KEI Working Paper 2015-04

기후변화로 인한 고온환경 근로자의 작업역량 저하 추정과 공간적 군집 파악

김동현 | 이준범

한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

연구진

연구책임자 김동현 (한국환경정책·평가연구원 부연구위원)
참여연구진 이준범 (한국환경정책·평가연구원 연구원)

산학연정 연구자문위원

김영선 (산업안전보건연구원 연구위원)
배현주 (한국환경정책·평가연구원 부연구위원)
이정호 (한국환경정책·평가연구원 연구위원)

ⓒ 2015 한국환경정책·평가연구원

발행인 박광국
발행처 한국환경정책·평가연구원
세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지
B동(과학·인프라동) (우편번호) 30147
전화 044)415-7777 팩스 044)415-7799
http://www.kei.re.kr
인쇄 2015년 12월 16일
발행 2015년 12월 21일
등록 제17-254호(1998년 1월 30일)
ISBN 978-89-8464-945-3 93530

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처 표시해 주십시오.
김동현, 이준범. 2015.「기후변화로 인한 고온환경 근로자의 작업역량 저하 추정과 공간적 군집 파악」. 한국환경정책·평가연구원.

값 5,000원

서 언

최근 기후변화로 인하여 인간의 생물학적 특성이 변화하고 건강의 피해 심각성과 차이가 더욱 커질 것으로 전망하고 있습니다. 기후변화는 지속적으로 고온 노출을 심화시킬 것으로 예측되고 있으며, 건강을 위협하는 가장 큰 요인으로 대두되고 있습니다. 산업화가 고도화되면서 다양한 산업구조와 직종의 변화를 가져왔지만, 기후변화로 인한 기온의 증가는 제한적인 활동 범위, 근로 형태의 한계로 이어지며, 이러한 영향에 대해서는 관심과 연구가 부족한 실정입니다.

이 연구에서는 기후변화 영향에 대한 근로자의 체감온도를 기상학적 측면에서 평가하고 공간적 클러스터를 통해 지역의 근로생산성을 파악하였습니다. 지속적으로 증가하는 온도의 변화로 인해 근로자의 신체적 부하 정도, 근로환경의 변화를 파악하고, 지역적 차원에서 근로자의 작업역량을 추정하고 있습니다. 이번 연구를 시작으로 고온환경에서 작업하는 근로자의 근로환경 변화와 산업안전과 관련된 법령에 주류화될 수 있는 정책적 방향을 제공할 수 있을 것으로 기대합니다.

본 연구의 책임을 맡아 수행해 주신 김동현 박사를 비롯하여 연구진으로 참여한 이준범 연구원의 노고에 감사를 표합니다. 아울러 연구자문위원으로서 연구의 질적 향상에 도움을 주신 산업안전보건연구원 김영선 박사님, 한국환경정책·평가연구원 이정호 박사님, 배현주 박사님께도 깊은 감사의 말씀을 올립니다.

2015년 12월

한국환경정책·평가연구원

원 장 박 광 국

국문 요약

기후변화로 인한 영향과 피해가 지속적으로 증가하고 있으며, 피해의 강도와 빈도도 상이하게 변화하고 있는 추세이다. 점차적으로 증가하는 기온 상승은 실내·외의 열 부하를 증가시키고 있으며, 이는 업무에 종사하는 근로자의 근로환경 악화와 건강의 위협, 생산성을 저하시키는 결과를 가져온다. 또한 기후변화는 도시의 지속가능성에 위협이 되는 중요한 외생요인으로 작용한다. 공간적 차원에서 기후변화는 지속적인 기온상승으로 인해 근로자의 노동생산성을 저하시킬 수 있으며 도시 및 지역의 생산성(productivity)에 영향을 줄 수 있다. 도시 및 지역의 지속가능성은 그 지역의 고용구조와 밀접한 관련성이 있다. 어떠한 직종이 그 지역의 기반을 구성하고 있으며 구조를 지니고 있는지는 외부 충격에 대한 회복력의 측면에서 중요하다. 이러한 관점에서 기후변화로 인한 근로자의 고온노출은 직접적으로 근로자의 건강, 작업역량 저하를 야기할 수 있으며, 간접적으로 지역적 차원에서 고용구조의 변화, 지역기반산업의 피해로 전이될 수 있다.

본 연구에서는 지속적으로 증가하는 기온 상승에 따른 근로자의 체감온도를 기상학적 관점에서 추정하고, 지역별 공간적 클러스터의 작업역량(work capacity)의 변화 정도를 추정하고자 하였다. 먼저, 미래기후예측모델인 RCP시나리오 8.5를 기준으로 기온, 습도, 풍속, 수증기압 등 기후인자의 자료를 활용하여 산업안전분야에서 제시되는 WBGT(Wet Bulb Globe Temperature)를 기상학적 측면에서 체감온도지수로 변환하였다. 또한, 고온 작업환경에서 1시간당 작업효율을 나타내는 Watts에 대해 국내, 국제기관에서 제시하는 고온노출 기준과 비교하고, 각 지역의 고용구조별 기후변화로 인한 기온상승의 영향이 주는 작업역량 저하를 추정하였다. 열 피로(heat stress)와 관련하여 고온환경의 노출로 인해 근로자의 작업부하를 가중시키는 요인을 환경적 요인과 민감도 요인으로 구분하고 각 요인의 변수를 선정하였으며, 한국근로환경조사(Korean Working Conditions Survey, KWCS)의 기초 데이터를 토대로 근로자의 신체적 부하 정도를 추정하였다. 추정된 신체적

부하 정도에 따라 Watts의 카테고리를 200~500W로 분류하고, Watts에 해당하는 직종군을 한국표준직업분류(Korean Standard Classification of Occupations, KSCO)의 147개 직종 분류의 환경적 요인, 민감도 요인의 부하 정도와 대비하여 직종을 분류하였다. 분류된 직종은 Watts에 따라 비선형 관계모형을 통해 230개 지역별로 2010~2050년까지 작업역량의 저하 정도를 추정하고 인구주택총조사 자료(2010)를 활용하여 지역별 해당 Watts의 종사자 비율을 기초로 공간적 클러스터로 패턴을 파악하였다.

분석 결과, RCP시나리오에 따른 WBGT의 변화는 2020년에 한반도의 서남지역과 남부 내륙지역을 중심으로 체감온도가 높게 나타나나 2050년에는 동쪽 산간지역(강원도) 일부를 제외하고 거의 전 지역에서 그 수준이 높게 나타났다. 결과적으로 이는 2020~2050년의 분석기간 동안 32.1℃ 이상의 기온이 지속적으로 상승하고 있으며, 야외근로 활동에 대한 기준보다 그 범위가 확대되고 있음을 알 수 있다. 또한, Watts별로 200W의 종사자는 2020년의 작업역량에 저하가 거의 없으나 2050년으로 갈수록 작업역량이 감소하는 추세로 나타났다. 300W의 종사자는 동북부 산간지역과 내륙산간지역 일부(중앙지역)를 제외하고 50% 이상의 작업역량 저하로 이어질 것으로 전망한다. 400W는 300W와 유사한 패턴을 보이는 것으로 나타났다. 특히 500W에 종사하는 근로자는 지속적인 기온상승으로 체감온도가 급격히 증가하며, 동북부의 고산지대 일부를 제외하고 80%의 작업역량 저하가 예상되는데, 이는 지역의 근로자뿐만 아니라 지역경제의 영향으로 전이될 수 있다. 또한, 인구주택총조사 자료를 기준으로 종사자 비율을 판단하여 볼 때, 300~500W의 종사자가 전체 근로자의 13%로 근로자의 작업역량 저하는 지역의 기반산업에 상당한 영향을 미칠 가능성이 있다. 작업역량이 갖는 의미가 1시간당 근로할 수 있는 작업의 한계로 그 의미를 해석할 수 있기 때문에, 작업역량의 저하는 실질적으로 1시간 작업 대비 휴식시간의 시간비가 더 증가할 수 있음을 의미하고, 결국 지역생산성의 감소로 이어질 수 있다. 또한, 지역의 공간적 클러스터 패턴을 파악한 결과, 2020년 동남내륙지역의 작업역량이 집중적으로 감소하는 패턴을 보이며, 2030년 남서지역에서 2050년 중부지역까지 확산되는 경향을 보였다. HH(high-high)지역은 고온노출 위험 직종이 많아 기후변화에 따른 지역의 생산성 저하와 직결될 수 있다.

본 연구에서 제시된 시사점은 개별 근로자의 생산성과 근로환경 문제, 지역산업구조 및 발전전략 등 기후변화 적응의 차원에서 근로자의 고온노출 대처방안이 강구되어야 한다는 점이다. 실질적으로 RCP 8.5 시나리오의 WBGT가 2.0~5.2℃ 이상의 증가를 보이고 있다는 점에서 6~8월에 나타나는 체감온도의 증가는 고온노출 및 야외 근로자의 정상적인 근무가 어려운 상태로 나타날 수 있으며, 이에 대한 산업안전보건 등의 관계법령에서 기후변화에 대한 선제적인 대응과 기준의 마련이 요구된다. 또한, 지역적 관점에서 산업구조의 변화를 가져올 수 있으며, 기반산업이 이전될 가능성이 높을 것이다. 이러한 현상에 대해 사전적으로 대응하기 위해서는 지역산업과 직종 구성에 대한 조사, 영향에 대한 가능성을 지역 단위에서 추가적으로 파악할 필요가 있으며, 이를 기반한 도시 및 지역에서 기후변화에 회복력 있는 안정적인 직종의 구조를 확보하기 위한 계획과 중·장기적 구조 개선 등이 면밀하게 고려되어야 할 것이다.

주제어: 작업역량, 기후변화, WBGT, 취약직종

차 례

제1장 서 론 ····· 1
1. 연구 배경 및 목적 ····· 1
2. 연구 내용 및 구성 ····· 4

제2장 선행 연구고찰 ····· 6
1. 고온환경 노출기준 ····· 6
가. 국내 고열작업환경 관리지침 ····· 8
나. 국제기구의 고온노출 기준 ····· 11
2. 고온노출과 Watts와의 관계 ····· 13

제3장 연구방법 및 자료구축 ····· 18
1. RCP시나리오를 활용한 WBGT 추정 ····· 19
2. 고온노출 위험직종의 도출 및 분류 ····· 23
3. WBGT와 작업역량 간 관계 추정 및 공간적 클러스터 파악 ····· 26

제4장 분석 결과 ····· 28
1. 고온노출 위험직종의 분류 ····· 28
2. 기후변화로 인한 미래 WBGT 및 작업역량의 변화 ····· 32
3. 작업역량 감소 지역의 공간적 클러스터 ····· 35

제5장 결 론 ····· 37
1. 기후변화와 개별 근로자의 생산성과 근로환경 문제 ····· 37
2. 지역산업구조 및 발전전략 변화 요구 ····· 39

참고문헌 ····· 41

Abstract ····· 45

표 차례

<표 2-1> 열 피로 환경 요인 ····· 7
<표 2-2> 국내 고열작업환경 관리 지침 ····· 9
<표 2-3> 작업강도 보정변수 ····· 9
<표 2-4> 공군의 혹서기 야외훈련 통제기준 ····· 10
<표 2-5> 육군의 혹서기 야외훈련 통제기준 ····· 10
<표 2-6> ISO 7243 WBGT 온열지수 규정 ····· 11
<표 2-7> ACGIH 고온노출 기준 ····· 12
<표 2-8> 순응근로자 WBGT 임계값의 비교 ····· 12
<표 2-9> ISO 7243와 NIOSH의 WBGT 통합 노출기준 ····· 17
<표 3-1> 한국근로환경조사의 열 피로 및 민감도 변수 ····· 24
<표 3-2> 가중평균을 통한 Watts 분류 기준 ····· 25
<표 4-1> 전체 표본집단의 기초통계량 ····· 28
<표 4-2> 고온노출 위험직종 분류의 기초통계량 ····· 29
<표 4-3> 고온노출 위험직종의 상세(200~500W) ····· 30

그림 차례

<그림 1-1> 연구의 흐름도 ····· 5

<그림 2-1> 비순응 근로자의 WBGT와 Watts와의 관계 ····· 14

<그림 2-2> 순응근로자의 WBGT와 Watts와의 관계 ····· 15

<그림 2-3> WBGT와 Watts의 관계 ····· 16

<그림 3-1> 연평균기온의 변화(2010~2050) ····· 20

<그림 3-2> 연평균 상대습도의 변화(2010~2050) ····· 20

<그림 3-3> 온도와 상대습도에 따른 체감온도의 변화 ····· 22

<그림 3-4> 온도와 풍속에 따른 체감온도의 변화 ····· 22

<그림 4-1> RCP 8.5 시나리오의 기온상승에 따른 WBGT 및 작업역량의 변화 ·· 33

<그림 4-2> LISA를 통한 지역별 작업역량의 변화 클러스터 ····· 35

제1장 서 론

1. 연구 배경 및 목적

전 세계적으로 기후변화로 인한 영향과 피해가 지속적으로 증가하고 있으며, 그 강도와 빈도 역시 커지고 있다. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 온실가스의 농도의 증가(RCP 8.5 기준)로 2100년까지 3.7℃의 기온상승을 전망하고 있다.[1] 또한, 우리나라 기상청(Korea Meteorological Services, KMA)은 IPCC의 RCP(Representative Concentration Pathways) 시나리오를 활용하여 미래 기후변화에 대해 예측한 결과 2081~2100년 한반도의 평균기온은 3.7℃ 증가할 것으로 전망하고 있다. 폭염일수(heat wave days)는 현재 10.1일에서 40.4일로 4배 증가하고, 열대야일수(tropical night days)는 현재 3.8일에서 52.1일로 14배 증가할 것으로 예측하고 있다.[2] 이러한 변화들은 건강, 농업, 생태계, 산업, 경제 등 다양한 분야에 걸쳐 영향을 미치게 될 것이며, 특히 근로환경(working condition)에 대한 영향은 근로자의 건강과 경제적 여건을 악화시킬 것으로 예상된다.[3]

