별 약 100명 정도 차이를 보이는 것에 비해 비교적 적은 차이를 보인다.

대안 2~6의 결과는 경험 자료를 이용하여 도출한 결과와 1~3위까지의 순서가 동일하게 나타났다. 또한 대안 2~6의 결과 중, 1위 남구와 2위 중구의 취약성 종합지수의 차이도 적다. 이를 볼 때, 대안 2~6의 결과가 기존 VESTAP과 대안 1의 결과 보다, 해당 광역시의 현실 및 특성을 반영한 기후변화 취약성평가 결과로 볼 수 있다.

제 5 장 결 론

본 연구에서는 광역지자체 및 기초지자체를 대상으로 한 기후변화 취약성평가 프로그램인 VESTAP의 평가 결과가 지자체의 실제 기후변화 취약성을 제대로 반영하지 못한다는 문제점을 인식하고, 기후변화 취약성평가 성능을 향상하기 위하여 VESTAP의 민감도부문 지표와 가중치를 수정하였다.

본 연구에서는 민감도부문의 지표들 중 ‘14세 이하 인구’, ‘65세 이상 인구’, ‘기초생활수급자 비율’ 지표를 ‘4세 이하 인구’, ‘70세 이상 인구’, ‘에너지빈곤층 비율’ 지표로 수정하였다. 또한 기존에 있던 ‘열사병/일사병으로 인한 사망자수’ 지표는 폭염의 취약계층을 나타내는 지표가 아닌 폭염에 의한 피해를 나타내는 지표로 판단하여 민감도부문의 지표에서 삭제하였다.

지표의 수정 및 삭제로 기존 VESTAP에서 사용하고 있는 가중치를 그대로 이용할 경우 지표별 가중치의 합이 1이 되지 않는다. 이를 보완하기 위하여 VESTAP에서 사용하는 가중치의 비율을 유지한 배분가중치와 회귀분석을 이용한 통계가중치로 가중치를 다시 산정하였다. 사용한 가중치와 수정한 지표를 6가지 조합(대안 1~6)으로 구성하여 폭염에 의한 건강취약성 평가를 진행하였다. 결과의 정합성을 평가하기 위해 지표 및 가중치 수정 전후의 기후변화 취약성평가 결과와 연구대상지의 경험 자료를 비교하였다.

‘대안 1’은 배분가중치를 사용하고 ‘기초생활수급자 비율’ 지표를 ‘에너지빈곤층 비율’ 지표로 수정하였으며, ‘대안 2’는 배분가중치를 사용하고 ‘14세 이하 인구’, ‘65세 이상 인구’ 지표를 ‘4세 이하 인구’, ‘70세 이상 인구’ 지표로 수정하였다. ‘대안 3’ 역시 배분가중치를 사용하고 ‘기초생활수급자 비율’, ‘14세 이하 인구’, ‘65세 이상 인구’ 지표를 ‘에너지빈곤층 비율’, ‘4세 이하 인구’, ‘70세 이상 인구’ 지표로 수정하였다. ‘대안 1’의 취약성 평가

결과는 기존 VESTAP의 평가 결과와 같았으나, ‘대안 2’와 ‘대안 3’의 결과는 기존 VESATP의 평가 결과와 다르게 나타났다. ‘대안 1~3’의 평가 결과를 연구대상지인 울산광역시의 과거 경험 자료와 비교한 결과, ‘대안 1’의 평가 결과는 과거 경험 자료와 일치하지 않았으나, ‘대안 2’와 ‘대안 3’의 평가 결과는 과거 경험 자료와 일치하였다.

‘대안 4’는 통계가중치를 사용하고 ‘기초생활수급자 비율’ 지표를 ‘에너지빈곤층 비율’ 지표로 수정하였으며, ‘대안 5’는 통계가중치를 사용하고 ‘14세 이하 인구’, ‘65세 이상 인구’ 지표를 ‘4세 이하 인구’, ‘70세 이상 인구’ 지표로 수정하였다. ‘대안 6’역시 통계가중치를 사용하고 ‘기초생활수급자 비율’, ‘14세 이하 인구’, ‘65세 이상 인구’ 지표를 ‘에너지빈곤층 비율’, ‘4세 이하 인구’, ‘70세 이상 인구’ 지표로 수정하였다. ‘대안 4~6’의 취약성 평가 결과는 기존 VESTAP의 평가 결과와 다르게 나타났다. ‘대안 4~6’의 평가 결과를 연구대상지인 울산광역시의 과거 경험 자료와 비교한 결과 서로 일치하였다.

