

연구보고서

대기온도의 특성에 따른 근로자 건강영향 분석

이완형 · 윤진하 · 최원준 · 함승현 · 강성규 ·
강모열 · 이용호 · 이준형 · 이은이 · 이미정

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



제 출 문

산업안전보건연구원장 귀하

본 보고서를 “대기온도의 특성에 따른 근로자 건강영향 분석”의 최종보고서로 제출합니다.

2020 년 10 월

연구기관: 가천대학교 산학협력단

연구기간: 2020.04.16.~ 2020.10.31.

연구책임자: 이완형 (가천대학교 의과대학 교수)

공동연구원: 윤진하 (연세대학교 의과대학 교수)

공동연구원: 최원준 (가천대학교 의과대학 교수)

공동연구원: 함승헌 (가천대학교 의과대학 교수)

공동연구원: 강성규 (가천대학교 의과대학 교수)

공동연구원: 강모열 (가톨릭대학교 의과대학 교수)

요 약 문

연구기간

2020. 04. 16. ~ 2020. 10. 31.

핵심 단어

기후변화, 폭염, 대기온도, 건강영향, 옥외작업자

연구과제명

대기온도의 특성에 따른 근로자 건강영향 분석

1. 연구배경

- 우리나라의 기후변화는 평균 기온의 상승으로 예측되고 있음.
- 대기온도와 상관없이 일해야 하는 근로자는 대기 온도에 의한 영향을 크게 받으며, 이로 인한 건강보호가 필요한 집단임.
- 우리나라 기후변화의 주된 특성을 파악하고, 대기 온도에 따른 근로자의 건강영향을 고찰할 필요가 있음.

2. 연구방법

- 대기온도의 특성에 따른 근로자 건강영향 분석을 위해 국내기온변화의 특성 파악, 기존 문헌 고찰, 자료구축 및 분석을 하였음.

- 우리나라의 기후변화 특성을 파악하기 위해 2018년 한반도 기후변화 전망분석서를 고찰하였음.
- 대기 온도와 근로자의 건강영향에 대한 문헌을 체계적으로 고찰하였음.
- 자료구축은 기상자료와 근로자 건강영향자료로 구분하여 2002년부터 2015년까지의 자료를 기상청의 측정소를 기준으로 구축하였음.
- 기상자료의 경우 최고기온, 평균기온, 열지수, 연속폭염일수를 주요 노출인자로 구축하였으며, 풍속, 운량, 일조량, 습도를 보정변수로 구축하였음.
- 건강영향 자료는 치명건강영향, 일반건강영향, 폭염관련 건강영향으로 구분하여 14가지 건강영향군으로 구축하였음. 치명건강영향은 통계청의 사망자료를 활용하였으며, 일반건강영향과 폭염관련 건강영향은 건강보험공단의 표본코호트를 활용하였음.
- 6월부터 9월까지를 대상으로 4가지 기상 노출인자와 14가지 건강영향군에 대해 각각 분석하였음. 시계열성을 확인하고, 연관성 추정을 위해 일반화가법모형, 지연효과를 확인하기 위해 분산비선형지연모형을 적용하였음. 양-반응 관계를 확인하고 역치를 제안하기 위해 모형적합성 평가를 활용하여 최적 모형을 선정하였음.

3. 연구결과

- 우리나라 기후변화의 특성은 폭염과 열대야가 증가하며, 여름이 매우 길어질 것으로 예상됨.
- 대기 온도와 근로자의 건강영향에 대한 문헌 고찰 결과, 높은 기온에 노출되는 근로자 집단에서 사망, 사고 및 손상, 비뇨생식기계 질환, 정신질환 등의 위험이 증가되는 것으로 보고됨.
- 우리나라의 대기 정보와 건강영향에 정보를 갈무리하고 연관성 분석을 시행함. 대기 온도와 관련된 인자는 일평균기온, 최고기온, 열지수, 연속폭염일수를 선정하였으며, 건강영향은 치명/일반/폭염관련 건강영향으로 구분하였으며, 전체 14가지 질환군을 선정하였음.
- 치명건강영향에서는 전체 사망의 경우 최고 기온과 연관성이 확인되었음. 옥외 사망의 경우 최고 기온, 연속폭염일수와 연관성이 확인되었음.
- 일반건강영향에서는 감염성 질환, 순환기계 질환, 뇌심혈관계 질환, 비뇨생식기계 질환, 사고 및 손상이 대기 온도 관련 인자와 연관성이 확인되었음.
- 폭염관련 건강영향인 폭염 질환은 일평균기온, 최고기온, 열지

수, 연속폭염일수 모두와 연관성이 확인되었음.

- 시 사 점

- 우리나라의 근로자를 대상으로 대기 온도와 연관된 건강영향을 다양한 측면에서 고찰하였음.
- 근로자의 건강 보호가 필요한 대기온도의 특성을 제시하였음.

4. 연구 활용방안

- 기후변화로 인한 근로자의 건강영향에 대한 학술적 근거 수립
- 대기 온도와 연관된 인자별 특성에 따른 근로자 건강 보호를 위한 대책 필요성 제시
- 우리나라 근로자의 대기 온도로 인한 건강영향에 대해 관련 학술 대회 발표 및 분야 연구 논문 출판

5. 연락처

연구책임자: 가천대학교 의과대학 교수 이완형

연구상대역: 산업안전보건연구원 직업건강연구실 윤민주

■ ☎ 032-5100-756 / Fax 032-5100-759

■ E-mail: mjmj@kosha.or.kr

차 례

I. 서론	1
1. 연구배경 및 필요성	7
2. 관련 선행 연구	11
3. 연구 목표	14
II. 연구 방법	16
1. 연구 방법 개요	16
2. 국내 대기온도 변화 특성 파악	18
3. 국내외 대기온도에 따른 근로자 건강영향 고찰과악	19
4. 자료 구축	21
1) 종관 기상	21
2) 열지수	25
3) 폭염특보	22
4) 건강영향정보	27
5. 대기인자와 건강영향과의 연관성 분석	28
III. 연구 결과	32
1. 우리나라의 기후 변화 현황 및 전망	32
1) 상세 기후 전망의 필요성	32
2) 한반도 기후의 현황	33
3) 한반도 기후의 시간적 변화 특성	34

4) 한반도 기후변화 시나리오	35
5) 우리나라 지역별 기후변화 시나리오	39
6) 시나리오별 기후변화 전망	50
2. 대기온도의 특성에 따른 근로자 건강영향 문헌고찰	52
1) 문헌 검색 결과	52
2) 문헌고찰 주요 결과	53
3) 문헌고찰 세부내용	59
4) 문헌고찰 결과 활용 및 시사점	69
3. 기상자료 구축	70
4. 건강 영향 자료 구축	74
1) 치명건강영향 자료 구축	74
2) 일반 건강영향 및 폭염관련 질환 자료 구축	76
5. 분석 결과	82
1) 치명건강영향 (사망)	82
2) 치명건강영향 (옥외 사망)	88
3) 일반건강영향 (감염성 질환)	93
4) 일반건강영향 (내분비계 질환)	98
5) 일반건강영향 (정신 질환)	101
6) 일반건강영향 (순환기계 질환)	104
7) 일반건강영향 (뇌심혈관계 질환)	109
8) 일반건강영향 (호흡기계 질환)	114
9) 일반건강영향 (소화기계 질환)	117
10) 일반건강영향 (피부 질환)	120
11) 일반건강영향 (근골격계 질환)	123
12) 일반건강영향 (비뇨생식기계 질환)	126

13) 일반건강영향 (사고 및 손상)	131
14) 폭염관련 건강영향 (폭염질환)	137
15) 종합 결과	142
16) 결과 해석상 주의 및 분석의 한계	144
 IV. 결론	 147
 V. 참고 문헌	 151
 Abstract	 155

표 차 례

〈표 1-1〉 연도별, 연령별 온열질환 발생현황 (2011-2018)	5
〈표 1-2〉 연도별, 업종별 온열질환 산업재해 발생현황 (2014-2018)	10
〈표 2-1〉 체계적 문헌고찰을 위한 임상적 질문	19
〈표 2-2〉 종관기상관측요소	23
〈표 3-1〉 우리나라의 미래 기후변화 전망	36
〈표 3-2〉 최종 선정 문헌 개요	54
〈표 3-3〉 문헌 고찰 세부 내용	62
〈표 3-4〉 기상자료 구축 현황	70
〈표 3-5〉 통계청 사망자료 주요 변수	75
〈표 3-6〉 건강보험공단 표본코호트 직장가입자 현황	76
〈표 3-7〉 표본코호트 민감상병 현황	78
〈표 3-8〉 건강영향 자료 구축 및 선정 개요	80
〈표 3-9〉 폭염 관련 건강영향 자료 구축 및 선정 개요	81
〈표 3-10〉 주요 결과 정리	143

그림 차례

[그림 1-1] 최고기온에 따른 100일 평균 감시체계환자수 (2011-2016) ...	2
[그림 1-2] 최고기온에 따른 100일 평균 사망자수 (2005-2014)	3
[그림 1-3] 최고기온에 따른 100일 평균 환자수 (2004-2013)	3
[그림 1-4] 연도별 남성 근로자의 폭염관련 질환 환자수	6
[그림 1-5] 연도별 남성 근로자의 폭염관련 질환 입원일수	7
[그림 1-6] 연도별 남성 근로자의 폭염관련 질환 의료비	8
[그림 1-7] 직업분류별 폭염관련 사망률	9
[그림 2-1] 연구 수행 개요	16
[그림 2-2] 기상 측정소의 지리적 위치	22
[그림 2-3] 열지수 공식	25
[그림 2-4] 분석 모형 개요	30
[그림 3-1] 한반도의 기온 및 강수량 전망	38
[그림 3-2] 지역별 연평균기온 전망	40
[그림 3-3] 지역별 연강수량 전망	41
[그림 3-4] 지역별 폭염일수 전망	42
[그림 3-5] 지역별 여름일수 전망	44
[그림 3-6] 지역별 한파일수 전망	45
[그림 3-7] 지역별 최대무강수지속기간 전망	47
[그림 3-8] 지역별 호우일수 전망	48
[그림 3-9] 지역별 연평균 일교차 전망	49
[그림 3-10] 체계적 문헌 고찰 흐름	52

[그림 3-11] 월별, 요일별 전체 사망 현황	82
[그림 3-12] 기상 정보별 전체 사망과의 연관성	83
[그림 3-13] 기상 정보별 전체 사망의 지연효과	85
[그림 3-14] 기상 정보별 전체 사망과의 양반응관계 및 역치	86
[그림 3-15] 월별, 요일별 옥외 사망 현황	88
[그림 3-16] 기상 정보별 옥외 사망과의 연관성	89
[그림 3-17] 옥외 사망의 지연효과	91
[그림 3-18] 옥외 사망과의 양반응 관계 및 역치	92
[그림 3-19] 월별, 요일별 감염성 질환 현황	93
[그림 3-20] 기상 정보별 감염성 질환과의 연관성	94
[그림 3-21] 기상 정보별 감염성 질환의 지연효과	96
[그림 3-22] 기상 정보별 감염성 질환의 양반응 관계 및 역치	97
[그림 3-23] 월별, 요일별 내분비계 질환 현황	98
[그림 3-24] 기상 정보별 내분비계 질환과의 연관성	99
[그림 3-25] 월별, 요일별 정신 질환 현황	101
[그림 3-26] 기상 정보별 정신 질환과의 연관성	102
[그림 3-27] 월별, 요일별 순환기계 질환 현황	104
[그림 3-28] 기상 정보별 순환기계 질환과의 연관성	105
[그림 3-29] 기상 정보별 순환기계 질환의 지연효과	107
[그림 3-30] 기상 정보별 순환기계 질환의 양반응 관계 및 역치	108
[그림 3-31] 월별, 요일별 뇌심혈관계 질환 현황	109
[그림 3-32] 기상 정보별 뇌심혈관계 질환과의 연관성	110
[그림 3-33] 기상 정보별 뇌심혈관계 질환의 지연효과	112
[그림 3-34] 기상 정보별 뇌심혈관계 질환의 양반응 관계 및 역치	113
[그림 3-35] 월별, 요일별 호흡기계 질환 현황	114

[그림 3-36] 기상 정보별 호흡기계 질환과의 연관성	115
[그림 3-37] 월별, 요일별 소화기계 질환 현황	117
[그림 3-38] 기상 정보별 소화기계 질환과의 연관성	118
[그림 3-39] 월별, 요일별 피부 질환 현황	120
[그림 3-40] 기상 정보별 피부 질환과의 연관성	121
[그림 3-41] 월별, 요일별 근골격계 질환 현황	123
[그림 3-42] 기상 정보별 근골격계 질환과의 연관성	124
[그림 3-43] 월별, 요일별 비뇨생식기계 질환 현황	126
[그림 3-44] 기상 정보별 비뇨생식기계 질환과의 연관성	127
[그림 3-45] 기상 정보별 비뇨생식기계 질환의 지연효과	129
[그림 3-46] 기상 정보별 비뇨생식기계 질환의 양반응 관계 및 역치	130
[그림 3-47] 월별, 요일별 사고 및 손상 현황	131
[그림 3-48] 기상 정보별 사고 및 손상과의 연관성	132
[그림 3-49] 기상 정보별 사고 및 손상의 지연효과	134
[그림 3-50] 기상 정보별 사고 및 손상의 양반응 관계 및 역치	135
[그림 3-51] 기상 정보별 폭염질환의 연관성	138
[그림 3-52] 기상 정보별 폭염질환의 지연효과	139
[그림 3-53] 기상 정보별 폭염질환의 양반응 관계 및 역치	140

I. 서론

1. 연구배경 및 필요성

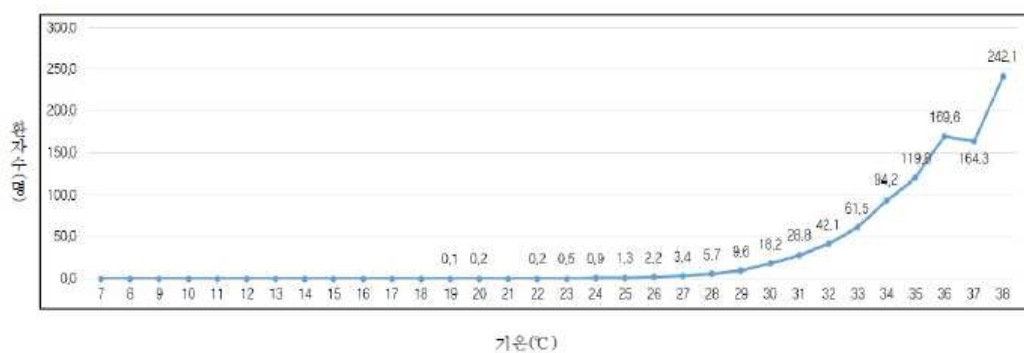
기후변화는 지구 규모의 기후 또는 지역적 기후의 시간에 따른 변화를 말하며 일반적으로는 10년에서부터 수 백만년의 기간 동안의 대기의 평균적인 상태 변화를 의미한다. 이러한 변화 중 우리의 관심과 염려의 대상이 된 것은 지구 온난화의 문제이다. 지구 온난화는 최근 수 십년간 지구 표면 부근의 대기와 바다의 평균온도가 높아지고 앞으로도 계속 높아질 것으로 예측되는 현상을 말한다. 이러한 지구 온난화는 특히 CO₂를 방출하는 화석연료의 사용으로 대기 중에 열을 가두게 되는 온실효과가 생기는 것이 주 원인으로 알려져 있다.

전 세계 기후변화, 특히 평균 기온의 상승 및 예측 불가능성은 더욱 가속화하는 추세다. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 5차 보고 (2019년, 기상청)에 의하면, 1995년부터 2014년(현재)까지 20년 평균의 기온을 분석한 결과, 21세기말이 되면, 온난일은 현재보다 약 4.6배 증가(36일→167일)하며, 온난야 또한 약 5배 증가(36일→181일)하게 된다. 반면에 한랭일과 한랭야는 모두 감소하여 현재 약 36일에서 3일과 2.4일로 감소할 것으로 예측되었다.

온난화의 지구 반응은 지형학적 영향을 크게 받으며, 중위도인 한국의 경우, 위와 같은 기온 상승이 세계 평균보다 40-50% 빠를 것으로

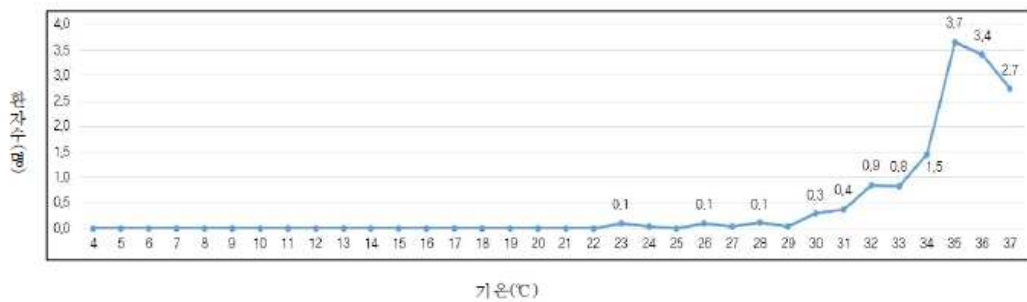
예측 된다. 특히, 우리나라의 21세기말의 폭염 및 열대야 일수가 현재 대비 매우 증가하는 것으로 추정된다. 최악의 경우에는, 우리나라의 부산에서 겨울이 사라지며, 일부 산맥 지형을 제외하곤 아열대 기후로 전환될 가능성이 높은 것으로 추정되었다.

기온 상승은 건강에 영향을 미친다. 질병관리청의 연구 보고¹⁾에 따르면, 최고기온에 따른 100일 평균 발생 환자수(온열질환 감시체계 신고자료), 사망자수(사망원인 통계), 보험 환자수(건강보험청구자료)는 다음 그림과 같다.

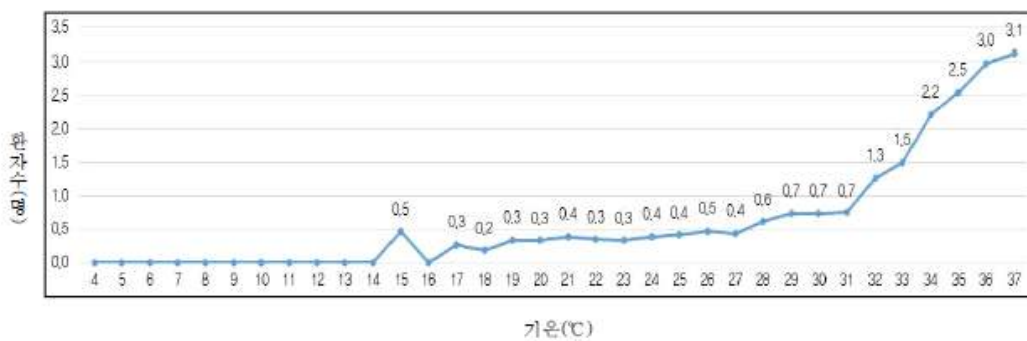


[그림 1-1] 최고기온에 따른 100일 평균 감시체계 환자수 (2011-2016)

1) 이은일. 폭염 건강피해 예방을 위한 지수개발 및 서비스 개선연구. 질병관리청. 2016



[그림 1-2] 최고기온에 따른 100일 평균 사망자수 (2005-2014)



[그림 1-3] 최고기온에 따른 100일 평균 환자수 (2004-2013)

기온이 상승함에 따라 온열질환, 사망, 병원 이용 모두 증가하고 있는 것을 확인할 수 있다. 폭염 특보 중 낮은 단계인 폭염 주의보 (33°C 이상인 상태가 2일 이상, 지속될 것으로 예상될 때) 이상의 온도에서부터도 사망이 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있다.

결국, 기온 상승으로 인한 폭염의 증가는 질병 뿐 아니라 사망의 위험도 높일 것으로 추정된다. 한국을 포함한 주요 선진국에서는 기온

상승으로 인한 사회전반의 악영향을 최소화하기 위한 적극적인 대책을 구성 및 운영하고 있다. 특히 기온 상승으로 인한 시민의 건강 보호를 위해 온열질환감시체계 운영, 취약계층 긴급 구제 등의 다양한 대책을 운영하고 있으나 기본적인 대응책은 외부활동 자제이다.

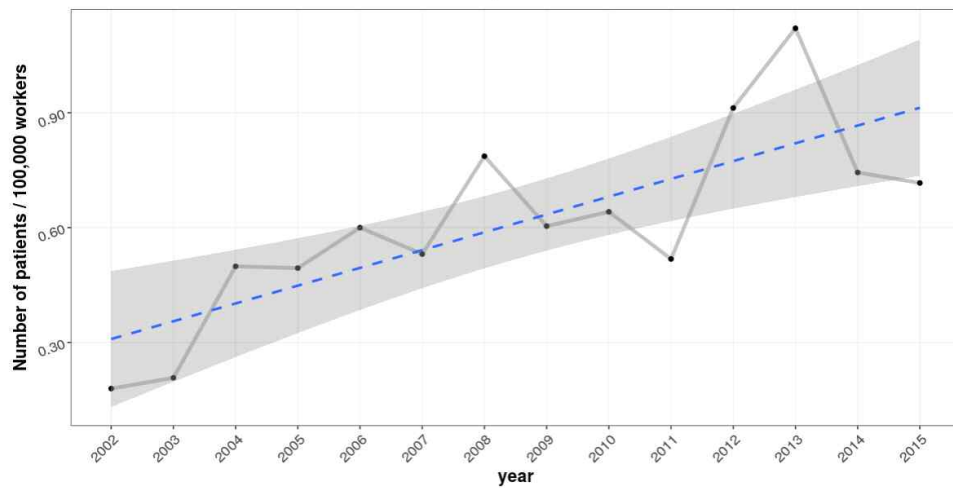
그러나 기온에 상관없이 외부활동 자제 등 적극적인 대처가 어려운 집단이 있다. 바로 근로자다. 대다수의 근로자의 경우, 본인의 의지나 건강상태 등에 상관없이 정해진 시간과 장소에서 주어진 업무를 주어진 시간동안 수행해야 한다는 특성이 있다. 근로자의 고온에 대한 건강 취약성은 여러 통계를 통해 확인할 수 있다.

아래의 표는 2011년부터 2018년까지 연도별, 연령별 온열질환 발생 현황을 나타낸 것이다. 40대와 50대의 온열질환 비율이 가장 높게 관찰된다. 대부분의 질환이 연령이 증가함에 따라 증가한다는 것을 감안하면, 온열질환의 경우 상당히 다른 추세를 나타내는 것이다. 근로자성이 급격히 떨어지는 나이대인 60세 이전이자, 젊은 층에 비해 신체기능은 현저히 떨어져 있는 상태인 중장년 근로자가 다수 포함된 나이대로 이는 근로자의 고온 취약성을 간접적으로 제시하는 증거로 활용될 수 있다.

<표 1-1> 연도별, 연령별 온열질환 발생현황 (2011-2018)

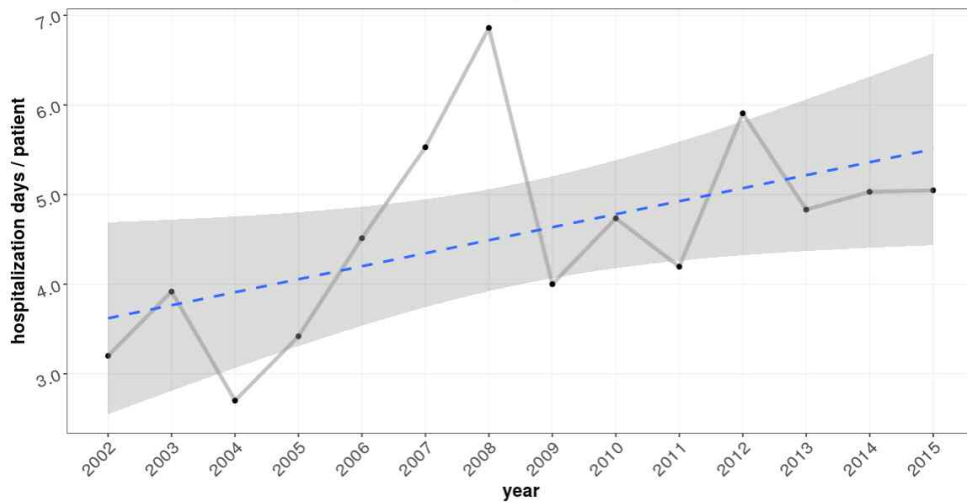
구분	전체	0-19	20-39	40-59	60-79	80-
2011	443	41	105	162	109	26
2012	984	81	190	333	279	101
2013	1,189	94	243	472	285	95
2014	556	34	130	239	128	25
2015	1,056	84	222	386	268	96
2016	2,125	110	461	813	594	192
2017	1,574	90	332	630	405	117
2018	4,526	151	873	1,688	1,307	507
전체 (%)	12,453 (100)	685 (5.5)	2,511 (20.2)	4,723 (37.9)	3,375 (27.1)	1,159 (9.3)

근로자의 고온 취약성은 건강보험공단의 근로자 코호트 자료를 통해서도 확인할 수 있다 (<https://jinhaslab.shinyapps.io/nhis/>, 2019 윤진하). 한국표준질병분류에서 열사병, 열실신, 열경련 등 폭염 노출로 인한 주요 질환이 대부분 포함된 진단명인 ‘T67 열 및 빛의 영향’으로 병의원을 이용한 남성 직장가입자의 연도별 환자수는 다음 그림과 같다. 폭염관련 질환 환자수는 2002년 남성 직장가입자 10만명당 0.25명에서 2015년에는 0.77명으로 나타났다. 온열 질환의 경우 폭염일수와 밀접한 연관이 있다. 2011년부터 2018년까지의 폭염질환 감시체계 분석결과에 의하면, 평균폭염일수가 하루씩 증가할 때마다 온열질환 신고건수는 148.3건이 증가($P=0.0009$), 온열질환 사망의 경우 1.58건이 증가($P=0.0013$)하는 것으로 추산되었다. 근로자 온열질환의 경우도 연도별 폭염일수에 따라 연도별 차이는 있으나 전반적으로는 증가 추세가 확인된다.



[그림 1-4] 연도별 남성 근로자의 폭염관련 질환 환자수

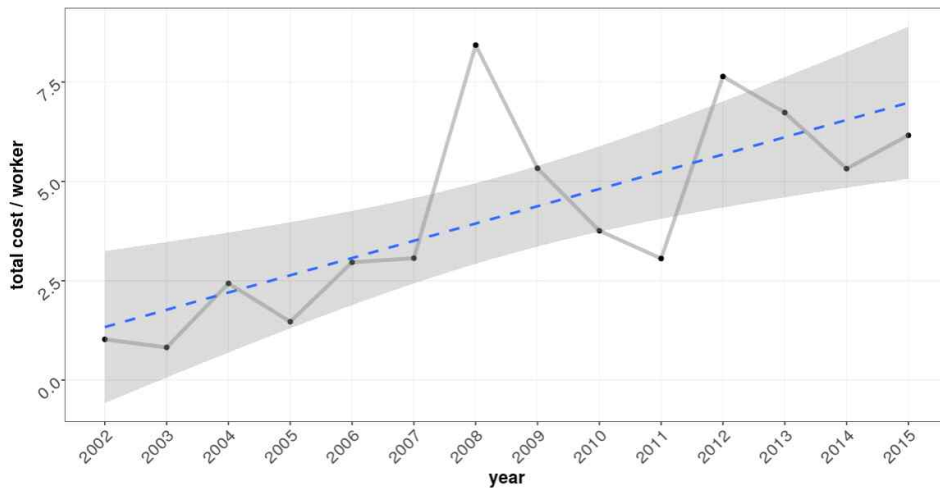
폭염관련 질환으로 입원한 근로자의 연도별 입원일수를 보면, 2002년에는 폭염질환 환자 한명당 평균 3.2일 입원하였으나, 2015년에는 평균 5.1일 입원하는 것으로 확인된다. 이는 근로자의 폭염관련 질환의 규모뿐 아니라 심각성도 크게 증가한다는 것을 시사한다.



[그림 1-5] 연도별 남성 근로자의 폭염관련 질환 입원일수

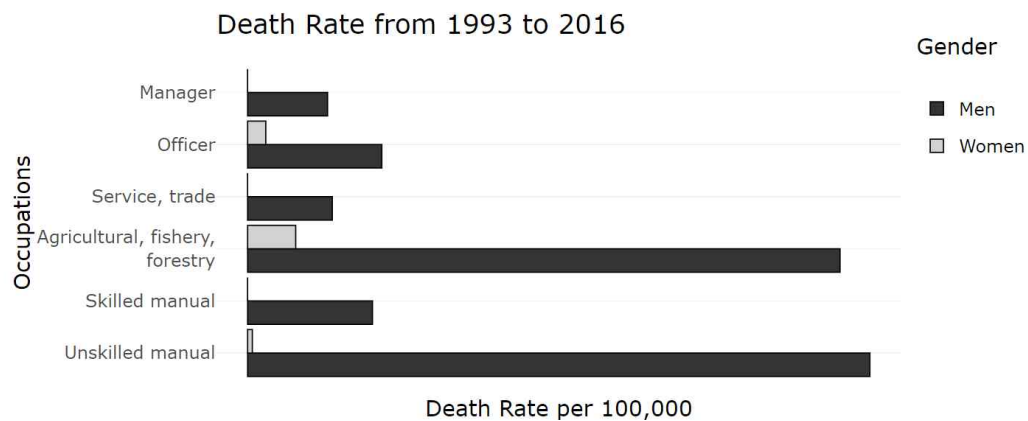
연도별 남성 근로자의 폭염관련 질환 의료비를 살펴보면 다음 그림과 같다. 근로자 1명당 폭염관련 질환의 의료비는 2002년 대비 2015년에는 4배 이상 증가한 것으로 확인된다.

건강보험공단의 병원 이용 자료 확인결과, 근로자들 중에서 폭염과 관련된 질환으로 인한 환자수가 증가하고 있으며, 폭염과 관련된 질환의 심각도와 함께 규모도 크게 증가하고 있다는 것을 확인할 수 있다.



[그림 1-6] 연도별 남성 근로자의 폭염관련 질환 의료비

폭염으로 인해 발생하는 건강영향 중 가장 치명적인 것은 폭염으로 인한 사망이다. 1993년부터 2016년까지 통계청의 사망자료에서 한국 표준사망분류 중 폭염과 관련된 사망(‘T67 열 및 빛의 영향’)을 한국 표준직업분류 (단축형 6그룹)로 나누어 본 결과는 다음과 같다 (https://jinhaslab.shinyapps.io/sehnr_death/, 2019 윤진하). 폭염에 가장 많이 노출될 것으로 예상되는 농림어업 직업군의 경우, 사망률은 10만 명당 0.21로 확인되었다. 하지만 가장 높은 사망률은 농림어업 직업군이 아닌 미숙련 근로자군으로 확인되며, 10만명당 0.22로 나타났다.



[그림 1-7] 직업분류별 폭염관련 사망률

마찬가지로, 표준화 사망률은 농림어업 근로자군에서 2.97 (95% 신뢰구간 2.11-4.06)로 일반인구대비 약 3배가량 높은 것으로 확인되었으며, 미숙련 근로자군에서는 표준화 사망률이 3.15 (95% 신뢰구간 2.31-4.20)로 나타났다. 결국 폭염의 치명 건강영향인 사망의 위험은 외부에서 일하는 미숙련 근로자에게서 가장 높게 나타는 것으로 추정 가능하다.

우리나라의 연도별, 업종별 온열질환과 관련된 산업재해 발생 현황은 다음 표와 같다. 2014년부터 2018년까지 전체 146건의 온열질환이 산재로 승인(2019년 6월 기준)되었으며, 이 중 사망은 25건이었다. 연도에 따라 산재 승인건수는 증가 추세 속에서 일부 가감의 변화가 확인되며, 이는 폭염의 연도별 폭염의 특성과 밀접한 관련이 있었다. 폭염일수가 가장 길었던 2018년이 온열질환 70건, 사망 13건으로 가장 많았으며, 업종별로는 건설업이 전체 온열질환 중 47.9%로 가장 높게 나타났다.