기온상승, 폭염(heat wave), 열대야(tropical night) 등의 영향은 고온환경에 처한 근로자에 있어 열 피로(heat stress)와 열 관련 질환(heat-related illnesses)을 유발할 수 있는 잠재적 요인으로서 중요하다. 고온환경에 대한 노출과 심한 육체적 노동은 고열장해(heat injury)를 유발할 수 있다. 외부환경변화에 대해 일정하게 체온을 유지하고자 하는 항상성(homeostasis)은 근로자가 고열환경에서 작업이나 활동을 지속적으로 할 경우 혈류량 증가 및 체내 수분 감소, 체내열 발산의 미흡 등으로 체온조절기능의 변조 및 장해를 초래하기도 한다.[4]

1) IPCC(2014)
2) 기상청(2012)
3) Kjellstrom et al.(2000)

근로환경에서 근로자가 경험하는 열 피로(heat stress)의 증가는 신체가 허용할 수 있는 범위를 넘어선 높은 온도와 습도의 노출로 근로자의 작업역량(work capacity)에 악영향을 초래할 가능성이 있다. 근로자의 근로환경(working condition)은 근로자의 작업역량에 영향을 주는데 이는 주위 환경, 습도, 복사열, 공기이동 및 주위 온도 등에 따라 달라진다.[5] 또한, 강도(work intensity), 속도(working speed), 신체적 부하 정도(physical activities extent) 등 작업의 형태에 따라 열 피로를 증가시킬 수 있으며, 수분(hydration), 작업복, 신체능력정도(fitness level), 적응 정도 등 개별적 근로자 요인들(individual workers factors)도 열 피로를 가중시킨다.[6] 특히, 악영향의 기온조건은 고된 노동을 하는 직업에서 중요한 직업적인 위험으로 다루어지고 있으며, 이는 사고 및 부상의 증가로 이어진다.[7] 특수한 근로환경에서 잦은 열 노출은 신체적, 정신적 능력을 감소시키며, 이는 근로자의 작업역량 저하로 이어질 수 있다.[8]

근로자의 작업역량은 주로 개인의 신체적 업무 수행과 관련된 역량을 의미한다.[9] 이는 다양한 요인에 의해 영향을 받는데, 습도(humidity), 공기 흐름(air movement), 주위온도(ambient temperature) 등의 환경적 요인과 개인의 신체적 상태, 노동의 강도 등이 논의된다. 또한, 최근에는 작업역량의 감소가 잠재적인 노동의 생산성 저하(labor productivity)로 연결된다고 제시되고 있다.[10]

이러한 관점에서 기온상승은 근로자의 작업환경을 저하시키고, 근로시간을 단축시켜 생산량의 저하를 야기할 수 있으며, 이는 결과적으로 지역의 고용구조의 변화를 가져올 수 있다. 지역의 지속가능성은 지역경제, 고용구조와 관련이 높으며, 직종의

4) 유영화(2013)
5) Dawson(1993)
6) WorkSafeBC(2007)
7) Gaspar and Quintela(2009)
8) Kerslake(1972)
9) Cronin et al.(2013)
10) Kjellstrom et al.(2009a)

구성과 구조와 관련하여 경제다양성이 도시의 재난/재해 회복력 측면에서 밀접한 관련이 있다.[11] 또한, 고온환경에 노출 빈도가 상당 부분 존재하는 고용구조를 갖는 지역은 결과적으로 도시 및 지역의 지속가능성을 감소시킬 수 있다는 연구가 제시되고 있다.[12]

직종(occupation)은 근로자가 수행하게 되는 업무와 역할의 유사한 정도에 따라 분류된다. 따라서 특정한 직종에서 고온환경과 영향을 경험하게 될 가능성이 높다. 이는 지역경제와 산업, 고용구조 등의 변화를 가져오게 될 잠재적 요인으로 작용할 가능성이 크다.[13] 고온환경에 노출이 많은 직종으로 구성된 지역은 기후변화에 따른 환경변화로 그 정도가 심해질 것이며, 이는 직종 전반의 근로환경 악화와 생산량 저하 등의 문제를 야기할 수 있다. 이러한 변화는 지역의 직종구조(occupational structure)와도 연결된다. 지역이 어떠한 직종의 구조를 지니고 있는지에 따라 기후변화의 영향은 지역경제에 영향을 줄 수 있다는 것이다.

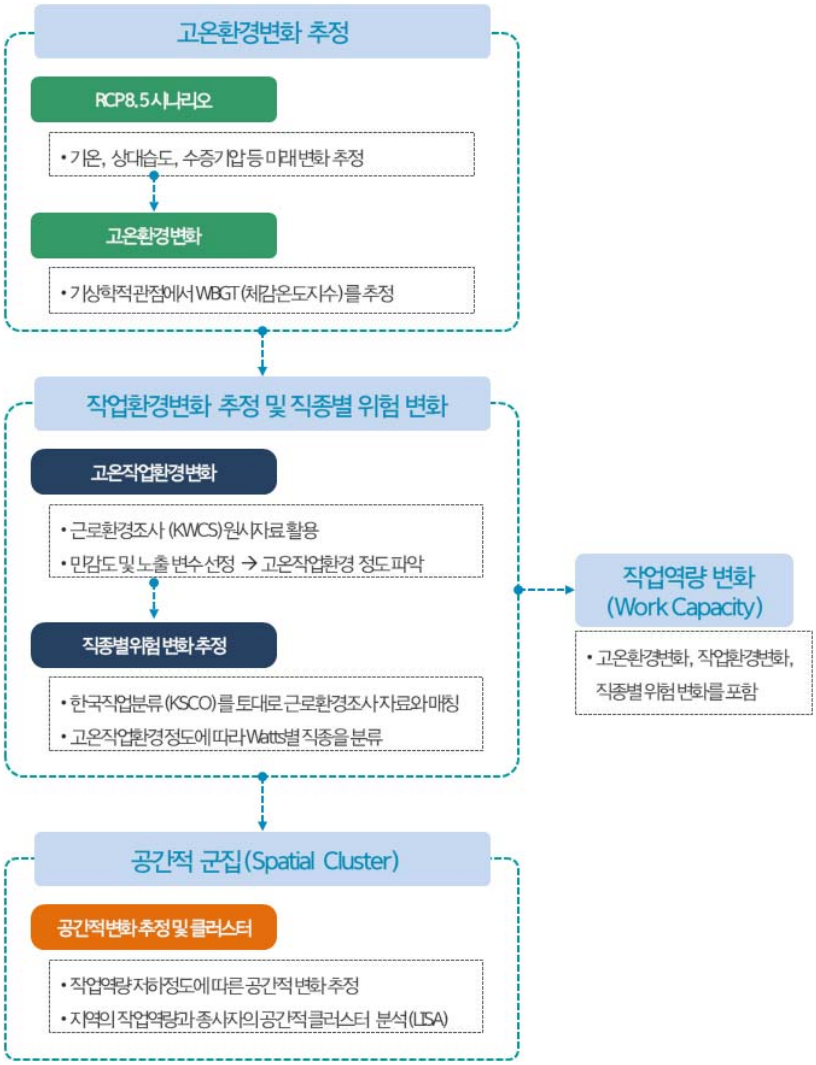
지역에서의 직종 구성은 지역경제의 발전을 견인하는 중요한 요소 중 하나로 논의되어 왔다. 기후변화에 영향을 많이 받고 민감한 직종이 지역경제와 발전을 견인하는 직종에 해당한다면, 근로자의 생산성이 감소하게 될 때 지역경제는 큰 영향을 받을 수밖에 없다. 따라서 작업역량은 기후변화에 따라 영향을 받아 감소할 수 있는데, 지역의 직종 구성 차원에서 그 논의를 확장시켜 의미를 파악할 필요가 있다.

본 연구는 이러한 배경에서 기후변화가 야기할 수 있는 근로자의 생산성 감소를 온열지표(WBGT)와 작업역량과의 관계를 통하여 직종 수준에서 파악하고, 직종의 공간적 군집을 탐색하여 클러스터를 찾아내는 것이 목적이다.

11) Xiao and Drucker(2013)
12) Xiao and Drucker(2013)
13) Kjellstrom et al.(2009b)

2. 연구 내용 및 구성

본 연구에서는 기후변화로 인한 고온환경의 변화를 추정하기 위해 온열지표 측정 방법인 WBGT 방법을 사용하였다. WBGT는 기상학적 관점에서 기후인자를 활용한 AT 방식을 통해 추정하였으며, IPCC의 기후변화 시나리오인 RCP 시나리오에 따라 미래 WBGT의 변화 정도를 파악하였다. 작업역량과 WBGT 간 관계를 파악하는 데 있어서는 Kjellstrom et al.(2009b)의 연구를 바탕으로 하였다. 다만, 작업역량를 정의하는 데 있어 직종 수준에서 근로자가 처하게 되는 작업 환경을 고온에 대한 노출과 민감도 정도로 역량으로 구분하였고, 근로환경조사(KWCS) 원시자료를 활용하여 고온노출에 대한 작업역량을 분류하였다. 이때, 직종별 위험변화를 추정하기 위해 한국직업분류(KSCO)의 직종분류를 활용하여 근로환경조사 자료와 비교함으로써 직종구조에 따른 작업환경의 변화를 추정하였다. 마지막으로 기후변화로 인하여 나타날 수 있는 각 지역별 작업역량의 손실과 공간적인 군집의 패턴을 파악하였다. 본 연구의 과정은 <그림 1-1>과 같다.


고온환경변화 추정
RCP8.5 시나리오
• 기온, 상대습도, 수증기압 등 미래변화 추정
고온환경변화
• 기상학적 관점에서 WBGT (체감온도지수)를 추정
작업환경변화 추정 및 직종별 위험 변화
고온작업환경변화
• 근로환경조사 (KWCS) 원시자료 활용
• 민감도 및 노출 변수 선정 → 고온작업환경 정도 파악
직종별위험 변화 추정
• 한국직업분류 (KSCO)를 토대로 근로환경조사 자료와 매칭
• 고온작업환경정도에 따라 Watts별 직종을 분류
작업역량 변화
(Work Capacity)
• 고온환경변화, 작업환경변화,
직종별 위험 변화를 포함
공간적 군집 (Spatial Cluster)
공간적변화 추정 및 클러스터
• 작업역량 저하정도에 따른 공간적 변화 추정
• 지역의 작업역량과 종사자의 공간적 클러스터 분석 (LISA)

〈그림 1-1〉 연구의 흐름도

제2장 선행 연구고찰

1. 고온환경 노출기준

기존의 근로환경과 근로자의 열 피로와 관련된 연구는 고온환경을 평가하는 온열지표 측정이 주를 이루고 있다. 온열지표를 어떻게 구성하고 측정할 것인가와 관련해서 Heat Index(HI) of US National Weather Service, Humidex(HD) of Meteorological Services of Canada, WBGT 등이 이용되고 있다.[14] 고온환경을 평가하기 위해서는 일부 요소만을 고려한 단일 지표의 측정이 아닌 다양한 요소들을 고려한 종합적인 지표를 사용하여 평가하는 것이 적절하다.[15] 다양한 연구에서는 고온환경을 평가하기 위한 기온, 습도 등 기상학적 요소를 이용한 HI, WBGT 등이 활용되고 있다.[16] 가장 많이 이용되는 온열지표는 체감온도를 의미하는 WBGT(Wet Bulb Globe Temperature)로서, US Army and Marine Corps에서 열 질병(heat illness)을 측정하기 위한 목적으로 Yaglou and Minard(1957)에 의해 개발되었으며, 그 측정은 아래의 식(2-1), 식(2-2)와 같다.[17]

- 실외에서 일사가 있는 경우

$$WBGT = 0.7NWB + 0.2GT + 0.1NDB \quad \text{식(2-1)}$$

- 실내에서 일사가 없는 경우

$$WBGT = 0.7NWB + 0.3GT \quad \text{식(2-2)}$$

(NDB는 자연 대기에 노출된 건구온도이며, GT는 흑구온도, NWB는 복사열을 막아 자연 대기에 노출된 습구온도를 의미)

14) Gaspar and Quintela(2009)
15) 백용규(2005)
16) 박종길 외(2008a)
17) d'Ambrosio Alfano et al.(2014); Budd(2008)

WBGT는 높은 습도환경에서의 땀의 증발, 작업복과 같은 사람의 활동과 관련된 요인들, 측정의 오류 등의 한계를 내포하고 있음에도, 외부 환경적 조건과 열 피로 간 관계를 판단하는 데 활용되고 있으며, 일반적으로 산업보건에서 열 노출의 영향으로부터 작업자를 보호하기 위한 가이드라인으로 활용되고 있다.[18] WBGT는 기온, 습도, 기류(Air current) 및 주위의 열복사(Radiant temperature, 평균복사온도)의 온열환경 요소를 활용하여 실내·외에서 노동과 활동을 할 때 작업시간 제한의 기초가 된다.

〈표 2-1〉 열 피로 환경 요인

환경적 요인	개별 근로자 요인	작업부하
· 기온 · 상대습도 · 풍속 및 공기흐름 · 복사열	· 체내수분량 · 작업복 · 건강상태 및 약물복용 · 적응 정도 · 체력수준	· 작업강도 · 작업속도 · 근골격계 사용정도

자료: WorkSafeBC(2007).

