

기후변화 건강영향 리뷰: 건강 부문 리스크를 중심으로

오지은* · 김아영** · 강신우* · 김호***†

*서울대학교 보건대학원 박사과정학생, **서울대학교 보건대학원 석사과정학생, ***서울대학교 보건대학원 교수

Health effects of climate change: Focusing on health sector risks

Oh, Jieun* · Kim, Ayoung** · Kang, Cino* and Kim, Ho***†

*Ph.D Student, Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea

**Master Student, Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea

***Professor, Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea

ABSTRACT

Climate change poses a serious public health challenge and is expected to yield diverse health impacts through various pathways. Therefore, this study aims to examine the effects of climate change on health by reviewing previous domestic reports and studies in South Korea. This study categorized research into four health sector risks: 1) Heatwave and rising temperature, 2) Air pollution, 3) Increasing temperature variability, and 4) Weather disasters. Regarding 1) Heatwave and rising temperature, consistent adverse health impacts have been identified, including heat-related illness, cardio-cerebrovascular disease, kidney disease, and respiratory disease. However, research on allergic disease, mental health, and infectious disease is limited. 2) Among major air pollutants, PM2.5 has been reported to increase the risk of cardio-cerebrovascular disease, respiratory and allergic disease, and mental health. Nevertheless, although the health risks of O₃ are expected to increase in the future, there is a lack of research on the health impacts. Previous studies have revealed that 3) Temperature variability is associated with cardio-cerebrovascular disease but needs to be defined by various criteria and period. The impact of 4) Weather disasters on mental health has been actively studied recently, emphasizing the need for related studies in South Korea. In conclusion, we expect that the results of this research review and summary will provide directions for future research and will be used as a basis for environmental policy development in South Korea.

Key words: Climate Change, Health Impacts, Health Sector Risks, Heatwave, Air Pollution, Temperature Variability, Weather Disasters

1. 서론

기후 변화는 건강에 광범위한 영향을 미칠 것으로 예상되며 중요한 공중 보건 문제로 대두되고 있다. 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)는 기후변화가 전 세계 사람들의 신체적, 정신적 건강에 부정적인 영향을 미치고 있으며 적절히 대응하지 못할 경우 인류의 건강이 심각한 위협이 초래될

수 있다고 경고하였다(IPCC, 2023).

이와 관련하여 국내에서는 「제3차 기후변화 적응대책 (2021 ~ 2025)」을 발표하고, 기후변화와 관련된 건강 부문의 13가지 리스크 항목을 제시하였다. 기후변화의 심화는 온열질환, 심뇌혈관계 질환, 호흡기·알레르기 질환의 증가와 더불어, 기후 변동성과 국제적 교류 증가로 인한 매개체 감염병의 증가로 이어질 수 있다. 최근에는 환경 변화로 인한 신종 감염병이나 기후 변화가 대기질 악화로 이

†Corresponding author : hokim@snu.ac.kr (1, Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-742, Korea. Tel. +82-2-880-2702)

ORCID 오지은 0000-0002-3934-5829
김아영 0009-0006-9478-6076

강신우 0000-0002-6230-7257
김 호 0000-0001-7472-3752

Lead authors : Oh, Jieun and Kim, Ayoung

Received: November 30, 2023 / Revised: December 4, 2023 / Accepted: December 20, 2023

어저 발생할 수 있는 추가적인 질병 부담 또한 예상되고 있다.

건강에 영향을 미칠 것으로 예상되는 대표적인 기후변화 관련 기상 현상은 크게 기온 상승, 폭염, 기온변동폭 등의 기온 변화, 대기질 변화, 그리고 기상 재해로 분류할 수 있다. 가장 직접적인 위협인 폭염과 기온 상승으로 인한 열 스트레스는 열에 노출되었을 때 항상성을 유지하기 위한 생리적 반응을 손상시킬 수 있으며, 이는 온열질환, 신장 손상 등 급성 병리학적인 상태로 이어질 수 있다 (Meade et al., 2020). 또한, 기후 변화는 대기 오염 문제를 증폭시키고 꽃가루 시즌의 기간과 강도에 영향을 미쳐 호흡기 질환과 알레르기성 질환의 위험을 증가시킬 수 있다 (D'Amato et al., 2014). 최근에는 홍수, 산불, 가뭄 등 기상 재해가 우울증, 불안, 외상후 스트레스 장애(PTSD, posttraumatic stress disorder) 등의 정신 건강 문제로 이어질 수 있음이 보고되기도 하였다(Palinkas and Wong, 2020).

이처럼 기후변화가 건강에 미치는 영향은 자명한 것으로 나타났으며, 국내에서도 이에 대응하기 위한 정책을 수립하려는 노력이 진행되고 있다(Ministry Concerned, 2020). 따라서 본 연구에서는 기후변화의 건강 영향과 관련된 연구 현황을 국내 보고서 및 연구 위주로 살펴보고, 향후 기후변화 관련 정책 수립을 위한 연구 방향을 제시하고자 하였다.

2. 기후변화의 건강 부문 리스크 관련 연구 현황

본 연구에서는 「제3차 기후변화 적응대책 (2021 ~ 2025)」에서 제시된 건강 부문의 리스크를 기반으로 기후변화가 건강에 미치는 영향에 대한 연구 현황을 살펴보고자 하였다(Ministry Concerned, 2020). 또한, 연구 결과를 기후변화 요인별로 살펴보기 위하여 각 리스크 항목을 ‘폭염과 기온 상승’, ‘대기오염’, ‘기온변동폭 증가’, ‘기상 재해’ 총 4개의 기후변화 요인에 따라 분류하였다. 본 연구에서 재구성한 건강 부문 리스크의 목록은 Table 1과 같다.

각 리스크 항목에 대한 연구 자료는 2022년 질병관리청에서 발간된 「제1차 기후보건영향평가 보고서」를 중심으로 정리하였으며(KDCA, 2022), 추가로 국내 연구기관의 보고서와 구글학술검색 엔진을 사용하여 선행연구 자료를 수집 및 정리하였으며, 본 연구에서는 관측된 기간(historical period) 동안의 결과만 포함하였으며, 미래 기간의 영향 전망과 관련된 연구 결과는 포함하지 않았다.