통계가중치를 사용한 ‘대안 4~6’의 결과를 연구대상지의 과거 경험 자료를 이용하여 적합성을 평가한 결과, 배분가중치를 사용한 ‘대안 1~3’의 결과에 비해 적합성이 높았다. 그러므로 민감도 평가요소의 가중치로 통계적 방법을 이용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 통계적 방법을 이용하여 산출한 가중치를 사용하고, 지표를 수정한 경우, 지표 및 가중치를 수정하지 않은 기존 VESTAP의 결과보다, 정확한 기후변화 취약성평가 결과를 도출한다는 것을 확인 할 수 있었다.

본 연구를 진행하면서 가장 어려웠던 점은 광역지자체의 구·군별 단위의 데이터를 수집하는 것이었다. 특히 ‘에너지빈곤층 비율’ 지표 산정 시 광열비에 대한 자료와 구·군별 가구소득 자료가 없어, 정확한 에너지빈곤층을 산정하지 못했다. 실질적인 가구별 광열비 자료와, 가구소득 자료가 있었다면 더 정확한 광열비를 산출할 수 있었겠지만, 국가에서 구축하고 있는 자료가 없어 에너지빈곤층을 산출하는데 어려움이 있었다.

기후변화 취약성평가는 기후변화 대응 정책수립의 기초자료로서 매우 중요하다. 정확한 기후변화 취약성평가를 위해 지표 및 가중치의 수정도 중요하다. 하지만, 지표를 구성하는 자료가 먼저 구축되어야 하는데, 아직까지 우리나라는 구·군별 단위의 자료가 부족한 실정이다. 향후 국가에서 제공하는 기후변화 취약성평가 프로그램을 보완 및 개선하기 위해서는 취약성평가의 지표 및 가중치 관련 연구가 지속적으로 진행되어야 하며, 각 지자체 단위의 자료구축도 진행될 필요가 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

IPCC 제4차 보고서

IPCC 제5차 보고서

VESTAP : <http://vestap.kei.re.kr>

고재경, 김희선(2009), 경기도 기후변화 취약성 평가 연구, 경기연구원

국가기후변화적응센터 : <http://ccas.kei.re.kr>

국민건강보험공단 : www.nhis.or.kr

국토해양부(2012), 기후변화 적응도시 조성방안 연구- 도시별 재해취약 특성 분석 및 적응능력 제고방안 연구(2차년도)-

국회입법조사처(2012), 보건의료 취약계층 건강 보호 정책

기상청(2012), 한반도 기후변화 전망보고서

김시현(2011), 에너지빈곤층을 위한 지원방안에 관한 연구, 연세대학교

김진덕(2012), 저소득층을 위한 에너지복지 프로그램 비교연구-우리나라와 주요국가를 중심으로-, 가천대학교

박인규(2016), VESTAP을 이용한 기후변화 취약성평가 비교 연구, 세종대학교

배민기, 김보은(2015), 충청북도의 기후 취약성기반 기후변화 적응계획의 개선방향, 충북발전연구원

보건복지부 : www.mohw.go.kr

보건복지부, 질병관리본부 (2014), 폭염대응 건강관리 사업안내

서울시정개발연구원 (2009), 저소득가구의 에너지 소비실태 조사·분석

소방방재청 (2009), 가뭄·황사·한파·폭염·산불재난 관련- 피해액 산정 기준 마련 등 제도화 방안연구(폭염분야)