WBGT는 ISO 7243(1989)와 ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2011)가 수용한 고온환경의 평가를 위한 사전적인 도구로 활용된다. 또한, 국제적으로 공인된 OSHA(Occupational Safety and Health Administration), ACGIH, ISO, AIHA(American Industrial Hygiene Association), NIOSH(National Institute of Occupational Safety and Health) 등에서 고온환경 작업한계에 대한 기준으로 활용하고 있다.[19] 국내에서도 국방부[20], 노동부[21](작업

18) Ramsey and Bernard(2000)

19) d'Ambrosio Alfano et al.(2014)

20) 공군본부, 혹서기 훈련운영 규정, 「공군규정 3-17 제 8호 제1항」.; 육군본부, 혹서기 지휘조치, 육군규정 330, 제76호에 의거 고온환경에 대한 작업 제한기준을 명시하고 있음

21) 한국산업안전공단(1991), p.81; 한국산업안전공단(2007), p.6에 고온작업환경 산업근로 기준이 명시

환경 측정 및 정도 관리), 한국 산업표준(KS A ISO 7243:2005)[22] 등에서 고온환경 활동 허용기준의 지표로 활용되고 있다.

가. 국내 고열작업환경 관리지침

국내의 고열작업 환경의 관리지침은 국방부, 노동부, 산업안전공단 등에서 관리기준을 제시하고 있으며, 온도지수에 따라 측정된 WBGT를 기준으로 고온노출의 제한을 규정하고 있다.

한국산업안전공단(2007)의 고열작업환경 관리 지침에 따르면 고열작업의 근로자에 대한 평가를 위한 고려 사항으로 고열작업의 종류, 특성 및 강도, 온열특성(기온, 기습, 기류, 복사열 등), 착용한 의복형태, 고열관련 상해 및 질병 발생 실태, 환기설비 시설 설치와 적절성, 근로자의 열순응 정도 등을 고려하여 고열작업 환경을 평가하도록 명시되어 있다. 또한 작업에 따른 역량은 경작업(200W), 중등작업(300W), 중작업(400W)으로 분류하고 있으며, WBGT 변화에 따른 근로조건을 제시하고 있다. 작업역량은 100%, 75%, 50%, 25%와 같이 4등급으로 구성하고 있으며, 시간당 작업에 따른 휴식이 보장되어야 한다고 명시되어 있다. 노출기준은 작업시간과 휴식시간의 비율을 지정하여 신체활동에 무리한 작업을 방지하고 적절한 작업이 될 수 있도록 유도하는 데 그 목적을 두고 있으며, 체감온도지수에 따라 기준을 산정하고 있다(<표 2-2> 참조). 이때 경작업(light)은 앉아서 또는 서서 기계의 조정하기 위하여 손 또는 팔을 가볍게 쓰는 일 등을 의미하고, 중등작업(moderate)은 물체를 들거나 밀면서 걸어 다니는 일 등을 의미한다. 중작업(heavy)은 곡괭이질 또는 삽질 등 신체적 부하량이 매우 높은 근로형태로서 지속적인 근골격계의 사용이 요구되는 일을 의미한다.

22) KS A ISO7243(2005)은 한국표준기술원에서 ISO7243에 대한 기준을 국내에서 활용 가능하도록 재해석하여 제시하고 있음

〈표 2-2〉 국내 고열작업환경 관리 지침

(단위: ℃)

작업휴식 시간 비	작업강도		
	경작업	중등작업	중작업
계속작업	30.0	26.7	25.0
75% 작업 25% 휴식	30.6	28.0	25.9
50% 작업 50% 휴식	31.4	29.4	27.9
25% 작업 75% 휴식	32.2	31.1	30.0

자료: 한국산업안전공단(2007).

또한 고온작업환경에 대한 작업대사율은 신체자세, 동작, 작업의 형태, 착용복장 등에 따라 WBGT 노출기준을 보정한다(<표 2-3> 참조).

〈표 2-3〉 작업강도 보정변수

구분	보정변수
신체자세 및 동작	앉은 자세
	선 자세
	걷는 동작
	경사진 면을 걷는 동작
작업형태	수작업
	한 팔로 하는 작업
	양 팔로 하는 작업
	몸 전체로 하는 작업
착용복장	작업복의 형태

자료: 한국산업안전공단(2007).

공군본부의 경우 혹서기 야외 훈련 통제기준을 WBGT를 통해 제시하고 있으며, 단계별 조치로 훈련시간과 휴식시간을 차별화하고 기온 상승에 따라 훈련 중지

등 고온환경에 대한 훈련 규제를 실행하고 있다.[23] WBGT의 지수를 구간으로 나누어 주의, 제한, 중지 등 단계적으로 통제하며, 각 WBGT의 구간에 따라 충분한 휴식을 보장하여야 한다고 명시하고 있다.

〈표 2-4〉 공군의 혹서기 야외훈련 통제기준

온도지수(℃)	단계	깃발색	훈련 강도	훈련/휴식시간		통제 내용
				차양막내	야외	
28.0~29.3	주의	녹색	-	45분/10분	40분/20분	-
29.4~31.0	부분 제한	청색	-	40분/20분	30분/20분	행군/구보실시 (거리축소, 기준시간 증가)
31.1~32.1	제한	황색	쉬움	40분/20분	30분/20분	행군/구보 미실시 (행군 중 발생 시 휴식시간 증가)
			힘듦	30분/20분	중지	
32.2~	중지	적색	쉬움	중지	중지	-
			힘듦	중지	중지	

자료: 공군본부 공군규정 3-17 제8호 제1항.

육군규정에서는 공군과 거의 흡사하나 1일 6회 온도지수를 측정하고 6구간의 온도지수에 따라 통제내용을 규정하고 있다. 또한, 최대 온도지수가 32.1 이상 증가하면, 모든 활동을 제한한다.[24]

〈표 2-5〉 육군의 혹서기 야외훈련 통제기준

온도지수(℃)	통제내용	기타
26.5~29.4	기후에 순화되지 않은 신병 훈련 시 각별히 주의	-
29.5	행군 및 과중한 훈련 지양	
29.6~30.9	옥외 훈련 조정 실시	-
31.0	옥외 훈련 제한 및 중지	
31.1~32.0	1일 6시간 이내의 제한된 활동 가능	대대장급 이상 지휘관 판단/조치
32.1~	경계 작전 등 필수적인 활동만 실시 (아침, 저녁시간 최대 활용)	

자료: 육군본부 육군규정 330, 제76호.

23) 공군본부 공군규정 3-17 제8호 제1항
24) 육군본부 육군규정 330, 제76호

나. 국제기구의 고온노출 기준

ISO 7243(1989)에서는 신진대사율에 따른 0~4등급을 측정하고 있으며, 단위 피부 면적당 대사율(W/m^2)에 따라 근로생산성을 측정하고 있다. WBGT 기준값을 열의 순응 능력에 따라 순응된 작업자(acclimatized workers)와 비순응 작업자(non-acclimatized workers)로 등급별 온도를 측정하고 있으며, 직장의 최대 온도를 38℃로 제한하고 있다.

〈표 2-6〉 ISO 7243 WBGT 온열지수 규정

(단위: ℃)

대사율 등급	대사율 범위 M		WBGT 기준값			
	단위 피부 면적당 대사율 (W/m^2)	평균 피부면적 ($1.8m^2$당 대사율 W)	열에 적응된 작업자		열에 적응되지 못한 작업자	
0 (휴식)	M ≤ 65	M ≤ 117	33		32	
1	65 < M ≤ 130	117 < M ≤ 234	30		29	
2	130 < M ≤ 200	234 < M ≤ 360	28		26	
3	200 < M ≤ 260	360 < M ≤ 468	비환기	환기	비환기	환기
			25	26	22	23
4	M > 260	M > 468	23	25	18	20

자료: ISO 7243(1989).

ACGIH(1998)는 근로자의 작업부하나 방법에 의해 기후조건에 근거한 신진대사열을 활용하여 온열환경 작업조건에 관련된 작업환경 측정 및 정도 관리 규정을 제시하고 있다. 이는 근로자의 작업강도, 휴식시간 등 작업역량에 대한 적정한 노출기준 정도를 규정하고 있으며, 근로자의 안전 및 보건관리의 목적으로 사용하고 있다.

〈표 2-7〉 ACGIH 고온노출 기준

(단위: ℃)

시간당 작업강도	경작업		중등작업		중작업	
	비순응	순응	비순응	순응	비순응	순응
100% 작업	27.0	30.0	25.0	28.0	22.5	26.5
75% 작업 25% 휴식	28.5	31.0	26.5	29.0	24.5	27.5
50% 작업 50% 휴식	30.0	32.0	28.0	30.0	26.0	28.5
25% 작업 75% 휴식	31.0	32.5	29.5	31.5	27.5	30.5

자료: ACGIH(1998).

NIOSH(2013)는 고온환경 근로자의 열 피로에 직접적인 영향을 미치는 변수를 3개의 카테고리로 분류하고 근로자에 대한 WBGT의 기준을 제시하고 있다. 열 피로 측정은 환경적 요인의 기온, 습도, 풍속, 복사열 등과 대사열의 요인으로 의복, 작업강도, 작업속도, 반복적인 동작 등 신체적 부하 정도에 따른 부하량을 기준으로 하고 있다. 순응근로자에 대한 WBGT 임계값의 국제적으로 공인된 고열환경 근로 기준을 보면, ACGIH, AIHA, OSHA, ISO, NIOSH 등 각 기관별로 WBGT의 근로기준에 다소 차이가 있으나, 대부분 기관에서 25~33℃를 기준으로 작업강도를 분류하고 있다.

〈표 2-8〉 순응근로자 WBGT 임계값의 비교

작업부하량		ACGIH	AIHA	OSHA	ISO	NIOSH
휴식	℃	-	32.2	-	33	-
	kcal/hr	-	100	-	≤100	-
	Watts	-	117	-	117	-

〈표 2-8〉 순응근로자 WBGT 임계값의 비교(계속)

작업부하량		ACGIH	AIHA	OSHA	ISO	NIOSH
경작업	℃	30	30	30[a], 32.2[b]	30	30
	kcal/hr	100~200	200	<200	100~201	<200
	Watts	117~233	233	233	117~234	233
중등작업	℃	26.7	26.7	27.8[a], 30.6[b]	28	28
	kcal/hr	201~350	300	201~300	201~310	201~300
	Watts	234~407	349	234~349	234~360	234~349
중작업	℃	-	-	26.1[a], 28.9[b]	25[a], 26[b]	26
	kcal/hr	-	-	>301	310~403	301~400
	Watts	-	-	350	360~468	350~465
고작업	℃	25	-	-	23[a], 25[b]	25
	kcal/hr	350~500	-	-	>403	401~500
	Watts	407~581	-	-	468	466~580

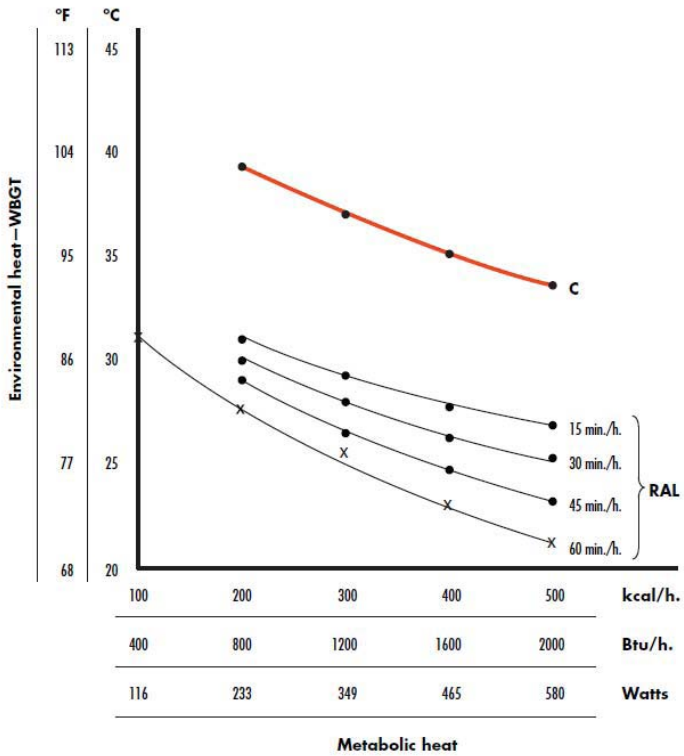
주: [a]는 비환기상태 [b]는 환기상태.
자료: NIOSH(2013).

2. 고온노출과 Watts와의 관계

Watts는 고온환경의 열 노출에 따른 작업 강도를 나타내는 지표로서 체감온도지수에 따른 작업상태의 최대 열 노출을 나타내며 1시간당 작업할 수 있는 작업역량을 의미한다. Watts의 허용기준은 각 국가 및 기관별로 체감온도지수의 차이가 존재하지만 국제적으로 공인된 기구에서 제시하고 있는 허용기준을 토대로 각 특성에 맞춰 재해석하여 활용하고 있다.

NIOSH(2013)는 연구 데이터에서 파생된 표준에 대한 권고를 기초로 고온환경에서의 작업 표준 형태와 고온 근로자 권장 기준에 대한 근거로 열 피로 노출에 대한 Watts와의 관계를 제시하였다. 이는 순응근로자와 비순응근로자로 구분하고, 각 근로자의 형태에 따라 고온노출 시 활동할 수 있는 작업역량의 한계점을 제공한다.