2.1. 폭염 및 기온 상승

폭염은 비정상적인 고온 현상을 뜻하며, 지역 및 국가별로 기후와 더위에 대한 적응도를 반영하여 다양한 기준으로 정의하고 있다. 우리나라에서는 기온과 습도를 고려하는 체감온도를 기준으로 33℃ 또는 35℃ 이상인 날이 2

Table 1. List of health risks due to climate change based on the 3rd National Climate Change Adaptation Measures reconstructed in this study

Climate factors	Health outcome	Risk ¹
Heatwave and rising temperature	Heat-related illness	H13
	Cardio-cerebrovascular disease (CVD)	H05
	Kidney disease	H12
	Respiratory system/Allergic disease	H10
	Mental health	H11
	Infectious disease	H01-H03
Air pollution	Cardio-cerebrovascular disease (CVD)	H04
	Respiratory system/Allergic disease	H08
	Mental health	H09
Increasing temperature variability	Cardio-cerebrovascular disease (CVD)	H06
Weather disasters	Mental health	H07

¹Risk number in the 3rd National Climate Change Adaptation Measures.

Table 2. Summary of research on health risks from heatwave and rising temperature

Health outcome	Impact assessment	References
Heat-related illness	- Reported hospitalization and mortality and excess hospitalization and mortality - Morbidity risk by hospitalization, outpatient, emergency room visit - Vulnerability factors	(KDCA, 2022) (Lim, 2019) (Hong et al., 2017)
Cardio-cerebrovascular disease (CVD)	- Excess hospitalization and mortality - Morbidity and Mortality risks - Mortality risk cardiovascular and cerebrovascular diseases - Excess out-of-hospital cardiac arrests	(KDCA, 2022) (Hong et al., 2017) (Woo et al., 2019) (Park et al., 2022)
Kidney disease	- Excess emergency room visit and hospitalization - Morbidity risk - Morbidity risk for the acute and chronic kidney disease	(KDCA, 2022) (Lee et al., 2019) (Kim et al., 2018)
Respiratory system/Allergic disease	- Mortality risk for respiratory disease - Hospitalization risk for asthma - Morbidity risk by types of the allergic disease - Hospitalization risk for the atopic dermatitis and rhinitis - Hospitalization risk for the allergic disease	(Woo et al., 2019) (Lim et al., 2012) (Chae et al., 2017) (Park et al., 2016) (Son et al., 2014)
Mental health	- Emergency room visit for the mental illness - Mortality for the suicide - Current research on the mental illness - Mortality for the mental and behavioral disorders	(Bae et al., 2015) (Kim et al., 2019) (Chae et al., 2017) (Kim, Lim, et al., 2015)
Infectious disease	- Morbidity risk - Excess hospitalization for the infectious disease of the intestines - Current research on the insect- and animal-borne infectious diseases	(Hong et al., 2017) (KDCA, 2022) (Chae et al., 2017)

일 이상 지속될 것으로 예상되는 경우 폭염주의보 또는 폭염경보를 발표하고 있다.

기상청에 따르면 우리나라에서는 폭염과 같은 극한 기후 현상이 증가하고 있으며, 기온 또한 장기간에 걸쳐 상승하고 있는 것으로 나타났다(KMA, 2020). 지난 109년간(1912~2020) 우리나라의 연평균 기온은 10년당 0.2℃씩 증가하였으며, 특히 최근 30년(1991~2020) 연평균 기온은 20세기 초에 비하여 1.4℃ 상승한 것으로 보고되었다(KMA, 2020).

본 연구에서는 폭염과 기온 상승이 건강에 미치는 영향을 총 14개의 문헌을 통해 살펴보았다. 그 중 3개 문헌에서 온열질환, 4개 문헌에서 심뇌혈관계 질환, 3개 문헌에서 신장질환, 5개 문헌에서 호흡기계·알레르기 질환, 4개 문헌에서 정신건강, 3개 문헌에서 감염성 질환에 대한 결

과를 도출하였다(Table 2).

2.1.1. 온열질환(H13)

온열질환은 주로 열사병, 열실신, 열경련, 열탈진, 열부종 등으로 정의된다. 2011년부터 2020년까지의 기간 동안 집계된 온열질환 입원환자 수는 연평균 1,487명, 온열질환으로 인한 사망자수는 연평균 61.2명인 것으로 나타났다(KDCA, 2022). 또한, 폭염으로 인한 온열질환의 초과 응급실 방문자수는 연평균 654.5명, 초과 입원환자 수는 평균 262.2명으로 추산되었다. Lim (2019)의 연구에서는 일 평균기온과 서울 지역에서의 온열질환으로 발생 위험 간 연관성을 추정한 결과, 입원은 25℃ 이상에서, 외래는 28℃ 이상에서 급격한 증가를 보였으며, 응급실 입원은 기온 상

승에 따라 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한, Hong et al. (2017)의 연구에 따르면, 취약성 요인 분석 결과, 65세 이상 인구, 독거노인, 기초생활수급자, 등록장애인 비율이 높은 지역에서 온열질환의 발생위험이 높았다.

2.1.2. 심뇌혈관계 질환(H05)

심뇌혈관계 질환과 관련하여 지난 6년간(2014~2019) 폭염으로 인한 초과 응급실 방문자 수는 연 평균 278명, 지난 10년간(2010~2019) 초과 입원환자 수는 연 평균 696.8명으로 추산되었다(KDCA, 2022). Hong et al. (2017)의 메타분석 결과, 기온 1℃ 상승 시 심혈관 질환으로 인한 사망은 5% (95% CI: 2%-8%), 질환 이환율은 2% (95% CI: 0.1%-5%) 상승하는 것으로 나타났다. 또 다른 연구(Woo et al., 2019)의 메타분석 결과에서는, 기온 1℃ 상승 시 심혈관 질환으로 인한 사망은 5% (95% CI: 3%-6%), 뇌혈관 질환으로 인한 사망은 4% (95% CI: 3%-6%) 증가하는 것으로 나타났다. 또한, Park et al. (2022)의 연구에서는 2008년부터 2018년까지의 기간 동안 병원 밖 심정지 위험에 대하여 저온이 미치는 영향이 점차 감소한 반면, 고온이 미치는 영향은 증가하고 있음을 보고하였다.