<표 1-2> 연도별, 업종별 온열질환 산업재해 발생현황 (2014-2018)

구분	업종별, 재해자수(사망자수)							
	합계	건설업	서비스	농업	운수, 창고 및 통신업	임업	제조업	금융업
계	146 (25)	70(16), 47.9%	40(3), 27.4%	4(1), 2.7%	5(1), 3.4%	6(2), 4.1%	20(1), 13.7%	1(1), 0.7%
2014	5	4	-	-	-	-	1	-
2015	6(1)	4(1)	2	-	-	-	-	-
2016	38(7)	15(4)	11(1)	2(1)	2	1	6	1(1)
2017	27(4)	12(4)	9	2	-	2	2	-
2018	70(13)	35(7)	18(2)	-	3(1)	3(2)	11(1)	-

※ 2019년 6월 산재승인 기준

이상에서 확인한 바와 같이, 기후 변화로 인해 근로자의 건강 위협이 나날이 증가되고 있다. 우리나라의 기후 변화는 기온 상승(폭염 증가)으로 특징되며, 기온 상승의 폭과 속도가 매우 큰 국가 중 하나이다. 기온 상승으로 인한 근로자의 건강장애를 예방하기 위해서는 선제적이고 종합적인 국가차원의 대응이 필요하다. 이를 위해, 우리나라의 폭염의 규모와 특성을 파악하고 이로 인한 근로자의 다양한 건강영향을 면밀하게 분석할 필요가 있다.

2. 관련 선행 연구

폭염에 의한 건강문제로는 햇볕에 의한 피부화상 및 자외선에 의한 피부노화 촉진, 열사병, 열탈진, 열경련, 열실신, 냉방병 등 보통 습도에서 25℃ 이상이면 무더위를 느끼고 이로 인한 질병이 발생할 가능성이 있다. 기온이 30~32℃ 일 때 사망자가 급격히 증가하며 36℃가 되면 30℃ 일 때보다 50% 증가한다고 한다. 특히 고령자, 노약자 및 어린이 등이 체력적으로 적응이 힘들기 때문에 피해가 상대적으로 크며 사망률이 증가하게 된다. 65세 이상 노인은 일반인에 비해 폭염에 4배 이상 더 취약하다. 폭염이 미치는 영향은 사회 및 개인에게 광범위하게 존재하며 이는 개인의 건강, 사회 문제의 야기 및 경제와 산업에까지 악영향을 미칠 수 있다.

기온이 32℃ 이상 지속될 경우 고령자·노약자 등의 사망률이 증가하며, 보통 습도에서 25℃ 이상의 야외 활동 시 열사병·열탈진·열경련·열실신 등 질병 발생 가능성이 증가한다. 밤 최저기온이 25℃ 이상인 열대야에서는 불면증·불쾌감·피로감 증대 등의 증상이 발생한다. 열대야로 인한 생체리듬에 이상이 나타나며 이로 인한 사고의 위험성 또한 증가한다.

보건복지부와 질병관리본부의 폭염으로 인한 온열질환 감시체계에 따르면, 2013년도에는 응급의료기관에서 진료를 받은 온열질환자는 총 1,195명이었으며, 그 중 사망자는 14명이었다. 2012년 동기간 984명의

온열 질환자 발생에 비해 약 1.2배 많이 발생하였다. 연령별로는 60대 이상이 382명(32.0%)으로 가장 많았고, 50대는 255명(21.3%), 40대는 220명(18.4%), 30대는 138명(11.5%), 20대는 106명(8.9%), 20대 미만은 94(7.9%) 순으로 발생하였다.

근로자에게는 4-6 개월 지속되는 평균 최대 온도가 30 ° C 이상이고 상대 습도가 74 % 이상인 더운 계절에 특히, 건설, 농업 및 어업 종사자에게 건강에 위협이 큰 것을 보고하였다. 특히 고령 근로자와 신체적 부담이 큰 건설 근로자 집단이 고온에 취약한 집단이었다. 2014년과 2017년의 한국근로환경조사를 이용하여, 근로자 92,238명의 극한 온도와 사업장에서의 사고 또는 손상 경험 사이의 연관성을 조사한 결과에 의하면, 극한의 온도에 노출되면 사고 또는 손상의 위험이 증가하는 경향이 확인 되었고, 고온의 경우, 개인보호구를 착용하지 않은 근로자 집단에서 사고의 위험이 더 높았다.

“기후변화에 따른 옥외작업자 건강보호 종합대책 마련 연구(안전보건공단연구원, 2019)”에서는 기후변화에 따른 근로자 건강영향에 대한 문헌고찰을 수행하였다. 122개 문헌 중 16개 문헌에 대해 고찰하였으며, 기후변화는 근로자의 건강, 생산성, 보건 및 안전에 영향을 미치고 있으며, 중요성이 커지고 있다는 것을 확인하였다. 해당 연구에서는 또한 기후 변화에 취약한 근로자 집단인 옥외작업자 규모를 추정하였다. 2015년 인구센서스 분석결과 전체 근로자 23,590,570명 중 야외작업현장에서 근무하는 근로자는 10.1%인 2,379,367명, 여기에 근무 장소가 운송수단인 근로자를 포함하면 14.1%인 3,319,217명으로 나타났다. 기후변화의 건강영향을 분석한 결과에 의하면, 온열질환감시체계 분석결과 폭

염일수에 따라 온열질환이 증가하였으며, 연령별로는 40대와 50대, 시기별로는 7월 말과 8월초에 집중되었다. 옥외작업자의 건강보호 가이드를 고찰하고 개선안을 제시하였다. 폭염의 위험단계에 대해 근로환경 맞춤형 기상 정보가 필요하다는 원칙을 확인하였으며, 기상청의 정보 중 ‘폭염영향예보’와 ‘더위체감지수’를 활용한 위험단계 기준을 제시하였다. 폭염으로 인한 사업장의 작업중지 기준 등에 대한 다양한 대응방안에 대해 고찰하였다.

3. 연구 목표

1) 우리나라의 대기온도 변화에 대한 특성 및 추세 파악

- (1) 우리나라의 대기온도 변화의 특성 및 추세 파악
- (2) 시나리오에 따른 우리나라 지역별 대기온도 변화 특성 파악

2) 국내·외 문헌 고찰 수행

- (1) 대기온도에 따른 근로자의 건강영향에 대한 문헌 고찰
- (2) 대기온도에 따른 건강영향 분석을 위한 연구 방법론 고찰

3) 국가 수준의 대용량 자료를 활용한 기온에 따른 건강영향 시범분석 수행

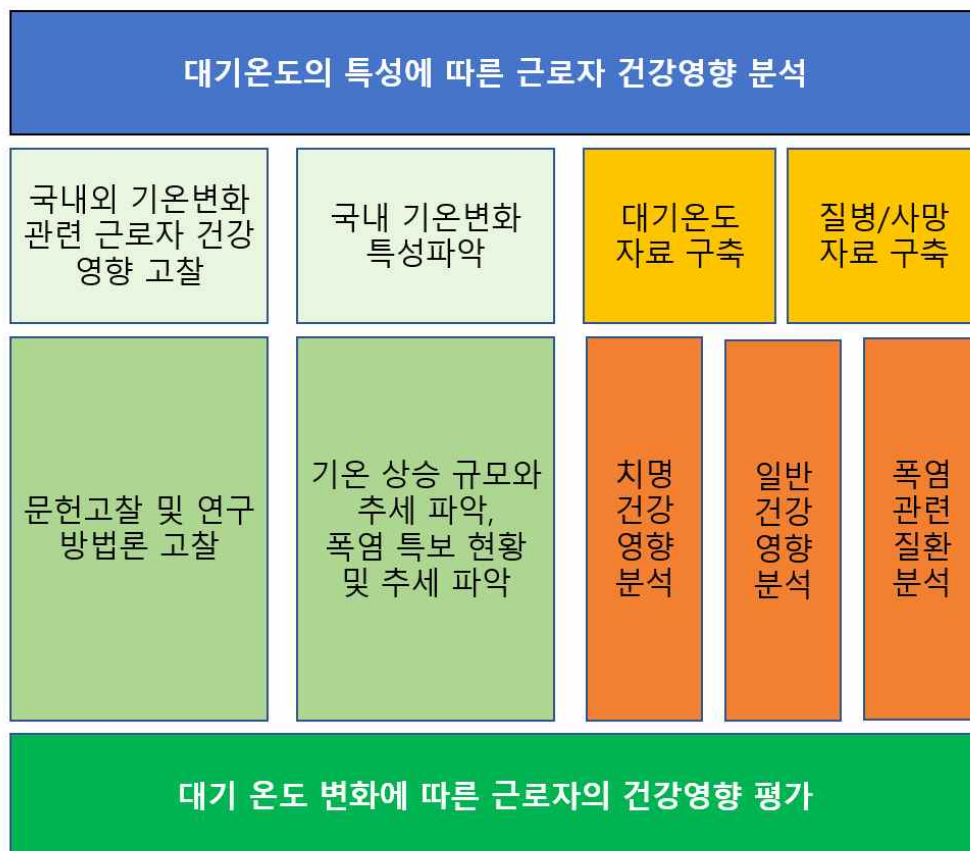
- (1) 치명 건강 영향: 통계청 사망자료를 활용한 대기온도에 따른 근로자 집단의 사망영향 분석
- (2) 일반 건강 영향: 건강보험공단 빅데이터를 활용한 대기온도에 따른 근로자 집단의 주요 건강영향 분석

- (3) 폭염 관련 질환: 건강보험공단 빅데이터를 활용한 대기온도에 따른 근로자 집단의 폭염관련 건강영향 분석

II. 연구 방법

1. 연구 방법 개요

이번 연구의 주요 흐름 및 개요는 아래의 그림과 같다.



[그림 2-1] 연구 수행 개요

대기온도의 특성에 따른 근로자의 건강영향 분석을 위해 국내외의 문헌 고찰을 수행하였다. 대기온도와 관련 있는 근로자의 건강 영향에 대한 역학적 및 의학적 근거 수준을 확인하였다. 문헌고찰을 통해 확인된 주요 건강영향을 바탕으로 이번 연구의 분석 대상 질환 선정에 활용하였다.

국내의 기온변화 특성을 파악하고, 주로 예상되는 대기온도 변화 시나리오에 맞춰 분석 방향을 정립하였다. 이와 관련하여 기상 정보를 정의내리고, 기상 자료를 확보하여 분석에 활용하였다. 근로자의 질병 및 사망에 대한 자료를 확보하여 대기 온도와 연관성에 대한 분석을 시행하였다..

이를 통해 확인된 대기온도에 따른 근로자의 건강영향을 바탕으로 근로자 건강보호를 위한 대안 모색에 활용하였다.

2. 국내 대기온도 변화 특성파악

대기온도의 변화 특성은 지역별 또는 국가별로 차이가 있었다. 우리나라의 대기온도 변화 특성을 파악하는 것은 대기온도 변화에 따른 근로자의 건강영향 분석의 시작점을 제시한다는 점에서 중요하다. 대기온도의 변화는 기후변화의 한 부분으로 여겨진다.

따라서 국내의 기후변화 특성을 파악하고, 예측되는 기후변화의 특성에 대해 대기온도를 중심으로 파악하였다. 이를 위해, 우리나라 유관기관의 대표성 있는 공식 보고서를 활용하였다.

3. 국내 · 외 대기온도에 따른 근로자 건강영향 고찰

대기온도에 따른 근로자의 건강영향에 대해 체계적 문헌 고찰을 진행하였다. 대기 정보에 대한 정의를 고찰하고, 근로자 집단의 건강영향을 분석한 문헌을 갈무리하여 정리하였다. 다음과 같은 임상적 질문에 대한 체계적 문헌고찰을 시행하였다. 근로자 대상 또는 근로자 대상 결과를 주 관심 집단으로 선정하고, 고온, 폭염 또는 고열 등을 노출요인으로 하였다. 결과는 질병이나 손상 및 사망으로 한정하였다.

<표 2-1> 체계적 문헌고찰을 위한 임상적 질문

구분	합계
P (Participant)	근로자 대상 또는 근로자 대상 결과
I (Intervention / exposure)	고온, 폭염, 고열
C (Control)	non-exposure group
O (Outcome)	질병, 손상, 사망

문헌고찰의 핵심질문은 ‘고온 및 폭염의 노출이 근로자의 건강상태에 어떤 영향을 주는가?’이다. 최대한 많은 문헌을 확보하기 위해 검색 시작 기간은 별도로 한정하지 않았으며, 종료 기간은 2019년까지로 선정하였다. 검색엔진은 PubMed와 Google Scholar를 이용하였다. 국내 문헌의 경우, 폭염 및 대기 온도에 따른 근로자의 건강영향에 대한 연구가 매우 드물어 제외하였다. Original article만 검색하고, 인간대상연구, 언어는 영문을 적용하였다. 검색어는 PubMed 기준으로 (((Hot Temperature[MeSH Terms]) OR (Extreme Heat[MeSH Terms]))

OR (Heat Stress Disorders[MeSH Terms])) AND
(worker*[Title/Abstract] OR occupation*[Title/Abstract])를 적용하였다.

문헌의 제외 기준은 다음과 같다.

- (1) study participants were NOT working population
- (2) the main exposure was NOT high temperature
- (3) the effect was NOT human health
- (4) NOT the original article
- (5) the research was NOT reported in English in a peer-reviewed journal.

전체적인 문헌 고찰과정은 PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)를 적용하였다.

4. 자료 구축

우리나라의 기상정보는 기상청을 통해 지역별 중심 기상 측정소를 바탕으로 생성되고 활용된다. 따라서 기상 측정소에서 갈무리되는 기상정보를 확보하고 이번 연구에 필요한 정보를 최대한 추출하고 대기 온도 특성을 정의하였다. 근로자의 건강영향을 평가할 수 있는 국가 차원의 공신력있는 정보를 확인하고, 자료를 구축하였다. 세부적인 기상 자료 구축은 다음과 같이 진행하였다.

1) 종관 기상

기상청에서 운영하는 전국 주요 거점 기상 측정소를 중심으로 기상 관련 자료가 생성 및 운영되고 있다. 전국에 지리공간적 특성을 감안한 약 105개의 측정소가 운영 중에 있으며, 행정구역의 변동, 측정소별 세부 측정 목적의 차이 등으로 인해 기상 자료는 다양한 방식으로 생성되고 있으며, 기상청의 기상자료개방포털 사이트 (<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>)를 통해 공개하고 있다.



[그림 2-2] 기상 측정소의 지리적 위치

기본적인 기상정보는 종관기상관측을 통해 생성된다. 종관기상관측이란 정해진 시각의 대기 상태를 파악하기 위해 모든 관측소에서 같은 시각에 실시하는 지상관측을 의미한다. 시정, 구름, 증발량, 일기현상 등 일부 목적 요소를 제외하고 종관기상관측장비(ASOS, Automated Synoptic Observing System)를 이용해 자동으로 관측하여 갈무리된다. 종관 규모는 일기도에 표현되어 있는 보통의 고기압이나 저기압의 공간적 크기 및 수명을 말하며, 주로 매일의 날씨 현상을 의미한다. 자료는 시간단위 또는 일별로 갈무리된다. 주요 생성 기상 정보는 다음과 같다.

<표 2-2> 종관기상관측요소

구분	기상관측요소
기온	평균기온(°C) - 대기온도지표
	최저기온(°C)
	최저기온 시각(hhmi)
	최고기온(°C) - 대기온도지표
	최고기온 시각(hhmi)
강수	강수 계속시간(hr)
	10분 최다 강수량(mm)
	10분 최다강수량 시각(hhmi)
	1시간 최다강수량(mm)
	1시간 최다 강수량 시각(hhmi)
	일강수량(mm)
풍속	최대 순간 풍속(m/s)
	최대 순간 풍속 풍향(16방위)
	최대 순간풍속 시각(hhmi)
	최대 풍속(m/s)
	최대 풍속 풍향(16방위)
	최대 풍속 시각(hhmi)
	평균 풍속(m/s) - 보정변수
	풍정합(100m)
습도	평균 이슬점온도(°C)
	최소 상대습도(%)
	최소 상대습도 시각(hhmi)
	평균 상대습도(%) - 보정변수
기압	평균 증기압(hPa)
	평균 현지기압(hPa)
	최고 해면기압(hPa)
	최고 해면기압 시각(hhmi)
	최저 해면기압(hPa)
	최저 해면기압 시각(hhmi)
	평균 해면기압(hPa)
일조	가조시간(hr)

	합계 일조 시간(hr) - 보정변수
	1시간 최다일사 시각(hhmi)
	1시간 최다일사량(MJ/m2)
	합계 일사(MJ/m2)
적설	일 최심신적설(cm)
	일 최심신적설 시각(hhmi)
	일 최심적설(cm)
	일 최심적설 시각(hhmi)
	합계 3시간 신적설(cm)
운량	평균 전운량(1/10) - 보정변수
	평균 중하층운량(1/10)
기타	평균 지면온도(°C)
	최저 초상온도(°C)
	평균 5cm 지중온도(°C)
	평균 10cm 지중온도(°C)
	평균 20cm 지중온도(°C)
	평균 30cm 지중온도(°C)
	0.5m 지중온도(°C)
	1.0m 지중온도(°C)
	1.5m 지중온도(°C)
	3.0m 지중온도(°C)
	5.0m 지중온도(°C)
	합계 대형증발량(mm)
	합계 소형증발량(mm)
	9-9강수(mm)
	안개 계속시간(hr)

대기온도의 특성을 반영하는 지표를 선정하기 위해 기존 문헌고찰 및 전문가 회의를 진행하였고, 그 결과 주요 대기온도 지표로 평균기온(°C), 최고기온(°C)을 선정하였다. 대기온도의 건강영향은 단순히 기온만으로는 설명하기 어렵다는 점이 확인되었다. 일조량과 습도 등

도 건강에 중요한 인자임이 확인된다. 따라서 평균 상대습도(%), 합계 일조 시간(hr), 평균 풍속(m/s), 평균 전운량(1/10)을 대기온도 특성에 영향을 미치는 인자로 선정하였다. 자료는 2000년부터 2019년까지 일별로 구축을 진행하였다. 건강영향 분석 진행을 위해, 측정소의 행정적 위치를 중심으로 지역코드 (두자리)로 분류하였다.

2) 열지수

기상 자료는 목적에 따라 새롭게 생성되어 활용되기도 한다. 이렇게 생성된 기상 자료를 응용기상자료라고 한다. 응용기상자료중 대표적인 것으로 열지수(heat index)가 있다. 열지수는 기온과 습도에 따라 사람이 실제로 느끼는 더위를 지수화한 것이며, 고온이 지속되는 기간 중 사망자 수가 현저하게 증가하는 것에 주목한 미국 기상청에서 고온다습한 환경에 대한 대국민 경보를 더욱 효율적으로 제시하여 열파에 미리 대처할 수 있는 체제로 개발되었다.

$$\begin{aligned} \text{열지수} = & -42.379 + 2.04901523T + 10.14333127R - 0.22475541TR - 6.83783 \times 10^{-3}T^2 - \\ & 5.481717 \times 10^{-2}R^2 + 1.22874 \times 10^{-3}T^2R + 8.5282 \times 10^{-4}TR^2 - 1.99 \times 10^{-6}T^2R^2 \\ & (T: \text{기온}(^{\circ}\text{F}), R: \text{상대습도}(\%)) \end{aligned}$$

[그림 2-3] 열지수 공식

기온에 따른 인체의 건강영향을 확인하기 위해서는 사람의 실제 더위에 대한 분석이 병행될 필요가 있다. 또한 기상청 확인결과, 현재 기온 위주의 폭염 특보 발령기준을 열지수를 바탕으로 변경하는 과정에 있다는 것을 확인하였다. 따라서 앞으로의 기상정보 구축방향 변

경에 대응하고, 인체의 더위 부담을 보다 잘 표현할 수 있는 열지수를 대기온도의 주요 특성 중 하나로 선정하였다. 기상자료개방포털에서 제공하는 열지수는 측정소의 관측값을 기반으로 산출되므로, 기상청의 생활과 산업열지수 예보값과는 차이가 있다. 대기온도 특성과 관련된 자료의 일관성 확보를 위해 측정소의 행정적 위치에 따라 지역코드 두자리로 분류하였으며, 종관기상과 마찬가지로 2000년부터 2019년까지 일단위로 구축하였다.

3) 폭염특보

현재 폭염 노출 근로자의 건강보호 방안은 기상청의 폭염 특보를 기준으로 삼고 있다. 특보에는 주의보와 경보가 있으며, 폭염 특보는 ‘일 최고기온 33℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때’, 폭염 경보는 ‘일 최고기온 35℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때’ 행정지역 단위로 발령한다. 폭염특보의 주된 발효 목적은 연속된 무더위로 인한 온열질환을 대비하기 위함이다. 연속된 무더위는 고온노출로 인한 인체의 부담을 급증하게 하는 주요 원인이다. 따라서 연속된 폭염일수는 인체의 부담을 나타내는 주요 지표일 뿐 아니라 현재 행정체계에서의 대응 지표가 된다. 따라서 대기온도의 주요 특성으로 지역별 폭염특보를 선정하고, 연속된 폭염을 추가로 구축하였다. 대기온도 특성과 관련된 자료의 일관성 확보를 위해 측정소의 행정적 위치에 따라 지역코드 두자리로 분류하였으며, 종관기상과 마찬가지로 2000년부터 2019년까지 일단위로 구축하되, 연속된 폭염특보에 대해서는 ‘폭염 1일차=1’, ‘폭염 2일차=2’와 같이 추가로 코딩하였다. 이를 통해 폭염 특보를 연속폭염일수로 조

작적으로 정의하여 활용하였다.

위와 같이, 우리나라의 전반적인 기상 정보에 대해 고찰하였으며, 기본 기상정보인 종관기상에서 평균기온과 최고기온, 응용기상 중 열지수, 행정기상 중 연속폭염일수를 대기온도의 특성으로 정의하였다. 일조량, 풍속, 습도, 구름의 양 등은 대기온도에 따른 건강영향에 관여하는 인자로 보고 종관기상자료에서 보정 변수로 추출하였다.

4) 건강영향 정보

근로자의 건강영향은 치명건강영향, 일반건강영향, 폭염관련 건강영향의 3가지로 구분하여 구축하였다. 치명 건강영향은 사망으로 선정하였다. 통계청에서는 매년 우리나라의 해당연도 확인된 사망 전수의 현황에 대해 같무리하여 제공하고 있다. 여기에는 신고일자, 사망자의 주소, 성별, 사망 연월일시간, 사망 연령, 사망장소, 사망자 직업, 혼인 상태, 교육정도, 사망원인, 사망자의 국적 등에 대한 정보가 포함되어 있다. 근로자의 일반 건강영향과 폭염관련 질환에 대한 정보는 건강보험공단의 표본코호트 2.0 자료를 활용하였다. 표본코호트의 주요 정보는 자격 및 보험료, 출생 및 사망, 진료 (병의원 이용 내역) 등으로 구성되어 있다. 표본코호트에서 확인 가능한 변수는 인구사회학적 특성인 성별, 연령, 거주지역, 소득(보험료분위), 의료보장 유형, 장애가 있으며, 질병이력 및 건강행태로 과거력/가족력, 흡연/음주/신체활동이 있다, 의료이용으로 상병, 입원/외래, 처치 등이 포함되어 있다. 현재 표본코호트는 2002년부터 2015년까지 공개되어있다.

5. 대기인자와 건강영향과의 연관성 분석

기본적인 분석의 흐름은 다음과 같다. 우선 관심 건강영향 사건의 시계열적 특성을 파악하였다. 관심 시기를 여름철로 한정하지 않고 일단위로 연간 변화의 특성을 파악하였다. 관심 있는 건강영향 사건이 여름철에 두드러지는지와 함께 시계열성이 있는지를 확인하고 여기에 미치는 시계열적 결정 인자 (주중/주말 여부, 계절 등)를 검토하였다. 이렇게 확인된 건강영향의 시계열성을 결과로 선정하고, 대기온도의 특성인 기온 (평균, 최고), 열지수, 연속폭염일수를 주요 노출인자로 선정하였다. 시계열적 결정 인자와 대기의 상태 인자 (풍속, 운량, 일조량, 습도 등)을 보정하여 최적의 모델을 선정하여 분석을 진행하였다.

기상정보의 특성상 비선형성이 높고, 연구 특성상 예측보다는 연관성에 대한 검토가 중심이 되므로 일반화가법 또는 일반화부가모형 (Generalized Additive Model, GAM)을 통해 주요 모형으로 선정하였다. 분석은 기상정보, 통계청사망자료, 표본코호트의 교집합 기간인 2002년부터 2015년으로 지정하였다. 노출변수는 기상 정보 중 지역별 일평균 기온, 일 최고 기온, 열지수, 연속폭염일수이다. 결과변수는 사망 (전체 사망/실외 사망), 특정 감염성 및 기생충성 질환 (A00-B99), 내분비, 영양 및 대사질환 (E00-E90), 정신 및 행동장애 (F00-F99), 순환계통의 질환 (I00-I99), 호흡계통의 질환 (J00-J99), 소화계통의 질환 (K00-K93), 피부 및 피하조직의 질환 (L00-L99), 근골격계통 및 결합

조직의 질환 (M00-M99), 비노생식계통의 질환 (N00-N99), 손상, 중독 및 외인에 의한 특정 기타 결과 (S00-T98), 열 및 빛의 영향 (T67) 및 뇌심혈관계 질환 (허혈심장질환 (I20-I25), 뇌혈관질환 (I60-I69))이다.

기상 정보의 경우, 측정소를 기반으로 수집되고 갈무리되고 있으며, 통계청 사망자료나 표본코호트의 경우 행정구역을 기반으로 자료가 구축되어 있다. 따라서 기상 정보는 동일 행정구역(시도)내의 측정소별 결과값을 평균하여 대푯값으로 적용하였다.

분석 모형 선정을 위해, 추가로 시계열적 특성과 기상 특성을 고려하였다. 시계열적 특성은 주간의 병의원 이용 지표 및 관심 사건 발생 차이와 계절에 따른 의료이용 지표 및 관심 사건 발생 차이이다. 근로자의 경우 주중에 질병 및 사고의 위험이 높으며, 병의원 이용 자료의 경우 주말에 병의원 휴업으로 인한 효과가 확인된다. 이러한 주중과 주말의 차이를 모형에 반영하여 분석하였다. 분석 기간인 2002년부터 2015년까지의 우리나라의 연평균 기온은 연도에 따라 차이가 있었으나 최저 12.4도에서 최고 13.4도로 확인되며 통계적으로 유의한 증가 및 감소 추세는 확인되지 않았다. 우리나라 지리적 특성으로 인해 월별 온도의 차이는 명확히 확인되었으며, 이는 모형에 반영하여 분석하였다. 기상의 건강영향에는 온도뿐 아니라 습도나 바람, 햇볕 등이 영향을 미친다. 따라서 기상 특성으로 운량, 일조시간, 평균풍속, 평균습도를 선정하여 분석에 반영하였다. 또한 지역별로 의료이용 지표 및 관심 사건 발생 차이가 발생한다는 것을 확인하였고 이를 모형에 반영하였다.

분석 기간은 여름철(7, 8월)의 앞뒤 한달을 포함하여, 6월부터 9월로 선정하였다. 노출변수 4가지와 결과변수 12가지에 대하여 각각 분석 모형을 구축하였다. 기본 분석 모형과 변수에 대한 설명은 다음 그림과 같다.

$$\begin{aligned}
 g(event) = & \beta_0 + f_1(exposure_{t-l}) \\
 & + f_2(Months_t) + f_3(Weeks_t) \\
 & + f_4(humidity_t) + f_5(cloud\ amount_t) + f_5(sunlight\ time_t) + f_6(wind_t) \\
 & + f_7(region_t)
 \end{aligned}$$

Event: 사망(전체/실외), 감염성 질환, 내분비 질환, 정신 질환, 순환계 질환 (전체/뇌심혈관계), 호흡계 질환, 소화계 질환, 피부 질환, 근골격계 질환, 비노생식계 질환, 사고 및 손상,

열관련 질환

Exposure: 일평균기온, 최고기온, 열지수, 연속폭염특보일수

Months: 계절별 의료기간 이용 및 관심 사건 발생 차이

Weeks: 요일별 의료기간 이용 및 관심 사건 발생 차이

Humidity: 평균습도

Cloud amount: 운량

Sunlight time: 일조시간

Wind: 평균 풍속

Region: 지역별 의료기간 이용 및 관심 사건 발생 차이

[그림 2-4] 분석 모형 개요

기상 인자의 건강 영향은 노출 이후 시점에도 영향을 미치는 것이 가능하므로, 지연 효과 (lag time effect) 분석을 시행하였다. 연구진이 구축한 일반화부가모형 분석에서 의미 있는 결과가 확인될 경우, 지연 효과분석을 시행하였다. 다만 지연 효과가 선형이 아니라 비선형

적 모형을 가질 수 있으므로 분산비선형지연모델 (Distributed Lag Non-Linear Model, DLNM)을 적용하여 효과 추정을 하였다. 위해도의 추정은 포아송 회귀분석을 이용하였다. 이를 통해, 기상 인자의 노출이 건강에 미치는 영향력의 기간을 고찰할 수 있다.

마지막으로 기상 인자의 노출과 건강영향에 대한 양-반응 관계 (dose-response relationship) 분석을 시행하였다. 이를 통해, 기상 인자가 근로자에게 건강영향을 나타내기 시작하는 역치(threshold)에 대한 추정값을 제시할 수 있다. 역치값의 추정은 다음과 같이 진행된다. 기상 인자와 건강영향의 양-반응 관계를 확인하고 특정 노출인자와 결과의 다차함수 관계식을 선정한다. 함수가 급변하는 지점 근처의 노출인자 값마다 모형의 적합도 평가를 반복 시뮬레이션 한다. 모형의 적합도는 Akaike's Information Criterion (AIC)값을 적용하며, 가장 작은 AIC값이 확인되는 함수를 최적의 모형으로 선정한다. 여기서 확인된 노출인자 지점은 노출인자와 결과인자의 상호관계가 함수적으로 급변하는 지점을 의미하게 된다. 따라서 추산된 노출인자의 값은 노출인자가 건강영향에 미치는 영향이 통계적으로 확연히 변화되는 시점을 의미하며, 이는 곧 기상인자의 역치값으로 해석될 수 있다. 기상 인자의 역치값 추정을 통해, 기상인자 노출로 인한 근로자의 건강영향이 의미있게 나타나는 지점을 제시할 수 있고, 이를 통해 근로자 건강 보호가 본격적으로 필요한 시점을 고찰하는데 활용될 수 있다.

III. 연구 결과

1. 우리나라의 기후 변화 현황 및 전망

1) 상세 기후변화 전망의 필요성

기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에 따르면 최근 30년간의 전지구 평균기온이 과거에 비해서 높게 나타나며 2000년대가 가장 높은 기록으로 기록되어 있다. 이에 대해 기후변화의 영향 평가 및 적응대책의 수립이 요구되고 있다. 전지구 평균기온이 1.5℃ 상승함에 따라 거주 지역 대부분에서 극한고온의 발생이 증가하고 일부 지역에서는 호우 및 가뭄의 발생이 증가될 것으로 전망되며 전지구 평균기온의 상승폭이 커짐에 따라 이 상기상 및 기후 현상 증가 추세가 심화될 것으로 전망되고 있다.

한반도의 기후변화 영향은 광범위한 부문에서 감지되고 지역적으로 다르게 전개될 것으로 전망되고 있다. 기후변화로 인한 근로자의 손상 및 질병에 효율적으로 대처하기 위해서는 체계적이고 과학적인 기상, 기후 전망정보의 활용이 중요하며, 이는 향후 기후변화 대응 및 적응정책 수립을 지원하기 위해 필수적이다.

우리나라의 기후변화 현황 및 전망에 대해 기상청의 ‘한반도 기후변화 전망분석서 (2018)’의 주요 내용을 정리하였다.

2) 한반도 기후의 현황

한반도 평균기온의 공간적 분포는 위도에 따른 변화가 가장 뚜렷하고 해발고도 및 해안에서의 거리 등의 영향이 반영되어 나타났다. 연평균기온은 위도에 따라 남고북저, 해발고도에 따라 중부와 북부에서 서고동저의 분포를 보였으며, 해발고도가 상대적으로 낮은 남한에서 남동해안이 남서해안보다 연평균기온이 높았다.

한반도의 연강수량 분포는 지역별 편차가 크며, 위도가 높아질수록 전반적으로 감소하는 경향을 보였다. 태백산맥의 동쪽에 위치한 강릉, 대관령 등은 국지적으로 많은 강수량이 나타나고, 서울,경기 지역과 함께 한반도 중부 지역에서 동서의 강수대를 형성하였다. 북한의 연강수량은 북쪽으로 갈수록, 해발고도가 높아질수록 감소하는 경향을 보였으며, 한반도 북부의 강수량은 서고동저의 형태를 보였다.

한반도의 연평균 상대습도는 70.2%로 지역별로 60-80% 범위에서 차이를 보였다. 북한의 상대습도는 남한에 비해 높고, 고도가 높고 기온이 낮은 내륙 지역에서 상대적으로 높은 특징을 보였다. 남한의 내륙도시와 해안도시는 각각 도시 발달에 영향을 받아 상대습도가 낮게 나타났다.