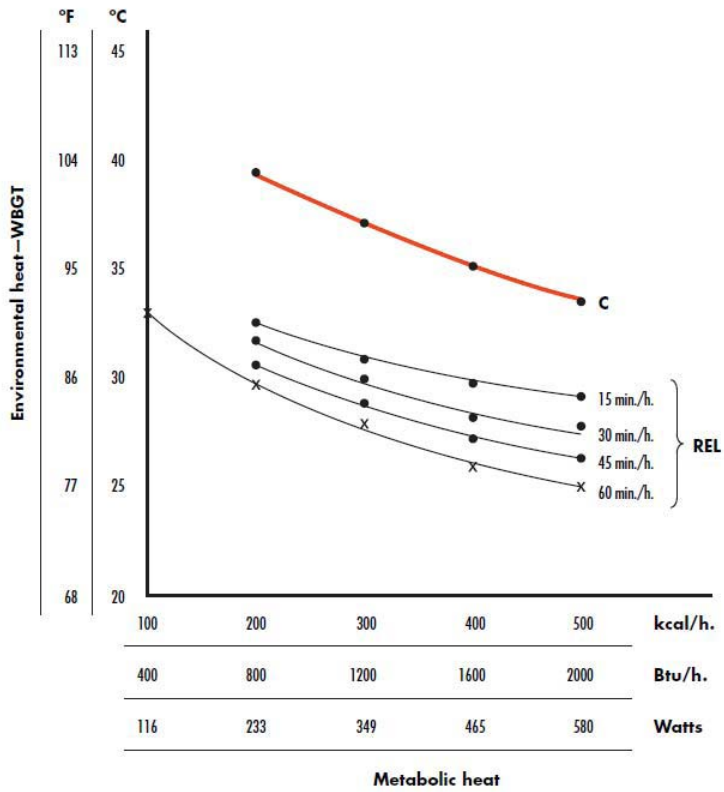
WBGT의 체감온도에 따라 대사율(kcal/h)의 부하 정도가 변하며, 근로자가 1시간 중 작업과 휴식의 시간 비에 따라 WBGT의 적정 한계 온도가 점차적으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 즉, 근로자는 작업강도, 작업속도, 신체적 부하 정도, 근골격계 활용 정도 등에 따라 대사율이 변하며, 근로자의 작업과 휴식의 시간 비에 따라 고온환경에서 근로할 수 있는 제한 온도는 점차적으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한, 고온환경에서 근로하는 적응 정도에 따라 적응된 숙련자의 체감온도는 비적응 근로자보다 WBGT가 약 3~4℃도 차이가 존재하며, 신체적 부하 정도가 높은 근로 형태일수록 대사율의 기울기가 완만해지는 것을 알 수 있다.



자료: NIOSH(2013)

〈그림 2-1〉 비순응 근로자의 WBGT와 Watts와의 관계

비순응 근로자의 WBGT를 보면 200~500kcal/hr일 때의 RAL(Recommended Alert Limit) 작업 대비 휴식 비를 제시하고 있다. 또한 C(Ceiling Limit)는 최고 한도의 제한으로 제시되어 있지만, 실질적으로 1시간에 일할 수 있는 최대허용량을 넘어선 범위의 온도로 제시된다. 일반적으로 이러한 WBGT의 측정은 개인마다 차이가 존재하며, 신체조건, 컨디션, 기초대사량 등의 차이에 따라 다른 값을 가질 수도 있다.

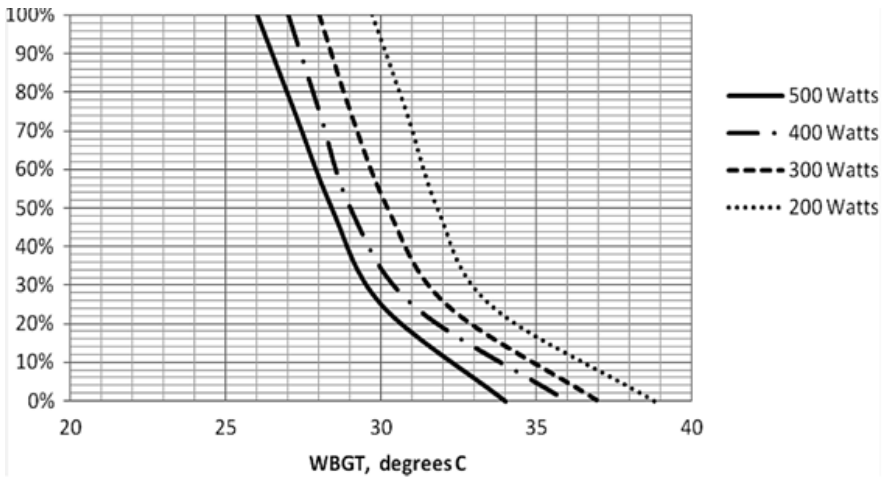


자료: NIOSH(2013)

〈그림 2-2〉 순응근로자의 WBGT와 Watts와의 관계

순응근로자(acclimatized workers)는 열의 노출에 신체적으로 적응 정도가 높은 근로자로서 비순응근로자에 비해 고온에서의 활동량이 더 높은 것을 볼 수 있다. 또한, REL(Recommended Exposure Limit)이 비적응 근로자의 RAL보다 높으며, 경고의 한계선이 아닌 권장노출한계로 명시되고 있다. 많은 연구에서 NIOSH의 연구를 기반으로 Watts와 WBGT와의 관계를 재해석하고 있다.

Kjellstrom et al.(2009a)의 연구에서는 WBGT와 작업역량 간의 관계를 ISO 7243과 NIOSH(2013)의 기준을 활용하여 <그림 2-3>과 같이 제시하고 있다. 이들은 ISO 7243의 대사율 범위를 활용하여 4개의 Watts를 명명하였는데, 이는 작업의 강도에 따라 200W에서 500W까지 <표 2-9>로 구분된다.[25]



자료: Kjllstorm et al.(2009a)

〈그림 2-3〉 WBGT와 Watts의 관계

25) Kjellstrom et al.(2009a)

〈표 2-9〉 ISO 7243와 NIOSH의 WBGT 통합 노출기준

Metabolic rate class	200W	300W	400W	500W
100% rest/h	39	37	36	34
75% rest/h	32.5	32	31.5	31
50% rest/h	32	30.5	29.5	28
25% rest/h	31.5	29	27.5	26.5
0% rest/h	31	28	27	25.5

주: 200W는 사무직 및 서비스 산업 종사자, 300W는 평균적인 제조업에서의 종사자, 400W는 건설업 혹은 농업 종사자, 500W는 매우 높은 강도의 작업을 지닌 근로자.
자료: Kjllstorm et al.(2009a).

여기서 네 가지 작업강도는 업종을 통해서 분류되었다. 200W는 사무직 및 서비스 산업 종사자(office desk work and service industries), 300W는 평균적인 제조업에서의 종사자(average manufacturing industry work), 400W는 건설업 혹은 농업 종사자(construction or agricultural work), 500W는 매우 높은 강도의 작업을 지닌(very heavy laboring work) 근로자를 의미한다.

기후변화가 일으키는 고온환경으로의 변화는 온열지표(WBGT)를 변화하게 할 것이며, 이는 앞서 논의한 근로자의 작업역량의 변화를 가져올 것이다. Kjellstrom et al.(2009a)의 연구는 기후변화가 일으킬 근로자에 대한 영향과 유사한 업무의 역할에 따라 분류되는 직종 차원에서의 근로생산성(labor productivity) 감소의 가능성을 보여주고 있다는 점에서 의의가 있다. 하지만 직종의 분류가 엄밀하지 못하고, 열에 대한 노출과 작업강도에 따른 민감도를 구분하지 못한다는 점 등은 한계로 지적할 수 있다.

제3장 연구방법 및 자료구축

이 연구에서 목적으로 하고 있는 기후변화로 인한 근로자의 작업역량 감소를 파악하기 위해서는 WBGT로 측정되는 온열지표와 Watts, 그리고 이들 간의 관계를 설정할 수 있는 방법, 공간적 패턴(spatial pattern)을 파악할 수 있는 방법이 필요하다. 분석은 4단계를 통하여 수행되었다.

첫 번째 단계로 기후변화에 따른 6~8월에 해당하는 각 지역별 WBGT의 평균값을 산출한다. 여기에는 IPCC RCP 시나리오에 따라 기상청(KMA)에서 제시되는 건구온도(dry-bulb temperature), 풍속, 수증기압 등 자료와 이를 기반으로 기상청(2012)에서 제공하는 일별 기초자료를 활용하였다.

두 번째 단계로 유사한 업무를 하는 근로자들로 구성된 직종을 한국직업분류(Korea Standard Classification of Occupation, KSCO)에 따라 3digit 수준으로 분류하였고, 이를 기준으로 하여 고온노출 정도와 업무강도에 따른 각 직종별 Watts를 구성하였다. 여기에는 근로환경조사(KWCS)의 고온노출과 민감도에 관련한 변수를 활용하였다.

세 번째 단계로 각 직종에서 기후변화에 따른 미래 작업역량의 변화를 파악하기 위한 WBGT와 각 직종의 Watts 간 관계는 Kjellstrom et al(2009a)이 ISO 7243과 NIOSH(2013)의 기준을 기반으로 하여 제시한 <그림 2-3>의 관계를 기초로 하였다. 각 직종별 작업역량의 저하 정도는 10년을 단위로 2050년까지 추정하였다.

네 번째 단계로 세 번째 단계에서 추정된 각 직종별 작업역량의 저하 정도를 한국의 각 지역별 직종구성의 분포와 연계하여, 작업역량이 저하 정도에 따라 군집으로 나타나는 지역을 파악하였다. 이때, Anselin(1995)이 제안한 탐색적 공간분석(ESDA)의 하나인 LISA를 이용하고 지역의 종사자 비율과 대비하여 공간적 패턴을 파악하였다.

1. RCP시나리오를 활용한 WBGT 추정

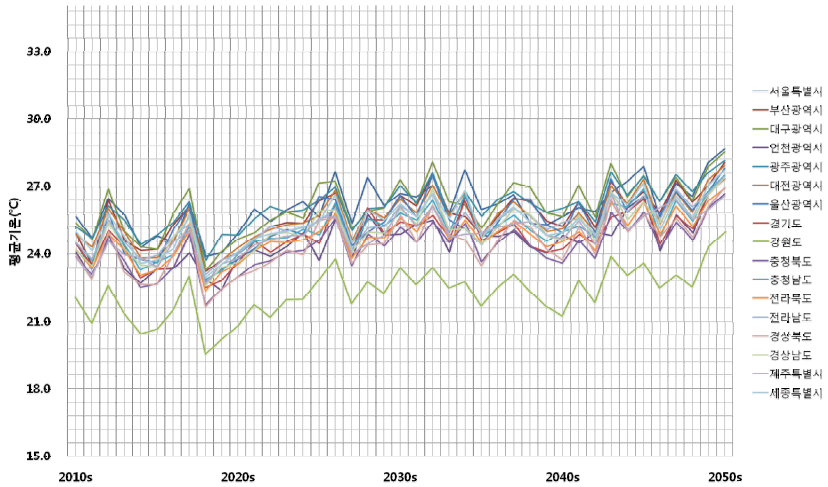
일반적으로 WBGT 계산에 대한 방법은 측정 데이터를 기준으로 하고 있으며, ISO, ACGIH, NIOSH 등에서도 기준만을 제시하고 있어 그동안 미래예측을 하는데 한계가 있었다. 최근 기후변화 이슈가 논의됨에 따라, WBGT의 측정과 관련하여 다양한 연구가 진행되고 있는 추세이다. 특히, 지역적 차원의 관점에서 기온과 습도, 풍속, 수증기압 등 기후인자(climate factor)의 변화에 따라 미래의 WBGT를 추정하는 연구가 제시되고 있다.[26)]

기후변화로 인한 기온상승에 대해 인체가 느낄 수 있는 열 피로 지수로서 WBGT의 산정은 미래에 대한 예측이므로 측정을 기반으로 산정하기에는 한계가 존재한다. 기상학적 관점에서 고온에 의한 인체 영향을 평가할 때 기온이나 HI(Heat Index)를 사용하며, 기상청에서 폭염특보를 제공할 때 최고기온과 최고 HI를 통해 그 기준을 설정하고 있다.[27)]

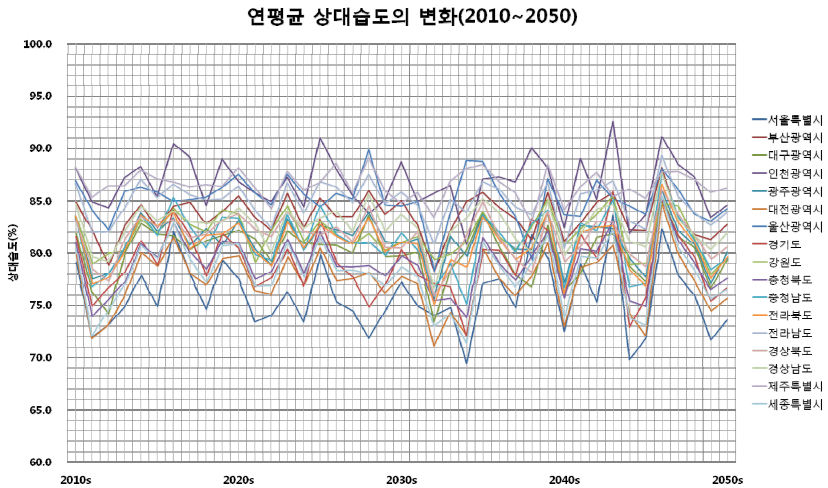
본 연구에서는 기상학적 측면에서 기온, 습도, 풍속 등의 변화를 활용하여 우리나라 시·군·구를 대상으로 2010~2050년까지의 WBGT를 추정하고자 하였다. 먼저, 기후변화로 인한 기온, 습도 등 기후인자의 변화를 추정하기 위해 RCP시나리오 8.5를 기준으로 평균기온과 상대습도의 변화를 분석하였다. 이는 기온, 습도 등 기후인자가 점차적으로 어떠한 패턴을 보이는지 사전적으로 탐색하기 위한 것으로서 16개 광역시·도를 대상으로 2050년까지 6~8월의 여름철 기후의 일별데이터를 산술평균하여 변화를 추정하였다. 2050년까지의 광역시도별 연평균기온의 변화를 보면, 점차적으로 기온이 상승하고 있으며, 강원도를 제외한 대부분 지역이 유사한 패턴을 보이는 것으로 나타났다. 가장 높은 기온의 변화를 보이는 지역은 대구, 광주, 부산 등으로, 남부지역의 기온이 점차적으로 증가하는 것으로 나타났다.