2.1.3. 신장질환(H12)

급성 신장질환과 관련하여 지난 6년간(2014~2019) 폭염으로 인한 초과 응급실 방문자 수는 연 평균 244.4명, 지난 10년간(2010~2019) 초과 입원환자 수는 연 평균 120.5명으로 추산되었다(KDCA, 2022). Lee et al. (2019)의 메타분석 결과에서는, 폭염 역치온도 미만인 경우에 비하여 이상인 경우에 신장질환 이환 위험이 31% 증가하는 것으로 추정되었으나, 분석대상이 된 연구의 수가 적고 대상 질환도 신장산통과 신장결석에 집중되어 있었다는 한계점이 존재하였다. 또한, Kim et al. (2018)의 연구에 따르면, 기온이 상승할수록 급성 신장질환의 위험이 증가하는 것으로 나타났으나, 만성 신장질환에서는 통계적으로 유의한 연관성이 발견되지 않았다.

2.1.4. 호흡기계·알레르기 질환(H10)

Woo et al. (2019)의 메타분석 연구 결과에 따르면, 호흡기계 질환으로 인한 사망은 기온 1℃ 상승 시 2% (95% CI: 1%-4%) 증가하는 것으로 추정되었으며, 폭염이 아닌 기간에 비해 폭염인 기간 동안 11% (95% CI: 1%-23%)

증가하는 것으로 나타났다. 또한, Lim et al. (2012)의 연구에 따르면, 일교차가 1℃ 증가할 시 호흡기계 질환 중 천식의 입원 위험이 1.1% (95%CI: 0.1%-2.0%)로 가장 크게 증가하는 것으로 나타났다.

한편, 알레르기 질환의 경우, 천식을 제외한 비염, 아토피피부염 등 알레르기 질환과 기온의 연관성을 조사한 연구는 아직 부족한 실정이며, 일관된 연구 결과가 확인되지 않았다(Chae et al., 2017). 예를 들어, Park et al. (2016)의 연구에 따르면 폭염에서 서울 지역의 아토피피부염으로 인한 입원과 외래가 증가하였으나, 비염의 경우 통계적으로 유의한 증가가 나타나지 않았으며, Son et al. (2014)의 연구에 따르면 폭염에서 전국의 알레르기 질환의 입원 위험은 통계적으로 유의하게 증가하지 않는 것으로 나타났다.

2.1.5. 정신건강(H11)

Bae et al. (2015)의 연구에 따르면, 기온이 10℃ 증가시 정신질환으로 인한 응급실 방문위험은 8.1% 증가하는 것으로 나타났다. Kim et al. (2019)의 연구에 따르면, 최소 자살이 발생한 기온 대비 최대 자살이 발생한 기온에서 자살로 인한 사망 위험은 1.61배(95% CI: 1.46-1.78) 높은 것으로 추정되었다. 또한, 서울 지역을 대상으로 한 Kim, Lim, et al. (2015)의 연구에서는, 고온에서 정신 및 행동 장애로 인한 사망이 1.04배(95% CI: 1.01-1.07) 높은 것으로 나타났다. 그러나, 기후변화가 정신건강에 미치는 영향의 중요성에 대한 인식이 높아지고 있음에도 불구하고, 여전히 기온 변화가 정신건강에 미치는 영향을 정량적으로 분석한 연구는 부족한 실정이었다(Chae et al., 2017).

2.1.6. 감염성 질환(H01-H03)

Hong et al. (2017)에 따르면, 현재 기후변화와 감염성 질환 간 관계에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있는 중이며, 메타분석 결과 기온 1℃ 상승 시 감염성 질환으로의 이환 위험은 1% 상승하지만 통계적으로 유의하지 않았다. 장감염질환과 관련하여서는, 고온의 기여위험분율은 초과 입원자수에 대해 1.8% (95% CI: 0.3%-3.1%), 초과 응급실 방문자 수에 대해 2.1% (95% CI: 0.7%-3.4%)인 것으로 추정되었으며, 이는 모두 각각의 저온의 기여위험분율(4.9%, 20.2%)보다는 낮은 수준이었다(KDCA, 2022).

한편, 질병관리청에 따르면 기후변화로 인한 생태계의 변화로 증가할 것으로 예상되는 감염성 질환으로 모기매개,

진드기매개 감염병이 포함된다(KDCA, 2022). 그러나, 현재 까지 우리나라에서 기온이 곤충·동물 매개 감염병에 미치는 영향에 대한 연구 결과는 대부분 말라리아에 미치는 영향에 집중되어 있는 것으로 나타났다(Chae et al., 2017).

2.2. 대기오염

대기오염은 공기 중에 유해한 물질이 존재하여 인간의 건강과 환경에 악영향을 미치는 현상을 의미한다. 주요 대기오염 물질로는 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}), 이산화질소(NO₂), 이산화황(SO₂), 오존(O₃), 일산화탄소(CO)가 있다. 이와 같은 오염물질을 규제하기 위해 환경부에서는 행정 목적을 위한 대기 환경 기준과 PM₁₀, PM_{2.5}와 O₃에 대해 주의보 또는 경보를 발령하기 위한 실시간 평균농도 기반의 기준을 설정하였다.

한편, 기후 변화는 기온, 바람, 구름양, 강수 등의 변화를 통해 대기질에 영향을 줄 가능성이 있다(Ministry of Environment, 2020). 특히, 기후변화가 대기오염 물질 중 PM₁₀, PM_{2.5} 및 O₃ 농도 수준을 증가시킬 수 있다는 점이 널리 알려져 있다(KDCA, 2022). 이와 관련하여, 우리나라의 PM_{2.5} 농도값은 최근 감소하고 있는 추세이기는 하나, 2019년 기준 농도값이 27.5 µg/m³로, OECD 평균 농도값인 13.9 µg/m³에 비해 대략 두 배 가량 높은 것으로 나타났다(OECD, 2023). 또한, 우리나라에서 O₃의 연평균

농도는 2010년 35.8 ppb에서 2019년 45.0 ppb로 점차 증가하고 있는 것으로 나타났다(KDCA, 2022).