한반도 연평균 풍속은 전반적으로 해안선으로부터 거리에 영향을 받고, 해안에서 내륙으로 갈수록 풍속이 약해지는 특성을 보였다. 계절풍, 지리적 위치, 지표 특성에 따라 지역별로 다양한 형태를 보였다.

폭염일수는 북한에 비해 남한에서 상대적으로 많았으며, 남한에서 대구(23.2일)가 최대로 나타났고, 전라도와 경상도 내륙에서 가장 많았다. 남한 중부 영서지역은 연간 폭염일수가 10일 이상, 서울에서는 연간 6.6일로 나타났다. 북한에서는 폭염일수가 강계에서 6.6일로 가장 많았으며 내륙으로 갈수록 증가하지만, 고원에서는 빈도가 매우 적었다. 열대야일수는 북한에 비해 남한에서 많았고, 남한에서 열대야일수는 남부지역과 도시 지역에서 많이 나타나는데 서귀포 25.4일, 포항이 11.8일로 최대이며, 연간 10일 이상 지역은 제주, 성산, 대구, 부산, 광주 등으로 나타났다. 그 외에 서울, 강릉, 군산, 전주, 목포 등에서 연간 7일 이상의 발생빈도를 보였다. 북한에서는 평안도와 함경도 이북에서 연간 1일 미만으로 열대야 발생빈도가 매우 낮았다.

호우일수는 남한에서 북한보다 상대적으로 많이 나타났다. 남한에서 최다 지역은 경상남도 거제(연간 5.3일), 최소 지역은 경상북도 의성(연간 1.2일)으로 나타났으며, 경상북도에서 다른 지역에 비해 호우일수가 적게 나타났다. 북한에서는 동해안의 장전(2.9일), 원산(2.8일)이 가장 많고, 북동지역에서 1일 미만으로 적게 나타났다.

3) 한반도 기후의 시간적 변화 특성

한반도의 연평균기온은 지난 30년간(1981-2010년) 1.2℃ 상승하였고, 가을과 겨울에서 뚜렷한 상승경향을 보였다. 북한의 연평균기온은 1.4℃, 남한은 1.1℃ 에 비해 상승 폭이 더 크게 나타났고, 문경을 제외

하고 모든 관측지점에서 연평균기온이 상승하였으며, 남한은 수도권, 영서, 영남 내륙에서, 북한은 평안남도 내륙과 원산을 중심으로 한 함경도 해안 지역에서 기온이 큰 폭으로 상승하였다. 한반도의 지난 30년간 연강수량 변화는 연변동폭이 커서 통계적으로 유의한 변화를 파악할 수 없으며, 계절별 변화가 여름에서 가장 큰 폭으로 나타났고, 가을에는 감소하는 경향을 보였다. 남한의 대부분 지역에서 연강수량이 증가하지만 지역별 차이가 있으며, 북한의 강수량은 감소 및 증가하는 지역이 혼재되어 나타났다.

4) 한반도의 기후변화 시나리오

기상청은 IPCC의 대표농도경로(Representative Concentration Pathway, RCP)를 사용하여 온실가스 농도 전망을 기초로 전지구 및 한반도 기후변화 시나리오 자료를 2011년부터 생산하고 있다. 시나리오 4종(RCP2.6/4.5/6.0/8.5)에 따른 우리 나라의 미래 기후변화 전망은 다음 표와 같다.

<표 3-1> 우리나라의 미래 기후변화 전망

시나리오	내용
RCP2.6	인간 활동에 의한 영향을 지구스스로 회복 가능한 경우 (미래 온실가스 증가가 2100년경 지구기후시스템에 2.6W/m ² (이산화탄소 농도 420ppm)의 직접적 온실효과 유발 가정)
RCP4.5	온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우 (미래 온실가스 증가가 2100년경 지구기후시스템에 4.5W/m ² (이산화탄소 농도 540ppm)의 직접적 온실효과 유발 가정)
RCP6.0	온실가스 저감 정책이 어느 정도 실현되는 경우 (미래 온실가스 증가가 2100년경 지구기후시스템에 6.0W/m ² (이산화탄소 농도 670ppm)의 직접적 온실효과 유발 가정)
RCP8.5	현재 추세(저감없이)로 온실가스가 배출되는 경우 (미래 온실가스 증가가 2100년경 지구기후시스템에 8.5W/m ² (이산화탄소 농도 940ppm)의 직접적 온실효과 유발 가정)

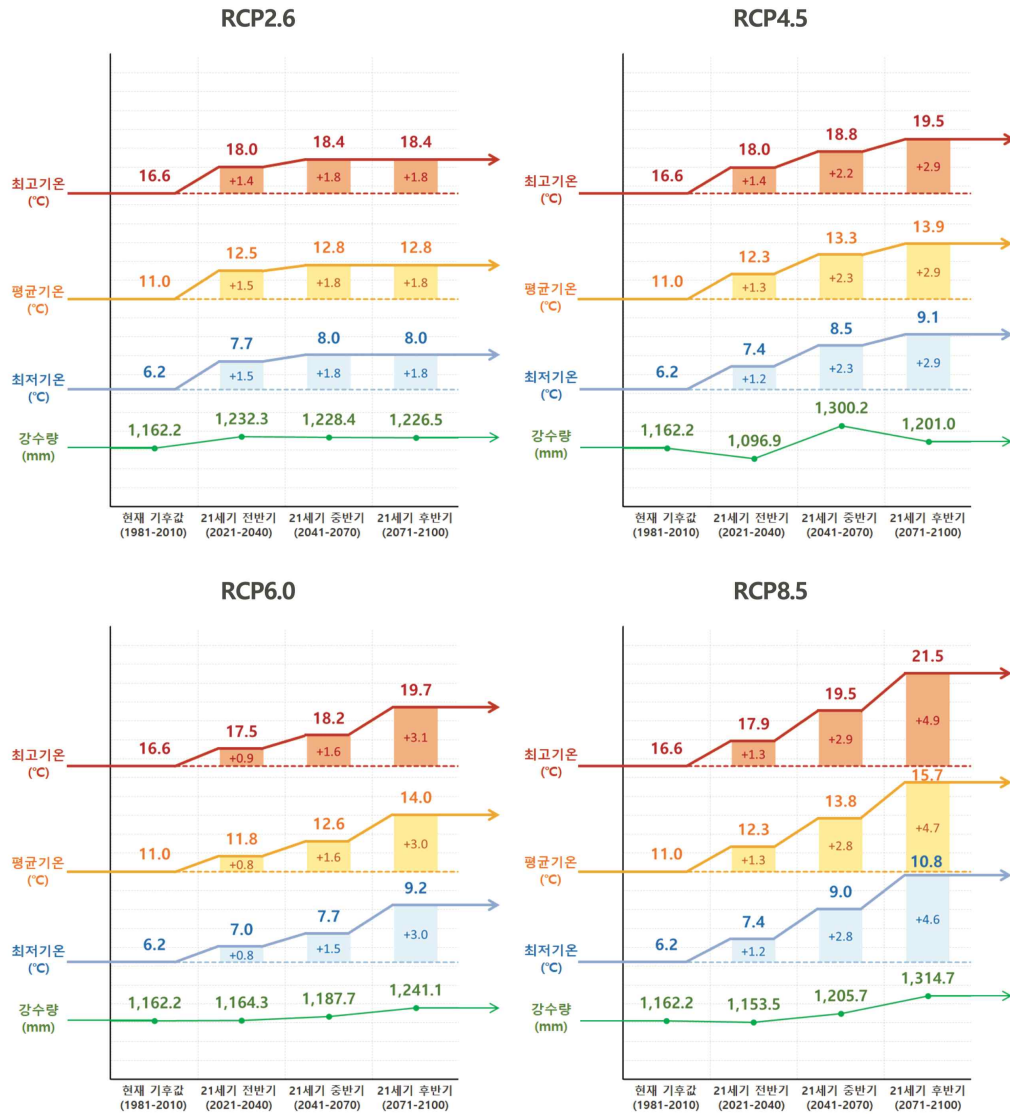
RCP2.6 시나리오에서 한반도의 연평균기온이 현재 대비 21세기 전반기에 +1.5℃, 중반기와 후반기에 +1.8℃ 상승할 것으로 전망되며, 그 외 RCP 4.5 시나리오에서 전반기에 +1.3℃, 중반기에 +2.3℃, 후반기에 +2.9℃ 상승, RCP 6.0 시나리오에서 전반기에 +0.8℃, 중반기에 +1.6℃, 후반기에 +3.0℃ 상승하여 온난화가 후반기까지 지속될 것으로 전망된다. RCP 8.5 시나리오에서는 전반기 +1.3℃, 중반기 +2.8℃, 후반기 +4.7℃ 상승할 것으로 전망되며, 모든 RCP 시나리오에서 한반도 연평균기온은 전지구 및 동아시아의 것에 비해 상승폭이 더 클 것으로 전망된다.

한반도의 연평균 최고기온 및 최저기온은 연평균기온과 유사한 변화 경향을 보여 RCP2.6 시나리오에서는 21세기 중반기 이후 상승하지 않고, 나머지 RCP 시나리오에서 후반기까지 온난화가 지속될 것으로 전망된다. RCP2.6 시나리오에서 한반도의 연강수량이 현재 대비 21세기

전반기에 +6.0%, 중반기에 +5.7%, 후반기에 +5.5% 증가할 것으로 전망되며, RCP4.5 시나리오에서 전반기 -5.6%, 중반기 +11.9%, 후반기 +3.3%, RCP6.0 시나리오에서 전반기 +0.2%, 중반기 +2.2%, 후반기 +6.8%, RCP8.5 시나리오에서 전반기 -0.7%, 중반기 +3.7%, 후반기 +13.1%의 변화가 전망된다.

연강수량은 시나리오에 관계없이 21세기 중반기 및 후반기의 온난한 기후에서 현재와 비교하여 증가할 것으로 전망되고, RCP4.5를 제외한 나머지 시나리오에서 2세기 후반기 한반도의 연강수량은 전지구 및 동아시아와 비교하여 더 큰 폭으로 증가할 것으로 전망된다. 한반도의 연평균 일교차, 풍속 및 상대습도는 현재 기후에서 크게 변화가 없을 것으로 전망된다.

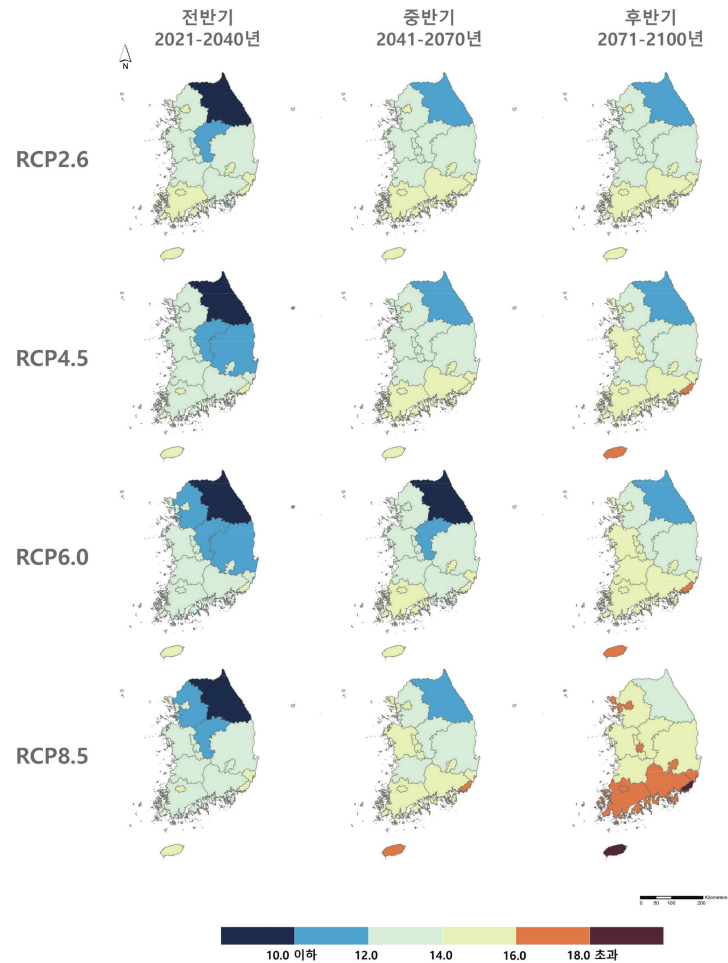
폭염일수, 열대야일수, 여름일수와 같은 고온 관련 극한지수는 증가하고 한파일수, 결빙일수, 서리일수 등의 저온 관련 극한지수는 감소할 것으로 전망된다. 최대 무강수 지속기간은 현재 36.0일로, 시나리오에 관계없이 21세기 후반기에 다소 길어질 것으로 전망되며, 호우일수, 5일 최다 강수량, 강수강도 등의 호우와 관련된 극한지수는 현재 대비 다소 증가할 것으로 전망된다.



[그림 3-1] 한반도의 기온 및 강수량 전망

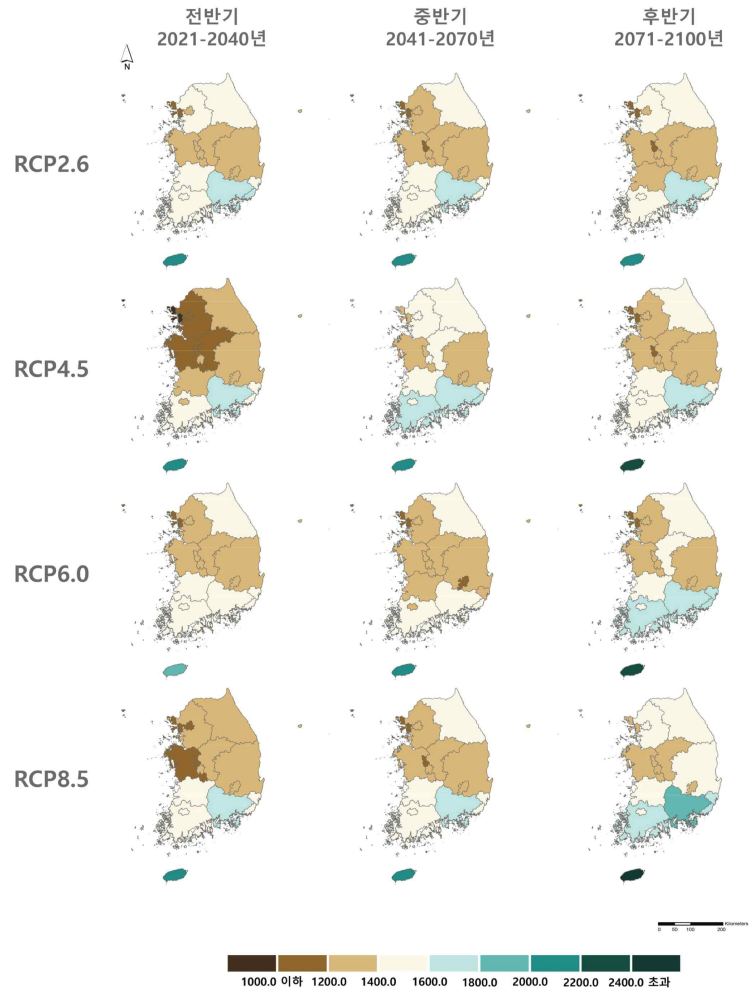
5) 우리나라 지역별 기후변화 시나리오

연평균 기온은 현재 기후값(2001-2010년)에서 제주특별자치도와 부산광역시 14.4℃로 가장 높았으며, 강원도가 8.9℃로 가장 낮았다. RCP 2.6/4.5/6.0 시나리오에서 21세기 후반기에 부산광역시와 제주특별자치도에서 연평균기온이 가장 높고, 강원도가 가장 낮을 것으로 전망되며, RCP8.5 시나리오에서 후반기에 부산광역시가 18.3℃로 가장 높고 강원도가 13.0℃로 가장 낮을 것으로 전망된다.



[그림 3-2] 지역별 연평균기온 전망

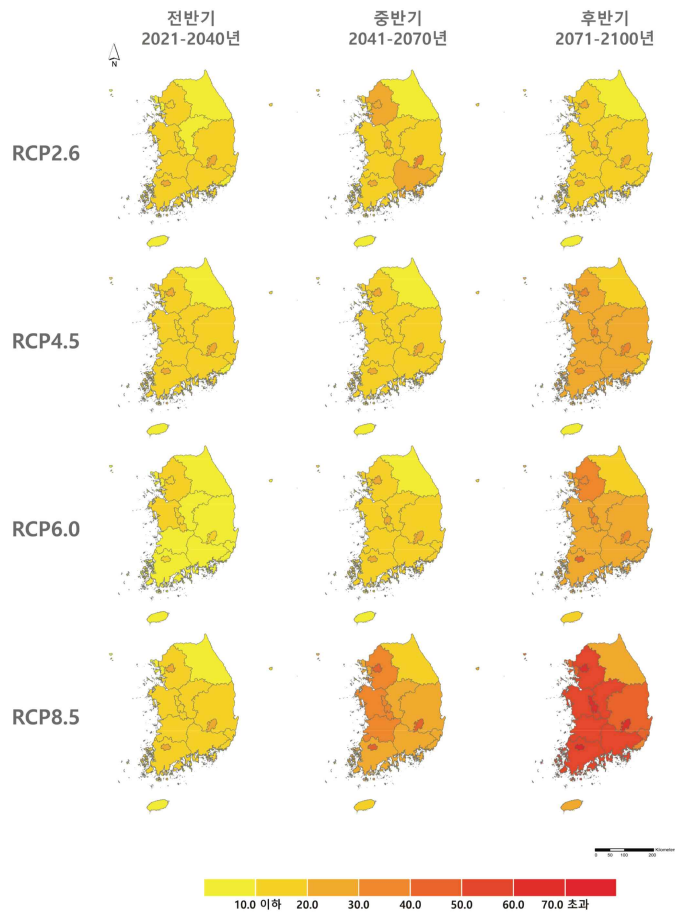
현재 기후값에서 연강수량은 제주특별자치도(2,168.9mm)에서 가장 많았고, 인천광역시(1,194.4mm)에서 가장 적게 나타났다. 모든 시나리오에서 21세기 후반기에 제주특별자치도에서 연강수량이 가장 많으며, 인천광역시에서 가장 적을 것으로 전망된다.



[그림 3-3] 지역별 연강수량 전망

현재 기후값에서 폭염일수는 대구광역시(연간 21.9일)에서 가장 많았고, 제주특별자치도(연간 1.7일)에서 가장 적었다. 모든 시나리오에서 후반기에 제주특별자치도가 가장 폭염일수가 적을 것으로 전망되며, RCP2.6/4.5/6.0/8.5 시나리오에서 후반기에 각각 대구광역시(연간 28.8일), 서울특별시(연간 37.6일), 광주광역시(연간 42.0일), 광주광역시(연

간 71.2일)로 높게 나타날 것으로 전망된다.

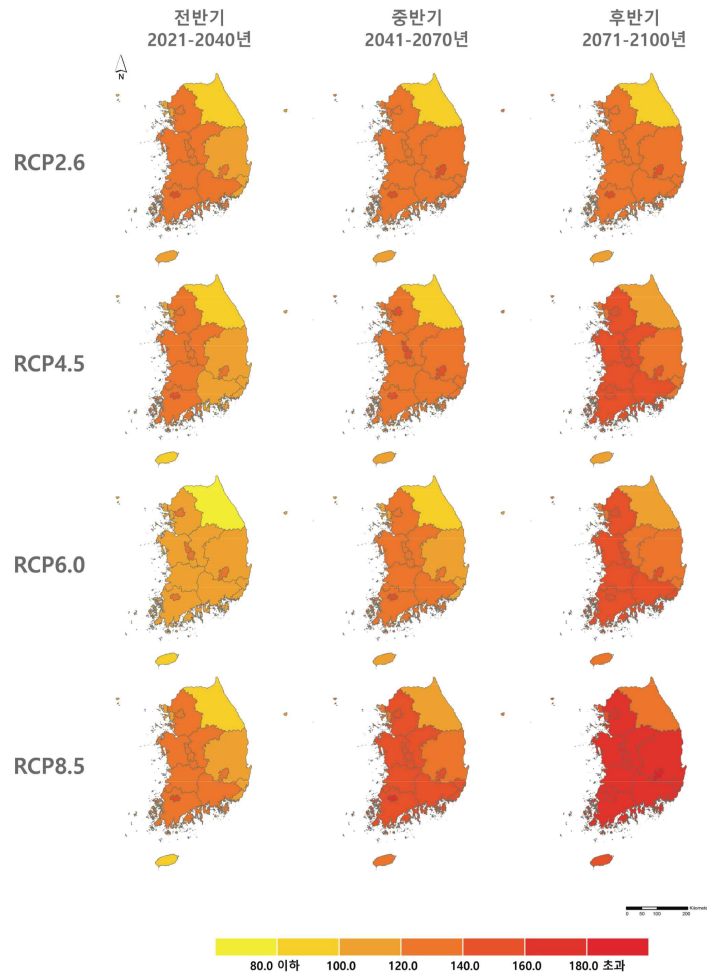


[그림 3-4] 지역별 폭염일수 전망

현재 기후값에서 열대야일수가 가장 많은 지역은 제주특별자치도(연간 9.5일), 가장 적은 지역은 강원도와 충청북도(연간 0.3일)였다. 모든 시나리오에서 후반기에 열대야일수가 강원도에서 가장 적을 것으로 전망되며, RCP2.6/4.5/6.0/8.5 시나리오에서 후반기에 각각 제주특별자치도

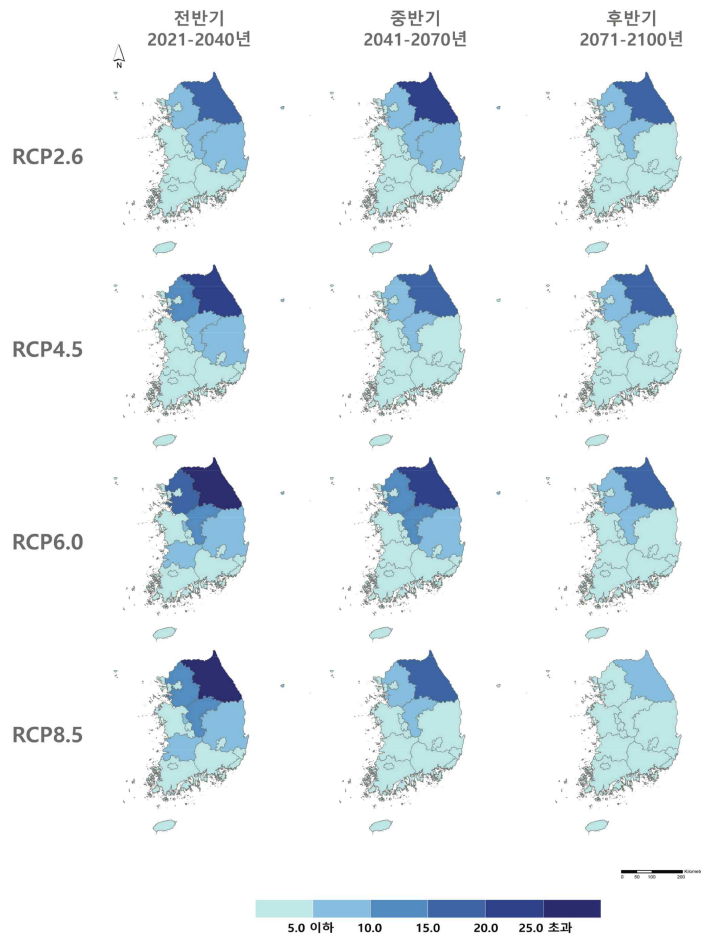
치도(연간 21.6일), 서울특별시(연간 30.4일), 광주광역시(연간 32.9일), 서울특별시(연간 60.9일)로 높게 나타날 것으로 전망된다.

현재 기후값에서 여름일수는 광주광역시(연간 130.7일)에서 가장 많았고, 강원도(연간 74.6일)에서 가장 적었다. 모든 시나리오에서 후반기에 여름일수가 강원도에서 가장 적을 것으로 전망되며, RCP2.6/4.5/6.0 시나리오에서 후반기에 광주광역시(연간 146.7일, 157.7일, 158.7일)에서 가장 많을 것으로, RCP8.5 시나리오에서 대구광역시(연간 180.2일)에서 가장 많을 것으로 전망된다.



[그림 3-5] 지역별 여름일수 전망

현재 기후값에서 한파일수가 가장 많은 지역은 강원도(연간 31.8일)이며, 부산광역시(연간 0.1일)에서 가장 적었다. 모든 시나리오에서 21세기 후반기에 강원도(연간 18.7일, 15.1일, 15.4일, 7.5일)에서 한파일수가 가장 많을 것으로 전망된다.

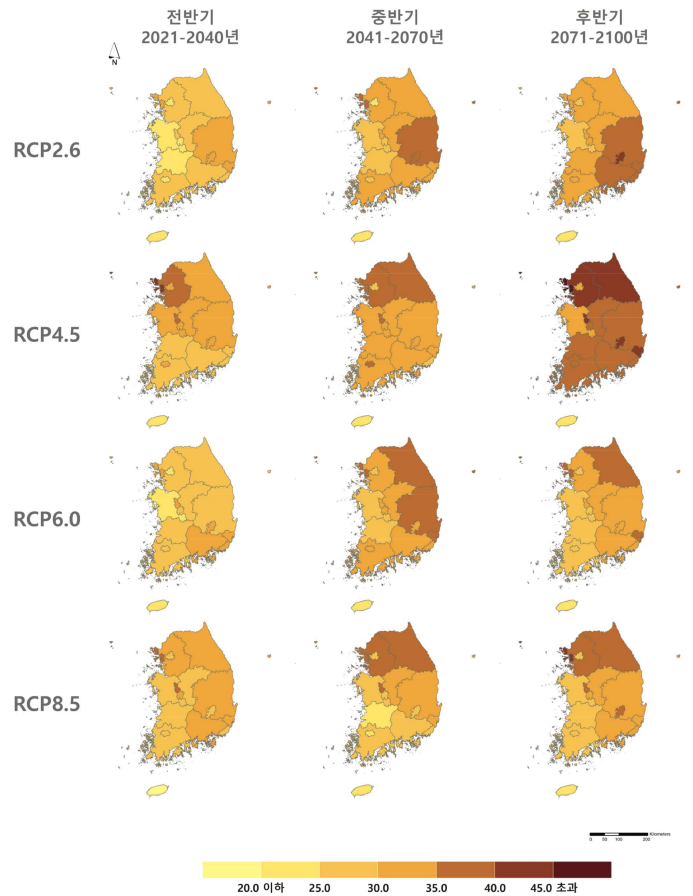


[그림 3-6] 지역별 한파일수 전망

현재 기후값에서 결빙일수가 가장 많은 지역은 강원도(연간 36.3일)이며, 부산광역시(연간 1.4일)에서 가장 적었다. 모든 시나리오에서 21세기 후반기에 강원도(연간 21.5일, 18.0일, 18.5일, 9.2일)에서 가장 많고, 부산광역시에서 가장 적거나 발생하지 않을 것으로 전망된다. 현재 기후값에서 서리일수가 가장 많은 지역은 강원도(연간 144.9일)이

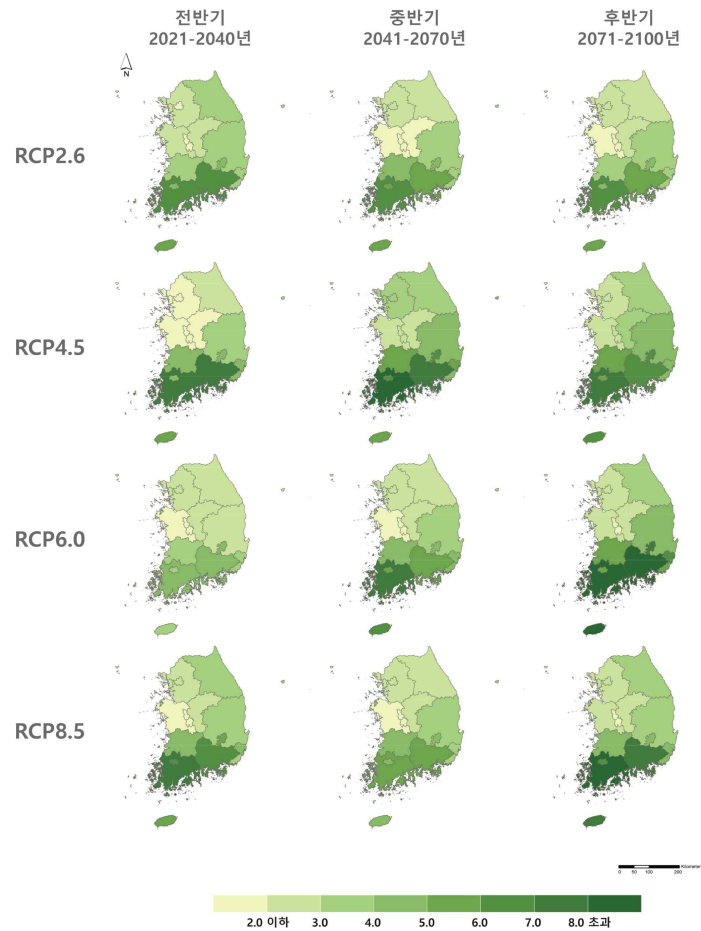
며, 제주특별자치도(연간 35.1일)에서 가장 적었다. 모든 시나리오에서 21세기 후반기에 강원도에서 가장 많고, 제주특별자치도에서 가장 적을 것으로 전망된다.

현재 기후값에서 최대무강수지속기간이 가장 긴 지역은 대구광역시(연간 42.6일), 가장 짧은 지역은 제주특별자치도(연간 22.1일)였다. 모든 시나리오에서 21세기 후반기에 제주특별자치도에서 가장 짧을 것으로 전망되며, RCP2.6 시나리오에서 대구광역시, RCP4.5/6.0/8.5 시나리오에서 각각 인천광역시, 인천광역시와 강원도, 인천광역시에서 가장 길 것으로 전망된다.



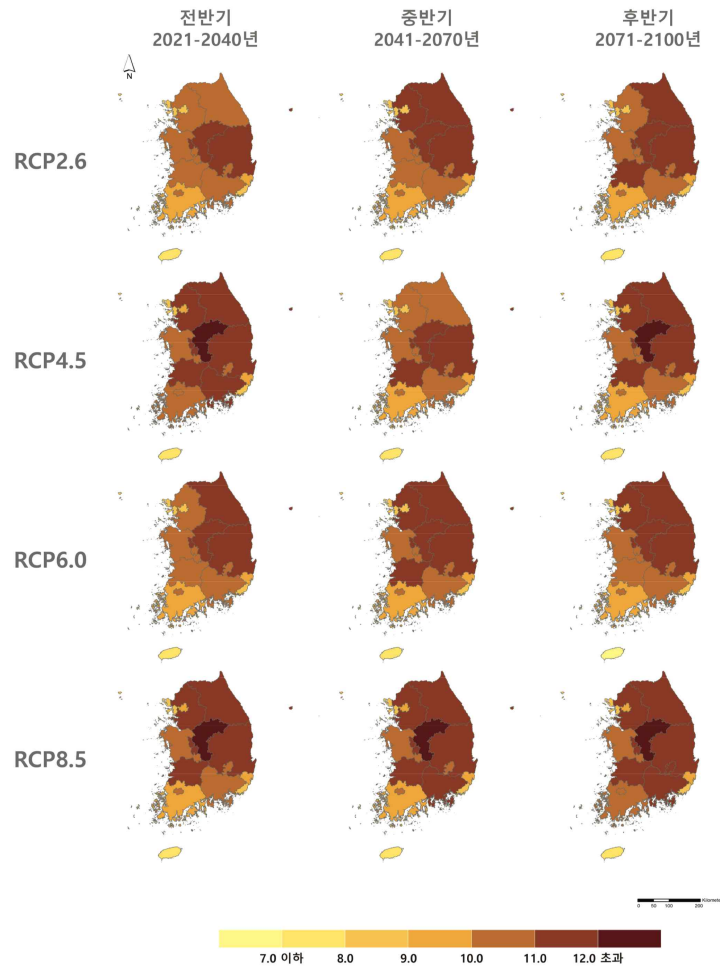
[그림 3-7] 지역별 최대무강수지속기간 전망

현재 기후값에서 호우일수는 제주특별자치도(연간 4.7일)에서 가장 많았고, 세종특별자치시(연간 1.5일)에서 가장 적었다. 21세기 후반기에 RCP2.6/4.5/8.5 시나리오에서 전라남도가 가장 많을 것으로, RCP6.0 시나리오에서 제주특별자치도에서 가장 많을 것으로 전망된다.