---

26) Moran, Shitzer, and Pandolf(1998); Kolokotsa, Psomas, and Karapidakis(2009).
27) 박종길 외(2008b).



〈그림 3-1〉 연평균기온의 변화(2010~2050)



〈그림 3-2〉 연평균 상대습도의 변화(2010~2050)

연평균 상대습도의 변화를 보면, 전반적으로 유사한 패턴을 보이는 것 같지만, 추세선을 통한 습도의 변화를 보면 점차적으로 상대습도가 감소하고 있는 것으로 나타났다.

기상학적 관점에서 WBGT의 추정은 기상청에서 제공하는 AT(Apparent Temperature)를 활용하였다. AT는 인체가 실제로 주어진 환경 속에서 느낄 수 있는 온도 지수로 정의하고 있으며, 이는 바람, 습도 등 기상 상황에 따라 사람의 몸이 느끼는 온도를 식(3-1)을 통하여 추정하고 있다.[28)]

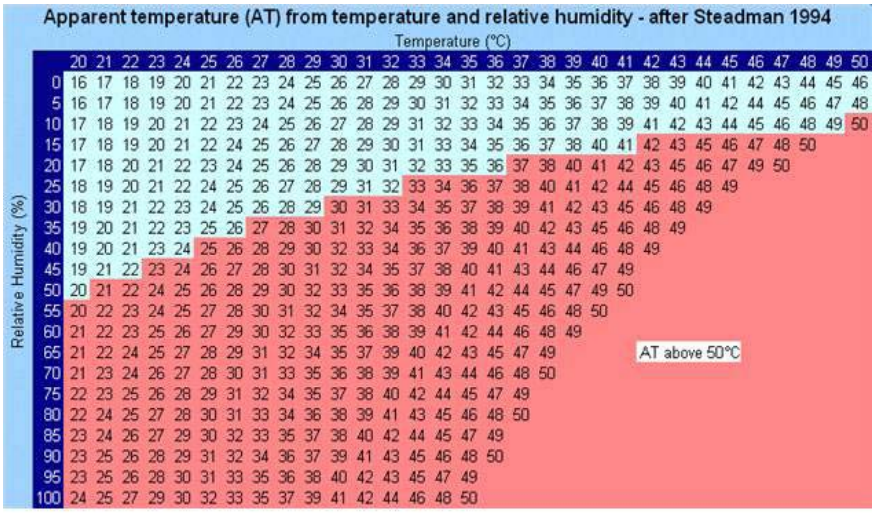
$$AT = T + 0.33 \times e - 0.7 \times V - 4.00 \qquad \text{식(3-1)}$$

(T는 건구온도(℃), V는 풍속(㎧), e는 수증기압(hPa))

식(3-1)은 Steadman(1994)에 의해 고안된 것으로 온도와 상대습도, 바람의 영향의 관계를 통해 체감온도의 변화를 추정한다. 상대습도가 기준습도(14℃의 이슬점 온도일 때의 절대습도)보다 높으면 체감온도는 건구온도보다 높으며, 상대습도가 기준습도보다 낮으면 체감온도는 건구온도보다 낮다는 결과를 제시하였다. 또한, 바람의 속도가 높을수록 체감온도는 건구온도보다 낮아짐을 밝히고 있다. 위의 식(3-1)을 활용한 추정은 온도와 습도, 바람의 영향에 따라 단위별로 변화할 때의 기준 값을 제시하고 있으므로 활용이 유용하다.

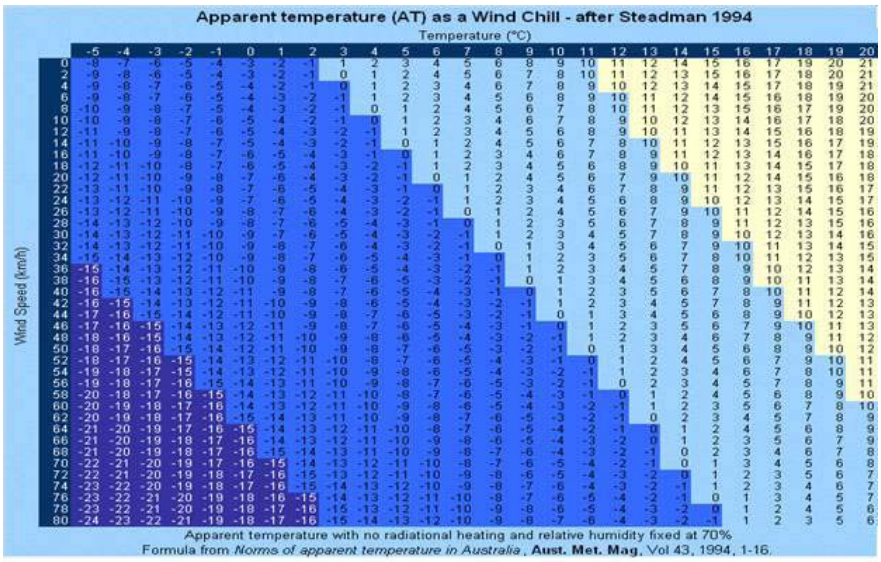
본 연구에서는 식(3-1)에 근거하여 RCP 8.5 시나리오에 대한 AT일별데이터를 기준으로 6~8월 기간 중의 자료를 활용하여 10년 단위로 산술평균값을 도출하여 WBGT 자료로 활용하였다.[29)]

28) Steadman(1994)에 기초하여 기상청에서 체감온도지수로 활용하고 있음.
29) AT와 WBGT는 의미가 동일하여 미래에 대한 WBGT 산출에 있어 AT산출 방법을 활용하였음.



자료: Steadman(1994)

〈그림 3-3〉 온도와 상대습도에 따른 체감온도의 변화



자료: Steadman(1994)

〈그림 3-4〉 온도와 풍속에 따른 체감온도의 변화

2. 고온노출 위험직종의 도출 및 분류

고온 작업환경에서 1시간당 작업효율을 나타내는 Watts의 분류는 기존 연구와 같이 100W, 200W, 300W, 400W, 500W로 구분하였다. 하지만 Kjellstrom et al(2009)의 논의에서 활용되는 100~500W의 직업분류는 산업군을 중심으로 개략적인 분류를 토대로 하고 있어, 작업형태 및 근로자의 개별적인 역량을 구분하지 못하는 한계로 지적된다. 또한, 직종 간의 고온노출 정도, 작업환경, 작업강도 등 근로환경의 차이를 내포하지 못하는 한계가 존재한다. 따라서 각 Watts에 해당하는 직종군을 기준으로 노출과 민감도와 관련된 근로환경을 포함시키는 방법이 필요하다. 근로환경은 업종보다는 직종에 따라 달리 구성될 수 있다는 점을 고려하여[30] 직업분류에 대한 기준인 한국표준직업분류(Korean Standard Classification of Occupations, KSCO)를 직종군 분류의 기준으로 활용하였다. 이 연구에서는 3digit(중분류) 수준에서 군인을 제외한 총 147개의 직종분류를 활용하였다. 직종은 그 형태에 따라 작업환경, 작업형태, 작업장소 등이 상이하며, 위험요인이 다양하다. 이 연구에서는 고온환경에서의 열 피로와 이를 가중시키는 요인을 고려하기 위해 한국근로환경조사(Korean Working Conditions Survey, KWCS)를 활용하여 각 직종별 Watts를 도출하였다.

한국근로환경조사는 근로자의 노동형태, 고용형태, 직종, 위험요인노출, 고용안정 등 업무환경을 전반적으로 파악하기 위한 조사이다. 이 연구에서는 근로자의 열 피로를 가중시키는 고온환경의 요인을 판단하는 데 있어 물리적 작업위험요인(physical work-related risk factors) 중 고온노출변수를 활용하였다. 또한, 고온환경에서 근로자가 경험하게 되는 열 피로를 가중시키는 민감도의 요인으로 <표 3-1>에 제시된 7가지 변수를 활용하였다. 근골격계 작업위험요인 변수로 자세의

30) 예를 들어, 조선업에 종사하는 근로자의 경우 사무직, 용접공, 페인트공 등 다양한 직종이 존재한다. 이들은 동일 업종에 종사하지만 직종에 따라 근로환경의 차이가 있다. 특히 고온노출과 작업의 강도, 피로감 등은 업무의 성격과 관련되는 직종을 기준으로 논의할 필요가 있다.

피로와 통증(tiring or painful positions), 사람의 이동(lifting or moving people), 물건의 이동(Carrying or moving heavy loads), 작업자세(Standing), 신체의 반복적 행동(Repetitive hand or arm movements) 등 4가지 변수를, 작업속도와 관련해서 빠른 작업속도의 정도, 마감시간 제한의 정도(working to tight deadlines) 등 2가지 변수를 활용하였다.[31]

〈표 3-1〉 한국근로환경조사의 열 피로 및 민감도 변수

Factor		변수설명
물리적 작업위험요인		일하지 않을 때조차 땀을 흘릴 정도로 높은 온도에 대한 노출 정도
민감도	근골격계 작업 위험요인	피로하거나 통증을 주는 자세의 업무포함 정도
		사람을 들어 올리거나 이동시킴의 업무포함 정도
		무거운 물건을 끌거나, 밀거나, 이동시킴의 업무포함 정도
		계속 서 있는 자세의 업무포함 정도
		반복적인 손동작이나 팔 동작의 업무포함 정도
	작업 속도	매우 빠른 속도로 작업하는 정도의 업무포함 정도
		엄격한 마감시간에 맞춰 일함의 업무포함 정도

주: 설문항목의 척도는 다음과 같이 구성. 절대 노출 안 됨-1점, 거의 노출 안 됨-2점, 근무시간 1/4(25%)-3점, 근무시간 절반(50%-4점), 근무시간 3/4(75%)-5점, 거의 모든 근무시간-6점, 근무시간 내내-7점.

각 변수들은 2011년에 조사된 제3차 한국근로환경조사(KWCS) 원시자료(raw data)를 기초로 하여 한국직업분류의 3digit 분류에 따라 평균값으로 정리하였다.

31) 고온노출에 대해 외부 작업환경에 대한 고려가 필요하다는 의견이 있었으나, 본 연구의 범위가 세분화된 직종에 대한 고찰이라기보다는 직종 전반에 대한 고온환경 노출을 파악하는 데 목적을 두고 있기 때문에 외부작업 고온노출 변수를 고려하지 못하였음. 추후 연구를 통하여 외부작업 고온노출 정도를 파악할 예정

또한, 각 직종별로 10개 미만의 자료인 경우, 대표성의 문제가 발생할 가능성이 존재하여 제외하였다. <표 3-1>에서 민감도와 관련되는 6개 변수는 가중평균(weighted average)을 통하여 가중치로 전환하여 직업분류에 따른 Watts를 선정하는 데 활용하였다. 가중평균의 산정은 근골격계 작업위험요인(musculoskeletal work-related risk factors) 인 6개 변수를 가중값과 고온노출환경 변수와의 가중평균을 통하여 산정하였다.

$$W = \frac{\alpha_1 x + \alpha_2 x + \cdots + \alpha_n x}{\alpha_1 + \alpha_2 + \cdots + \alpha_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i x}{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i} \qquad \text{식(3-2)}$$

(α_i는 근골격계 작업위험요인, x는 고온노출환경 변수)

위의 식(3-2)를 활용하여 각 변수에 대한 KWCS 기초데이터의 변수별 평균값을 가중평균하여 Watts를 분류하였다. 분류 기준은 1~7의 척도를 백분율로 환산하고 가중평균 값의 백분율이 해당하는 구간을 Watts 판별의 기준으로 하였다.

〈표 3-2〉 가중평균을 통한 Watts 분류 기준

설문항목	척도	백분율	Watts 분류
근무시간 내내	7	100%	500W
거의 모든 근무시간	6	85.71%	
근무시간 3/4(75%)	5	71.43%	400W
근무시간 절반(50%)	4	57.14%	300W
근무시간 1/4(25%)	3	42.86%	200W
거의 노출 안 됨	2	28.57%	100W
절대 노출 안 됨	1	14.29%	

3. WBGT와 작업역량 간 관계 추정 및 공간적 클러스터 파악

체감온도지수와 작업역량과의 관계는 ISO 7243과 NIOSH에서 제시하고 있는 관계도의 비선형 그래프를 기초로 관계식을 도출하였다. 기후변화와 연계한 WBGT와 작업역량에 대한 미래 전망 및 추정에 있어 파라메타 및 일반모형이 구축되어 있지 않은 실정이다. 본 연구에서는 Kjellstrom et al.(2009a)에서 제시하고 있는 WBGT와 작업역량 간 관계를 개략적으로 추정하고 있는 방식을 활용하였다. <그림 2-3>을 기반으로 식(3-3)~(3-6)의 비선형 추정모형을 도출하였으며, RCP 시나리오를 토대로 추정된 WBGT에 따른 작업역량의 변화 정도를 추정하였다.

$$500\,W:\ W=-0.1827X^3+18.051X^2-599.56X+6696.9 \qquad \text{식(3-3)}$$

$$400\,W:\ W=-0.1655X^3+17.127X^2-594.08X+6913.6 \qquad \text{식(3-4)}$$

$$300\,W:\ W=-0.1683X^3+17.653X^2-621.97X+7369.4 \qquad \text{식(3-5)}$$

$$200\,W:\ W=-0.1655X^3+18.492X^2-692.03X+8680.3 \qquad \text{식(3-6)}$$

(W: 각 Watts 별 온도에 따라 추정되는 작업역량, X: WBGT의 값)

WBGT에 따라 각 직종별로 분류된 각 Watts에 대해 위 다항식 모형을 토대로 작업역량의 변화를 파악하였다. 각 시군구 단위에서 변화할 수 있는 작업역량의 감소를 파악하기 위해 가장 최근에 조사된 2010년 인구주택총조사의 직종별 지역 종사자 수를 이용하여 각 지역별(시군구 단위) Watts 구성에 따른 감소폭을 2050년까지 산정하였다. 이를 통하여 각 지역별 작업역량 변화에 따라 지역 내 근로자가 휴식시간을 제외하고 실제 활동할 수 있는 작업가능인구를 도출하였다.