대기오염이 건강에 미치는 영향은 일시적인 증상에서 사망에 이르기까지 다양하며, 이는 단기 노출과 장기 노출 모두에서 기인한다(KDCA, 2022). 본 연구에서는 대기오염이 건강에 미치는 영향을 총 13개의 문헌을 통해 살펴보았다. 그 중 5개 문헌에서 심뇌혈관계 질환, 4개 문헌에서 호흡기계·알레르기 질환, 4개 문헌에서 정신건강에 대한 결과를 도출하였다(Table 3).

2.2.1. 심뇌혈관계 질환(H04)

최근 5년간(2015 ~ 2019) PM_{2.5} 단기 노출로 인한 전국 심뇌혈관질환 초과 사망자는 총 3,505명, 초과 입원자수는 총 52,617명으로 추산되었다(KDCA, 2022). Oh et al. (2023)은 65세 이상 노인의 심혈관질환 사망률과 PM_{2.5} 장기 노출 간의 유의한 연관성을 확인하였으며(10 µg/m³ 증가당 HR: 1.17, 95% CI: 1.11-1.24), 이 연관성은 남성, 낮은 연령, 저소득층에서 더 크게 나타났다. Kwon et al. (2021)에 따르면, 모든 뇌혈관질환의 사망률이 SO₂, PM₁₀, PM_{2.5} 농도에 따라 증가하였으며, 특히 뇌경색에서 이런 경향이 두드러지게 나타났다. O₃의 단기 영향을 살펴본 Shin et al. (2023)의 결과에 따르면, O₃의 1 ppb 농도 증가 당 심뇌혈관계 질환 사망 위험은 0.05% 증가하는 것으로 나타

Table 3. Summary of research on health risks from air pollution

Health outcome	Impact assessment	References
Cardio-cerebrovascular disease (CVD)	- Excess hospitalization and mortality	(KDCA, 2022)
	- Mortality risk for the cardiovascular disease among the elderly	(Oh et al., 2023)
	- Mortality risk for the cerebrovascular disease	(Kwon et al., 2021)
	- Mortality and morbidity risk for the cardiovascular disease	(Shin et al., 2023)
	- Current research on the health impact of O ₃	(Kim et al., 2020)
Respiratory system/Allergic disease	- Hospitalization risk for the respiratory disease	(Ahn et al., 2015)
	- Lung function	(Lee et al., 2022)
	- Medical cost for the allergic rhinitis	(Kim et al., 2023)
	- Morbidity risk for the atopic dermatitis	(Baek et al., 2021)
Mental health	- Suicide risk	(Hwang et al., 2022)
	- Depressive disorder risk	(Kim et al., 2016)
	- Depression risk	(Hong et al., 2014)
	- Emergency room visit for the paint attack	(Cho et al., 2015)

났으며, 이는 특히 80세 이상 인구집단에서(0.08%) 두드러졌다. 하지만 연평균 농도 등을 활용하여 오존에 대한 장기간 노출이 심혈관계 질환에 미치는 영향을 살펴본 연구 결과는 여전히 부족한 것으로 나타났다(Kim et al., 2020).

2.2.2. 호흡기계·알레르기 질환(H08)

Ahn et al. (2015)에 따르면, 2015년 기준 각 대기오염농도의 10 단위 증가 시 전국의 호흡기계 신규입원 발생위험 백분율은 PM₁₀은 8.11(95% CI:3.96-12.43), SO₂는 100.25(95% CI: 44.95-179.66), O₃은 11.99(95% CI: 5.78-18.56)로 나타났다. 특히, 65세 이상 연령집단의 경우 PM₁₀의 영향이 전체 연령에 비해 더 큰 것으로 나타났다. Lee et al. (2022)의 연구 결과에서는 PM_{2.5} 10 µg/m³ 증가 당 1초 폐기능 (FEV₁)은 예측치 대비 1%, 6초 폐기능(FEV₆)은 예측치 대비 0.9%의 폐기능 감소가 있음을 확인하였다. Kim et al. (2023)의 연구에 따르면, 알레르기성 비염의 의료비용은 PM₁₀, NO₂, CO에서 1 표준편차 증가 당 각각 6.22% (95% CI: 0.0%-12.37%), 11.27% (95% CI: 6.03%-16.50%), 11.05% (95% CI: 7.09%-15.01%) 증가한 것으로 나타났다. Baek et al. (2021)에 따르면 아토피피부염으로 인한 의료방문 위험은 PM₁₀(RR: 1.009; 95% CI: 1.007-1.012), O₃(1.028; 1.023-1.033) 및 SO₂(1.033; 1.030-1.037)와 유의한 연관성을 보였다. 특히 O₃는 모든 연령 및 성별 그룹에서 높은 의료방문 위험의 증가와 연관성을 보였다.

2.2.3. 정신건강(H09)

Hwang et al. (2022)에 따르면 자살 하루 전의 PM₁₀ 및 PM_{2.5} 농도는 실제 자살과 유의한 연관성이 있는 것으로 나타났다(PM₁₀ OR 1.19; 95% CI: 1.03-1.36, PM_{2.5} OR 1.17, 95% CI 1.03-1.34). Kim et al. (2016)의 연구에 따르면, 전국 PM_{2.5}의 10 µg/m³ 증가에 따른 주요 우울장애 위험비는 1.59(95% CI: 1.02-2.49)로, 이 연관성은 만성 질환을 갖고 있던 환자들에서 더 두드러지게 나타났다. Hong et al. (2014)의 연구에서 건강검진 전 일주일 간 대기오염물질 노출이 우울증에 미치는 영향을 살펴본 결과,

PM₁₀과 NO₂ 노출은 우울증과 유의한 양의 상관관계가 확인되었으나, O₃에서는 유의한 관계가 확인되지 않았다. 반면, Cho et al. (2015)에 따르면 O₃의 1 표준편차(약 10 ppb) 증가 당 공황발작으로 인한 당일 응급실 방문이 5.1%만큼 유의하게 증가하는 것으로 나타났다.