[그림 3-8] 지역별 호우일수 전망

현재 기후값에서 연평균 일교차는 충청북도(11.8℃)에서 가장 컸고, 제주특별자치도(7.1℃)에서 가장 작았다. 4종의 RCP 시나리오에서 21세기 후반기에 연평균 일교차는 현재 기후값과 동일하게 충청북도에 가장 크며, 제주특별자치도에서 가장 작을 것으로 전망된다.



[그림 3-9] 지역별 연평균 일교차 전망

6) 시나리오별 기후변화 전망

한반도의 연평균기온은 지난 30년간(1981-2010년) 1.2°C ($+0.41^{\circ}\text{C}/10\text{년}$) 상승했으며, 계절별로는 가을과 겨울에 기온의 상승경향이 뚜렷하게 나타났다. 한반도의 연강수량은 지난 30년간 연강수량의 7%수준인 77.6mm로 미미하게 증가하였지만, 강수량의 연변동폭이 크게 나타나 통계적으로 유의한 변화경향을 보이지 않았다.

지난 30년간(1981-2010년)의 관측자료에서 나타나는 온난화 경향이 한반도의 미래에도 지속될 것으로 예상되며, RCP4.5/6.0 시나리오에서는 온난화가 21세기 후반기까지 지속될 것으로 전망되고, RCP8.5 시나리오에서는 온난화가 점차 가속화되어 후반기에 가장 큰 기온 상승폭을 나타낼 것으로 보인다. 반면 RCP2.6 시나리오에서는 중반기 이후 온실가스 농도가 안정됨에 따라 후반기에는 온난화 추세가 뚜렷하게 완화될 것으로 전망된다. 4종의 RCP 시나리오에서 후반기 한반도의 연평균기온은 전지구 및 동아시아 연평균기온에 비해 더 큰 폭으로 상승할 것으로 보이며, 남한보다 북한에서 상승경향이 상대적으로 크게 나타난다.

한반도의 연강수량은 RCP4.5/8.5 시나리오의 전반기를 제외한 RCP 시나리오의 모든 기간에 증가할 것으로 보이며, RCP 4.5 시나리오를 제외한 3종 시나리오에서 후반기 한반도의 연강수량이 전지구 및 동아시아 연강수량에 비해 더 큰 폭으로 증가할 것으로 전망된다. 또한, 21세기 연강수량의 증가경향은 지역적으로 많은 편차를 보일 것으로

예상되지만 남한이 북한보다 상대적으로 크다.

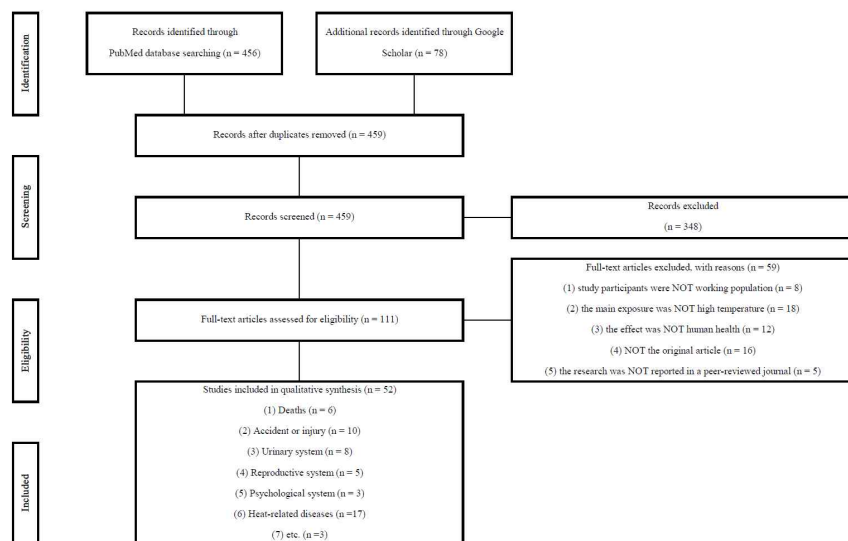
현재 아열대 기후구는 한반도 남해안에 국한되어있지만 21세기 후반 기로 갈수록 경계가 점차 북상할 것으로 보이며, 온난화 전망에 따라 고온 관련 극한지수는 증가하고 저온 관련 극한지수는 감소할 것으로 전망된다. 한파일수는 기온 상승으로 인해 모든 시나리오에서 감소할 것으로 보이며, 최대무강수지속기간은 시나리오에 관계없이 후반기에 다소 길어질 것으로 전망된다. 호우와 관련된 지수들은 현재 대비 다소 증가할 것으로 보이며, 강수량의 변동성 증가로 가뭄, 호우 등과 같은 극한강수 현상이 빈번해질 것으로 전망된다.

우리나라의 기후변화 시나리오에 따르면, 정도의 차이는 있지만 일관된 경향성이 확인된다. 여름의 증가, 연평균 기온의 상승, 강수량의 변동성 증가 등이다. 우리나라의 기후는 한마디로 점점 더워진다. 따라서 기후 변화로 인해 대기 온도는 상승할 것으로 확인되며, 대기 온도의 특성에 따른 근로자의 건강영향을 확인하기 위해서는 폭염 및 고온에 노출되는 근로자의 건강영향에 대한 관심 집중이 최우선 과제이다.

2. 대기온도의 특성에 따른 근로자 건강영향 문헌 고찰

1) 문헌 검색 결과

중복을 제외한 전체 459개의 문헌을 초록을 바탕으로 검토하였다. 근로자가 대상이 아닌 논문, 질병이나 손상 또는 사망이 아닌 인체의 생리학적 변화를 관찰한 논문, 의학적 치료 지침을 주제로 한 논문 등 348개의 논문을 제외하였다. 나머지 111개의 문헌에 대해서는 5인의 전문가가 동일한 기준으로 전체 문헌 검토를 진행하였다. 그 결과, 논문 제외 기준에 따라 전체 59개의 논문이 제외되고 52개의 문헌이 선정되었다.



[그림 3-10] 체계적 문헌 고찰 흐름

2) 문헌고찰 주요 결과

최종 선정된 52개의 문헌은 다음과 같이 분류된다. 가장 많은 문헌은 고온 노출 질환에 대한 문헌이었으며 17편이 확인된다. 사망에 대한 문헌 6편, 사고나 손상에 대한 문헌 10편, 비노신장기계에 대한 문헌 8편, 생식계에 대한 문헌 5편, 정신건강에 대한 문헌 3편, 기타 3편의 문헌으로 분류되었다. 전체 선정된 문헌에 대한 주요 내용은 다음 표와 같다.

<표 3-2> 최종 선정 문헌 개요

번호	제목	출판 연도	주저자	분류
1	Mortality from cardiovascular diseases among potash miners exposed to heat	1995	PascalWild	사망
2	Heat-related fatalities in North Carolina	2005	Maria C. Mirabelli	사망
3	Characterizing occupational heat-related mortality in the United States, 2000-2010: an analysis using the Census of Fatal Occupational Injuries database	2014	Diane M. Gubernot	사망
4	Socioenvironmental factors associated with heat and cold-related mortality in Vadu HDSS, western India: a population-based case-crossover study	2017	Vijendra Ingole	사망
5	Heat Stress Impacts on Cardiac Mortality in Nepali Migrant Workers in Qatar	2019	Bandana Pradhan	사망
6	Analysis of Mortality Change Rate from Temperature in Summer by Age, Occupation, Household Type, and Chronic Diseases in 229 Korean Municipalities from 2007	2019	Jongchul Park	사망
7	Relationship between work-related accidents and hot weather conditions in Tuscany (central Italy)	2006	Marco MORABITO	사고 및 손상
8	Effect of summer outdoor temperatures on work-related injuries in Quebec (Canada)	2015	Ariane Adam-Poupart	사고 및 손상
9	A Case-Crossover Study of Heat Exposure and Injury Risk in Outdoor Agricultural Workers	2016	June T. Spector	사고 및 손상
10	The Impact of Heat Waves on Occurrence and Severity of Construction Accidents	2017	Rameez Rameezdeen	사고 및 손상

11	Association between high ambient temperature and acute work-related injury: a case-crossover analysis using workers' compensation claims data	2017	Judith A McInnes	사고 및 손상
12	Does hot weather affect work-related injury? A case-crossover study in Guangzhou, China	2018	Rongrong Sheng	사고 및 손상
13	The impact of sustained hot weather on risk of acute work-related injury in Melbourne, Australia	2018	Judith Anne McInnes	사고 및 손상
14	Air temperature exposure and agricultural occupational injuries in the Autonomous Province of Trento (2000-2013, North-Eastern Italy)	2018	MATTEO RICCÒ	사고 및 손상
15	Nationwide epidemiological study for estimating the effect of extreme outdoor temperature on occupational injuries in Italy	2019	Alessandro Marinaccio	사고 및 손상
16	Heatwave and work-related injuries and illnesses in Adelaide, Australia: a case-crossover analysis using the Excess Heat Factor (EHF) as a universal heatwave index	2019	Blesson M. Varghese	사고 및 손상
17	Exposure to ambient heat and urolithiasis among outdoor workers in Guangzhou, China	2014	Haiming Luo	비뇨신장계
18	High kidney stone risk in men working in steel industry at hot temperatures	2004	LUIZATAN	비뇨신장계
19	Heat stress, dehydration, and kidney function in sugarcane cutters in El Salvador--A cross-shift study of workers at risk of Mesoamerican nephropathy	2015	Ramón García-Trabanino	비뇨신장계
20	Heat stress, hydration and uric acid: a cross-sectional study in workers of three occupations in a hotspot of Mesoamerican nephropathy in Nicaragua	2016	Catharina Wesseling	비뇨신장계

21	Heat strain, volume depletion and kidney function in California agricultural workers	2017	SallyMoyce	비뇨신장계
22	The impact of heat and impaired kidney function on productivity of Guatemalan sugarcane workers	2018	MirandaDally	비뇨신장계
23	Hydration Status, Kidney Function, and Kidney Injury in Florida Agricultural Workers	2018	Jacqueline Mix	비뇨신장계
24	Evaluation of heat stress and cumulative incidence of acute kidney injury in sugarcane workers in Guatemala	2019	JaimeButler-Dawson	비뇨신장계
25	Influence of occupation and living habits on semen quality in men (scrotal insulation and semen quality)	1988	JoopS.E.Laven	생식기계
26	Effect of male occupational heat exposure on time to pregnancy	1997	P.THONNEAU	생식기계
27	Spermatogenic arrest in men with testicular hyperthermia	2003	RimaDada	생식기계
28	Occupational exposures obtained by questionnaire in clinical practice and their association with semen quality	2009	GWENDOLINEDEFLEURIAN	생식기계
29	Physical and Organizational Job Stressors in Pregnancy and Associations With Primary Cesarean Deliveries	2017	SylviaGuedelman	생식기계
30	The association between overall health, psychological distress, and occupational heat stress among a large national cohort of 40,913 Thai workers.	2010	Benjawan Tawatsupa	정신건강
31	The influence of occupational heat exposure on cognitive performance and blood level of stress hormones: a field study report	2017	Adel Mazlomi	정신건강
32	The effects of hydration on cognitive performance during a simulated wildfire suppression shift in temperate and hot conditions	2019	Michael A.Cvirn	정신건강

33	Eye problems among the workers in re-rolling mill exposed to high temperature	2013	R. Yasmin	기타
34	Dyslipidemia in industrial workers in hot environments	2006	Katia Vangelova	기타
35	Heat exposure, cardiovascular stress and work productivity in rice harvesters in India: implications for a climate change future	2013	Subhashis SAHU	기타
36	Mortality and Morbidity during Extreme Heat Events and Prevalence of Outdoor Work: An Analysis of Community-Level Data from Los Angeles County, California	2018	Kevin Riley	폭염관련질환
37	Risk factors for heatstroke among Japanese forestry workers	2006	Takafumi Maeda	폭염관련질환
38	Differences on the effect of heat waves on mortality by sociodemographic and urban landscape characteristics	2013	Yihan Xu	폭염관련질환
39	Summer outdoor temperature and occupational heat-related illnesses in Quebec (Canada)	2014	Ariane Adam-Poupart	폭염관련질환
40	Heat-related illness among Oregon farm workers	2014	Jeffrey W. Bethel and Renee Harger	폭염관련질환
41	Heat Illness Among North Carolina Latino Farm workers	2015	Thomas A. Arcury	폭염관련질환
42	Risk Factors for Heat-Related Illness in Washington Crop Workers	2015	June T. Spectator	폭염관련질환
43	Extreme heat and occupational heat illnesses in South Australia, 2001-2010	2015	Jianjun Xiang	폭염관련질환
44	Risk and preventive factors for heat illness in radiation decontamination workers after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident	2015	Takeyasuka kamu	폭염관련질환

45	Heat-related symptoms in sugarcane harvesters	2015	JenifferCrowe	폭염관련질환
46	Occupational heat-related illness emergency department visits and inpatient hospitalizations in the southeast region, 2007-2011	2015	L.HarduarMorano	폭염관련질환
47	A Comprehensive Evaluation of the Burden of Heat-Related Illness and Death within the Florida Population	2016	LaurelHarduarMorano	폭염관련질환
48	Estimating the Prevalence of Heat-Related Symptoms and Sun Safety-Related Behavior among Latino Farm workers in Eastern North Carolina	2016	GregoryD.Kearney	폭염관련질환
49	Thermal Exposure and Heat Illness Symptoms among Workers in Mara Gold Mine, Tanzania	2018	E.B.Meshi	폭염관련질환
50	Exertional heat illness: knowledge and behavior among construction workers	2018	DaliaA.El-Shafe	폭염관련질환
51	Classification of Heat-Related Illness Symptoms Among Florida Farm workers	2018	AbbyD.Mutic	폭염관련질환
52	Heat-Related Illness in Midwestern Hispanic Farm workers: A Descriptive Analysis of Hydration Status and Reported Symptoms	2019	KennithCulpeper	폭염관련질환

3) 문헌고찰 세부 내용

근로자의 폭염노출에 따른 폭염관련 질환에 대한 문헌은 17편이 확인된다. 대부분은 응급실 방문 기록을 이용하였으며, 남성, 옥외 작업자 특히 건설업 종사자에게서 폭염관련 질환의 높은 위험이 관찰된다. 폭염관련 질환의 주관적 호소 증상은 과도한 땀, 두통, 어지러움 등으로 보고되었다. 일 최고 기온이 높을수록 근로자의 폭염관련 질환의 위험은 높아졌다.

폭염 노출로 인한 근로자의 사망과 관련된 문헌은 6편이 확인된다. 폭염은 심혈관의 부담을 높이는 주요 외부 인자 중 하나이다. 여름철의 평균기온 증가는 근로자의 사망 위험이 유의미하게 증가한 것으로 확인되며, 소규모 사업장, 옥외 작업자, 농림어업 및 건설업 종사자에게서 사망위험은 더욱 큰 것으로 보고되었다. 사망원인의 대부분은 심혈관질환으로 추정된다.

폭염과 관련된 근로자의 사고나 손상에 대한 문헌은 10편이 확인된다. 높은 기온은 외부 자극으로 부터의 인체 반응 속도를 느리게 하고 위험상황에 대한 인식이나 대응을 부적절하게 하는 것으로 알려져 있다, 일평균 기온의 증가는 작업과 관련된 사고의 위험을 높이는 것으로 보고된다. 소규모 사업장, 고령, 건설업 종사자에게서 여름철의 사고 위험이 높은 것으로 관찰되며, 특히 일 최고 기온이 높을수록 근로자의 사고 위험은 높아졌다.

높은 기온은 체액의 변화를 초래하여 신장 및 비뇨기계에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 폭염 노출 근로자의 비뇨신장기계에 대한 문헌은 8편이 확인된다. 폭염에 노출되는 옥외작업자에게서 요로결석의 위험이 크게 증가한 것으로 확인되며, 대기온도 뿐 아니라 실내 작업장의 온도가 높은 경우에도 유사한 연관성이 확인된다. 농림어업이나 건설업 종사 근로자에게서 폭염 노출시 신장 기능 저하나 급성 신장 손상 등의 위험이 높아진 것으로 보고되었다.

폭염으로 인한 탈수 및 체액의 변화는 호르몬을 포함한 인체 항상성 유지에 부담을 증가시키고 이는 생식기계에 부정적인 건강영향으로 나타날 수 있다. 폭염 노출 근로자의 생식계에 대한 문헌은 5편이 확인된다. 폭염에 노출된 남성 근로자에게서 정자 운동 능력 및 생식의 저하가 관찰되며, 여성 근로자에게서는 출산 합병증의 위험이 높은 것으로 보고되었다.

안전하지 않은 작업환경은 근로자의 정신건강에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 폭염에 노출되는 작업장은 안전하지 않은 대표적인 작업 환경 중 하나이다. 이로 인해 폭염 노출 근로자에게서 역학적으로 의미있는 정신건강영향이 확인되고 있다. 정신건강에 대한 문헌은 3편이 확인된다. 폭염에 노출되는 근로자에게서 높은 불안이나 우울 위험이 확인되며, 인지기능저하도 관찰된다. 또한 고온 노출 근로자에게서 탈수 증상과 연관되어 증가된 스트레스 호르몬 수치도 보고되었다.

인체내 반응 기전은 명확하지 않지만 역학적으로 관찰된 근로자의
 폭염관련 질환에 관한 문헌은 3편이 확인된다. 고지혈증의 위험 증가,
 안구 불편감이 여기에 해당된다.

해당 문헌의 세부적인 결과는 다음 표로 정리하였다.

<표 3-3> 문헌 고찰 세부 내용

번호	주요 내용	분류
1	The overall mortality was low (Age-standardized mortality ratio(SMR)=0.89, based on 570 deaths) and was lower among underground workers (SMR=660 per 100,000 person-years, 266 deaths) than among daylight workers (SMR=710 per 100,000 person-years, 304 deaths). Mortality from ischemic heart diseases was higher for underground workers than for daylight workers (relative risk, RR=1.6)	사망
2	For each 1°F increase in average summer temperature, the rate of heat-related death increased 59% in the total population (RR = 1.59; 95% CI = 1.36, 1.87) and 37% in the working population (RR = 1.37; 95% CI = 0.99, 1.90).	사망
3	Between 2000 and 2010, 359 occupational heat-related deaths were identified in the U.S., for a yearly average fatality rate of 0.22 per 1 million workers. Highest rates were found among Hispanics, men, the agriculture and construction industries, the state of Mississippi, and very small establishments.	사망
4	Odds ratios were higher among farmers (OR 1.70; CI = 1.02–2.81)	사망
5	There was a strong correlation between average monthly afternoon heat levels and mortality from cardiovascular problems.	사망
6	Mortality change rate of outdoor workers was 1.17 and others was 1.10 above 35°C (p < 0.01)	사망
7	Results suggested that days with an average daytime AT value ranged between 24.8°C and 27.5°C were at the highest risk of work-related accident.	사고 및 손상
8	The incidence rate ratio (IRR) of daily compensations per 1°C increase was 1.002 (95% CI 1.002-1.003) for all health regions combined	사고 및 손상

9	Traumatic injury odds ratio, OR was 1.14 (95% CI 1.06 to 1.22), 1.15 (95% CI 1.06 to 1.25) and 1.10 (95% CI 1.01 to 1.20) for daily maximum humidex of 25-29, 30-33, and ≥ 3 , compared to < 25). Strong association during duties in the June and July time.	사고 및 손상
10	Old age workers are more vulnerable to accidents and more likely to suffer higher severity of accidents than younger workers during heat waves. Similarly, small-sized companies are over-represented among severe construction accidents during heat wave periods	사고 및 손상
11	The strength of associations between injury risk and maximum daytime temperature for young workers (OR 1.008, 95% CI 1.001–1.015) and male workers (OR 1.003, 95% CI 1.000–1.006)	사고 및 손상
12	For 1°C increase in maximum temperature was associated with a 1.4% (RR=1.014, 95% CI 1.012–1.017) increase in daily injury claims (significant association in male and middle-aged workers, small and medium-sized enterprises, working in manufacturing sector). For 1°C increase in minimum temperature was associated with 1.7% (RR = 1.017, 95% CI 1.012–1.021) increase in daily injury claims (significant association in female, middle-aged, large-sized enterprise, transport and construction sectors)	사고 및 손상
13	Two and three consecutive days of hot weather were associated with an increased risk of injury, with this effect becoming apparent at a daily maximum temperature of 27.6 °C (70th percentile). Three consecutive days of high but not extreme temperatures were associated with the strongest effect, with a 15% increased risk of injury (odds ratio 1.15, 95% confidence interval 1.01–1.30) observed when daily maximum temperature was $\geq 33.3^{\circ}\text{C}$ (90th percentile) for three consecutive days, compared to when it was not.	사고 및 손상
14	The peak of work-related accidents occurred during heat waves (incidence RR= 1.09, 95% CI: 1.02–1.17, $p = 0.0165$).	사고 및 손상
15	The RR of occupational injury for heat were 1.17 (95% CI: 1.14-1.21). Construction workers were highest risk of injuries on hot days.	사고 및 손상

16	Work-related compensation claims increased during low and moderately severe heatwaves. Positive associations were observed during moderate heatwaves in compensation claims made by new workers (RR 1.31, 95% CI 1.10–1.55), workers in medium-sized enterprises (RR 1.15, 95% CI 1.01–1.30), indoor industries (RR 1.09, 95% CI 1.01–1.17), males (RR 1.13, 95% CI 1.03–1.23) and laborers (RR 1.21, 95% CI 1.04–1.39).	사고 및 손상
17	Spray painters were most likely to develop urolithiasis (OR 4.4 95%CI 1.7-11.4). Outdoor workers were more likely to present with urolithiasis compared to indoor employees ($p < 0.05$). Workers with longer cumulative exposure time had higher risk for urolithiasis (OR=1.5, 95%CI:1.2-1.8)	비뇨신 장계
18	Of the 10,326 workers, 181 (1.75%) had presented with at least one episode of urinary stones. Of these, 103 were among the hot-area workers (8.0%) and 78 among the room-temperature workers (0.9%; $P = 0.001$).	비뇨신 장계
19	There were statistically significant changes in kidney dysfunction by mean workday temperature.	비뇨신 장계
20	Dehydration and kidney dysfunction were most common among sugarcane cutters exposed to heat stress.	비뇨신 장계
21	Workers who experienced heat strain had increased adjusted OR of acute kidney injury (AKI) (1.34, 95% CI 1.04 to 1.74).	비뇨신 장계
22	Workers starting the harvest season with impaired kidney function were more than twice as likely to leave employment (HR: 2.92, 95% CI: 1.88, 4.32).	비뇨신 장계
23	The odds of AKI increased 47% for each 5-degree (8F) increase in heat index.	비뇨신 장계
24	Cumulative incidence of AKI was 53% in February, 54% in March, and 51% in April.	비뇨신 장계
25	Occupational and living habits apparently through scrotal insulation can influence sperm quality.	생식기 계
26	The time required to achieve a pregnancy for the subgroups 'exposure to heat' was significantly longer ($p < 0.05$) than for the controls	생식기 계

27	Twenty azoospermic and fourteen oligozoospermic men had high testiculoepididymal temperatures, either due to occupational exposure to high temperature or varicocele.	생식기 계
28	Excess heat was associated with impaired sperm motility.	생식기 계
29	Exposure to extreme temperature had elevated OR of cesarean delivery. (OR=1.46, 95% CI=0.72–2.96)	생식기 계
30	Workers who exposed to heat stress have poor overall health (OR 1.49, 95%CI 1.32-1.66), psychological distress (OR 1.84, 95% CI 1.69-2.00).	정신건 강
31	Heat stress leads to increase in the blood level of stress hormones, resulting in cognitive performance impairment.	정신건 강
32	Cognitive functions may be deteriorated in the heat while dehydrated	정신건 강
33	Most of the complaints of eye were found to be associated with high temperature (more than 40°C) at workplace	기타
34	Significantly higher TC, LDL-C and TC/HDL-C were found with the heat exposed industrial workers. Odds ratio indicated higher risk in heat exposed industrial workers of becoming dyslipidemic [for TC OR=1.481 (1.097-2.002) and for LDL-C OR=1.539 (1,123-2.111)]	기타
35	The hourly number of rice bundles collected was significantly reduced at WBGT>26°C (approximately 5% per °C of increased WBGT) Most workers reported exhaustion and pain during work on hot days. Heart rate recovered quickly at low heat, but more slowly at high heat, indicating cardiovascular strain.	기타
36	Each percentage increase in residents working in construction resulted in an 8.1 percent increase in heat-related emergency department (ED) visits and a 7.9 percent increase in heat-related hospitalizations, while each percentage increase in residents working in agriculture and related sectors resulted in a 10.9 percent increase in heat-related ED visits.	폭염관 련질환

37	One third of forestry workers developed some symptoms of early heatstroke during summer forestry work. Multiple regression analysis selected the following key variables associated with the development of heatstroke symptoms: frequency of urination, hotness, BMI and years of forestry work (standard coefficients: +0.229, +0.194, +0.280 and -0.162)	폭염관련질환
38	Analyses were based on 52,806 deaths. The effect of three consecutive hot days was a 30% increase in all-cause mortality (RR=1.30, 95% CI 1.24 to 1.38). Heterogeneity of this effect was observed across census tracts. The effect of heat on mortality was higher in the census tracts with a large percentage of old buildings (RR=1.21, 95% CI 1.00 to 1.46), manual workers (RR=1.25, 95% CI 0.96 to 1.64) and residents perceiving little surrounding greenness (RR=1.29, 95% CI 1.01 to 1.65).	폭염관련질환
39	The pooled incidence RR (IRR) of daily heat-related compensations per 1°C increase in daily maximum temperatures was 1.419 (95% CI 1.326 to 1.520).	폭염관련질환
40	Sixty-four percent of respondents reported experiencing a symptom consistent with heat related illness (HRI) symptoms during a hot day at work in the past week. Heavy sweating (50%) and headache (24%) were the most commonly reported symptoms followed by extreme weakness/fatigue (14%) and skin rash or skin bumps (10%).	폭염관련질환
41	A third (35.6%) of the participants reported heat illness while working outside, and 13.9% while working inside. Factors associated with heat illness while working outside included working in wet clothes and shoes, harvesting and topping tobacco, and spending after-work time in an extremely hot house.	폭염관련질환
42	An increase in age was associated with a lower odds of HRI symptoms (OR=0.92; 95% CI=0.87-0.98). Piece rate compared with hourly payment (OR=6.20; 95% CI=1.11-34.54) and needing to walk for more than 3 minutes to get to the toilet, compared with less than 3 minutes (OR=4.86; 95% CI=1.18-20.06), were associated with a higher odds of HRI symptoms.	폭염관련질환

43	The overall risk of occupational heat illness was positively associated with maximum temperature (Tmax), especially when Tmax was over the threshold of 35.5°C. One degree increase of Tmax was associated with a 12.7% (incidence rate ratio 1.127, 95% CI 1.067 to 1.190). During heatwave periods, the risk of occupational heat illness was about 4–7 times higher than that of non-heatwave periods. Among the total number of identified occupational heat illnesses, 142 (46.4%) compensation claims were diagnosed as 'heat stress/heat stroke', and 133 (43.5%) were diagnosed as 'other unspecified diseases or injuries' due to effects of weather, exposure, air pressure and other external factors	폭염관련질환
44	Of the 528 workers, 316 (59.8%) experienced heat illness symptoms. The results of the stepwise selection revealed that age, outdoor manual labor, adequate sleep, use of a cool vest, and salt intake were selected as preventive factors, whereas living in a company dormitory or temporary housing, wearing light clothing, and consuming breakfast were selected as risk factors for heat illness.	폭염관련질환
45	The number of heat-related symptoms at least once a week reported by each individual was higher for harvesters than non-harvesters, 82% of harvesters compared to 49% of non-harvesters reported ≥ 1 symptoms; for ≥ 2 symptoms, these figure were 59% versus 19% and for ≥ 3 symptoms 42% versus 3%.	폭염관련질환
46	Occupational HRI ED visit rates were highest for males (RR=5.7, 95% CI=5.3 to 6.1) and minority workers (i.e., black and other race) (RR=1.4, 95% CI=1.3 to 1.5). The rate of occupational HRI among residents was significantly higher for males compared to females (RR=20.7; 95%CI=15.0 to 28.5). Compared with whites, the HRI hospitalization rate was 1.5 times higher for blacks (95% CI=1.3 to 1.8) and 3.4 times higher for other minorities (95% CI=2.8 to 4.2).	폭염관련질환
47	The highest rates and counts of HRI were observed in males, those living in rural counties, and residents aged 15–35 years.	폭염관련질환

48	Nearly two thirds (72%) of farmworkers experienced at least one HRI symptom and lacked proper cooling methods when working outdoors. Most workers reported wearing long-sleeved shirts (85%), long pants (98%), and baseball caps (93%). The prevalence of having one HRI symptom was 72% and 27% among workers having three or more HRI symptoms.	폭염관련질환
49	Of 78.4% of underground miners and 69.6% of open cut miners reported to have moderate heat illness.	폭염관련질환
50	The most reported symptoms of heat illness were sweating (100.0%), dizziness (98.0%), and muscle pain (82.0%). Most workers showed signs of minimal dehydration (78.7%). There was a significant improvement in workers' knowledge about EHI and behavioral action for prevention after health education.	폭염관련질환
51	Most frequently reported symptoms were heavy sweating (66%), headache (58%), dizziness (32%), and muscle cramps (30%). Females had three times the odds of experiencing three or more symptoms (OR = 2.86, 95% CI 1.18-6.89). Symptoms fell into three latent classes, which included mild (heavy sweating; class probability = 54%), moderate (heavy sweating, headache, nausea, and dizziness; class probability = 24%), and severe (heavy sweating, headache, nausea, dizziness, muscle cramps; class probability = 22%).	폭염관련질환
52	The most frequently occurring symptom across all farmworkers was extreme thirst (19.6%), but muscle cramps (7.4%) and feeling light-headed or dizzy (5.4%) were also indicated by participants. Younger workers (aged 18-34 years) were more likely to report distressing heat symptoms of stomach cramps (8.6%) than the ≥ 35 -year-old participants (2.2%); however, the ≥ 35 years were more likely to report the less distressing skin rash (4.4%) than the younger workers (1.7%).	폭염관련질환

4) 문헌고찰 결과 활용 및 시사점

동일 검색기간에서 고온의 대기온도와 일반인구의 건강영향에 대한 기존 문헌이 수만 건인 것에 비하면, 고온의 대기온도에 노출되는 근로자의 건강영향에 대한 문헌은 오백여건으로 매우 적다. 그만큼 근로자를 대상으로 한 고온 노출의 건강영향에 대한 연구가 적다는 것을 확인할 수 있었다. 폭염 노출 근로자는 폭염과 연관된 질환 뿐 아니라 다양한 건강영향이 나타나는 것으로 확인된다. 고온에 노출되는 근로자의 경우, 기본적인 신체 부담이 증가함에 따라 고령 또는 만성질환의 과거력을 가진 취약계층뿐 아니라 일반 근로자집단에서도 심혈관계 질환을 주요 원인으로 하는 사망의 위험이 높은 것이 나타난다. 고온의 노출은 주의 집중력을 떨어뜨려 근로자의 사고 및 손상 위험을 높이는 것으로 보고되고 있다. 고온으로 인한 탈수 등은 체액의 불균형을 유발하여 신장 및 비뇨기계통의 부담을 증가시킨다. 고온 노출로 인해 다양한 순환 및 배설기계의 건강 악영향이 확인된다. 고온 노출로 인한 체액의 불균형은 생식기계에도 영향을 미치는 것으로 확인되며, 특히 고온에 만성적으로 노출되는 남성 근로자에게서는 정자생성 능력 및 수정 능력 전반의 기능부전이 보고되고 있다. 고온의 노출은 간접적인 건강영향도 확인된다. 고온 노출 근로자는 우울증, 수면장애 등의 위험이 높은 것으로 나타나며, 주관적인 건강인식이 낮고, 통증 등에 민감해지는 경향이 확인된다.

높은 대기 온도에 노출되는 근로자에게서 인체 전반의 건강영향이 확인되었다. 기존 문헌으로 확인된 건강영향을 중심으로, 고온에 노출되는 우리나라 근로자를 대상으로 한 정밀한 건강영향 분석이 필요하다. 특히 주요 건강영향으로 사망, 사고 및 손상, 신장비뇨기계, 생식기계, 정신건강 등에 대한 연구가 필요하다.

3. 기상 자료 구축

구축된 기상정보의 연도별, 지역별 구축현황은 다음과 같다. 측정소의 변화 등으로 인해 일부 기간이나 장소에서의 기상 정보는 구축되어 있지 않았다.