각 지역별로 도출된 결과는 어떠한 지역이 감소폭이 크게 나타나는 Local Moran's I를 통하여 공간적 군집을 파악하였다. Local Moran's I는 작업역량의 감소폭이 나타나는 지역이 어디에서 공간적 클러스터를 이루고 있는지에 대해 공간

상의 전역적 및 국지적 자기상관성을 판단하여 그 패턴을 파악할 수 있게 한다.[32] Local Moran's I는 공간적 연관성의 유형을 네 가지로 구분한다. 평균보다 높은 값 주변에 높은 값이 존재하는 HH 유형(high-high), 낮은 값 주변에 낮은 값이 존재하는 LL(low-low) 유형, 낮은 값 주변에 높은 값이 존재하는 LH유형(low-high), 높은 값 주변에 낮은 값이 존재하는 HL유형(high-low) 등이 있다.

Local Moran's I는 식(3-7)과 같이 계산한다.

$$I_i = (\frac{x_i}{m_0}) \sum_{j=1}^{n} w_{ij} x_j, \qquad m_0 = \sum_{i}^{m} x_i^2 \qquad \text{식(3-7)}$$

(w_{ij}: 인접한 공간인지 여부에 따른 메트릭스(i와 j가 경계를 같이 할 경우 1, 그렇지 않은 경우는 0), x_i: 작업역량 감소의 값, n: 지역의 수)

32) Anselin(1995)

제4장 분석 결과

1. 고온노출 위험직종의 분류

한국표준직업분류(KSCO) 상 147개 직종을 기준으로 고온노출 위험직종에 활용된 변수의 기초 통계량은 <표 4-1>과 같다. 전체 표본집단의 평균적인 고온노출 정도는 2.17인데 이는 고온에 거의 노출 안 됨을 약간 상회하는 수준이다. 민감도에 해당하는 변수들은 반복적 상체조작의 평균이 4.19로 가장 높았으며, 서 있는 자세, 피로와 통증 등의 평균값이 비교적 높게 나타났다.

〈표 4-1〉 전체 표본집단의 기초통계량

구분		평균	최소값	최대값	표준편차
직종 별 표본 수		134	10	1,616	242.94
고온노출		2.17	1.06	3.96	0.70
민감도	피로, 통증	3.02	1.56	4.74	0.74
	사람이동	1.44	1.00	4.07	0.39
	물건이동	2.41	1.11	4.79	0.89
	서있는 자세	3.58	1.62	5.38	1.04
	반복적 상체조작	4.19	1.94	6.02	0.87
	작업속도	2.80	1.59	4.36	0.60
	마감시간 제한	2.66	1.48	4.20	0.59

<표 3-2>의 기준에 따라 분류한 Watts별로 직종을 분류한 결과는 <표 4-2>와 같다. 고온노출은 500W에 해당하는 2개 직종에서 평균 3.94의 결과가 도출되었다. 이는 거의 근무시간의 절반 정도가 고온에 노출되는 것을 의미한다. 400W는 4개 직종이 해당되었으며, 고온노출은 3.51로서 근무시간의 25%에서 50% 사이의

시간이 고온환경에 노출되는 경우이다. 가장 많은 직종이 분포한 Watts는 100W로서 총 67개의 직종이 해당하며 고온에 거의 노출되지 않는 것으로 나타났다. 민감도는 각 Watts에 따른 평균값의 차이가 크게 나지 않았다. 100W를 제외하고는 근무시간의 25%에서 50% 정도에서 민감도와 관련된 항목의 평균적인 정도가 나타남을 알 수 있었다.

〈표 4-2〉 고온노출 위험직종 분류의 기초통계량

구분		100W	200W	300W	400W	500W
직종 수		67	23	23	4	2
직종별 표본 수의 평균		139.31	200.70	75.74	86.25	97.50
고온노출	평균	1.64	2.48	3.02	3.51	3.94
	최소	1.06	2.23	2.64	3.28	3.91
	최대	2.20	2.80	3.24	3.86	3.96
	표준편차	0.29	0.16	0.16	0.27	0.03
민감도 평균	평균	2.48	3.20	3.45	3.72	3.69
	최소	1.47	2.16	2.16	3.39	3.46
	최대	4.33	4.05	4.40	4.07	3.91
	표준편차	0.58	0.48	0.54	0.32	0.32

고온노출 위험직종으로 분류할 수 있는 200W에서 500W의 범위에 해당하는 세부 직종은 <표 4-3>과 같다. 관리자 그룹에 속하는 직종은 가장 고온노출 위험 정도가 낮은 200W에 두 개 직종이 포함된다. 기능원 및 관련 기능종사자(Craft and Related Trades Workers)(7XX 코드), 장치, 기계조작 및 조립종사자(Equipment, Machine Operating and Assembling Workers) (8XX 코드), 단순노무종사자(Elementary Workers) (9XX 코드) 등이 대부분 해당한다. 위험 정도가 높은 500W와 400W에 해당하는 직종은 건설, 용접, 기계, 화학, 금속, 광업 등에서

종사하는 조작원, 단순 종사원 등이 다수 포함되는 것으로 나타났다. 이들은 육체적으로 힘들고, 반복적인 업무의 형태가 나타나는 직업들이며, 야외근무에 따른 고온노출, 기계장치와 관련된 고온노출 등이 나타난다.

〈표 4-3〉 고온노출 위험직종의 상세(200~500W)

코드	직업 분류	Watts	코드	직업 분류	Watts
120	행정 및 경영지원 관리자	200	620	임업관련 종사자	300
141	건설·전기 및 생산 관련 관리자	200	721	섬유 및 가죽 관련 기능 종사자	300
237	항공기·선박 기관사 및 관제사	200	730	목재·가구·악기 및 간판 관련 기능 종사자	300
286	스포츠 및 레크레이션 관련 전문가	200	741	금형·주조 및 단조원	300
441	주방장 및 조리사	200	751	자동차 정비원	300
611	작물재배 종사자	200	773	건축마감관련 기능 종사자	300
630	어업관련 종사자	200	792	배관공	300
710	식품가공관련 기능 종사자	200	821	섬유제조 및 가공 기계조작원	300
742	제관원 및 판금원	200	822	직물 및 신발 관련 기계조작원 및 조립원	300
752	운송장비 정비원	200	831	석유 및 화학물 가공장치 조작원	300
753	기계장비 설치 및 정비원	200	843	비금속 제품 생산기 조작원	300
762	전기공	200	851	금속공작기계 조작원	300
780	영상 및 통신 장비 관련 설치 및 수리원	200	854	운송차량 및 기계 관련 조립원	300
811	식품가공관련 기계 조작원	200	855	금속기계부품 조립원	300
823	세탁관련 기계조작원	200	874	물품이동 장비 조작원	300
842	도장 및 도금기 조작원	200	875	건설 및 채굴 기계 운전원	300

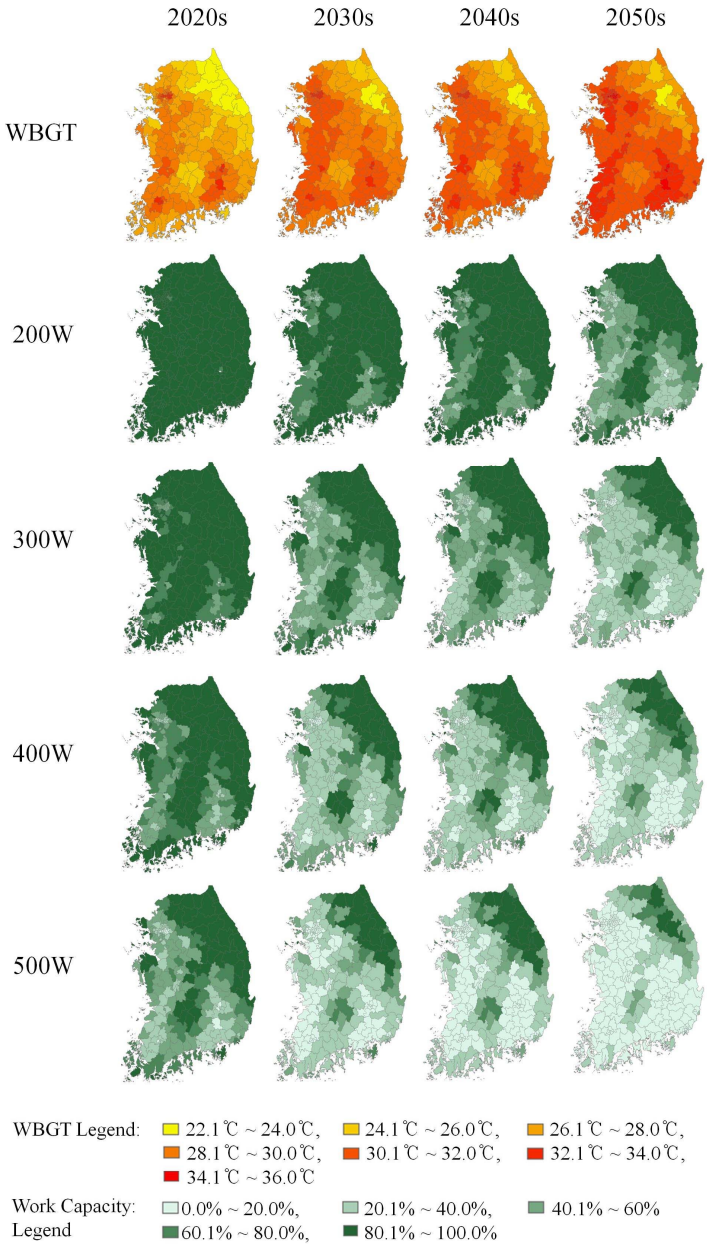
〈표 4-3〉 고온노출 위험직종의 상세(200~500W)(계속)

코드	직업 분류	Watts	코드	직업 분류	Watts
864	전기·전자 부품 및 제품 조립원	200	899	기타 제조관련 기계 조작원	300
892	인쇄 및 사진현상 관련 기계조작원	200	910	건설 및 광업 단순 종사원	300
922	배달원	200	921	하역 및 적재 단순 종사원	300
930	제조관련 단순 종사원	200	991	농림어업관련 단순 종사원	300
941	청소원 및 환경 미화원	200	772	건설관련 기능 종사자	400
952	음식관련 단순 종사원	200	832	화학·고무 및 플라스틱 제품 생산기 조작원	400
953	판매관련 단순 종사원	200	841	주조 및 금속 가공 관련 기계조작원	400
221	컴퓨터 하드웨어 및 통신공학 전문가	300	891	목재 및 종이 관련 기계조작원	400
612	원예 및 조경 종사자	300	743	용접원	500
613	축산 및 사육 관련 종사자	300	771	건설구조관련 기능 종사자	500

2. 기후변화로 인한 미래 WBGT 및 작업역량의 변화

RCP 8.5 시나리오에 따른 WBGT의 변화와 Watts별 작업역량의 변화는 <그림 4-1>과 같다. WBGT의 변화는 2020년에는 대한민국의 서쪽 지역과 남부 내륙지역을 중심으로 높게 나타나나 시간이 지남에 따라 2050년에는 동쪽 산간지역(강원도) 일부를 제외하고 거의 모든 지역에서 그 수준이 높게 나타나고 있다. 2020년에서 2050년을 비교해보면 32.1℃ 이상의 고온지역이 점차 증가하고 있다는 것이 특징적이며 그 범위가 확대되고 있다는 점을 알 수 있다. 수도권 일부를 포함하는 서북부 지역, 서쪽 해안가 지역, 동남부 내륙지역이 WBGT가 높게 나타난다.

기후변화에 따른 기온상승의 열 피로 지수인 WBGT 변화에 따라 고온노출 위험에 따른 직종분류인 Watts별 작업역량의 감소 정도는 고온노출 위험 정도가 높은 경우에 두드러지게 나타난다. <그림 4-1>은 실제 분포된 고용자 수와 무관한 온도에 따른 작업역량의 저하 정도의 분포를 의미한다. 200W는 2020년에 거의 작업역량에 변화가 없으나, 2050년에는 WBGT의 증가폭이 두드러지게 높게 나타나는 지역에서 그 변화가 나타난다. 300W는 2040년부터 동북부 산간지역 일부와 내륙 산간지역 일부(중앙지역)를 제외하고는 50% 이상의 작업역량 저하가 나타날 것으로 예상된다. 400W는 300W와 유사한 패턴으로 나타나지만 감소폭이 높은 지역이 300W보다 더 광범위하게 분포하는 것으로 나타났다. 500W는 동북부의 고산지대 일부를 제외하고는 80% 이상의 작업역량 저하가 나타났다.