2.3. 기온변동폭

기후변화로 인한 기온변동폭을 다룬 보고서에서는, 계절 내 월별 기온격차, 한달 동안의 기온격차, 하루 동안의 기온격차에 대한 개념이 혼용되어 사용되고 있는 것으로 나타났다. 관계부처합동 보고서인 「2020년 이상기후 보고서」에 따르면, 2020년에는 6월에 이른 폭염이 나타나고 7월에는 기온 역전 현상이 나타났으며, 8월 중순 이후부터는 폭염과 열대야가 지속되는 등 여름철 월별 기온변동폭이 매우 큰 것으로 보고되었다(Ministry Concerned, 2021). 한편, 「2021년 이상기후 보고서」에서는 2021년 1월과 10월에 1973년 이후 가장 큰 한달 동안의 기온변동폭을 기록한 것으로 보고하였으며, 구체적으로 1월 중 평균기온이 가장 낮았던 날과 높았던 날의 기온차는 19.7℃, 10월 중 기온차는 16.2℃로 나타났다(Ministry Concerned, 2022). 또한, 기상청의 기후분석정보에 따르면 환절기에 해당하는 10월 동안 일교차가 10℃ 이상인 일수는 2021년 18.6일, 2022년 18.4일, 2023년 21일로, 이전 연도들에 비하여 2023년에 일교차가 증가한 것으로 나타났다(KMA, 2023). 하지만 기온변동폭이 건강에 미치는 영향을 살펴본 국내 연구는 매우 제한적이었으며, 본 연구에서는 우리나라를 대상으로 한 3개의 연구를 통해 기온변동폭이 심뇌혈관계 질환에 미치는 영향을 살펴보았다(Table 4).

2.3.1. 심뇌혈관계 질환(H06)

기온변동폭의 건강영향에 대한 연구 결과는 일교차 (DTR, Diurnal Temperature Range)를 활용한 것이 대부분이었다. 서울지역 65세 이상 인구집단을 대상으로 한 Kim,

Table 4. Summary of research on health risks from increasing temperature variability

Health outcome	Impact assessment	References
Cardio-cerebrovascular disease (CVD)	- Mortality risk for the ischemic heart disease	(Kim, Kim, et al., 2015)
	- Hospitalization for the heart failure	(Lim et al., 2012)
	- Mortality risk for non-external, cardiovascular disease, and respiratory diseases	(Lee et al., 2017)

Table 5. Summary of research on health risks from weather disasters

Health outcome	Impact assessment	References
Mental health	- Morbidity for the mental disease among those with flood-and weather-damaged homes	(Graham et al., 2019)
	- Systemic mapping for flooding and mental health	(Fernandez et al., 2015)
	- Current research on the psychological disasters relief systems	(Kim et al., 2017)

Kim et al. (2015)의 연구에 따르면, 일교차가 1℃ 증가할 때 허혈성 심장질환의 사망은 남성에서 1.5%, 여성에서 1.7% 증가하였으며, 뇌혈관 질환에 의한 사망은 남성에서 1.6%, 여성에서 1.0% 증가하는 것으로 나타났다. 또한, Lim et al. (2012)의 연구에 따르면, 일교차범위가 1℃ 증가할 시 심부전으로 인한 입원이 3.0% (95% CI: 1.4%-4.6%) 증가하는 것으로 추정되었으며, 이는 뇌졸중, 심근경색증, 허혈성 심질환, 부정맥 등 다른 심혈관계 질환에 비해 높은 것으로 나타났다. 한편, 일교차 뿐만 아니라 일평균 기온을 분석 모델에서 함께 고려한 Lee et al. (2017)의 연구결과에 따르면, 심혈관 질환 사망에 대한 일평균 기온의 기여위험분율은 15.65% (95% CI: 11.70%-18.97%), 일교차 10℃ 증가의 기여위험분율은 0.9% (95% CI: 0.02%-1.73%)으로 추정되었으며, 일평균 기온을 보정한 후에도 기온의 변동 폭이 독립적으로 사망에 영향을 미친다는 결과를 보고하였다. 특히, 심혈관 질환 사망에 대한 일교차의 영향은 전체 비사망 사망(0.8%)과 호흡기계 질환 사망(0.16%)에 대한 영향보다 큰 것으로 나타났다.

2.4. 기상재해

기상재해란 산불, 태풍, 홍수, 산사태, 가뭄 등 기상현상이 원인이 발생하는 재해를 의미한다. IPCC에서는 지구 평균기온이 1.5℃ 상승하면 폭염, 집중호우, 가뭄의 빈도가 각각 4.1배, 1.5배, 2.0배 늘어날 것으로 예측했다 (IPCC, 2021). 제3차 기후변화 적응대책에 따르면, 최근 10년 간(2009~2018) 자연재해로 194명의 인명피해 및 약 20만 명의 이재민 발생하였고, 재산 피해에 따른 경제적 손실은 3조 4천억원으로 추산되었다. 특히, 태풍과 호우로 인한 피해액이 전체 피해규모의 87.7%에 달하여 기상재해 원인 중 가장 큰 비중을 차지하였다. 이런 기상재해들은 사람들에게 직접적인 외상 뿐 아니라 정신적인 후유증도 야기할 수 있음에도 불구하고(KDCA, 2022), 이에 대한 국내 연구는 매우 부족한 실정이다. 본 연구에서는

기상재해가 건강에 미치는 영향을 총 3개의 문헌을 통해 살펴보고, 정신건강에 대한 결과를 도출하였다(Table 5).