<표 3-4> 기상자료 구축 현황

지역		측정소		종관기상	열지수	폭염특보
코드	이름	번호	이름			
11	서울	116	관악산	없음	없음	○
11	서울	108	서울	○	○	○
26	부산	159	부산	○	○	○
27	대구	143	대구	○	○	○
27	대구	176	대구(기)	13-14	10-19 (일부)	○
28	인천	201	강화	○	○	120827없음
28	인천	102	백령도	○	00-09 (일부)	○
28	인천	112	인천	○	○	○
29	광주	156	광주	○	○	○
30	대전	133	대전	○	○	○
31	울산	152	울산	○	○	○
36	세종	239	세종	없음	19	○
41	경기	98	동두천	○	○	○
41	경기	119	수원	○	○	○
41	경기	202	양평	○	○	○
41	경기	203	이천	○	○	○
41	경기	99	파주	01-19	00-09 (일부)	○
42	강원	105	강릉	○	○	○
42	강원	100	대관령	○	○	○
42	강원	106	동해	○	○	○
42	강원	104	북강릉	08-19	00-09 (일부)	○

42	강원	93	북춘천	○	10-19 (일부)	○
42	강원	214	삼척	없음	없음	○
42	강원	90	속초	○	○	○
42	강원	121	영월	○	○	○
42	강원	114	원주	○	○	○
42	강원	211	인제	○	○	○
42	강원	217	정선군	10-19	10-19 (일부)	○
42	강원	95	철원	○	○	○
42	강원	101	춘천	01-19	○	○
42	강원	216	태백	○	○	○
42	강원	212	홍천	○	10-19 (일부)	○
43	충북	226	보은	○	○	○
43	충북	221	제천	○	○	○
43	충북	131	청주	○	○	○
43	충북	135	추풍령	○	○	○
43	충북	127	충주	02-19	○	○
44	충남	238	금산	○	○	○
44	충남	235	보령	○	○	○
44	충남	236	부여	○	○	○
44	충남	129	서산	○	○	○
44	충남	232	천안	○	○	○
44	충남	177	홍성	15-19	○	○
45	전북	172	고창	○	○	○
45	전북	251	고창군	07-19	10-19 (일부)	○
45	전북	140	군산	○	○	○
45	전북	247	남원	○	○	○
45	전북	243	부안	○	○	○
45	전북	254	순창군	08-19	00-09 (일부)	○
45	전북	244	임실	○	○	○
45	전북	248	장수	○	○	○
45	전북	146	전주	○	○	○
45	전북	245	정읍	○	○	○
46	전남	259	강진군	10-19	09-19	○
46	전남	262	고흥	○	○	120522,

						120905 없음
46	전남	266	광양시	10-19	10-19 (일부)	○
46	전남	165	목포	○	○	○
46	전남	164	무안	00	00-09 (일부)	○
46	전남	258	보성군	10-19	10-19 (일부)	○
46	전남	174	순천	11-19	10-19 (일부)	○
46	전남	168	여수	○	○	○
46	전남	252	영광군	07-19	00-09 (일부)	○
46	전남	170	완도	○	○	190823, 190824 없음
46	전남	260	장흥	○	○	○
46	전남	256	주암	00-12	10-19 (일부)	○
46	전남	175	진도(첨 찰산)	01-19	10-19 (일부)	○
46	전남	268	진도군	14-19	10-19 (일부)	○
46	전남	261	해남	○	○	○
46	전남	169	흑산도	○	○	○
47	경북	283	경주시	10-19	○	○
47	경북	279	구미	○	○	○
47	경북	273	문경	○	○	○
47	경북	271	봉화	○	○	○
47	경북	137	상주	02-19	00-09 (일부)	○
47	경북	136	안동	○	○	○
47	경북	277	영덕	○	○	○
47	경북	272	영주	○	○	○
47	경북	281	영천	○	○	110714 없음
47	경북	115	울릉도	○	○	○
47	경북	130	울진	○	○	○
47	경북	278	의성	○	○	○
47	경북	276	청송군	10-19	10-19 (일부)	○
47	경북	138	포항	○	○	○
48	경남	294	거제	○	○	○
48	경남	284	거창	○	○	○
48	경남	253	김해시	08-19	00-09 (일부)	○
48	경남	295	남해	○	○	○

48	경남	288	밀양	○	○	○
48	경남	255	북창원	09-19	00-09 (일부)	○
48	경남	289	산청	○	○	○
48	경남	257	양산시	09-19	00-09 (일부)	○
48	경남	263	의령군	10-19	10-19 (일부), 100621 없음	○
48	경남	192	진주	○	○	○
48	경남	155	창원	○	○	○
48	경남	162	통영	○	○	○
48	경남	264	함양군	10-19	10-19 (일부), 100621 없음	○
48	경남	285	합천	○	○	190902, 190903 없음
40/50	제주	185	고산	○	○	○
40/50	제주	189	서귀포	○	○	○
40/50	제주	188	성산	○	○	○
40/50	제주	187	성산	00-08	00-09 (일부), 080905 없음	○
40/50	제주	265	성산포	00-07	00-09 (일부)	○
40/50	제주	184	제주	○	○	○

4. 건강 영향 자료 구축

1) 치명 건강영향 자료 구축

사망자료에서 근로자는 다음과 같이 정의하였다. 사망자의 직업 변수를 활용하였으며, 사망자의 직업을 확인하기 어렵거나 결측 값은 경우에는 근로자로 포함하지 않았다. 사망 당시에 근로에 대한 정보가 구축된 근로자만이 분석에 포함되었으므로 실제 근로자는 이번 분석에 포함된 근로자보다 많을 수 있다. 또한 근로의 형태나 작업 내용, 작업 장소, 사무직여부 등은 확인할 수 없었다. 사망 지역을 바탕으로 발생건수를 지역별로 갈무리하였으며, 해당 지역에 따른 기상정보를 적용하였다.

사망원인은 한국표준질병사인분류 코드 및 질병명을 기반으로 작성되었다. 근로자의 치명 건강영향은 사망이라는 사건자체이므로 사망 전체(all-cause-mortality)를 추출하였다. 사망장소에 대한 변수는 주택 내, 의료기관, 사회복지시설, 공공시설, 도로, 상업 및 서비스시설, 산업장, 농장, 병원 이송중 사망, 기타 및 미상으로 되어있다. 이 중 도로 및 농장에 대해서 실외에서의 사망으로 분류하였다. 도로는 교통사고를 포함하며, 사망장소의 경우 결측값이 많아 옥외에서의 사망을 대표하지는 못한다는 점을 감안하여 결과를 해석해야 한다. 또한 산업장에서의 사망은 이번 연구에 중요하게 해석될 여지가 있으나, 연간 약 27만여 전체 사망 중에 500여건(약 0.2%)으로 빈도가 매우 낮아

별도 분석이 제한되었다 (2015년 기준). 현재 자료는 1997년부터 2018년까지 공개되었으며, 해당 기간에 대해 근로자의 사망 현황에 대한 자료를 구축하였다.

<표 3-5> 통계청 사망자료 주요 변수

구분	항목명
문자	신고일자(년)
문자	신고일자(월)
문자	신고일자(일)
코드	사망자 주소(시도)
코드	성별
문자	사망연월일
문자	사망시간
숫자	사망연령(각세)
코드	사망장소
코드	사망자직업
코드	혼인상태
코드	교육정도
코드	사망원인1
코드	사망원인2
코드	사망원인 103항목 분류
코드	사망원인 56항목 분류
코드	사망자의 국적구분
코드	사망자의 (이전)국적

2) 일반 건강영향 및 폭염관련 질환 자료 구축

근로자는 가입자격을 기준으로 선정하였다. 건강보험공단의 가입자격은 건강 보험료 납입 주체로 구분하여 지역, 직장, 의료급여로 나뉘며, 이들은 각각 세대주/세대원 또는 가입자/피부양자로 나뉜다. 이 중에서 직장가입자를 근로자로 선정하였다. 여기에는 사업장의 근로자 및 사용자, 공무원 및 교직원 등이 포함되며, 지역가입자와 피부양자 또는 세대주인 근로자는 포함되지 않는다. 또한 근로형태나 실내외 등 작업 장소, 직종 및 업종 등은 확인되지 않는다. 구체적인 연도별, 성별 직장가입자의 현황은 다음 표와 같다.

<표 3-6> 건강보험공단 표본코호트 직장가입자 현황

연도	성별	명	%
2002	남	112,305	70.5
	녀	46,907	29.5
2003	남	116,238	69.3
	녀	51,433	30.7
2004	남	120,956	68.4
	녀	55,904	31.6
2005	남	125,476	67.7
	녀	59,865	32.3
2006	남	130,715	66.8
	녀	64,836	33.2
2007	남	138,799	66.1
	녀	71,069	33.9
2008	남	145,119	65.5
	녀	76,533	34.5
2009	남	148,805	64.9
	녀	80,521	35.1

2010	남	153,026	64.1
	녀	85,569	35.9
2011	남	158,284	63.3
	녀	91,919	36.7
2012	남	164,215	62.6
	녀	98,203	37.4
2013	남	169,576	61.9
	녀	104,532	38.1
2014	남	175,556	61.4
	녀	110,290	38.6
2015	남	179,476	60.7
	녀	116,193	39.3

질병이나 손상은 표본코호트의 진료내역을 이용하였다. 진료내역은 건강보험가입자가 병의원을 내원한 일자, 진단명, 진료비 등에 대한 정보를 포함하고 있다. 이중에서 한국표준질병사인분류 코드 및 질병명을 기반으로 작성된 주진단명을 활용하였다. 표본코호트에서는 진료내역 중 민감한 진단명은 masking 처리하여 제공하고 있다. 여기에는 전염성 질환 중 일부, 성매개 감염병, 기형이나 출산의 합병증, 중독, 자살 등 정신건강관련 질환 중 일부 등이 포함된다. 이러한 진단에 대해서는 표본코호트의 자료 특성으로 인해 분석 및 결과 해석이 제한된다. 구체적인 민감상병 현황은 다음과 같다.

<표 3-7> 표본코호트 민감상병 현황

질환군 코드	진단명	개수
A, B	특정 감염성 및 기생충성 질환(A15-B92)	237
	A00-B99	479
C, D	신생물(C50-C639, D05-D076, D24-D299)	160
E	내분비, 영양 및 대사질환(E280-E309)	16
F	정신 및 행동 장애(F00-F99)	467
G	신경계통의 질환(G40-G419)	37
	G000, G001, G020, G051	4
H	H131	1
I	순환계통의 질환(I861, I862, I863, I980)	4
	I301, I330	2
J	J028 - J2188	38
K	소화계통의 질환(K230, K671-K673, K930)	5
	K650	1
M	근골격계통 및 결합조직의 질환 (M011-M0119, M031-M0319, M490-M4909, M730-M9009)	66
	M001-M0089	22
N	비뇨생식계통의 질환(N290, N330, N43-N999)	280
O	임산 출산 및 산후기(O0-O998)	572
	O85	1
P	P236, P350, P358, P371, P373, P374	6
Q	선천기형, 변형 및 염색체 이상(Q00-Q999)	478
R	달리 분류되지 않는 증상, 징후와 임상 및 검사의 이상 소견 (R40-R488)	44
S, T	손상, 중독 및 외인에 의한 특정 기타 결과(S302-T749)	100
U	특수목적 코드(U220-U327, U843-U8439)	10
	U04, U049, U19, U199, U821, U8280, U830, U837, U8430, U8431	10
Z	건강상태 및 보건서비스 접촉에 영향을 주는 요인(Z111-Z392)	138
	Z21, Z220	2

자료의 추출은 주진단명, 병원 방문 날짜, 지역을 바탕으로 추출하였다. 자료의 추출은 건강보험공단 빅데이터 운영위원회의 기준을 준수하였다. 반출 가능 자료는 집산화 된 통계표 형태의 결과, 집계표 결과값이 2이하인 건이 30%를 초과할 경우는 반출불가이며, 지역단위는 시군구까지 가능, 읍면동은 반출이 불가하다. 또한 개인별, 요양기관별 집계표, 공통키(진료내역연계), 식별자 포함된 통계표 등도 반출이 불가하다. 따라서 집계표 결과값이 2이하인 건이 30%를 초과하지 않는 범위에서 자료를 추출하였으며, 그 결과 진단명 한자리, 일자별, 지역(두자리 코드)별 반출을 시행하였다. 기상 정보를 표본코호트 2.0 자료에 반입하는 방식도 고려하였으나 기상 정보의 자료 크기가 방대하다는 점 (수백 GB), 자료 반입 절차에 시간이 많이 소요된다는 점 등의 이유로 제한되었다. 추출 대상 건강영향은 문헌고찰과 전문가 회의를 통해 선정하였다. 추출을 통해 구축된 분석 대상 질환 및 질환군은 다음과 같다.

<표 3-8> 건강영향 자료 구축 및 선정 개요

구분	한국표준질병사인분류 코드 및 질병명 (코드)
질환군	특정 감염성 및 기생충성 질환 (A, B)
	내분비, 영양 및 대사질환 (E)
	정신 및 행동장애 (F)
	순환계통의 질환 (I)
	호흡계통의 질환 (J)
	소화계통의 질환 (K)
	피부 및 피하조직의 질환 (L)
	근골격계통 및 결합 조직의 질환 (M)
	비뇨생식계통의 질환 (N)
	손상, 중독 및 외인에 의한 특정 기타 결과 (S, T)
특정 질환	허혈심장질환 (I20-I25), 뇌혈관질환 (I60-I69))

폭염관련 질환은 열 및 빛의 영향 (T67)로 진단되며, 여기에는 다음 표와 같은 질환이 포함된다. 폭염관련 질환은 빈도가 매우 낮아 다음 표와 같은 한국표준질병사인분류 코드 및 질병명 4자리 코드 기반의 자료 추출은 제한된다.

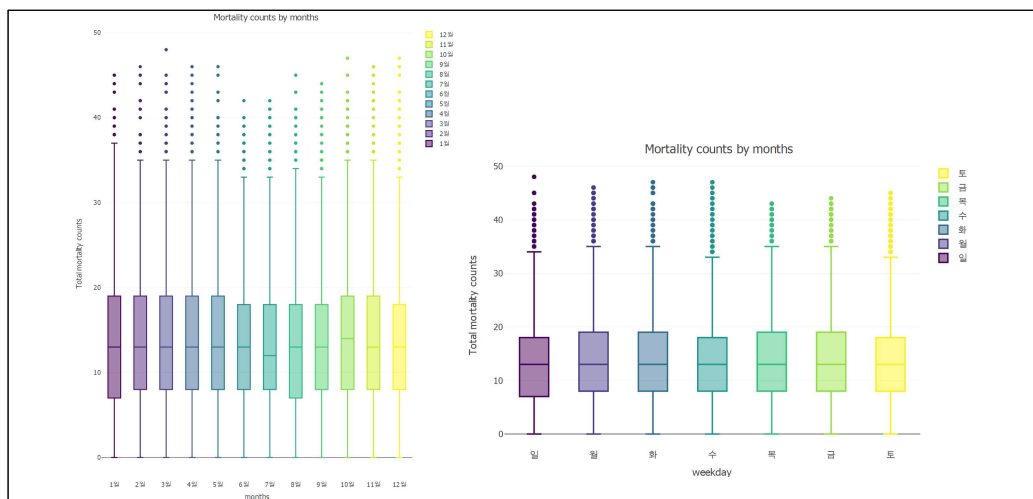
<표 3-9> 폭염 관련 건강영향 자료 구축 및 선정 개요

한국표준질병사인분류 코드 및 질병명 (코드)
열사병 및 일사병 (T67.0)
열실신 (T67.1)
열경련 (T67.2)
탈수성 열탈진 (T67.3)
염분상실에 의한 열탈진 (T67.4)
상세불명의 열탈진 (T67.5)
일과성 열피로 (T67.6)
열성 부종 (T67.7)
열 및 빛의 기타 영향 (T67.8)
열 및 빛의 상세불명의 영향 (T67.9)

5. 분석 결과

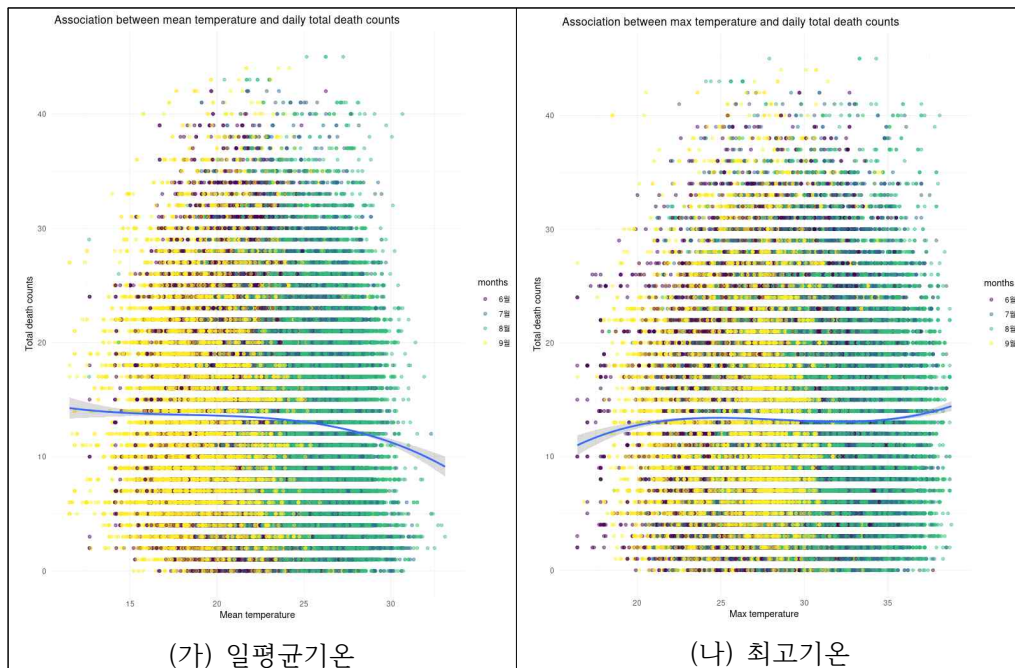
1) 치명건강영향 (사망)

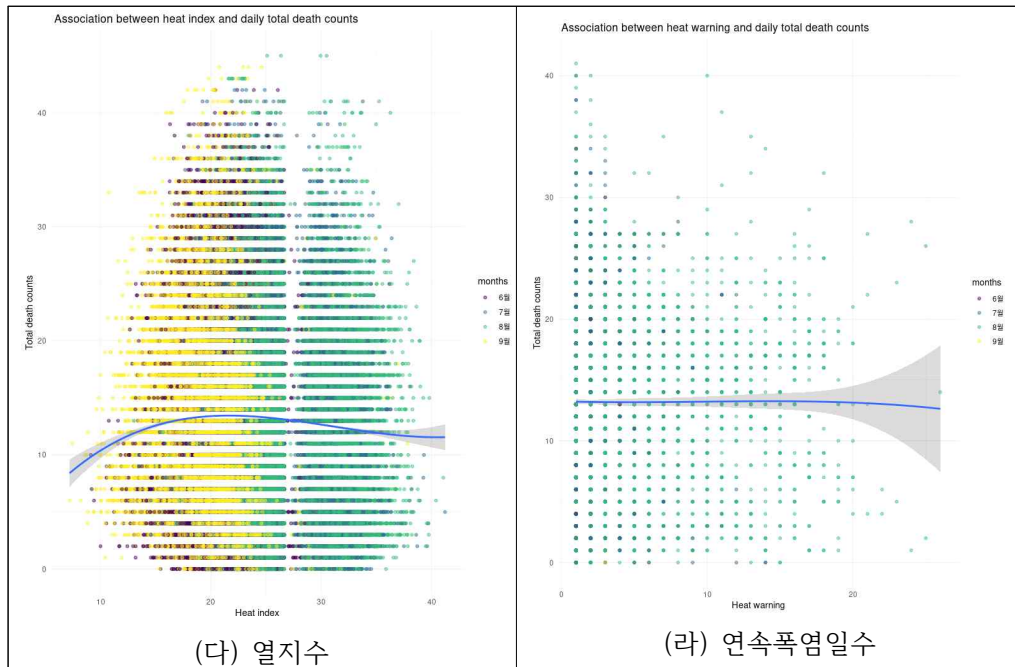
통계청 사망자료의 경우 기본적으로 전수조사이므로 건강보험공단의 표본코호트보다는 건강영향의 규모가 컸다. 통계청 사망 자료를 통해 추산된 근로자의 사망은 관찰기간동안 전체 4,735,892건이었다. 월별 사망자 및 요일별 사망자 현황은 다음 그림과 같다. 월별, 요일별 전체 근로자의 사망에 큰 차이는 관찰되지 않으나, 환절기(가을)철과 주중에 다소 높은 것으로 확인된다. 이번 연구에서는 대기온도가 높은 경우인 고온의 건강영향을 분석하는 것이므로, 여름철과 앞뒤로 한달을 포함한 6-9월까지를 분석 기간으로 한정하였다.



[그림 3-11] 월별, 요일별 전체 사망 현황

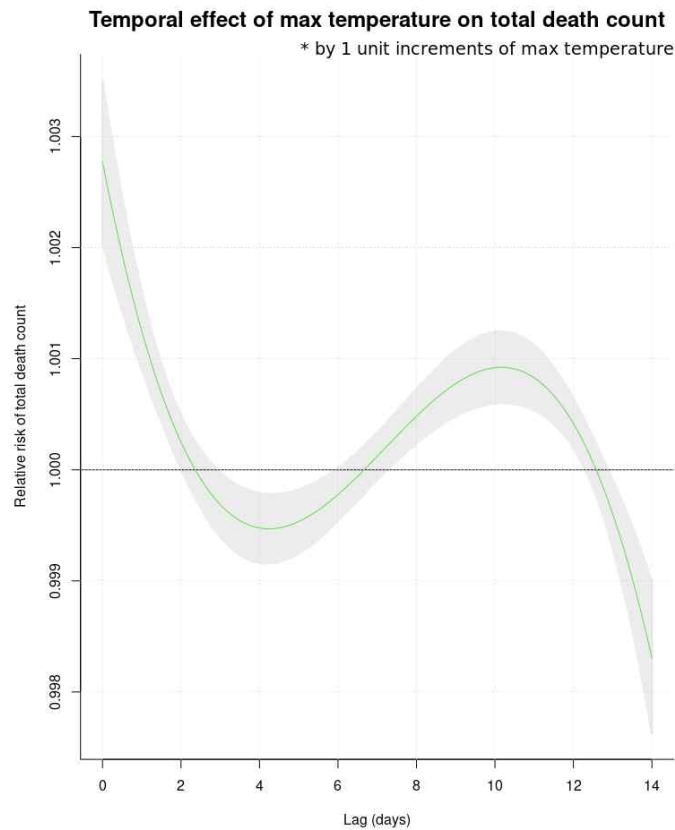
폭염 관련 기상 인자와 전체 사망과의 연관성은 다음과 같다. 이 중 통계적으로 유의미한 연관성은 최고기온에서 관찰되었다. 분석 모형 적용 결과, 최고기온이 1℃ 상승할 때마다 근로자 10만 명당 8,517건의 사망이 증가하는 것으로 나타났으며 통계적으로도 유의하였다 ($P < 0.001$). 여기서 제시된 최고기온에 따른 사망발생의 연관성의 크기는 분석 모형에 따라 추산된 값이며, 실제 사망발생 규모를 직접적으로 의미하지는 않는다.





[그림 3-12] 기상 정보별 전체 사망과의 연관성

최고기온의 사망에 대해 영향을 미치는 기간은 다음 그림과 같이 지연 효과 분석을 통해 확인하였다. 특정일 최고 기온 노출 당일의 효과가 가장 크게 확인되었으며, 노출 이후 2일 (lag = 2) 까지 통계적으로 유의하게 사망에 영향을 미치는 것으로 확인된다. 따라서 최고 기온에 연속적으로 높은 경우에는 근로자 사망의 위험이 누적되어 증가할 수 있으며, 높은 기온에 노출되고 수일이 지난 다음에도 건강영향이 나타날 수 있다는 것으로 해석가능하다.

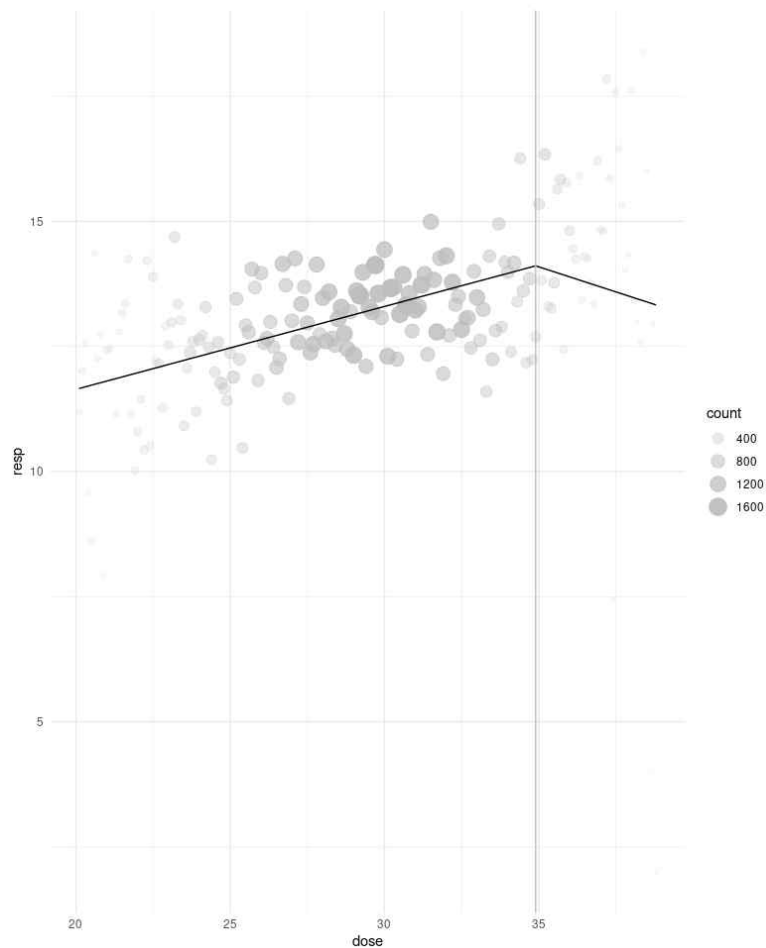


[그림 3-13] 기상 정보별 전체 사망의 지연효과

최고 기온과 근로자의 전체 사망과의 역치를 다음 그림과 같이 추정하였다. X-축은 최고기온을 나타내며, Y-축은 사망의 위험도를 나타낸다. 최고기온에 따른 사망발생량은 원형표로 표시하였으며, 원의 크기가 클수록 빈도가 높다는 것을 의미한다.

일반적인 경우와 다르게, 일정 온도 이상에서 반응이 급감하는 지점

(34.9℃)이 확인된다. 이는 사망이라는 사건의 특성으로 확인되며, 일정 온도 이상이 되면, 업무 중단 및 휴식 등으로 인해 사망 발생이 감소하는 효과로 추정된다. 일정 온도 이상에서의 업무 중단 및 휴식 등은 근로자 사망을 예방할 수 있다는 점을 시사한다.

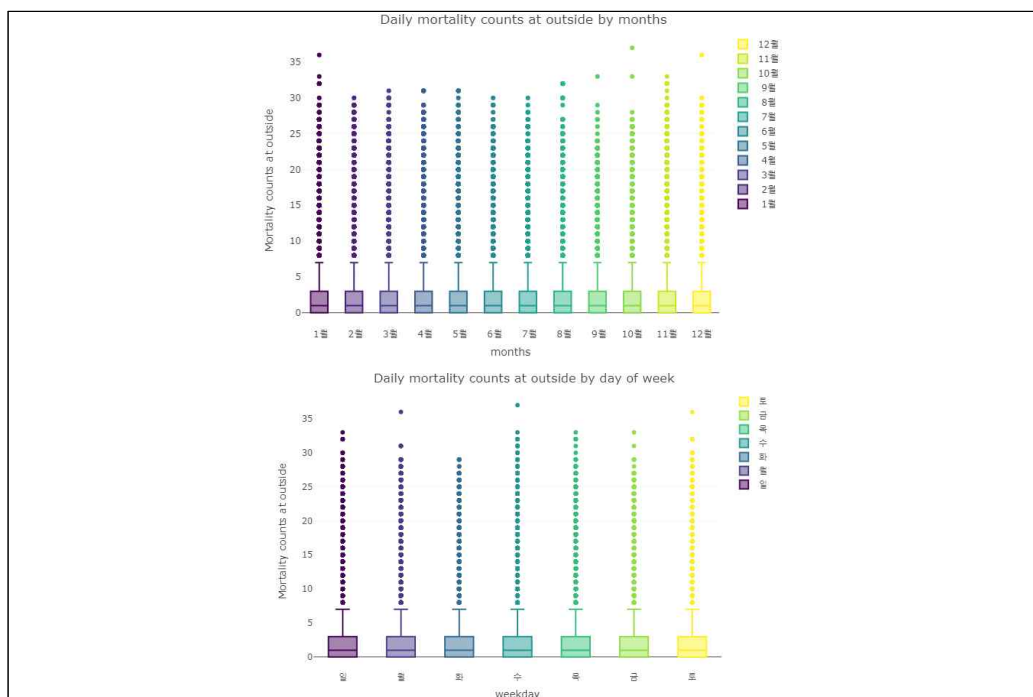


[그림 3-14] 전체 사망의 양반응관계 및 역치

정리하면, 근로자 전체 사망의 경우, 최고 기온과만 연관성이 확인되었으며, 최고기온이 1℃ 오를 때 마다 근로자 10만 명당 8,517건의 사망이 증가하는 것으로 추정된다. 또한 최고 기온에 노출된 이후 2일까지 영향을 미치며, 34.9℃ 이상에서는 근로자의 사망이 둔화되는 양상이 관찰되었다.

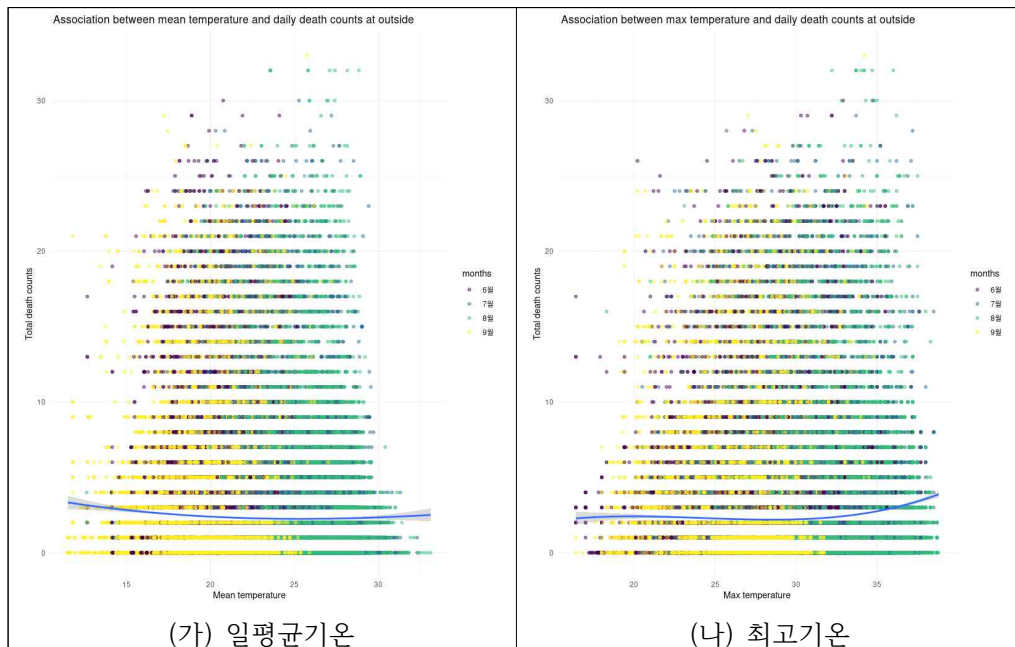
2) 치명건강영향 (옥외 사망)

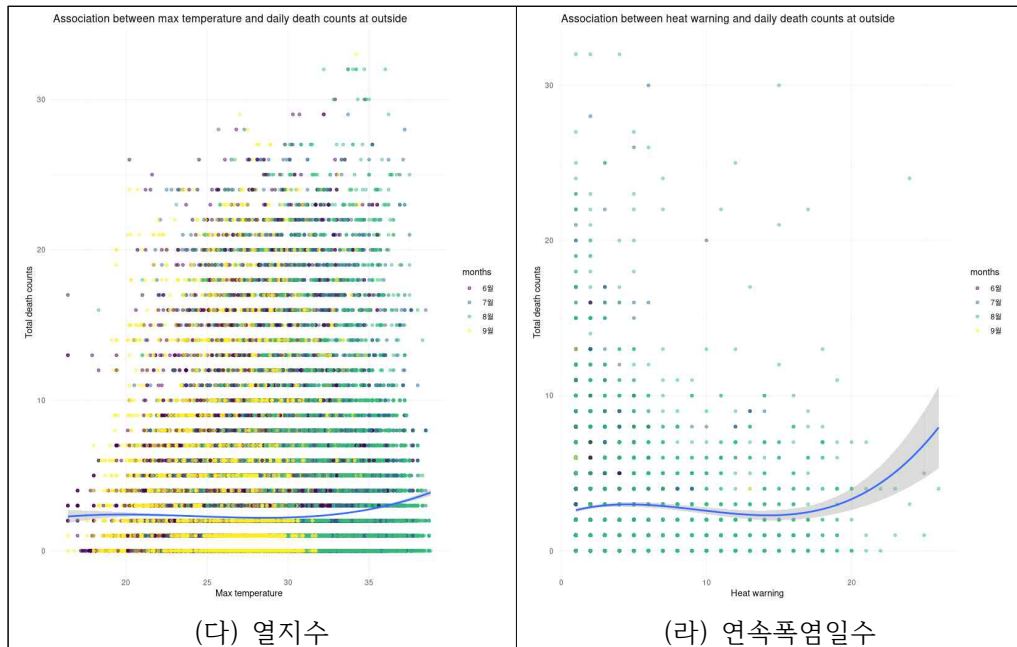
치명건강영향에서 사망의 경우, 사망 장소에 대한 정보를 바탕으로 근로자의 옥외에서 사망하는 경우를 대상으로 분석을 진행하였다. 근로자의 옥외 사망은 관찰기간동안 전체 836,189건으로 전체 근로자 사망자수 4,735,892건 대비 약 17.6%였다. 월별 옥외 사망자는 약 7만 여 건으로 월별 차이가 크지는 않았으며, 요일별 옥외 사망자 현황도 큰 차이가 관찰되지는 않았다.