에너지경제연구원 (2015), 2014년도 에너지 총조사보고서

오관영, 이명진, 한도은 (2016), 기초 및 광역지자체 기후변화 취약성 평가를 위한 웹기반 지원 도구(VESTAP) 개발, 한국지리정보학회

왕광익, 정윤희, 이진희, 박근현 (2012), 기후변화 취약계층을 위한 녹색도시 정책 연구, 국토연구원

울산광역시 : www.ulsan.go.kr

유가영, 김인애 (2008), 기후변화취약성 평가지표의 개발 및 도입방안, 한국환경정책평가연구원

유소민, 이우균, 채여라, 박한빈, 김문일, 정래선 (2013), 회귀식에 의해 도출된 가중치가 취약성 평가에 미치는 영향, 한국기후변화학회

이정호, 류춘호, 정태영 (2010), 국가과학기술혁신역량 평가지표의 가중치 산정방법에 관한 연구, 산업혁신연구

임채현 (2016), VESTAP을 활용한 기후변화에 따른 제주도 산불 취약성 평가 연구, 한국화재소방학회, 30(1), 57-62

제 3차 저출산·고령사회 기본계획(2016~2020)

진상현, 박은철, 황인창(2010), 에너지빈곤의 개념 및 정책대상 추정에 관한 연구, 한국정책학회

질병관리본부 : <http://cdc.go.kr>

하종식(2014),기후변화폭염대응을 위한 중장기적 적응대책 수립연구

한국환경정책·평가연구원(2007), 기후변화 영향평가 및 적응 시스템 구축 III

한국환경정책·평가연구원(2014), 기후변화 폭염 대응을 위한 중장기적 적응대책 수립 연구

Abstract

A Study on Improvement of Climate Change Vulnerability Index focused on Heat Wave

Lee Tae-kyeong

Cooperate Course for Climate Change

The Graduate School

Sejong University

For the first in Korea, since the introduction of the excessive heat warning in 2008, all regions of the country have been informed with excessive heat warning in 2016 summer. According to the IPCC Fifth report, temperatures are expected to rise globally in the 21C and the frequency of excessive heat have been expected to increase. In the case of the 'Korean Peninsula Climate Change Forecast Report', the number of days with excessive heat which was in level of 7.3 days per year in 2012, is expected to increase to 13.1 days in the latter half of the 21C.

In our country, there has been established of 'Low Carbon Green Growth Basic Law (2010)', 'First National Climate Change Adaptation Measures (2010)' and 'Second National Climate Change Adaptation Measures' (2016) and from 2015, our country has strived to cope with climate change by making duty with establishment and implementation of countermeasure for adaption to climate change from metropolitan government and local government. As a part of measures to adapt to climate change, the government, have provided

VESTAP (Build-Climate Change Adaptation Plan), so as to support the assessment of vulnerability with climate change from local government. In order for local governments to respond appropriately to climate change which related with excessive heat, vulnerabilities to excessive heat must have to be accurately assessed.

However, there is problem that the results of the VESTAP evaluation of vulnerability to climate change do not accurately correspond to the vulnerability of local governments. In this study, to overcome the vulnerability assessment of VESTAP, the indicators and weights of the sensitivity which related to the excessive heat were reset then analyzed.

The indicators such as 'the population under the age of 14', 'the population aged 65 and over' and 'the ratio of basic recipients' were replaced by 'under 4 years of age population', 'over 70 years of age population', 'energy poverty rate' and there have been applied with statistical weights calculated by using distribution weight and regression analysis. Using these substitute indicators and two kinds of weights, we constructed six combinations (Alternatives 1~6) to asses vulnerability with excessive heat on health. In order to evaluate the consistency of the results which obtained after modifying the indicators and weights, we compared the past experience data of the study sites. As a result, the analysis results of alternatives 4 to 6 which using statistical weighting were more consistent than those of alternatives 1 to 3 which using distribution weighting.

To improve the accuracy of VESTAP vulnerability assessment results, it is necessary to supplement the weights and indicators and the indicators need to be reset according to the research purpose. In particular, the statistical weighting which using regression analysis have showed that the there has been confirmed that there are high level with consistency from result and experience point of VESTAP.

Vulnerability assessment is very important as a basis for policy formulation. In order to complement and improve the vulnerability assessment program of climate change which has been provided by the government in the future, it is necessary to continue research on indicators and weights of vulnerability assessment.

**Keywords : Climate Change Adaptation, Climate Change Vulnerability,
VESTAP**