2.4.1. 정신건강(H07)

Graham et al. (2019)은 태풍이나 홍수 피해로 주택 피해를 받은 사람들의 정신 장애 위험을 살펴보았으며, 그 결과 피해를 받은 사람들은 받지 않은 사람들에 비해 1.5배(95% CI: 1.08-2.07) 만큼 정신 장애와의 연관성이 더 높은 것으로 나타났다. 이 연관성은 여성, 저연령, 좋지 않은 건강 상태 및 음주자일수록 더 높게 나타났다. Fernandez et al. (2015)은 하천 유역의 폭우로 인한 홍수가 정신건강에 미치는 영향에 대해 종합적인 검토를 시행하였으며, 정신 장애 종류에 따른 평가에서 PTSD의 경우 홍수 전과 비교하여 홍수 피해 이후 유병률이 유의하게 증가한 것으로 나타났다. 이처럼 재난 이후 환경의 변화, 경제적 피해, 대인관계의 변화는 지속적인 삶의 스트레스 요인으로 작용하며, 2차 트라우마의 요인으로 작용한다. 하지만 우리나라의 경우, 여전히 사회경제적 피해 또는 국민 불안 및 심리적 피해에 대한 관리보다는, 주로 물질적인 보상을 위한 구호 및 인프라 중심의 재난 관리 시스템이 운영된다는 점이 지적되기도 하였다(Kim et al., 2017).

3. 요약 및 고찰

많은 연구들에서 기후변화 요인과 건강영향 간 관련성을 제시하였다. 먼저, 폭염으로 인한 건강 부문 리스크는 온열질환, 심뇌혈관계 질환, 신장질환, 호흡기계·알레르기 질환, 정신건강, 감염성 질환 등 총 6가지 영역의 건강 결과를 포함하였으며, 국내 보고서 7개와 그 외 국내 및 국외 연구 7개로 총 14개의 연구에서 평가되었다(Bae et al., 2015; Chae et al., 2017; Hong et al., 2017; KDCA, 2022; Kim et al., 2018, 2019; Kim, Lim, et al., 2015; Lee et al., 2019; Lim, 2019; Lim et al., 2012; Park et al., 2016,

2022; Son et al., 2014; Woo et al., 2019). 보고서 및 문헌 검토 결과, 온열질환, 심뇌혈관 질환, 신장질환, 호흡기계 질환에 대해서는 폭염 혹은 기온상승으로 인한 유의한 부정적 건강영향이 관찰되었다. 반면, 폭염 혹은 기온상승에 대한 건강 부문 리스크 중 일부 항목에 대해서는 아직 연구가 제한적인 것으로 나타났다. 알레르기 질환에 대한 일부 연구에서는 알레르기 질환과 기온의 연관성은 통계적으로 유의하지 않은 것으로 보고하였으나(Park et al., 2016; Son et al., 2014), 아직 연구의 수가 부족하여 향후 더 많은 연구가 수행되어야 할 것으로 보인다. 정신건강과 관련하여서는, Bae et al. (2015), Kim et al. (2019), Kim et al. (2015)의 연구에서 기온 상승이 정신질환 응급실 방문, 자살 사망, 정신 및 행동장애로 인한 사망과 연관되어 있다는 것을 보고하였으나, 이를 정량적으로 평가한 국내 보고서 및 연구는 아직 부족한 것으로 나타났다. 또한, 본 연구에서는 기존의 연구 결과의 한계로 인하여 이를 감염성 질환이라는 하나의 범주에서 연구 결과를 요약하였으나, 향후에는 매개체 질환, 수인성 질환, 신종 감염병 발생 증가의 각 항목별로 결과를 평가하기 위한 더 많은 연구가 이루어져야 할 것이다. 특히, 현재 대부분의 연구가 말라리아, 장 감염질환 등 일부 질환만을 대상으로 하고 있어 향후 연구에서는 대상 질환의 범위를 확대할 필요가 있다.

대기오염으로 인한 건강 부문 리스크의 경우 심뇌혈관계 질환, 호흡기계-알레르기 질환, 정신건강으로 총 3가지 영역의 건강 결과를 포함하였으며, 국내 연구기관 보고서 5개와 그 외 국내 및 국외 연구 8개로 총 13개의 연구에서 평가되었다(Ahn et al., 2015; Baek et al., 2021; Cho et al., 2015; Hong et al., 2014; Hwang et al., 2022; KDCA, 2022; Kim et al., 2016, 2020, 2023; Kwon et al., 2021; Lee et al., 2022; Oh et al., 2023; Shin et al., 2023). 대기오염으로 인한 건강 영향은 다양한 연구 결과와 보고서에서 다뤄지고 있으며, 특히 PM₁₀ 및 PM_{2.5}는 심뇌혈관계 질환, 호흡기계-알레르기 질환, 정신건강에 유의한 부정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나, O₃의 건강영향에 대한 연구는 부족한 실정이었으며, 그 결과 또한 연구마다 또는 세부 질환에 따라 일관되지 않은 것으로 나타났다. 미래에는 기후변화로 인해 O₃이 더욱 증가할 것으로 예상되는 만큼, 기후변화와 관련된 O₃의 변화가 건강에 미칠 영향을 파악하기 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 더불어, 현재까지 대부분의 연구에서는 기후변화가 대기오염에 영향을 미치는 과정을 고려하지 않은 것

로 나타났다. 대기오염 관련 기후변화 리스크를 보다 정확하게 평가하기 위해서는 기후변화가 대기오염을 거쳐 건강에 미치는 영향을 평가하는 방법론 및 접근 방식에 대한 고찰이 필요할 것이다.

한편, 폭염 및 기온상승이나 대기오염으로 인한 리스크와는 달리 기온변동폭이나 기상재해로 인한 건강 부문 리스크에 대한 연구는 아직 미흡한 것으로 나타났다. 먼저, 기온변동폭으로 인한 건강 부문 리스크의 경우 심뇌혈관계 질환 총 1가지 영역에서의 건강 결과만을 포함하였는데, 「제1차 기후보건영향평가 보고서」를 비롯한 국내 연구기관 보고서에서는 해당 리스크가 다루어지지 않아 우리나라를 대상으로 한 연구 총 3개를 수집 및 정리하였다(Kim, Kim, et al., 2015; Lee et al., 2017; Lim et al., 2012). 모든 연구에서 일교차를 노출지표로 활용하였으며, 연구 결과 심뇌혈관질환의 입원과 사망이 유의하게 증가하는 것으로 나타났다. 그러나, ‘기온변동폭’이라는 용어는 여러 기간과 기준으로 정의되고 있음에도 불구하고, 건강영향을 평가한 기존의 연구들에서는 주로 일교차를 사용하여 단기적인 기온 격차에 초점을 맞추었다. 이를 더 확장한다면, 한 달, 계절, 연도별 등 여러 기준에서 기온변동폭을 정의할 수 있을 것이며, 이를 통해 보다 장기적인 관점에서 급격한 기온변화가 건강에 미치는 영향을 평가하는 연구가 이루어질 필요가 있다.