[그림 3-15] 월별, 요일별 옥외 사망 현황

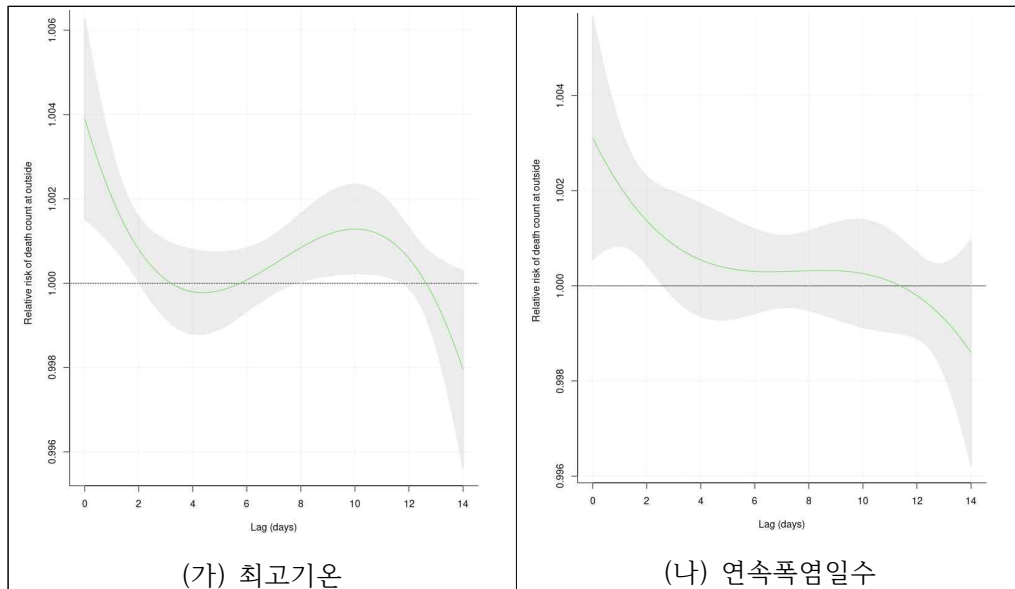
폭염 관련 기상 인자와 옥외 사망과의 연관성은 다음과 같다. 이 중 통계적으로 유의미한 연관성은 최고기온과 연속폭염일수에서 관찰되었다. 분석 모형 적용 결과, 최고기온 상승 1℃마다 근로자 10만 명당 6,905건의 옥외 사망이 증가하는 것으로 확인되며 통계적으로도 유의하였다($P < 0.001$). 연속폭염일수는 폭염 1일 증가시마다 근로자 10만 명당 4,663건의 옥외 사망이 증가하는 것으로 확인되며 통계적으로도 유의하였다($P < 0.001$).





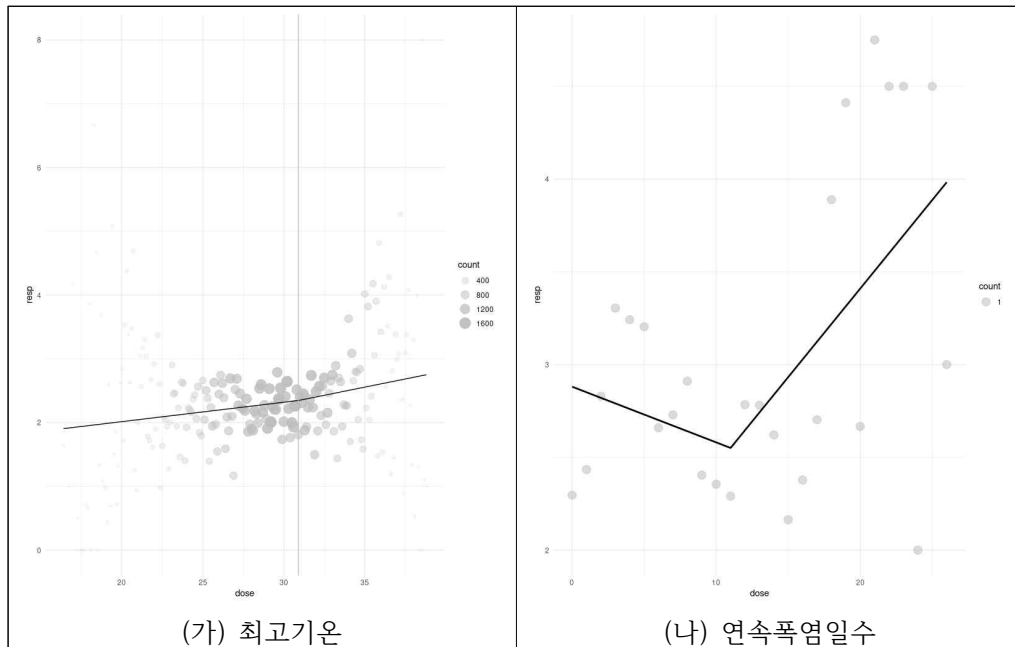
[그림 3-16] 기상 정보별 옥외 사망과의 연관성

옥외 사망에 영향을 미치는 최고기온과 연속폭염일수의 기간은 다음 그림과 같이 확인된다. 특정일 최고 기온 노출 당일의 효과가 가장 크게 확인되었으며, 노출 이후 2일 (lag = 2) 까지 통계적으로 유의하게 옥외 사망에 영향을 미치는 것으로 확인된다. 폭염일수의 경우 노출 당일의 효과가 가장 크게 확인되었으며, 노출 이후 2일 (lag = 2) 까지 통계적으로 유의미한 영향을 주는 것으로 확인되었으며, 통계적으로 유의하지는 않았지만 11일 넘게 영향을 미치는 것으로 확인된다.



[그림 3-17] 기상 정보별 옥외 사망의 지연효과

최고 기온 및 연속폭염일수와 근로자의 옥외 사망과의 역치를 각각 추정하였다. 최고 기온의 경우 31.2℃부터 옥외 사망의 위험이 증가하게 되며, 연속폭염의 경우 11.4일부터 옥외 사망의 위험이 증가하게 된다. 옥외 사망의 경우, 전체 사망과 다르게 보다 낮은 최고 기온에서부터 사망의 위험이 크게 증가하는 것으로 확인되며, 연속되는 폭염 또한 옥외 사망의 위험을 증가시킨다는 것을 확인하였다.

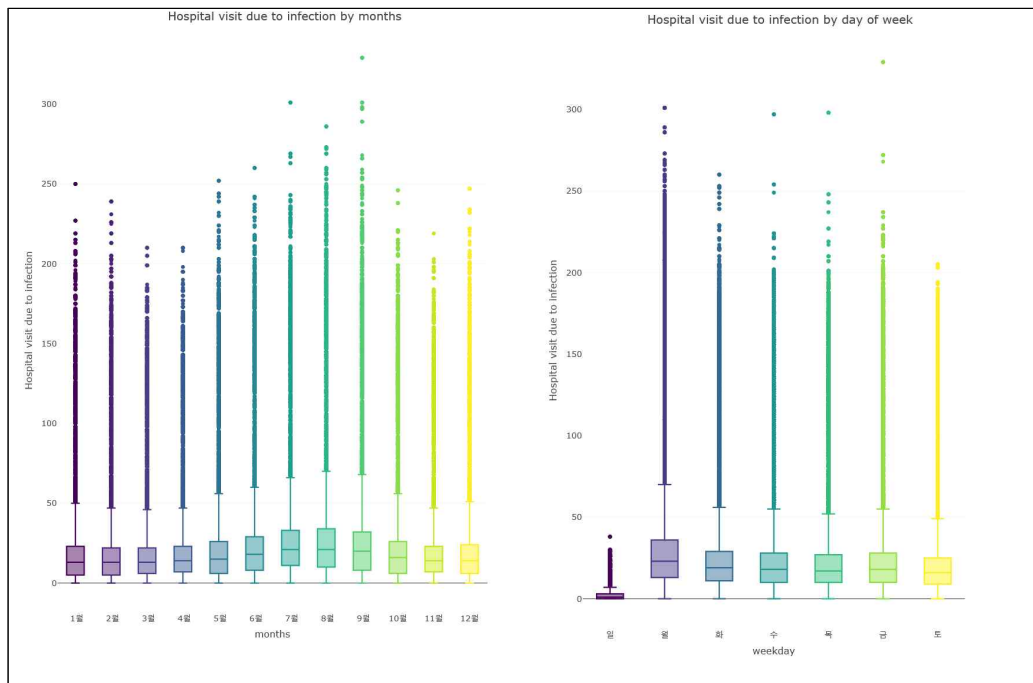


[그림 3-18] 기상 정보별 옥외 사망과의 양반응 관계 및 역치

정리하면, 근로자의 옥외 사망의 경우, 최고 기온 및 연속폭염일수가 통계적으로 유의미한 연관성을 나타냈다. 최고기온이 1℃ 오를 때 마다 근로자 10만 명당 6,905건 그리고 연속폭염일수 1일 증가마다 4,663건의 옥외 사망이 증가하는 것으로 추정된다. 또한 최고 기온에 노출된 이후 2일까지 영향을 미치며, 31.2℃를 넘게 되면 근로자의 옥외 사망이 증가하는 양상이 관찰되었다. 연속폭염의 경우, 폭염 노출 이후 2일까지 영향을 미치며, 잠재적으로는 10일까지 영향을 미치는 것으로 보인다. 연속 폭염 11.4일 이후부터 옥외 사망이 증가하였다.

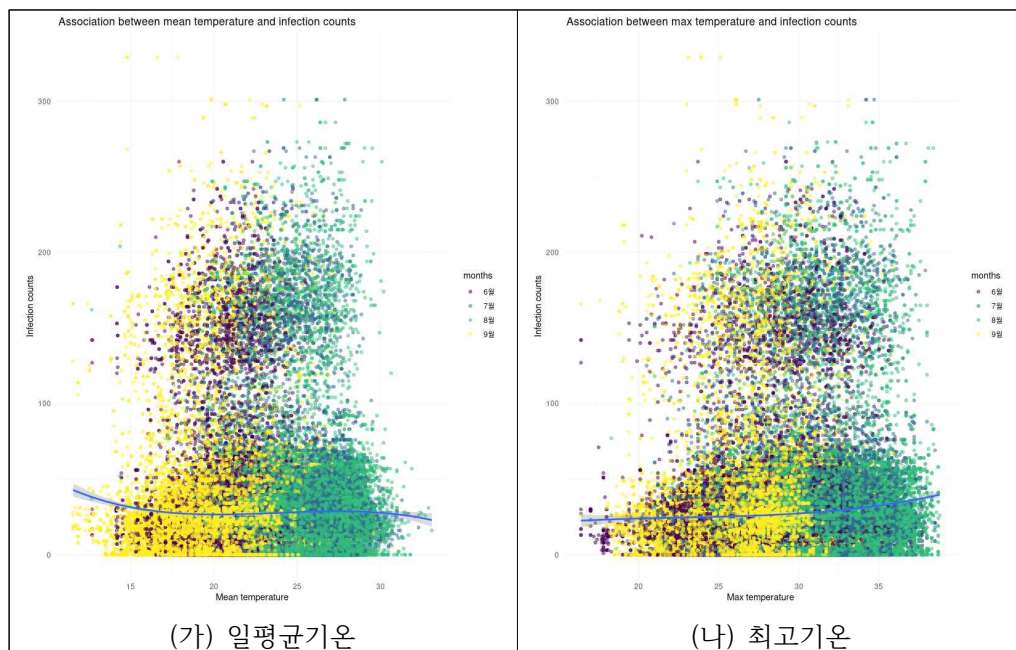
3) 일반건강영향 (감염성 질환)

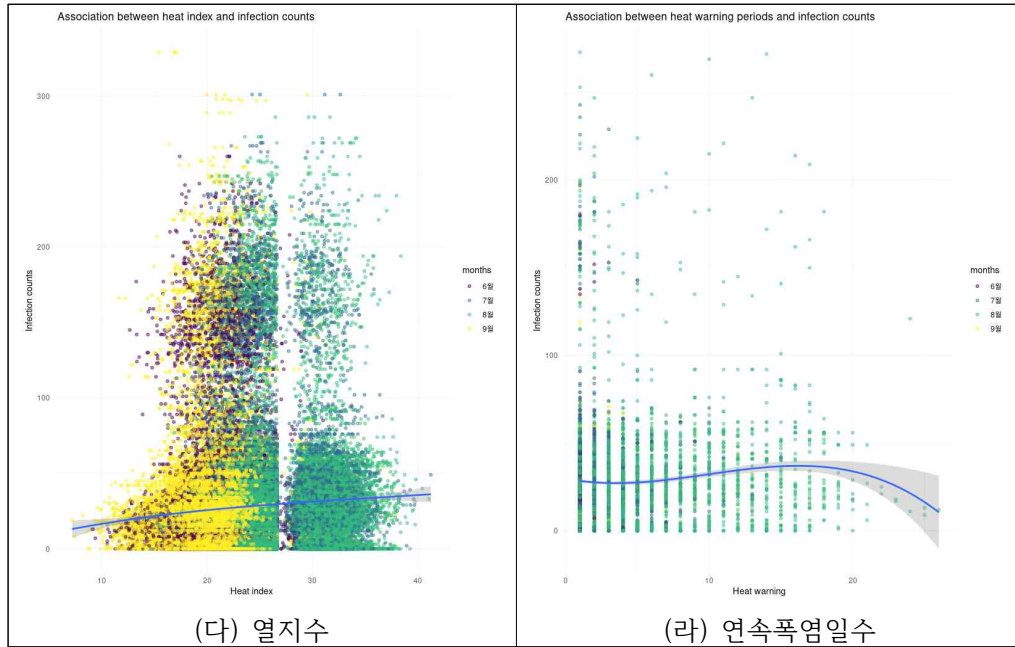
일반건강영향에서 감염성 질환은 표준 질병 분류상 ‘특정 감염성 및 기생충성 질환 (A00-B99)’ 으로 병의원을 이용한 경우를 의미한다. 대기 온도 변화에 따른 근로자의 감염성 질환의 영향을 분석하였다. 근로자의 감염성 질환은 관찰 기간 동안 전체 7,947,675건으로 나타났다. 월별로는 7, 8월에 감염성 질환의 빈도가 가장 높았으며, 요일별로는 주중이 주말보다 높게 관찰되었으며, 월요일이 가장 높았다.



[그림 3-19] 월별, 요일별 감염성 질환 현황

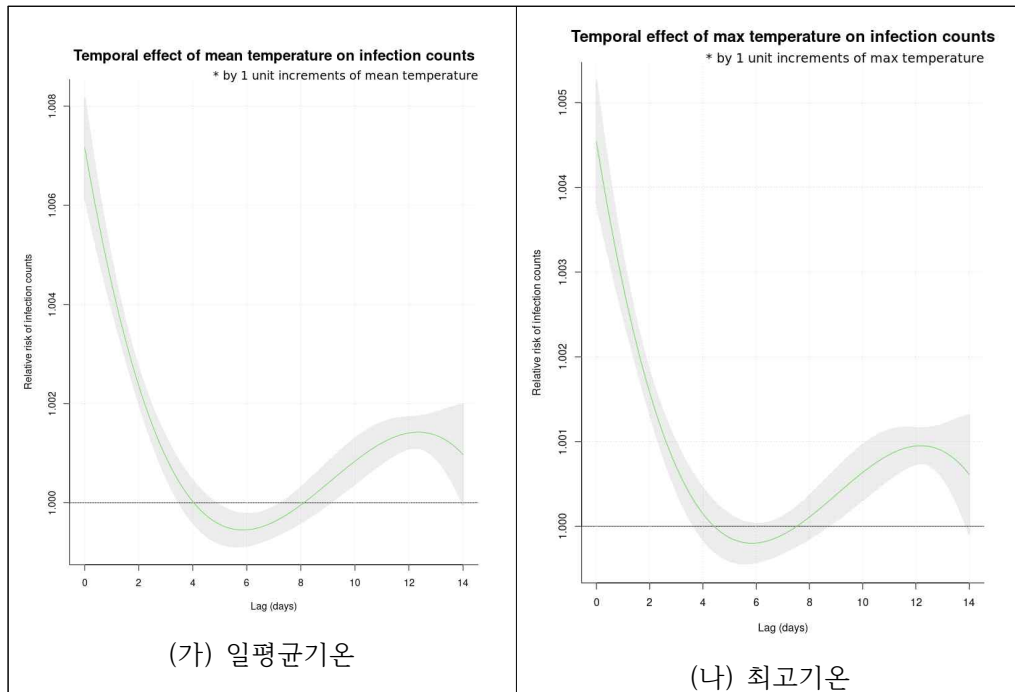
폭염 관련 기상 인자와 감염성 질환과의 연관성은 다음과 같다. 이 중 통계적으로 유의미한 연관성은 평균기온과 최고기온에서 관찰되었다. 분석 모형 적용 결과, 평균기온은 1℃ 상승할 때 마다 근로자 10만 명당 42,636건의 감염성 질환이 증가하는 것으로 확인되며 통계적으로도 유의하였다($P < 0.001$). 최고기온은 1℃ 상승할 때 마다 근로자 10만 명당 519건의 감염성 질환이 증가하는 것으로 확인되며 통계적으로도 유의하였다($P < 0.001$).





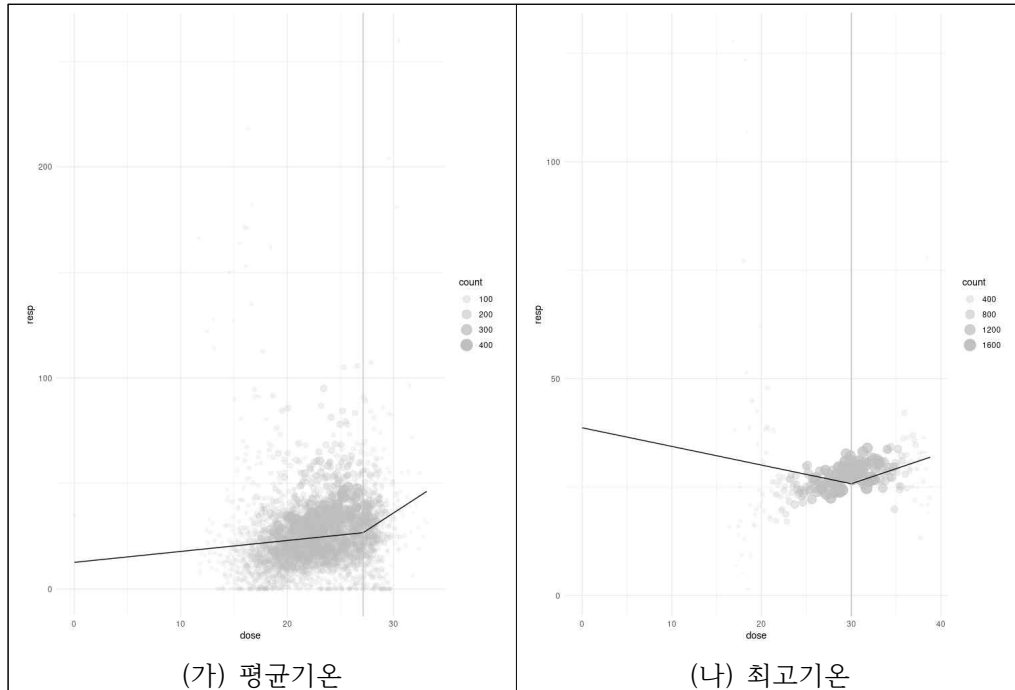
[그림 3-20] 기상 정보별 감염성 질환과의 연관성

평균 기온과 최고 기온이 감염성 질환에 영향을 미치는 기간은 다음 그림과 같이 확인된다. 특정일 평균 기온 노출 당일의 효과가 가장 크게 확인되었으며, 노출 이후 3.4일 ($\text{lag} = 3.4$) 까지 통계적으로 유의하게 영향을 미치는 것으로 확인된다. 최고 기온의 경우 노출 당일의 효과가 가장 크게 확인되었으며, 노출 이후 3.6일 ($\text{lag} = 3.6$) 까지 통계적으로 유의미한 영향을 주는 것으로 확인되었다. 통계적으로 유의하지는 않았지만 최고 기온이 평균 기온보다 더 길게 영향을 미치는 것으로 확인된다.



[그림 3-21] 기상 정보별 감염성 질환의 지연효과

평균 기온 및 최고 기온과 근로자의 감염성 질환과의 양-반응관계와 역치는 다음 그림과 같다. 평균 기온의 경우 27.1℃부터 감염성 질환의 위험이 증가하게 되며, 최고 기온의 경우 30.0℃부터 감염성 질환의 위험이 증가하게 된다.

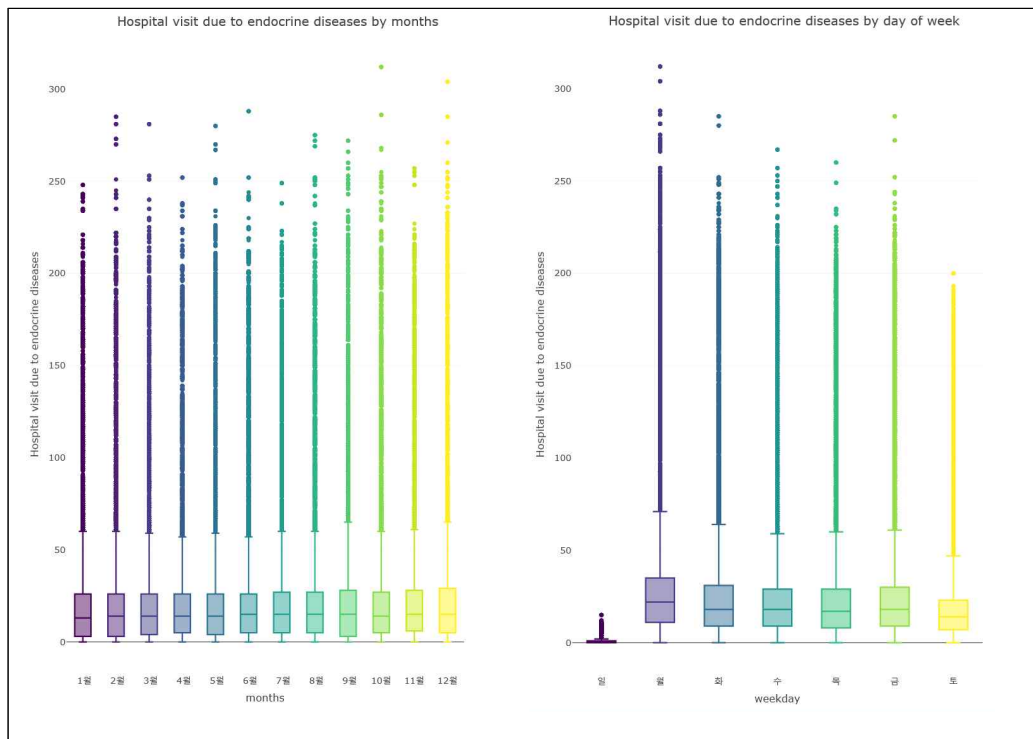


[그림 3-22] 기상 정보별 감염성 질환의 양반응 관계 및 역치

근로자의 감염성 질환의 경우, 평균 기온 및 최고 기온이 통계적으로 유의미한 연관성을 나타냈다. 평균 기온이 1℃ 오를 때 마다 근로자 10만 명당 42,636건, 그리고 최고 기온이 1℃ 오를 때 마다 519건의 감염성 질환이 증가하는 것으로 추정된다. 또한 평균 기온에 노출된 이후 3.4일까지 영향을 미치며, 27.1℃를 넘게 되면 근로자의 감염성 질환이 증가하는 양상이 관찰되었다. 최고 기온의 경우, 노출 이후 3.6일까지 영향을 미치며, 잠재적으로는 평균 기온보다 더욱 오랫동안 영향을 미치는 것으로 보인다. 감염성 질환은 대표적인 여름철 질환으로 이번 분석에서도 대기 온도와 높은 연관성이 확인되었다.

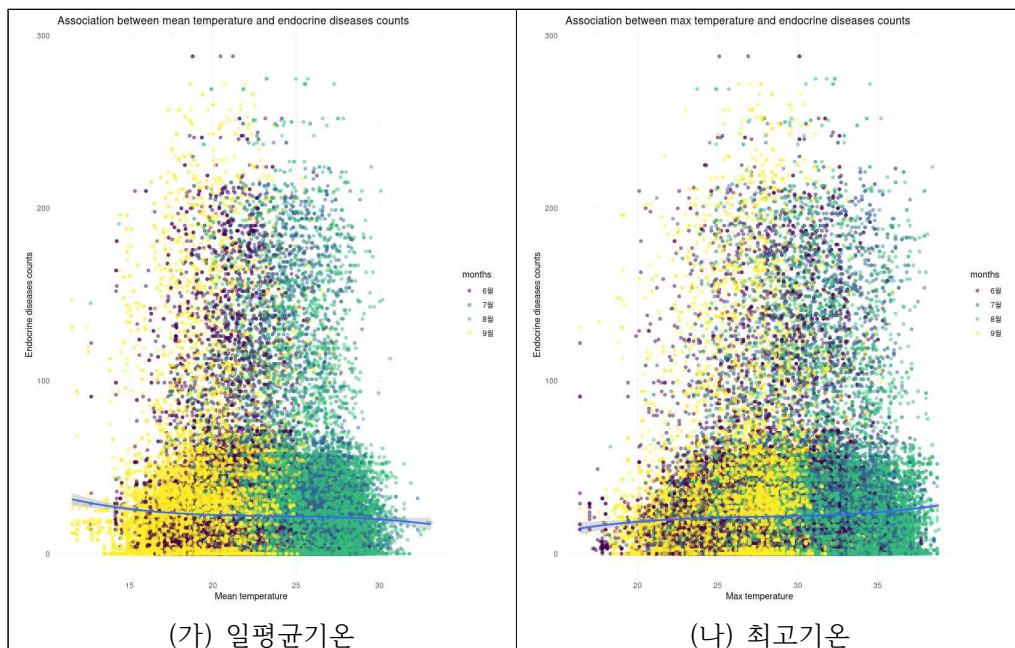
4) 일반건강영향 (내분비계 질환)

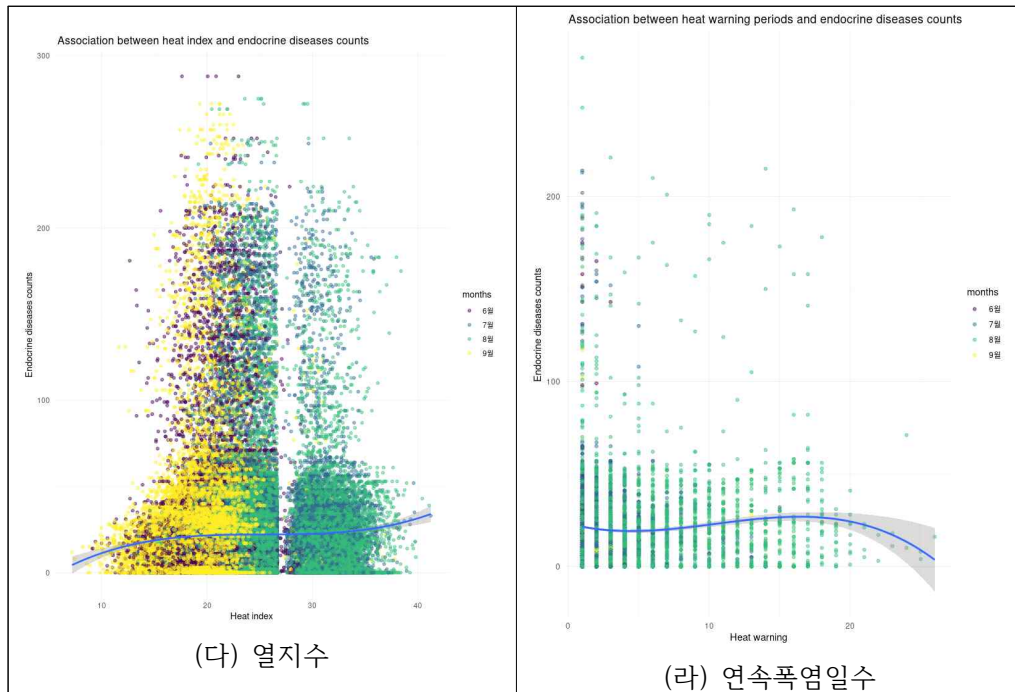
일반건강영향에서 내분비계 질환은 표준 질병 분류상 ‘내분비, 영양 및 대사질환 (E00-E90)’ 으로 병의원을 이용한 경우를 의미한다. 대기 온도 변화에 따른 근로자의 내분비계 질환의 영향을 분석하였다. 근로자의 내분비계 질환은 관찰 기간 동안 전체 7,593,852건으로 나타났다. 내분비계 질환으로 인한 병의원 이용은 월별로는 큰 차이가 확인되지 않았으며, 요일별로는 월요일이 가장 높았다.



[그림 3-23] 월별, 요일별 내분비계 질환 현황

폭염 관련 기상 인자와 내분비계 질환과의 연관성은 다음 그림과 같다. 최고 기온과 열지수 그리고 연속 폭염일수 중 일부에서 내분비계 질환과 양의 상관관계가 확인되나 통계적으로 유의미한 연관성은 확인되지 않는다.