〈그림 4-1〉 RCP 8.5 시나리오의 기온상승에 따른 WBGT 및 작업역량의 변화

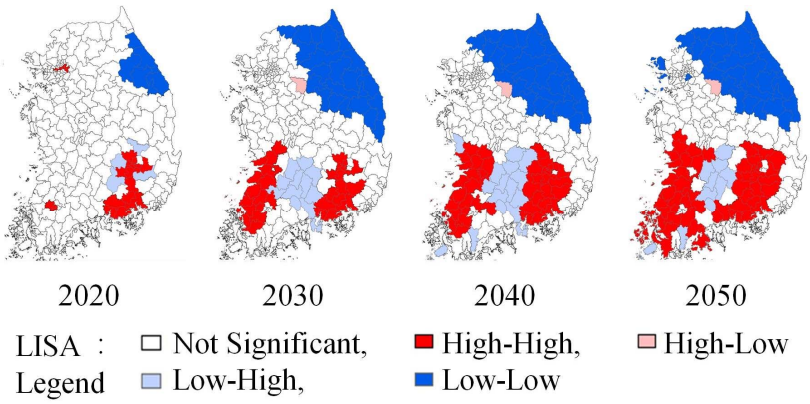
<그림 4-1>의 결과는 작업역량이 100% 대비 얼마나 유지될 것인가를 각 Watts 별로 보여주고 있다. 기후변화에 따라 WBGT가 증가함에 따라 Watts로 구분되는 고온환경에 노출 정도가 다른 직종별로 얼마만큼의 작업역량이 저하될 수 있는지를 보여준다. 고온환경 노출과 작업역량의 저하는 반비례관계에 있으므로, <그림 4-1>은 고온환경의 정도가 심화될수록, 작업역량이 몇 %정도대로 감소하는지에 대해 해석할 수 있다. 예를 들어 2050년대에 기후변화로 인한 고온환경이 심화되면, 500W에 해당하는 종사자들의 작업역량은 0~20%대로 감소할 것이라고 전망할 수 있다는 것이다.

분석 결과에서 보는 바와 같이, 300W 이상이면, 2030년부터 작업역량의 감소폭이 20% 이상인 지역들이 다수 지역에서 분포한다. 이는 앞서 논의한 중등작업에 해당하는 직종 이상은 작업역량의 저하가 심각하게 나타날 수 있다는 것을 의미한다.

2010년 인구주택 총조사를 기준으로 300W, 400W, 500W에 분류되는 직종에 종사하는 근로자는 전체 근로자의 약 13%에 해당한다. 이는 고온환경 변화에 따라 심각한 영향을 받을 수 있는 근로자가 전체 근로자의 13%에 해당한다는 것을 의미한다. 이들 근로자의 작업역량 감소는 사업장 내 생산성 감소 그리고 일부 지역에서는 지역 내 생산성 감소로 이어질 가능성이 있다. 왜냐하면 사업장에서 동일한 생산량을 유지하기 위해서는 줄어든 작업역량을 대체할 수 있는 추가적인 인원이 필요하기 때문이다. 예를 들어 한 사업장에서 전체 근로자가 지니는 작업역량이 50%로 감소하면, 동일한 업무를 하기 위해서 2배의 인원이 필요함을 의미한다. 이러한 변화는 사업주에게 추가적인 인건비의 부담, 근로자에게는 고온환경으로 인한 산업재해의 노출 부담과 개인 실적의 부담 등으로 연계될 수 있으며, 결국 생산성의 감소가 나타날 수 있다.

3. 작업역량 감소 지역의 공간적 클러스터

WBGT 증가에 따라 감소할 수 있는 실제 작업역량의 감소 정도는 지역의 직종 구성이 어떠한가에 따라 다르게 나타난다. 고온노출 위험에 취약한 직종이 지역 내 직종분포에서 다수를 차지하고 있으면 기후변화에 따른 작업역량 감소에 민감한 지역일 것이며, 직종이 없다면 작업역량 감소에 민감한 곳이 아닐 것이다. 이 연구는 2010년 인구주택총조사에서 조사된 지역별 직종분포 구조를 기초로 하여 미래의 기후변화 영향에 따른 지역별 작업역량의 저하 정도를 산정하였고 이를 토대로 공간적 군집(spatial cluster)을 <그림 4-2>와 같이 파악하였다. <그림 4-1>에서 작업역량이 Watts에 따라 많이 감소하는 지역이더라도, 해당 지역에 작업역량이 감소하는 직종이 없거나, 적다면 이는 지역 차원의 작업역량 저하로 이어지지 않는다.



〈그림 4-2〉 LISA를 통한 지역별 작업역량의 변화 클러스터

<그림 4-2>의 HH(High-High) 지역은 해당 지역에서 고온노출 위험직종이 많아 기후변화에 따른 작업역량이 많이 감소하는 지역의 군집을 의미한다. 2020년에는 동남내륙지역이 작업역량이 집중적으로 감소하는 군집(cluster)을 이루고 있다. 2030년에는 남서지역에서도 군집이 나타나며 2040년과 2050년에는 이러한 지역이

중부까지 확산되는 경향을 보이고 있다. 북서쪽의 수도권 지역은 전체 근로자의 약 44%가 밀집되어 있음에도 작업역량의 감소가 군집화 경향을 보이는 지역은 남부에 집중적으로 나타났다.

이 분석은 2010년도 직종구조를 기반으로 하고 있기는 하지만, 한국경제가 이미 어느 정도의 성장궤도에 진입하여 지역 기반산업이 구조화되어 있다는 점 등을 고려하였을 때, 의미 있는 결과로 보인다.

HH 클러스터는 고온환경노출이 높고 이에 민감한 직업이 다수 분포하고 있는 지역이 공간적 군집을 이루는 지역이다. <그림 4-2>에서 HH 클러스터는 작업역량의 저하가 집단화되어 나타날 수 있음을 의미한다. 즉, 고온노출이 높은 6월에서 8월 사이의 기간 중 특정한 군집을 이룬 지역에서의 작업역량은 저하될 수 있고 이는 해당기간 동안의 지역산업과 경제의 공백으로 이어질 가능성을 보여준다. 1년 중 1/4(75%)에 해당하는 기간 중에 나타날 수 있는 근로자들의 작업역량 저하는 지역산업 및 발전과 관련하여 적응의 문제들을 발생시킬 수 있다. 반면 강원도 지역의 LL 클러스터는 해당 직종이 거의 종사하지 않는 지역으로 고온환경 노출이 있다 하더라도 지역적 측면에서는 거의 영향이 없다.

제5장 결 론

본 연구는 기후변화로 인한 기온상승이 근로자들의 체감온도의 변화를 가져올 수 있다는 사실을 토대로 작업역량의 저하 정도를 파악하고, 작업역량의 감소에 따른 지역 고용구조 상 민감한 지역의 클러스터 등을 결과로 도출하였다. 이러한 결과를 바탕으로 개별 근로자의 생산성과 근로환경 문제, 지역산업구조 및 발전 전략에 대한 기후변화 적응정책의 시사점을 도출하였다.

1. 기후변화와 개별 근로자의 생산성과 근로환경 문제

현재 논의되고 있는 기후변화 영향에 대한 전망은 IPCC의 RCP 시나리오에 근거하고 있다. 효과적인 감축정책 없이 현 수준에서 온실가스 배출이 이루어진다는 RCP 8.5 시나리오는 미래를 준비하는 적응의 측면에서는 가장 현실성 있는 가정이다. 이 연구에서도 RCP 8.5 시나리오를 근거로 분석하였고 이를 체감온도로 변경하여 전망한 결과 2.0~5.2℃의 체감온도 증가가 예상되었다. 한국에서 고온노출이 집중되는 6월에서 8월 사이에 나타나는 체감온도의 증가는 고온노출 위험직종에 속하는 근로자에게 있어 정상적인 근무가 어려운 작업역량의 감소가 나타날 수 있다.

고온노출 위험직종에 있어 작업역량의 감소는 근로생산성의 감소문제로 연결될 수 있다. 개별 근로자가 직면하는 작업역량의 감소는 동일한 업무량을 처리하기 위해 더 많은 시간 혹은 노동량이 투입되어야 함을 의미한다. 고온노출과 업무강도로 인해 개별 근로자의 작업역량이 50% 감소하였다면, 동일한 생산성을 유지하기 위해서는 이 개별 근로자의 휴식시간 중에 다른 근로자가 투입되어야 하기 때문이다.

이러한 근로생산성의 저하 문제는 고용조건, 임금, 근로환경 등의 측면에서 기후변화 적응정책(adaptation policy)을 요구한다. 고온노출 위험직종에 분류되는 근로자가 악화된 고용조건(employment condition), 생산성 감소에 따른 임금 저하, 휴식시간이

보장되지 않는 근로환경(working condition) 등에 처하지 않도록 하는 대응이 필요하다. 별도의 기준과 정책이 없는 상황에서는 고온노출 위험직종에 종사하는 사업장에서 같은 생산성을 유지하기 위한 저임금 비숙련 근로자의 고용, 이와 관련된 비정규직의 확대 등이 노동시장에서 나타나게 될 것이며, 근로환경의 미개선은 열 질환과 관련된 산업재해를 유발할 것이다. 따라서 사업장에서 근로자가 처하는 고온환경에 대한 측정과 모니터링, 열 질환을 예방하기 위한 필수 휴식시간에 대한 기준 마련, 고온노출 위험직종에 대한 고용조건과 임금 규정 등의 마련이 적응정책으로 구성되어야 할 것이다. 또한, 기후변화로 인한 고온의 노출로 작업자의 열질환 관련 피해가 증가할 수 있으며, 사고예방차원에서 일과조정 적용, 고온작업 근로기준, 작업자의 상태확인, 고온환경 작업자의 교육 및 대응매뉴얼 등 개별 근로자의 건강상의 문제를 정책적으로 접근하기 위한 방향이 모색되어야 할 것이다.

고온노출 위험에 대한 적응정책은 각 국가의 근로기준과 관련된 법령 그리고 산업안전보건(Occupational Health and Safety)과 관련된 법령에 주류화될 수 있을 것이다. 근로기준과 관련된 법령에서는 휴식과 관련된 부분에서 폭염 등 고온노출 위험에 따라 휴식시간 조정과 관련된 부분이 필요할 것이다. 이러한 산업안전보건의 기준을 설정하기 위해, 고온노출에 대한 통계적 자료를 지속적으로 구축하여야 한다. 특히, 온열질환에 대한 취약계층을 분류하여, 근로자의 연령, 신체적 장애 등 고온노출에 취약한 단계가 고려된 근로시간에 대한 논의가 필요하다. 아직까지는 국가적 차원에서 온열질환 감시체계가 응급실을 기반으로 하고 있다. 하지만 더욱 예방적인 측면을 고려한다면 사업장 기반의 체계적인 감시체계가 구축되어야 할 것이다. 여기에는 산업안전보건과 관련된 법령에서의 고온노출 직종 및 사업장에 대한 정의와 판단 규정, 고온노출에 대한 모니터링, 안전규칙, 열 질환 예방 수칙 등이 포함되어야 하며 적절한 온도를 유지하기 위한 사업자의 의무 등이 포함될 수 있을 것이다.

2. 지역산업구조 및 발전전략 변화 요구

고온노출 위험직종은 지역산업구조 및 발전전략(industrial structure of region and developmental strategies)에 있어서도 변화를 요구한다. 지역산업구조와 발전전략에 관한 논의는 오래 전부터 있어왔으며, 경제기반이론(economic base theory)과 성장극 이론(growth pole theory)에서부터 최근에는 지역산업구조의 다양성, 지역화 경제(localized economies), 직종구조(occupational structure), 지역혁신 등에 논의에 이르기까지 다양하다. 기후변화는 산업구조를 비롯하여 발전전략을 구성하는 기초조건을 변화시킬 수 있지만 아직까지 기후변화와 그 영향에 대한 논의는 시작단계에 불과하다.

이 연구에서 각 직종별 작업역량의 감소 정도를 추정하였다. 그리고 각 직종별 작업역량의 감소 정도를 지역의 근로자 수, 고용구조와 연계하여 지역에 감소할 수 있는 작업역량의 총량을 근로자 수로 산정하고, 총 종사자에 대한 비율을 이용하여 공간적 군집을 파악하였다. 이 결과는 비록 현재의 직종구성이 미래까지 유지된다는 강한 가정을 하였지만, 지역차원에서 중·장기적 발전방향을 어떻게 구성해야 할 것인가와 관련해서는 중요한 시사점이 있다. 지역의 산업구조와 직종구조는 쉽게 변화하지 않으며, 중·장기적인 발전 방향과 연계하여 서서히 변화한다. 기후변화로 인한 기온상승에 따라 지역 전체의 작업역량이 크게 감소할 수 있다면 지금부터 지역발전정책(regional development policy)과 관련된 정책의 변화를 통하여 적응해나가야 할 필요가 있다.

앞선 생산성 논의와 연계하여, 고온노출에 위험이 존재하는 지역의 산업은 근로자의 낮은 생산성이 지속될 경우 그렇지 않은 지역으로 이전할 가능성이 높다. 특히 해당 직종이 집중되어 있는 산업이 지역의 기반산업이고 특화된 정도가 높을 때, 타 지역으로의 이전은 지역경제에 큰 영향을 줄 수 있다. 이러한 현상에 대해 사전적으로 대응하기 위해서는 지역 단위에서 지역산업과 직종 구성에 대한 조사와 기후변화

영향에 대한 가능성을 추가적으로 파악할 필요가 있으며 발전전략 역시 기후변화에 적응할 수 있는 방향으로 수정되어야 한다. 기후변화 영향에도 지속가능성을 유지할 수 있는 전략을 수립하기 위해서는 지역의 중심산업으로 발전시키고자 하는 산업 내에서 직종구성과 다양성, 기후변화 영향에 대한 민감성 등이 더욱 면밀하게 고려되어야 할 것이다.