기상재해로 인한 건강 부문 리스크 또한 유일하게 정신건강 1가지 영역의 건강 결과만을 포함하였는데, 마찬가지로, 「제1차 기후보건영향평가 보고서」를 비롯한 국내 연구기관 보고서에서는 기상재해에 따른 정신건강 영향 관련 연구가 이루어지지 않아 국내 및 국외 논문 총 3개를 수집 및 정리하였다(Fernandez et al., 2015; Graham et al., 2019; Kim et al., 2017). 그 결과, 폭풍이나 홍수로 경험한 인구집단에서 PTSD 등 주요 정신 장애의 위험이 높은 것으로 나타났으며, 기후변화의 영향으로 향후 기상재해 빈도와 강도가 증가할 것으로 예상된다라는 점을 고려해 볼 때, 추후에는 기상재해가 건강에 미칠 영향에 대한 충분한 연구가 이루어져야 할 것이다.

기후변화는 복잡하고 다양한 경로를 통해 건강에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 각 기후변화 요인에 따른 건강 부문 리스크에 대하여 세부적인 연구 결과를 고찰하고자 하였다. 이때, 적응대책 수립을 위한 근거로 활용될 수 있는 국가 보고서 및 국내 연구기관의 보고서의 현황을 정리하는 것에 초점을 맞추었으나, 이로 인하여 여타 리뷰 및 메타 연구 결과와는 달리

국내외에서 진행된 연구 결과를 포괄적으로 다루지 못하였을 수 있다는 한계점이 존재한다. 또한, 본 연구에서는 건강영향에 대한 생물학적 요인을 설명하지 못하였으므로 향후 연구에서는 기저 메커니즘에 대한 연구 결과를 정리할 필요가 있을 것으로 보인다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서는 기후변화로 인한 주요 건강 부문 리스크를 기반으로 향후 수행되어야 할 연구에 대한 방향성을 제시하고자 하였으며, 이로부터 얻을 수 있는 연구 결과들을 통해 미래 환경정책 수립의 근거로써 기여할 수 있기를 기대한다.

사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 “신기후체제 대응 환경기술개발사업”의 지원을 받아 연구되었습니다(2022003570006).

References

- Ahn SE, Kim J, Cho Y, Eom M, Kwak S, Bae H. 2015. Health impact assessment and damage cost estimation of air pollution using big data. Sejong, Korea: Ministry of Environment.
- Bae HJ, Shin YS, Seo YW, Gong SY, Shim CS, Lee MS, Gan SY, Seo MS, Lee SM, Seol EH, Heo JB, Lee JE, Seo JH, Lee SH, Kang JE. 2015. Climate change health impact assessment linked to national health insurance big data. Sejong, Korea: Ministry of Environment.
- Baek JO, Cho J, Roh JY. 2021. Associations between ambient air pollution and medical care visits for atopic dermatitis. *Environ Res* 195: 110153. doi: 10.1016/j.envres.2020.110153
- Chae SM, Kim DE, Oh SJ, Kim DJ, Woo KS. 2017. Development of evidence-based health policy response to climate change. Sejong, Korea: Korea Institute for Health and Social Affairs (in Korean with English abstract).
- Cho J, Choi YJ, Sohn J, Suh M, Cho SK, Ha KH, Kim C, Shin DC. 2015. Ambient ozone concentration and emergency department visits for panic attacks. *J Psychiatr Res* 62: 130-135. doi: 10.1016/j.jpsychires.2015.01.010
- D'Amato G, Cecchi L, D'Amato M, Annesi-Maesano I. 2014. Climate change and respiratory diseases. *Eur Respir Rev* 23(132): 161-169. doi: 10.1183/09059180.0001714
- Fernandez A, Black J, Jones M, Wilson L, Salvador-Carulla L, Astell-Burt T, Black D. 2015. Flooding and mental health: A systematic mapping review. *PloS One* 10(4): e0119929. doi: 10.1371/journal.pone.0119929
- Graham H, White P, Cotton J, McManus S. 2019. Flood-and weather-damaged homes and mental health: An analysis using england's mental health survey. *Int J Environ Res Public Health* 16(18): 3256. doi: 10.3390/ijerph16183256
- Hong YC, Kim H, Lee CW, Lim YR, Lee KS, Lim YH, Han CW. 2017. Estimation of acute·chronic diseases and mortality in extreme weather(heat-cold) in Korea. Cheongju, Korea: Korea Disease Control and Prevention Agency.
- Hong YC, Lee KY, Kim HS, Kim YB, Kim SR, Choi YH, Kim KN, Bae SH, Park HI, Choi YM, Lee ML, Kim JH, Hwang YH, Kwok SY, Lee DE, Lee BR, Jung YI, Lee SY, Yoo HN, Bang H, Lee JW, Kim BK. 2014. Environmental exposures and health effects in elderly population. Sejong, Korea: Ministry of Environment.
- Hwang IY, Choi D, Kim JA, Choi S, Chang J, Goo AJ, Ko A, Lee G, Kim KH, Son JS, Park SM. 2022. Association of short-term particulate matter exposure with suicide death among major depressive disorder patients: A time-stratified case-crossover analysis. *Sci Rep* 12: 8471. doi: 10.1038/s41598-022-12421-z
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2021. SPM - Summary for policymakers. In: Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. doi: 10.1017/9781009157896.001