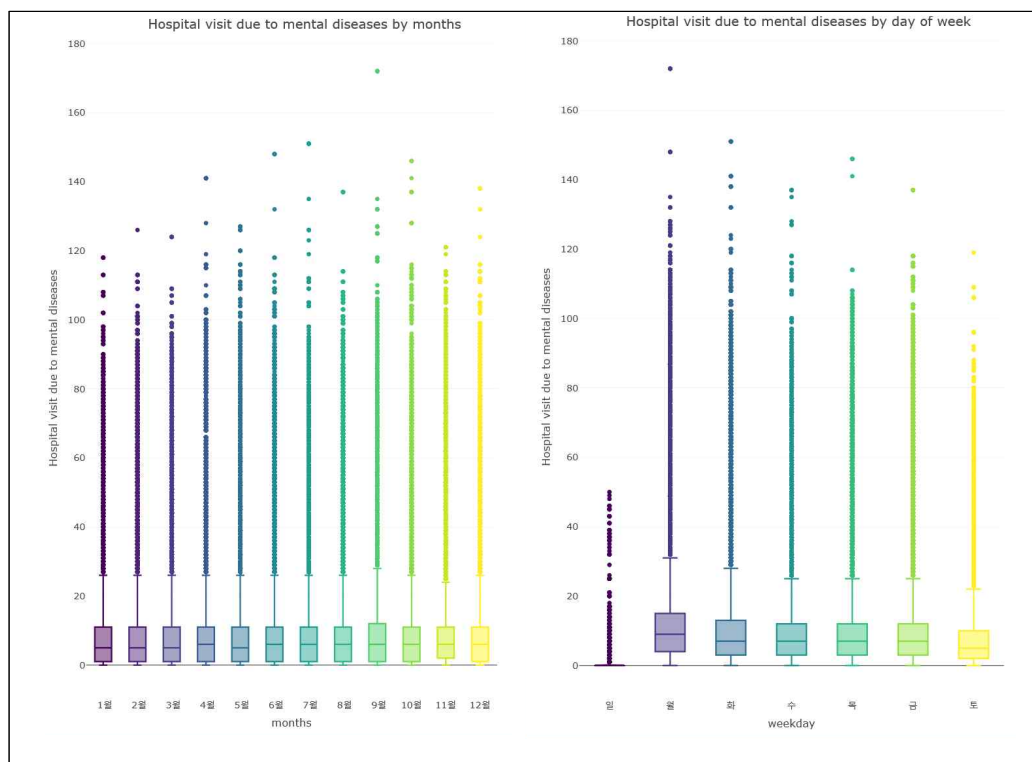


[그림 3-24] 기상 정보별 내분비계 질환과의 연관성

문헌고찰에서 이상지질혈증을 비롯한 일부 내분비계 질환이 더위와 연관이 있다는 보고가 있었으나 이번 연구에서는 확인되지 않았다. 이는 다양한 내분비계 질환의 그룹을 대상으로 분석하여 진행하였고, 의학적 검사 결과가 아닌 병원 이용 자료를 바탕으로 분석했기 때문인 것으로 추정된다.

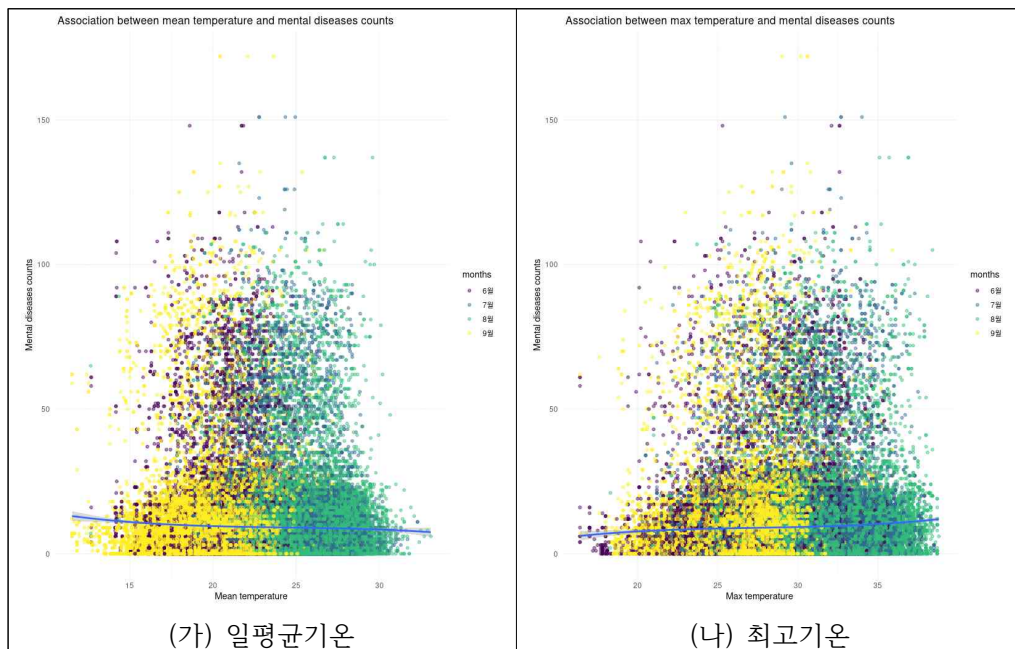
5) 일반건강영향 (정신 질환)

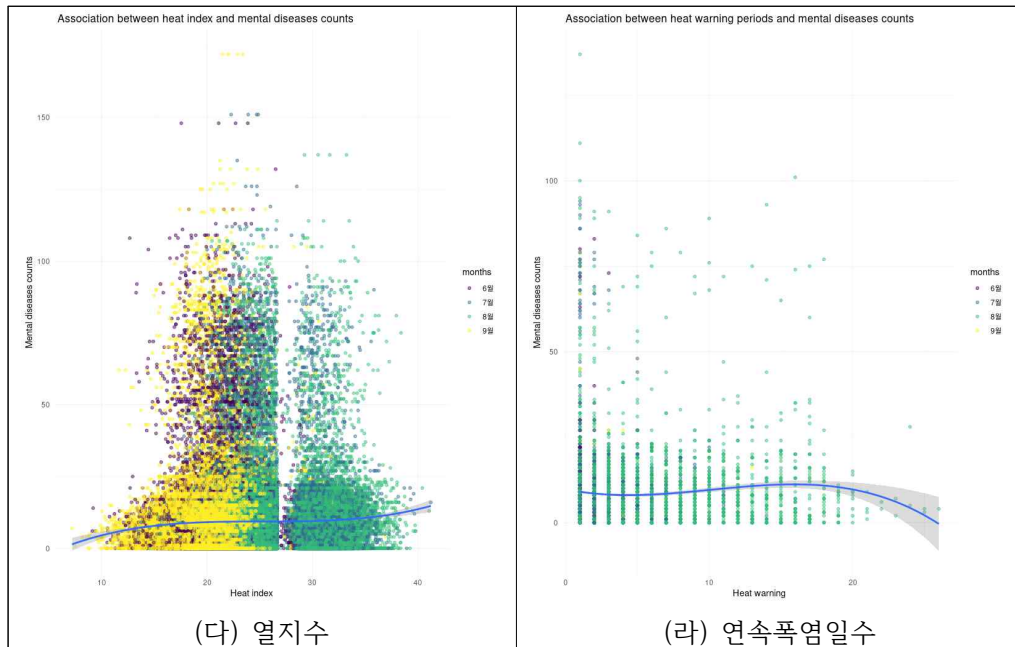
일반건강영향에서 정신 질환은 표준 질병 분류상 ‘정신 및 행동장애 (F00-F99)’ 으로 병의원을 이용한 경우를 의미한다. 대기 온도 변화에 따른 근로자의 정신 질환의 영향을 분석하였다. 근로자의 정신 질환은 관찰 기간 동안 전체 3,176,853건으로 나타났다. 정신 질환으로 인한 병원 이용은 월별로는 큰 차이가 확인되지 않았으며, 요일별로는 월요일이 가장 높았다.



[그림 3-25] 월별, 요일별 정신 질환 현황

폭염 관련 기상 인자와 정신 질환과의 연관성은 다음 그림과 같다. 최고 기온과 열지수에서 정신 질환과 양의 상관관계가 확인되나 통계적으로 유의미한 연관성은 확인되지 않는다.



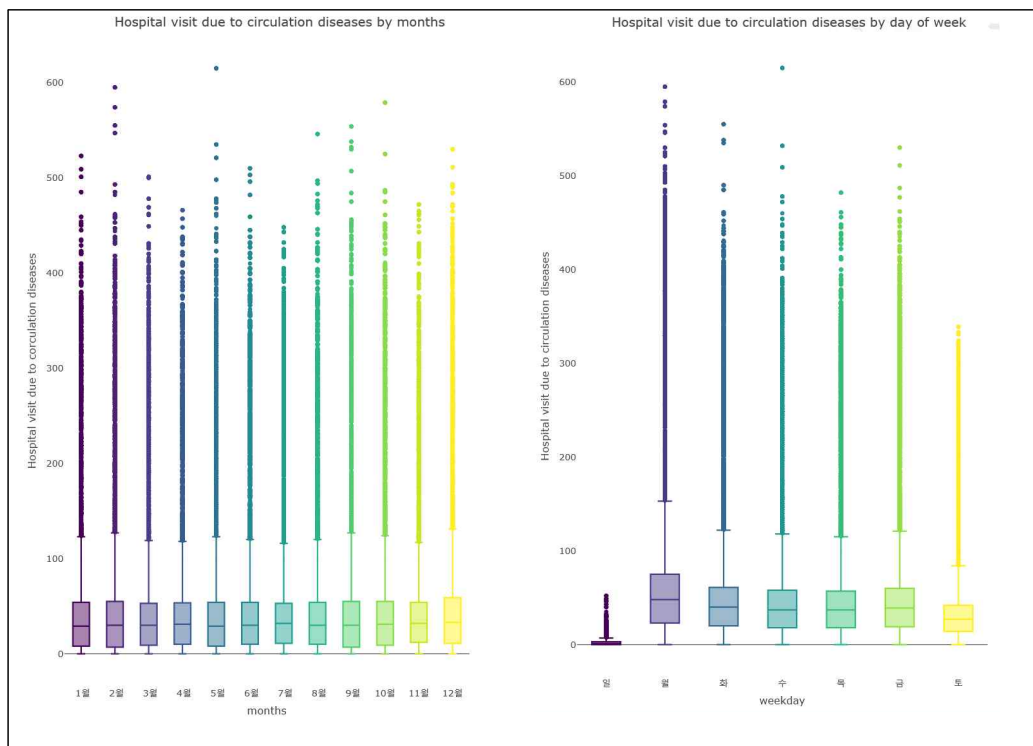


[그림 3-26] 기상 정보별 정신 질환과의 연관성

문헌고찰 및 전문가 의견에서 인지 기능 장애와 같은 일부 정신건강 의학과 질환이 더위와 연관 있다는 것을 확인하였으나 이번 연구에서는 관찰되지 않았다. 이는 다양한 정신 질환의 그룹을 대상으로 분석하여 진행하였고, 인지기능저하를 포함하여 많은 상병들이 민감 상병으로 분류되었으며, 의학적 검사 결과가 아닌 병원 이용 자료를 바탕으로 분석했기 때문인 것으로 추정된다.

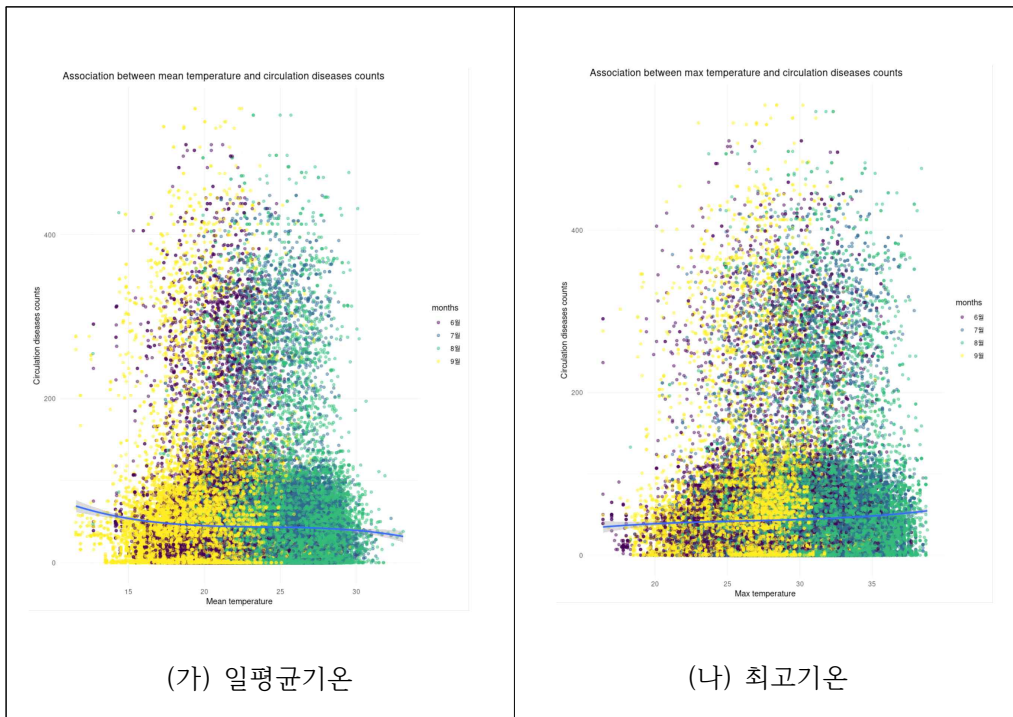
6) 일반건강영향 (순환기계 질환)

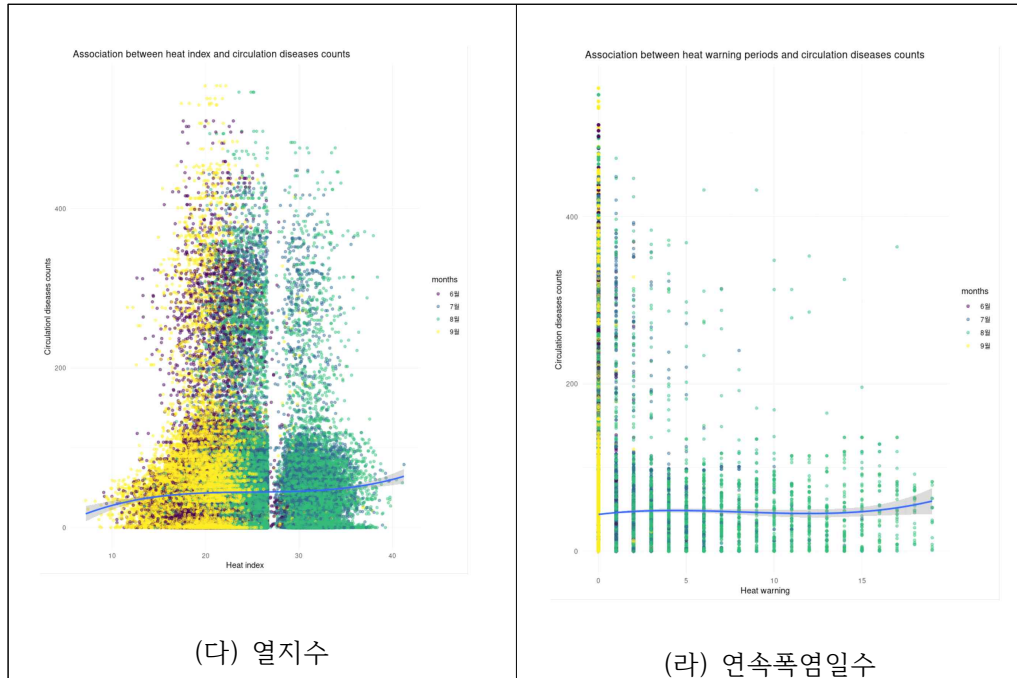
일반건강영향에서 순환기계 질환은 표준 질병 분류상 ‘순환계통의 질환 (I00-I99)’ 으로 병의원을 이용한 경우를 의미한다. 근로자의 순환기계 질환은 관찰 기간 동안 전체 4,203,093건으로 나타났다. 월별로는 겨울철에 빈도가 다소 높았으며, 요일별로는 주중이 주말보다 빈도가 높게 관찰되었으며, 월요일과 금요일에 빈도가 높았다.



[그림 3-27] 월별, 요일별 순환기계 질환 현황

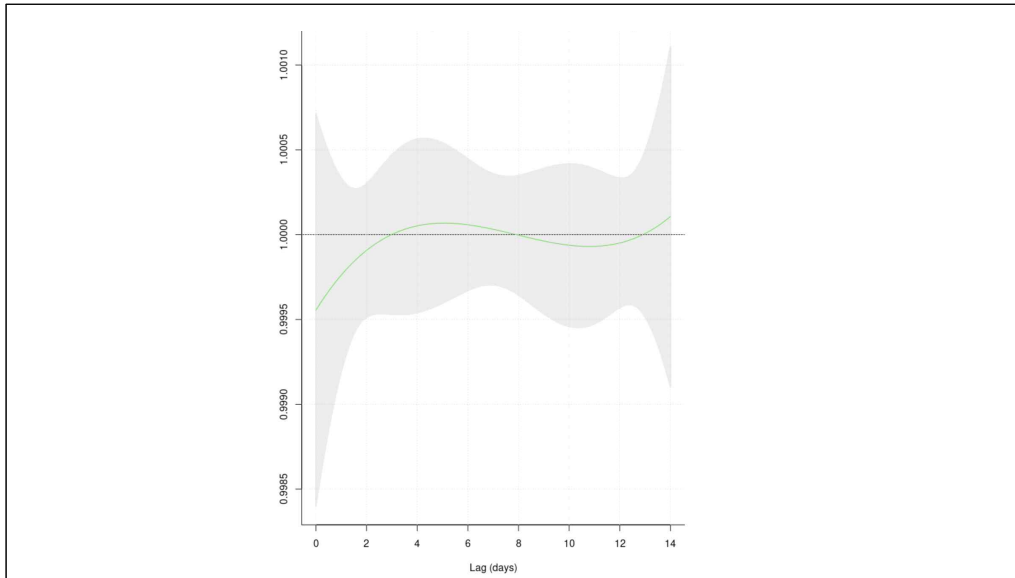
폭염 관련 기상 인자와 순환기계 질환과의 연관성은 다음 그림과 같다. 이 중 통계적으로 유의미한 연관성은 연속 폭염 일수에서 관찰되었다. 분석 모형 적용 결과, 폭염이 연속적으로 1일씩 증가할 때마다 근로자 10만 명당 6,175건의 순환기계 질환이 증가하는 것으로 확인되며 통계적으로도 유의하였다($P < 0.01$).





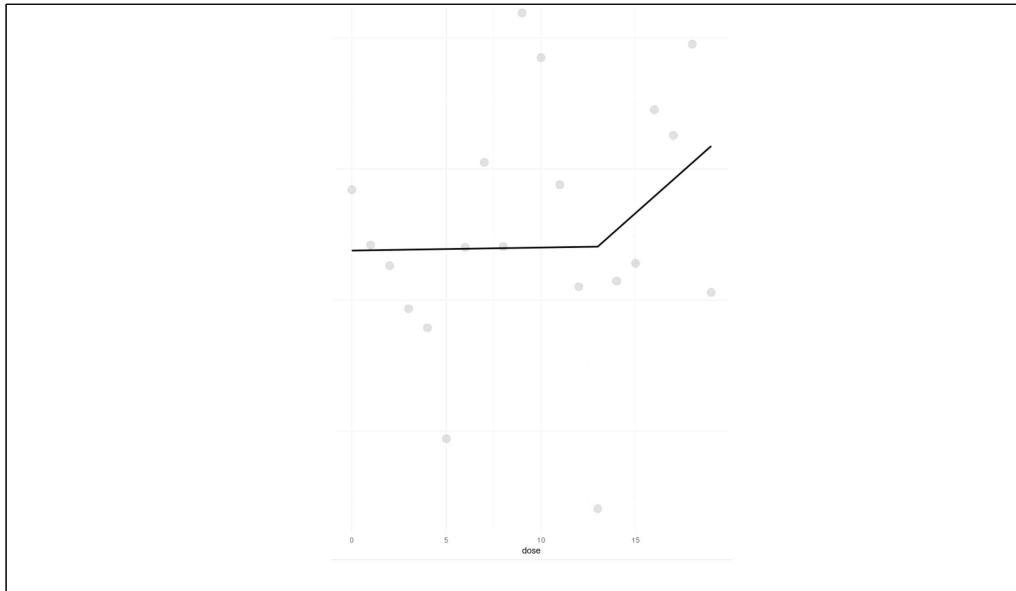
[그림 3-28] 기상 정보별 순환기계 질환과의 연관성

연속폭염 일수가 순환기계 질환에 영향을 미치는 기간은 다음 그림과 같이 확인된다. 특정일 노출 이후 통계적으로 유의미한 지연 효과는 확인되지 않는다.



[그림 3-29] 기상 정보별 순환기계 질환의 지연효과

연속 폭염 일수와 근로자의 순환기계 질환과의 양-반응관계와 역치는 다음 그림과 같다. 폭염이 연속적으로 12.7일 이상 지속되게 되면, 순환계 질환의 위험이 증가하는 것으로 관찰된다.

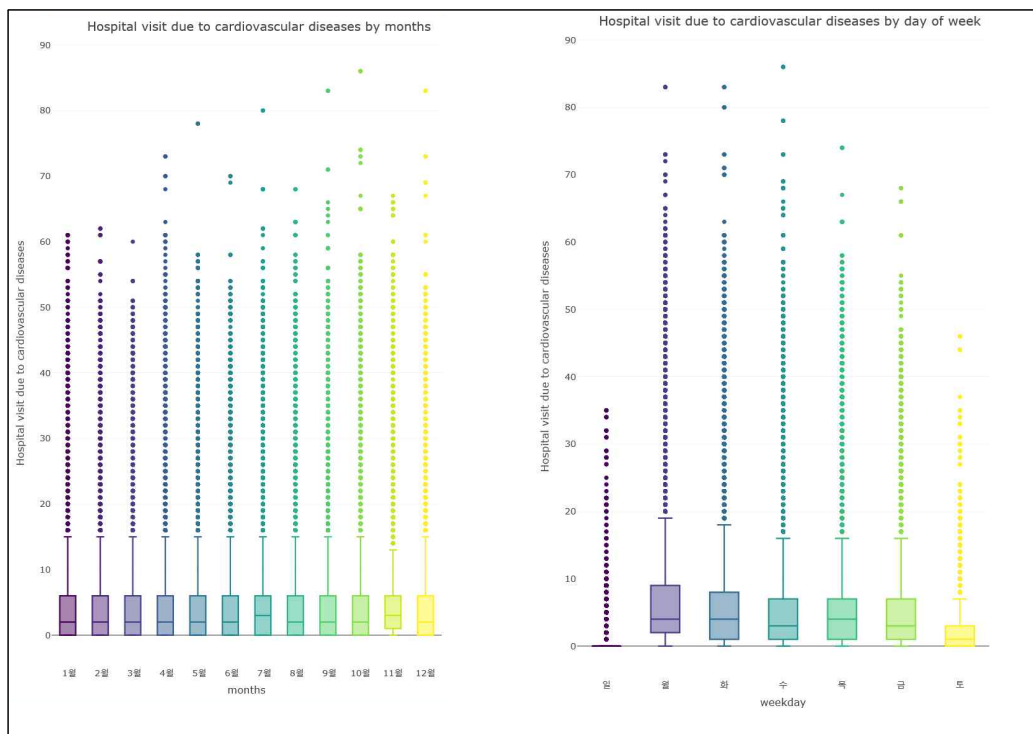


[그림 3-30] 기상 정보별 순환기계 질환의 양반응 관계 및 역치

근로자의 순환기계 질환의 경우, 연속 폭염 일수가 통계적으로 유의미한 연관성을 나타냈다. 폭염이 연속되면 1일 증가할 때 마다 근로자 10만 명당 6,175건의 순환기계 질환이 증가하는 것으로 추정된다. 지연 효과는 의미 있게 확인되지 않았으며, 폭염이 연속적으로 12.7일이 넘게 되면 근로자의 순환계 질환이 증가하는 양상이 관찰되었다.

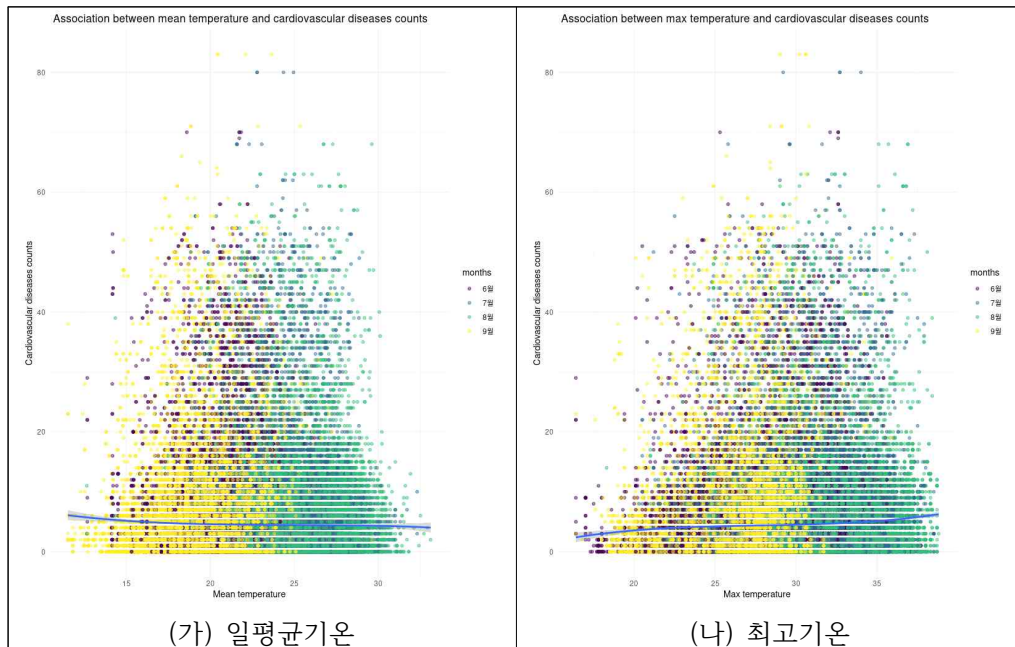
7) 일반건강영향 (뇌심혈관계 질환)

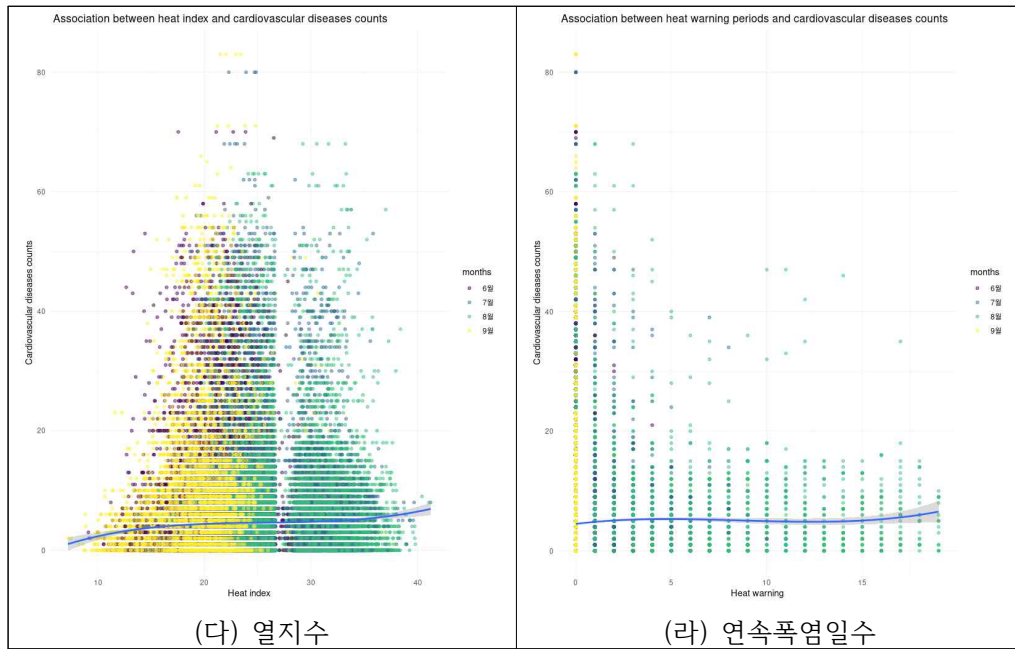
일반건강영향에서 순환기계 질환 중 일부에 속하지만 뇌심혈관계 질환은 별도로 분류하여 분석하였다. 뇌심혈관계 질환은 표준 질병 분류상 ‘허혈심장질환 (I20-I25)’ 과 ‘뇌혈관질환 (I60-I69)’ 으로 병의원을 이용한 경우를 의미한다. 근로자의 뇌심혈관계 질환은 관찰 기간 동안 전체 432,453건으로 나타났다. 월별로는 7월부터 12월까지 점차 증가하였으며, 요일별로는 주중이 주말보다 빈도가 높게 관찰되었으며, 월요일에 빈도가 높았다.



[그림 3-31] 월별, 요일별 뇌심혈관계 질환 현황

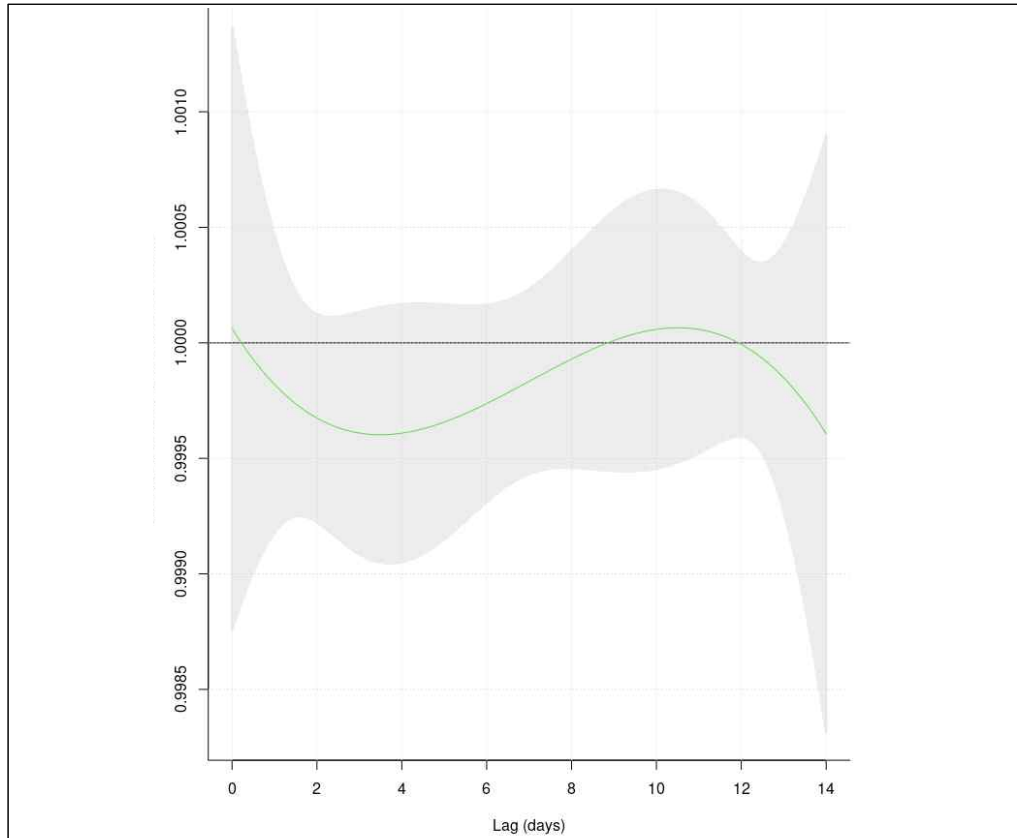
폭염 관련 기상 인자와 뇌심혈관계 질환과의 연관성은 다음 그림과 같다. 이 중 통계적으로 유의미한 연관성은 최고 기온에서 관찰되었다. 분석 모형 적용 결과, 최고 기온이 1℃ 증가할 때마다 근로자 10만 명당 3,127건의 뇌심혈관계 질환이 증가하는 것으로 확인되며 통계적으로도 유의하였다($P < 0.001$).





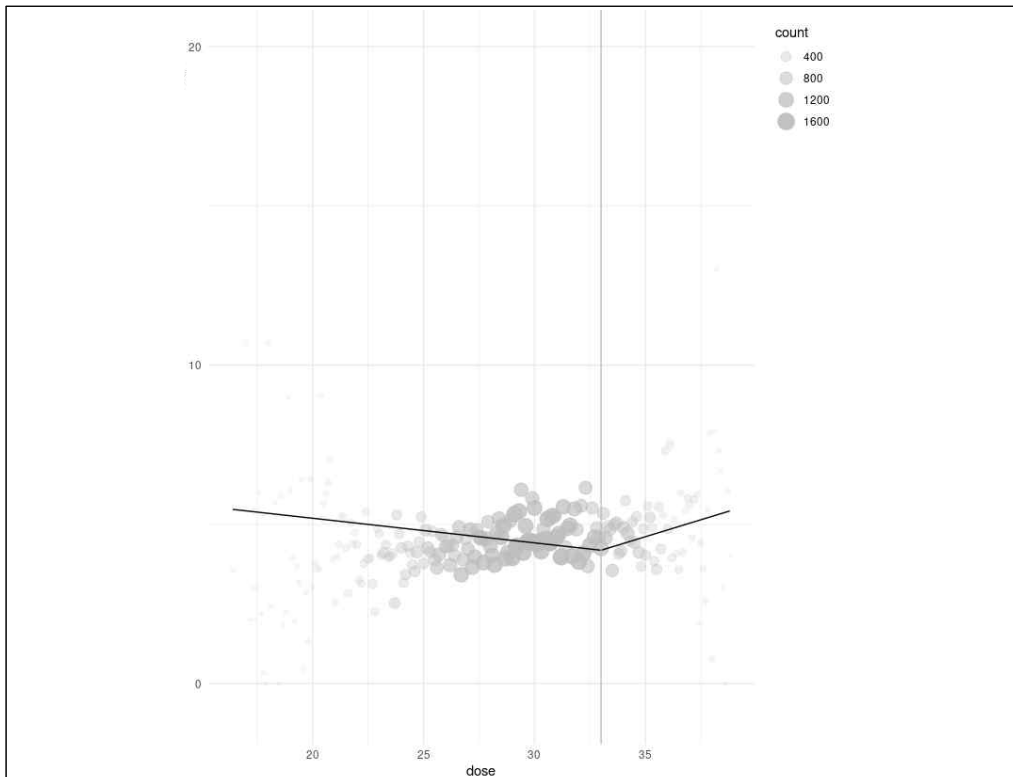
[그림 3-32] 기상 정보별 뇌심혈관계 질환과의 연관성

최고 기온 노출이 뇌심혈관계 질환에 영향을 미치는 기간은 다음 그림과 같이 확인된다. 특정일 노출 이후 통계적으로 유의미한 지연 효과는 확인되지 않는다.