참고문헌

<국문 자료>

공군본부. 「혹서기 훈련운영 규정, 공군규정」. 3-17 제8호 제1항.

기상청. 2012. 「한반도 기후변화 전망보고서」. 기상청, p.75-76.

박종길 외. 2008a. “추정된 흑구온도를 이용한 WBGT의 적용에 관한 연구”, 「한국대기환경학회 추계학술대회 논문집」. 한국대기환경학회, pp.413-414.

_____. 2008b. “폭염발생 기준 설정에 관한 연구”. 「한국환경과학회지」. 17(6): 657-669.

백용규. 2005. “인간의 열적 쾌적환경”. 「설비저널」. 34(4): 10

산업안전보건연구원. 2011. 「제3차 근로환경조사」.

유영화. 2013. 「건설현장의 여름철 폭염 재해 예방을 위한 안전관리 시스템 개선에 관한 연구」. 금오공대 석사학위논문, pp.6-8.

육군본부. 「혹서기 지휘조치, 육군규정」. 330, 제76호.

통계청. 2007. 「제6차 한국표준직업분류」.

한국산업안전공단. 1991. 「작업환경측정방법; 고열폭로 노출기준」. 노동부고시 제91-2호.

_____. 2007. 「고열작업환경 관리 지침」.

KS A ISO7243. 2005. 「고온환경-습구 흑구 온도(WBGT) 지수에 의한 작업자의 열 스트레스 추정」, 한국표준기술원.

<영문 자료>

ACGIH. 1998. *TLVs and BEIs, Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents*.

_____. 2011. *TLVs and BEIs: Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices*.

Anselin, L. 1995. “Local Indicators of Spatial Association-LISA”, *Geographical Analysis*, 27(3): 186-206.

Budd, G. M. 2008. “Wet-bulb globe temperature(WBGT)-its history and its limitations”. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(1): 20-32.

Cronin, S. et al. 2013. “Work capacity assessment and return to work: a scoping review”, *Work* 44(1): 37-55.

Dawson, N. J. 1993. “Body temperature and exercise performance”. *Exercise: The Physiological Challenge*. pp.131-146. Hill, P. M. eds. Auckland, NJ: Conference Publication Limited.

d’Ambrosio Alfano, F. R. et al. 2014. “WBGT index revisited after 60 years of use”. *Annals of Occupational Hygiene*, 58(8): 955-970.

Gaspar, A. R., D. A. Quintela. 2009. “Physical modeling of globe and natural wet bulb temperatures to predict WBGT heat stress index in outdoor environments”. *International Journal of Biometeorology*, 53(3): 221-230.

IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and II to the Fifth Assessment Report of Intergovernemtnal Panel on Climate Change[Core Writing Team, R.K. Pachauri and L. A. Meyer(eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.

ISO 7243(1989) *Hot Environments-Estimation of the Heat Stress on Working Man, based on the WBGT-index. International Standard.*

Kerslake, D. M. 1972. *The stress of Hot Environments*. Cambridge University Press.

Kjellstrom, T. et al. 2000. “Climate change, heat exposure and labour productivity”. Epidemiology 11: S144.

_____. 2009a. “The Direct impact of climate change on regional labor productivity”. *Archives of environmental & Occupational Health* 64(4): 217-227.

_____. 2009b. “Workplace heat stress, health and productivity-an increasing

challenge for low and middle-income countries during climate change". *Global Health Action* 2:1-6.

Kolokotsa, D., A. Psomas, and E. Karapidakis. 2009. "Urban heat island in southern Europe: The case study of Hania, Crete". *Solar Energy* 83(10): 1871-1883.

Moran, D. S., A. Shitzer, and K. B. Pandolf. 1998. "A physiological strain index to evaluate heat stress". *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 275(1): R129-R134.

NIOSH. 2013. *Criteria for Recommended Standard: Occupational Exposure to Heat and Hot Environments*.

Ramsey, J. D. and T. E. Bernard. 2000. "Heat Stress". *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology vol 2*, Harris, R. eds. New York: John Wiley & Sons.

Steadman, R. G. 1994. "Norms of apparent temperature in Australia". *Aust. Met. Mag* 43: 1-16.

WorkSafeBC. 2007. *Preventing Heat Stress at work*: pp.2-4.

Xiao, Y. and J. Drucker. 2013. "Does economic diversity enhance regional disaster resilience", *Journal of the American Planning Association*, 79(2): 148-160.

Yaglou,C. P. and D. Minard. 1957. "Control of heat casualities at military training centers". *AMA Arc Ind Health* 16(4): 302-316.

Abstract

The Regional Impacts of Climate Change on Labor Work Capacity

Climate change is an important factor in the future of local and regional economies. It transforms basic circumstances such as life patterns, working conditions, and industries. In particular, the rise in temperature will bring various impacts to individual labor, since blue-collar workers are vulnerable to heat stress. As the effects of climate change become greater, more exposure to heat stress is expected, which will damage employees' work capacity. Work capacity means each individual's work efficiency per hour. The work capacity of labor is a crucial element of labor productivity and regional economies, considering the climate change impact. This means that additional time or labor will be needed to produce the same thing in occupations vulnerable to heat stress.

This study estimates the future work capacity of RCP 8.5 scenarios, and discusses their regional effects from the perspective of Korea's occupational structures. The wet-bulb globe temperature (WBGT) is used to analyze the relationship between sensory temperature and work capacity. To estimate the work capacity of each occupational group, we used the exposure of physical working risks in the Korea Working Conditions Survey. The work capacity of each occupational group is classified into five categories, from 200 to 500 watts in relation to the aspects of "hard-working" and "high exposure to heat stress." The results showed that 52 vocations are at risk for heat stress, such as machine operators and elementary laborers in the construction, welding, metal, and mining industries.

The loss in work based on wattage due to WBGT changes (a heat stress index) is more pronounced in jobs with a high risk of heat exposure.

The results indicate loss in work capacity according to temperature increases, independent of the actual number of employees. At 200w, work capacity is predicted to change minimally by 2020. However, by 2050, changes will be observed in areas with dramatic WBGT increases. At 300w, over 50% of work capacity loss is predicted, with the exclusion of some parts of the northeastern and inland (central region) mountainous areas. At 400w, a pattern similar to that of 300w is observed, though the places with a significant loss in work capacity appear to be more widely distributed. At 500w, over 80% of work capacity loss is observed outside of high-altitude, mountainous zones in the northeast. The spatial clusters of diminished work capacity appear in Korea's southeast and southwest. The High-High clusters are expected to extend spatial scope to neighboring areas.

Work capacity means each individual's work efficiency per hour. The work capacity of labor is a factor in labor productivity and regional economies, considering the climate change impact. This means that additional time or labor will be needed to produce the same thing in vocations vulnerable to heat stress. This study suggests two policy implications for climate change adaptation: labor productivity during heat stress, and the need to diversify regional development strategies. The impact of heat stress on labor can cause health and safety problems. Institutional improvements in the work environment are needed for at-risk jobs. In addition, the concentrated regions of diminished work capacity are likely to experience an outflow of firms, skilled labor, and capital; thus, local governments must begin to change the industry structures and diversify the jobs in such regions. These results suggest the need for adaptation policies in terms of regional development strategies and labor safety.

Keywords: Work Capacity, Climate Change, WBGT, Vulnerable Occupation

연구진 약력

김동현

연세대학교 도시 및 지역계획학 박사

한국환경정책·평가연구원 부연구위원(현)

E-mail: donghyunkim@kei.re.kr

이준범

한양대학교 도시·SOC계획학 석사

한국환경정책·평가연구원 연구원(현)

E-mail: jblee@kei.re.kr

| KEI Working Paper 목록 | 2013~2015

2015년
2015-01 싱크홀 방지를 위한 환경영향평가 개선방안 연구(김윤승)
2015-02 이슈스캐닝(Horizon Scanning)기법 활용을 통한 물환경관리 부문 이머징 이슈 발굴 연구(한혜진)
2015-03 기후경제통합-지역평가모형(Regional Integrated Assessment Model of Climate and the Economy) 비교분석 및 국내 모형개발을 위한 기초연구(황인창)
2015-04 기후변화로 인한 고온환경 근로자의 작업역량 저하 추정과 공간적 군집 파악(김동현)
2015-05 환경영향평가 설명회·공청회 운영현황 분석(조공장)
2015-06 도로 및 철도 사업의 토양분야 환경영향평가 사례 연구(신경희)
2015-07 빅데이터를 활용한 환경보건서비스에 관한 기초연구(간순영, 윤성지)
2015-08 자원순환분야 지속가능발전목표(SDGs) 이행 기반 마련을 위한 기초연구(임혜숙)
2015-09 내륙습지에 대한 환경영향평가 개선방안 연구 I
– 환경부 전국내륙습지 조사 지침(2011)의 적용을 중심으로(방상원)
2015-10 자원순환성 평가제도 대상 확대를 위한 기초연구(이소라)
2015-11 환경소음 빅데이터의 정책 활용성 제고 방안(박영민)
2015-12 인과지도(Causal Loop)를 활용, 미래 물수급관리 정책 지원을 위한 기초연구(류재나)
2015-13 생물안전 법제 기초연구(홍현정)
2015-14 지방자치단체 환경영향평가 조례 운영현황 및 효율화 방안(선효성)
2015-15 개발사업의 비점오염 영향평가방법 개발을 위한 기초연구(이진희)
2015-16 환경영향평가제도에서의 생태계보전협력금 활용 개선방안(이상범)
2015-17 환경가치 중장기 연구수요 조사(곽소윤)
2015-18 세종특별자치시의 대기질 관리 기획 연구(심창섭)
2015-19 2015 국민환경의식조사 연구(곽소윤)

2014년
2014-01 국내 지하수의 자원·환경적 가치 확립을 위한 기초연구(현윤정)
2014-02 층간소음의 건강영향에 대한 기초연구(박영민)
2014-03 소음원 종류에 따른 3차원 소음예측모델 적용방안 마련(선효성)
2014-04 개발사업 입지 및 계획기준의 조사·분석에 관한 연구(주용준)
2014-05 기후변화 취약 근로 직종 파악을 위한 기초 연구(김동현)
2014-06 불확실성을 고려한 수질오염총량관리 안전율 산정 기초연구(정선희)
2014-07 기후변화 적응을 위한 공간계획 수립 시 도시/환경/방재분야 공간정보 연계·활용방안 연구(김태현)
2014-08 기후변화를 반영한 내수침수 리스크 평가 방법론 고찰(류재나)
2014-09 SEA 사후관리를 위한 해외 사례연구(조한나)

2014-10 농어촌 관련 정책 및 계획에서의 기후변화 적응 고려 방안(임영신)
2014-11 소음·진동 사후관리를 위한 기초연구(선효성)
2014-12 2014 국민환경의식조사 연구(이미숙)

2013년
2013-01 토양자원 유실 최소화를 위한 국내외 환경영향평가 사례 연구(신경희)
2013-02 PM-2.5 환경영향평가 방안 연구(이영수)
2013-03 지자체 적응대책 수립지원을 위한 기후변화 시나리오 자료 활용 방안(정휘철)
2013-04 기후변화에 따른 도심지역 지질재해 리스크 체계 마련(이명진)
2013-05 비전통가스 개발의 환경영향평가 가이드라인 마련을 위한 기초연구(조한나)
2013-06 모니터링을 통한 친환경 계획기법의 적절성 검증 기초연구 – 도시공간에서의 stepping stone을 중심으로(최희선)
2013-07 국가와 지자체의 기후변화 적응대책 실효성 제고를 위한 연계강화 방안(임영신)
2013-08 KEI 환경정보체계 발전방안(전성우)
2013-09 도시하천 유역의 환경평가 방법 마련을 위한 기초 연구(홍현정)
2013-10 제조업 환경비용의 국제비교(조일현)
2013-11 바이오가스의 신재생연료 의무혼합제도에 관한 해외사례 분석(조지혜)
2013-12 자연경관심의제도의 현황분석 및 제도 개선방안(주용준)
2013-13 층간소음 관리를 위한 기초연구(박영민)
2013-14 지속가능성 관점에서의 산업구조 변화 분석(이미숙)
2013-15 KEI 중국환경 중장기 연구계획 수립을 위한 기획연구(추장민)
2013-16 기후변화 적응관련 취약계층 지원대책 현황조사 및 분석 연구(신지영)
2013-17 한국 ODA사업의 환경평가 모니터링 현황과 해외사례 비교 연구 – 사업 종료 후 모니터링 사례를 중심으로(김태형)
2013-18 국내 전략환경평가의 사회·경제성 부문 기능 확립을 위한 기초연구(이상윤)
2013-19 환경영향평가시의 시설별 유해대기오염물질 배출량 산정을 위한 기초연구(주현수)
2013-20 지형장애물 분석을 통한 환경현황자료 작성방안(김지영)
2013-21 상수원보호구역 상·하류의 수변지역 관리방안 연구 – 잠실상수원 보호구역과 팔당상수원 보호구역 구간 중심으로(김태윤)
2013-22 2013 국민환경의식조사 연구(이미숙)

※ KEI 설립 이후 현재까지의 보고서 원문은 KEI 홈페이지(www.kei.re.kr)에서 보실 수 있습니다.

KEI Working Paper 2015-04

기후변화로 인한 고온환경 근로자의 작업역량 저하 추정과 공간적 군집 파악

한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

30147 세종특별자치시 시청대로 370
세종국책연구단지 B동(과학 · 인프라동)
Tel 044.415.7777 Fax 044.415.7799
http://www.kei.re.kr

93530
9 788984 649453
ISBN 978-89-6464-945-3