- IPCC. 2023. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781009325844
- KDCA (Korean Disease Control and Prevention Agency). 2022. The 1st climate health impact assessment. Cheongju, Korea: Author.
- Kim CT, Lim YH, Woodward A, Kim H. 2015. Heat-attributable deaths between 1992 and 2009 in Seoul, South Korea. *PLoS One* 10(2): e0118577. doi: 10.1371/journal.pone.0118577
- Kim E, Kim H, Kim YC, Lee JP. 2018. Association between extreme temperature and kidney disease in South Korea, 2003-2013: Stratified by sex and age groups. *Sci Total Environ* 642: 800-808. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.055
- Kim JY, Park Y, Kim SH, Kim SP, Park SW, Yoon HJ. 2023. Effect of ambient air pollutants on the medical costs of allergic rhinitis in Seoul, Korea. *Laryngoscope* 133(8): 1828-1833. doi: 10.1002/lary.30464
- Kim KN, Lim YH, Bae HJ, Kim M, Jung K, Hong YC. 2016. Long-term fine particulate matter exposure and major depressive disorder in a community-based urban cohort. *Environ Health Perspect* 124(10): 1547-1553. doi: 10.1289/ehp192
- Kim SY, Kim E, Kim WJ. 2020. Health effects of ozone on respiratory diseases. *Tuberc Respir Dis* 83(Supple 1): S6-S11. doi: 10.4046/trd.2020.0154
- Kim TH, Lee KS, Lim JO, Lee SY, Kim GJ. 2017. An analysis of psychological disaster relief systems: Problems and resolutions. *Crisisonomy* 13(4): 81-93 (in Korean with English abstract). doi: 10.14251/crisisonomy.2017.13.4.81
- Kim Y, Kim H, Gasparrini A, Armstrong B, Honda Y, Chung Y, Ng CFS, Tobias A, Íñiguez C, Lavigne E. 2019. Suicide and ambient temperature: A multi-country multi-city study. *Environ Health Perspect* 127(11): 117007.
- Kim YH, Kim CH, Lee WS, Noh MS. 2015. A Study on Association between local climate change and disease deaths caused by ischaemic heart and cerebrovascular disease. *J Korean Data Anal Soc* 17(4): 1911-1918 (in Korean with English abstract).
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2020. Korean climate change assessment report 2020. Daejeon, Korea: Author.
- KMA. 2023. Monthly climate analysis information October 2023. Daejeon, Korea: Author.
- Kwon SE, Lee E, Kim N, Kim H, Kim J, Hwang J, Jang M, Jang J, Kim B, Kwon H, Moon S, Seo D. 2021. Effects of air pollution on short-term and long-term incidence of stroke in Korea. Cheongju, Korea: Korea Disease Control and Prevention Agency.
- Lee SW, Park S, Kim J. 2022. Identify and respond to the effects of fine dust in chronic respiratory diseases. Sejong, Korea: Ministry of Science and ICT.
- Lee WH, Lim YH, Dang TN, Seposo X, Honda Y, Guo YLL, Jang HM, Kim H. 2017. An investigation on attributes of ambient temperature and diurnal temperature range on mortality in five East-Asian countries. *Sci Rep* 7: 10207. doi: 10.1038/s41598-017-10433-8
- Lee WS, Kim WS, Lim YH, Hong YC. 2019. High temperatures and kidney disease morbidity: A systematic review and meta-analysis. *J Prev Med Public Health* 52(1): 1-13. doi: 10.3961/jpmph.18.149
- Lim YH, Hong YC, Kim H. 2012. Effects of diurnal temperature range on cardiovascular and respiratory hospital admissions in Korea. *Sci Total Environ* 417-418: 55-60.
- Lim YH. 2019. The health effects of heat waves. *Health Welf Policy Forum* 269: 7-19. doi: 10.23062/2019.03.2
- Meade RD, Akerman AP, Notley SR, McGinn R, Poirier P, Gosselin P, Kenny GP. 2020. Physiological factors characterizing heat-vulnerable older adults: A narrative review. *Environ Int* 144: 105909. doi: 10.1016/j.envint.2020.105909
- Ministry Concerned. 2020. 3rd national climate change adaptation measures (2021-2025). Sejong, Korea: Ministry of Environment.
- Ministry Concerned. 2021. Abnormal climate report 2020.

- Daejeon, Korea: Korea Meteorological Administration. Ministry Concerned. 2022. Abnormal Climate Report 2021.
- Daejeon, Korea: Korea Meteorological Administration. Ministry of Environment. 2020. Korean climate change assessment report 2020. Sejong, Korea: Author.
- OECD. 2023. Air pollution exposure (indicator). <https://data.oecd.org/air/air-pollution-exposure.htm>
- Oh J, Choi S, Han C, Lee DW, Ha E, Kim S, Bae HJ, Pyun WB, Hong YC, Lim YH. 2023. Association of long-term exposure to PM_{2.5} and survival following ischemic heart disease. *Environ Res* 216(Part 1): 114440. doi: 10.1016/j.envres.2022.114440
- Palinkas LA, Wong M. 2020. Global climate change and mental health. *Curr Opin Psychol* 32: 12-16. doi: 10.1016/j.copsyc.2019.06.023
- Park C, Yang J, Lee W, Kang C, Song IK, Kim H. 2022. Excess out-of-hospital cardiac arrests due to ambient temperatures in South Korea from 2008 to 2018. *Environ Res* 212(Part A): 113130. doi: 10.1016/j.envres.2022.113130
- Park YH, Pyun BY, Nam HS, Min TK, Lee JD, Son BS. 2016. Development of impact assessment and adaptation technologies of allergic diseases by climate-change. Sejong, Korea: Ministry of Environment (in Korean with English abstract).
- Shin MK, Kim KN, Bae SH, Kim MJ, Kim JH, Kwon HJ, Hwang SS, Kim HE, Ahn YJ. 2023. Study on the health effects of climate change among the elderly. *Public Health Wkly Rep* 16(33): 1165-1177 (in Korean with English abstract). doi: 10.56786/phwr.2023.16.33.1
- Son JY, Bell ML, Lee JT. 2014. The impact of heat, cold, and heat waves on hospital admissions in eight cities in Korea. *Int J Biometeorol* 58(9): 1893-1903. doi: 10.1007/s00484-014-0791-y
- Woo KS, Kim DE, Chae SM. 2019. High temperature-related mortality in Korea: A meta-analysis of the empirical evidence. *Health Soc Welf Rev* 39(2): 10-36 (in Korean with English abstract). doi: 10.15709/hswr.2019.39.2.10