[그림 3-33] 기상 정보별 뇌심혈관계 질환의 지연효과

최고 기온과 근로자의 뇌심혈관계 질환과의 양-반응관계와 역치는 다음 그림과 같다. 최고 기온이 32.8℃를 넘게 되면, 뇌심혈관계 질환의 위험이 증가하는 것으로 관찰된다.

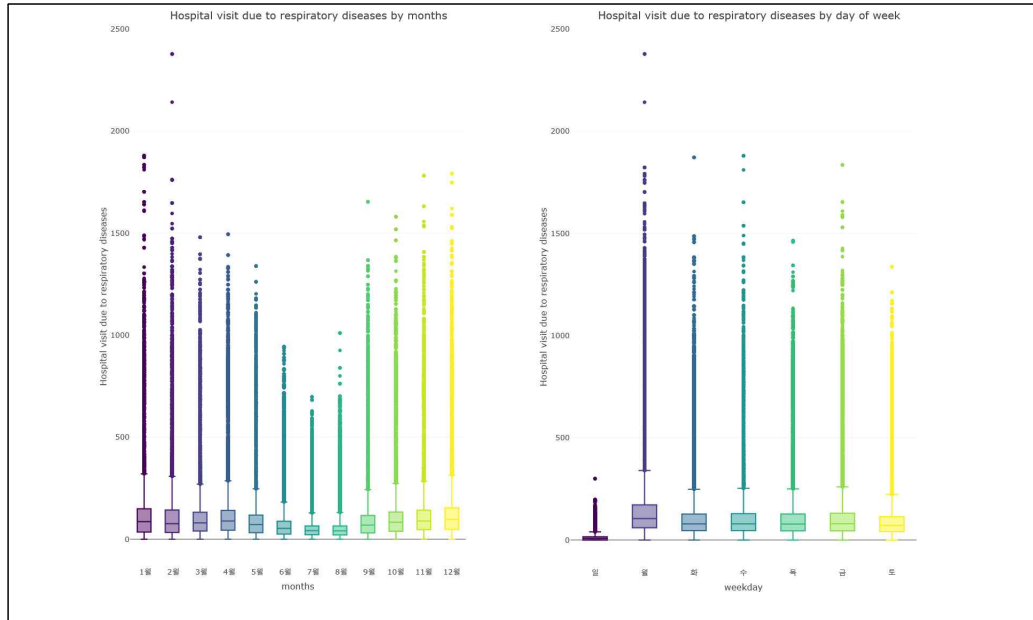


[그림 3-34] 기상 정보별 뇌심혈관계 질환의 양반응 관계 및 역치

근로자의 뇌심혈관계 질환의 경우, 최고 기온이 통계적으로 유의미한 연관성을 나타냈다. 최고 기온이 1℃ 증가할 때 마다 근로자 10만 명당 3,127건의 뇌심혈관계 질환이 증가하는 것으로 추정된다. 지연 효과는 의미 있게 확인되지 않았으며, 최고 기온이 32.8℃를 넘게 되면 근로자의 뇌심혈관계 질환이 증가하는 양상이 관찰되었다.

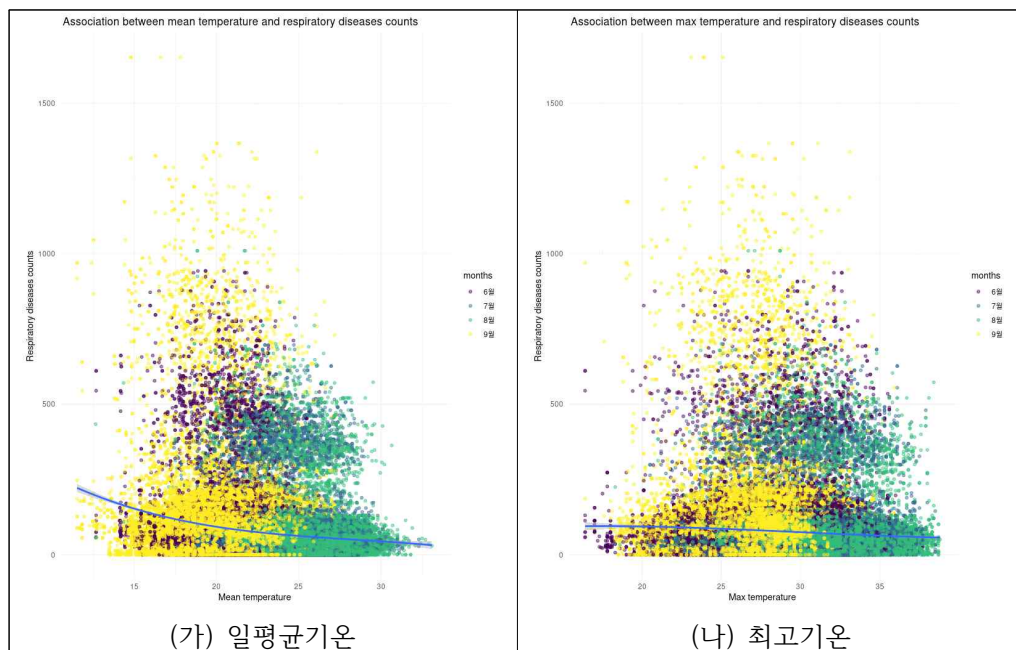
8) 일반건강영향 (호흡기계 질환)

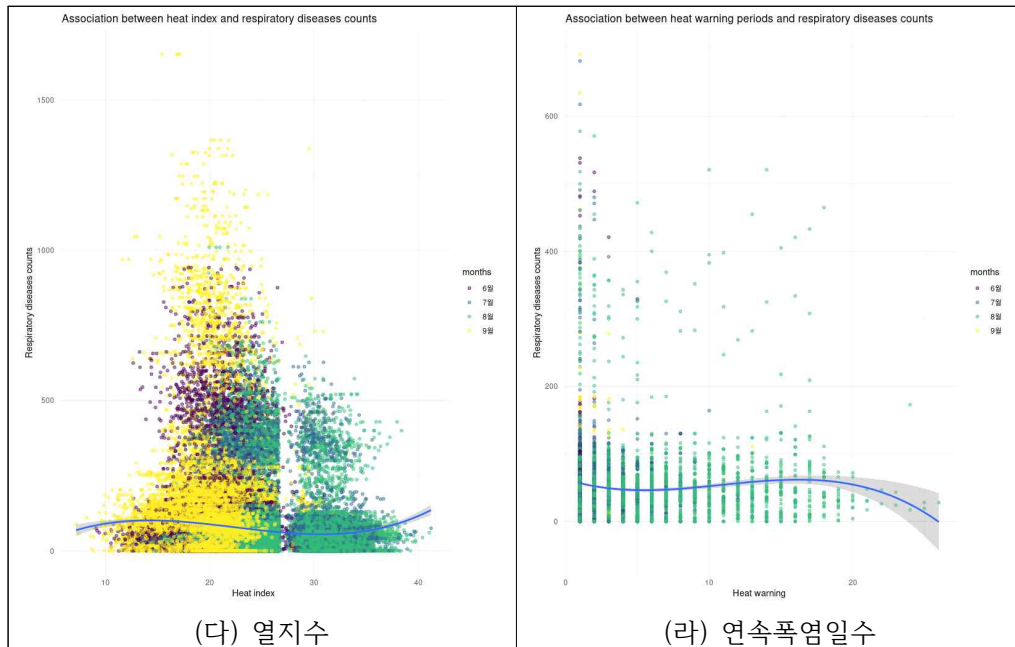
일반건강영향에서 호흡기계 질환은 표준 질병 분류상 ‘호흡계통의 질환 (J00-J99)’ 으로 병의원을 이용한 경우를 의미한다. 호흡기계 질환은 통상 겨울철에 특징적으로 우세하게 나타나는 질환을 알려져 있다. 폭염과 관련하여 증가하는 질환 뿐 아니라 감소할 것으로 예상되는 질환에 대한 고찰도 필요하다는 판단 하에 분석을 진행하였다. 분석 목적상 연관성의 확인까지만 수행하였다. 근로자의 호흡기계 질환은 관찰 기간 동안 전체 37,462,821건으로 나타났다. 월별로는 7월과 8월에 연중 가장 낮은 빈도를 나타냈다. 요일별로는 주중이 주말보다 빈도가 높게 관찰되었으며, 월요일에 빈도가 높았다.



[그림 3-35] 월별, 요일별 호흡기계 질환 현황

폭염 관련 기상 인자와 호흡기계 질환과의 연관성은 다음 그림과 같다. 이 중 통계적으로 유의미한 연관성은 일평균 기온과 최고 기온에서 관찰되었다. 분석 모형 적용 결과, 평균 기온이 1℃ 증가할 때마다 근로자 10만 명당 95,668건의 순환기계 질환이 감소하는 것으로 확인되며 통계적으로도 유의하였다($P<0.001$). 최고 기온이 1℃ 증가할 때마다 근로자 10만 명당 136,695건의 호흡기계 질환이 감소하는 것으로 확인되며 통계적으로도 유의하였다($P<0.001$).



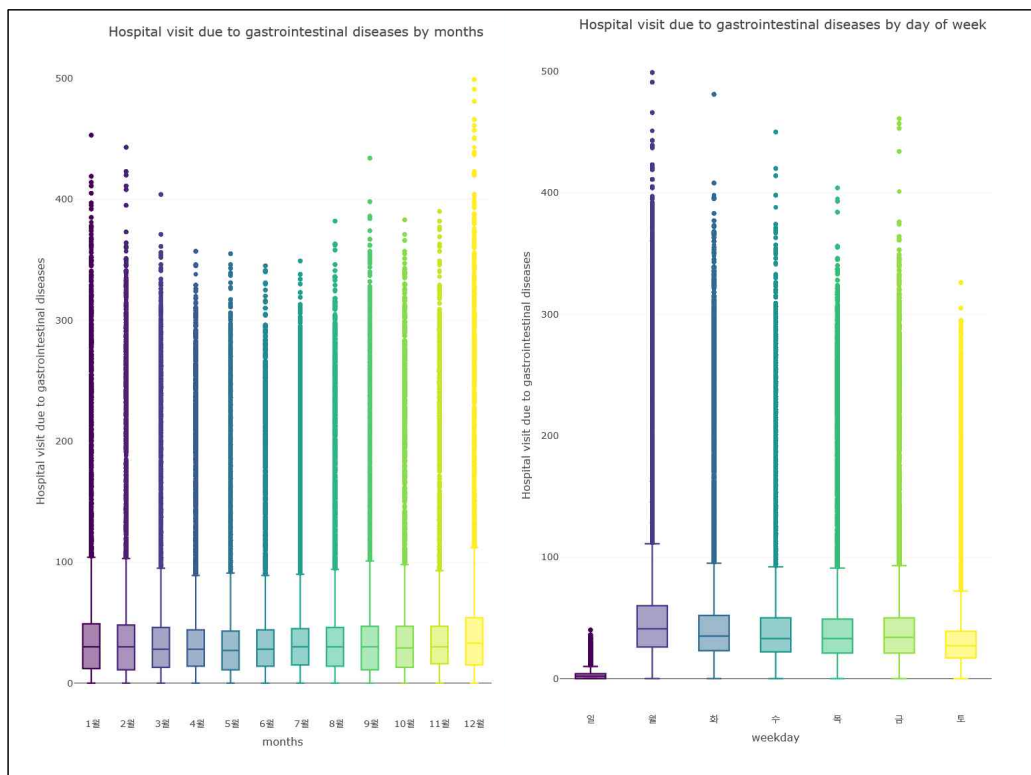


[그림 3-36] 기상 정보별 호흡기계 질환과의 연관성

근로자의 호흡기계 질환의 경우, 평균 기온과 최고 기온이 높아질수록 통계적으로 유의미하게 감소하는 것으로 확인되었다. 근로자의 호흡기계 질환의 경우 낮은 기온 노출과의 연관성에 대한 연구가 필요하다.

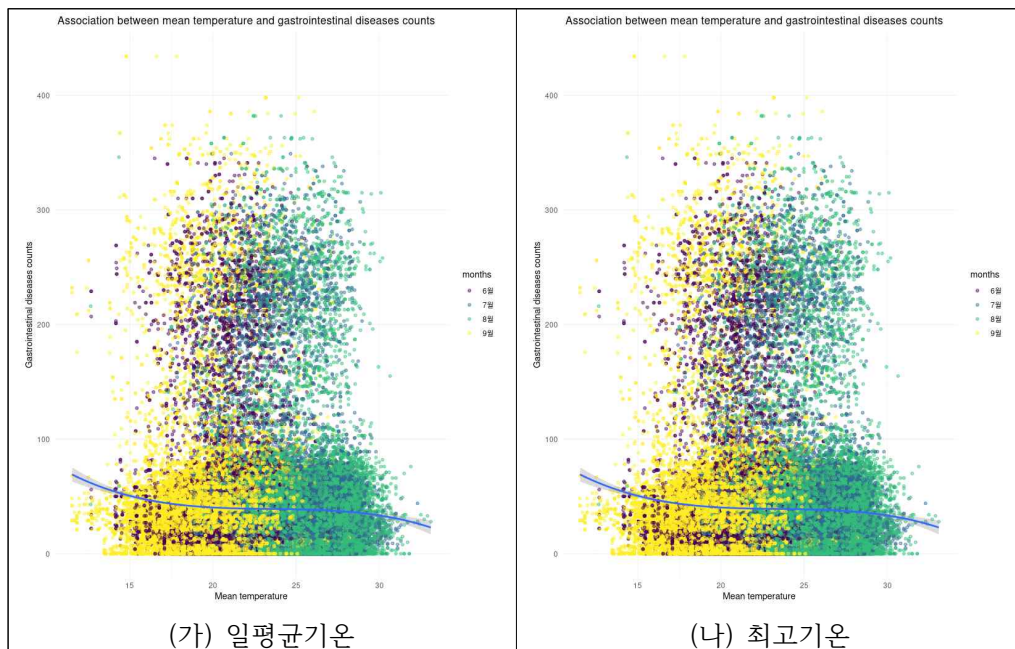
9) 일반건강영향 (소화기계 질환)

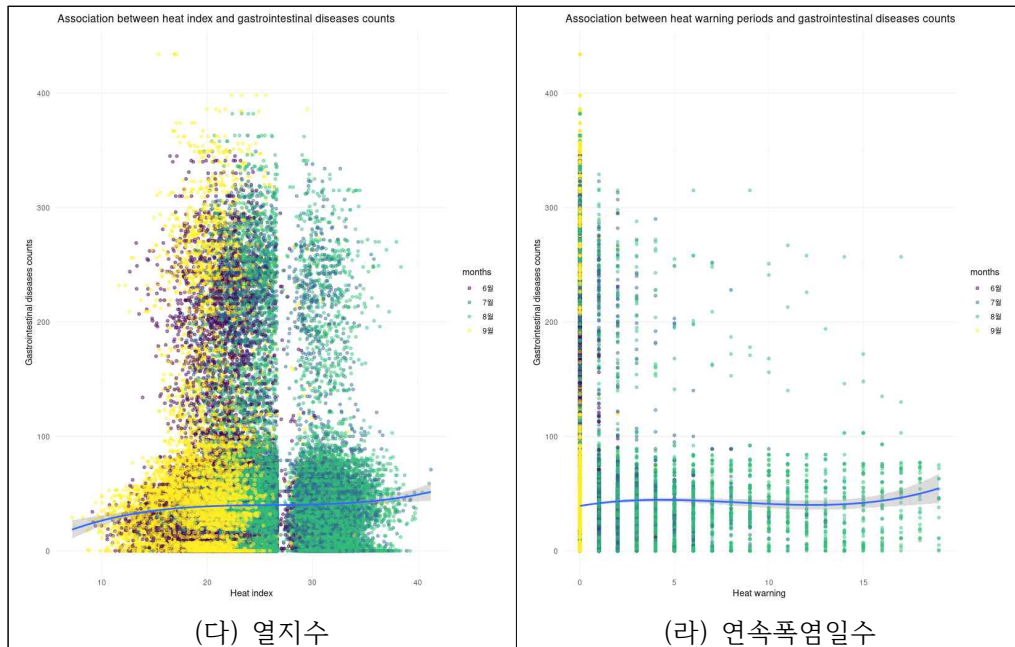
일반건강영향에서 정신 질환은 표준 질병 분류상 ‘소화계통의 질환 (K00-K93)’ 으로 병의원을 이용한 경우를 의미한다. 근로자의 소화기계 질환은 관찰 기간 동안 전체 12,989,765건으로 나타났다. 소화기계 질환으로 인한 병원 이용은 월별로는 큰 차이가 확인되지 않았으며, 요일별로는 월요일이 가장 높았다.



[그림 3-37] 월별, 요일별 소화기계 질환 현황

폭염 관련 기상 인자와 소화기계 질환과의 연관성은 다음 그림과 같다. 열지수와 연속 폭염 일수에서 소화기계 질환과 양의 상관관계가 확인되나 통계적으로 유의미한 연관성은 확인되지 않는다.



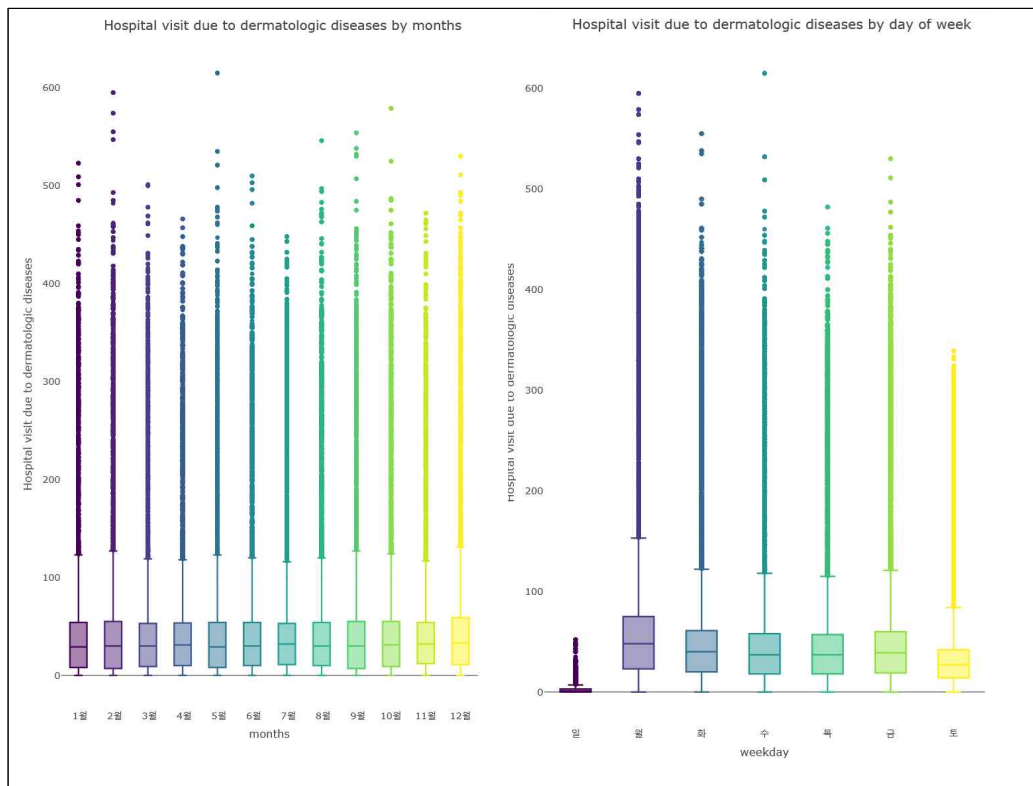


[그림 3-38] 기상 정보별 소화기계 질환과의 연관성

폭염과 연관된 근로자의 소화기계 질환에 대한 기존 문헌은 확인이 어려웠다. 이번 분석에서도 연관성은 관찰되지 않았다. 생리학적 기전상 더위의 노출로 인한 체액의 변화는 소화기계에 영향을 줄 수 있는 가능성이 있는 만큼 추후 관심을 가지고 고찰해야 할 필요성은 있다.

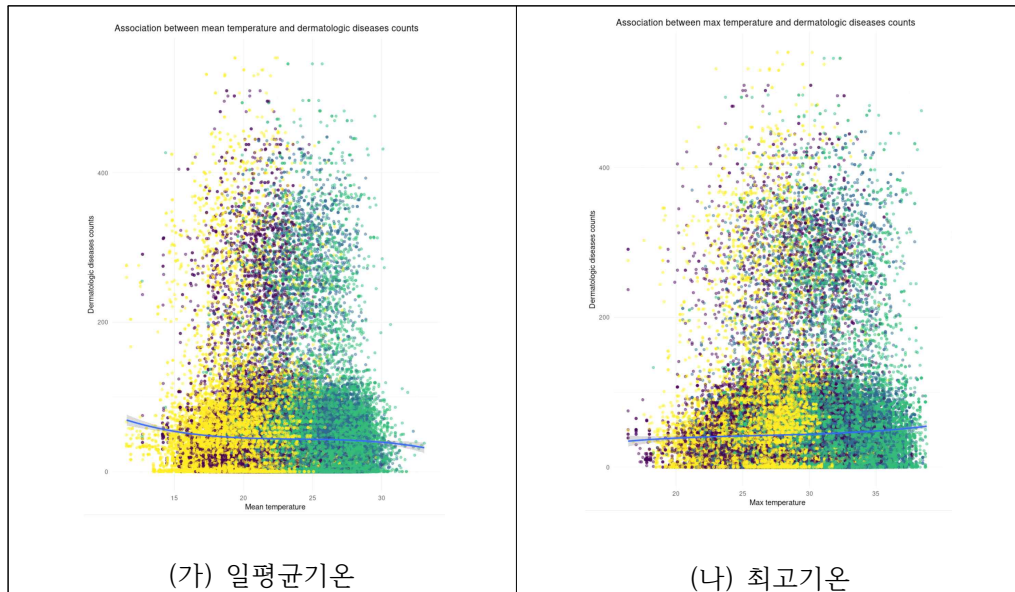
10) 일반건강영향 (피부 질환)

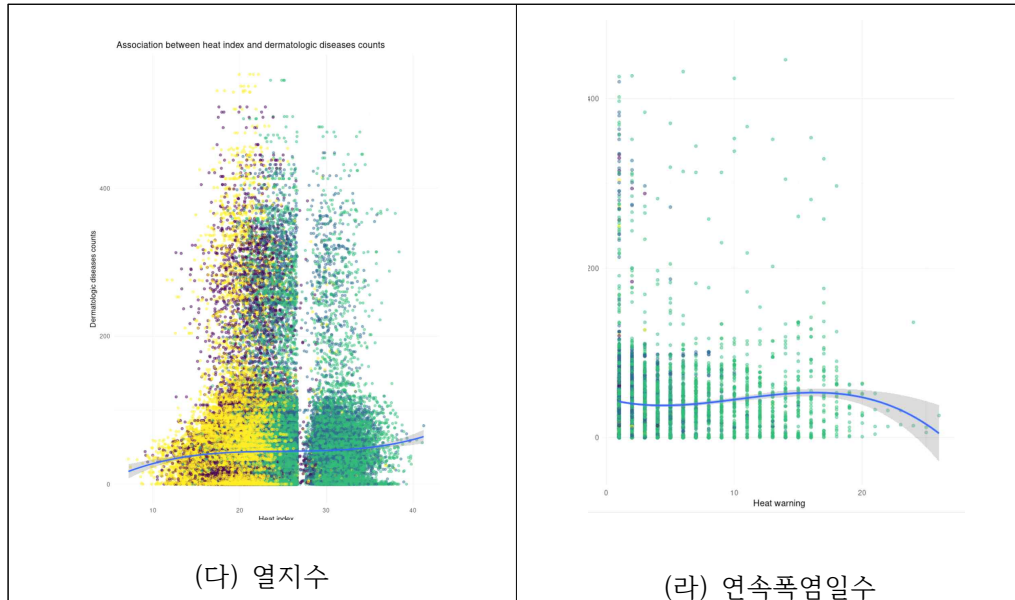
일반건강영향에서 피부 질환은 표준 질병 분류상 ‘피부 및 피하조직의 질환 (L00-L99)’ 으로 병의원을 이용한 경우를 의미한다. 대기 온도 변화에 따른 근로자의 피부 질환의 영향을 분석하였다. 근로자의 피부 질환은 관찰 기간 동안 전체 15,440,482건으로 나타났다. 피부 질환으로 인한 병의원 이용은 월별로는 큰 차이가 확인되지 않았으며, 요일별로는 월요일이 가장 높았다.



[그림 3-39] 월별, 요일별 피부 질환 현황

폭염 관련 기상 인자와 피부 질환과의 연관성은 다음 그림과 같다.
통계적으로 유의미한 연관성은 확인되지 않는다.



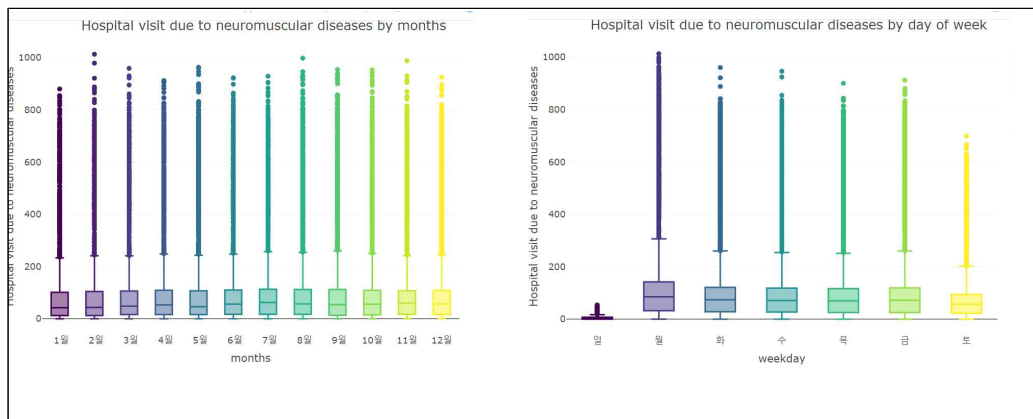


[그림 3-40] 기상 정보별 피부 질환과의 연관성

여름철에 호발하는 피부 질환이 있으므로, 대기 온도와의 연관성이 높을 것으로 추정하였으나 통계적으로 의미있는 연관성은 관찰되지 않았다. 환절기 및 겨울철에도 호발하는 피부질환이 있으므로 더위와 관련된 기상 인자와의 연관성은 상대적으로 약하게 나타났을 것으로 추정된다. 여름철에 호발하는 질환을 중심으로 추후 분석해볼 필요성이 있다.

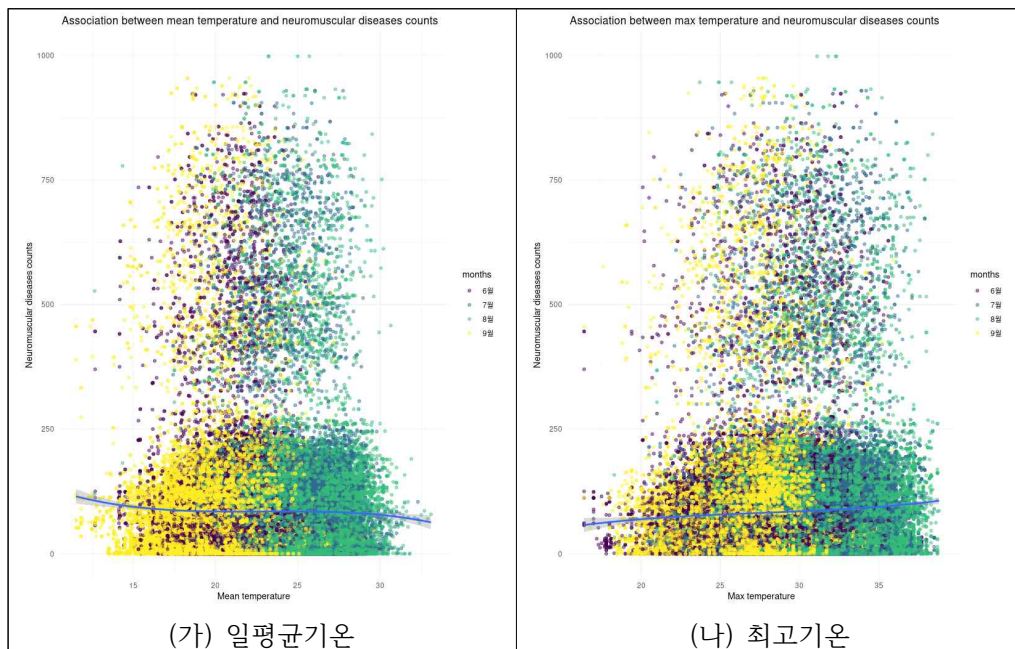
11) 일반건강영향 (근골격계 질환)

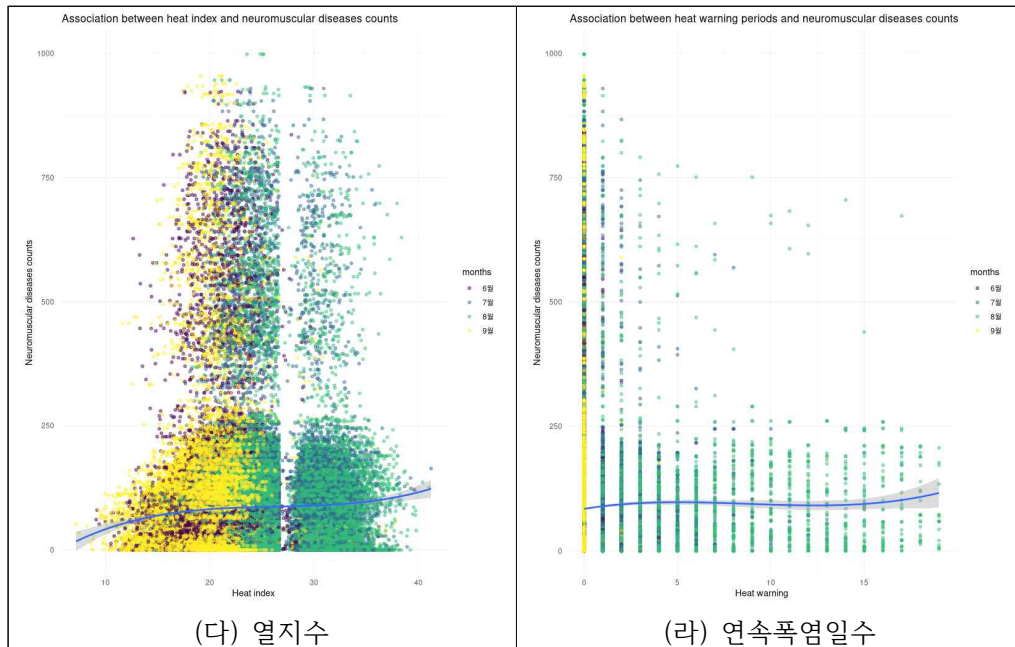
일반건강영향에서 근골격계 질환은 표준 질병 분류상 ‘근골격계통 및 결합 조직의 질환 (M00-M99)’ 으로 병의원을 이용한 경우를 의미한다. 근로자의 근골격계 질환은 관찰 기간 동안 전체 28,609,277건으로 나타났다. 근골격계 질환으로 인한 병의원 이용은 월별로는 큰 차이가 확인되지 않았으나 7월과 8월에 다소 높게 관찰된다. 요일별로는 월요일이 가장 높았다.



[그림 3-41] 월별, 요일별 근골격계 질환 현황

폭염 관련 기상 인자와 근골격계 질환과의 연관성은 다음 그림과 같다. 최고 기온과 열지수, 연속폭염일수에서 양의 상관관계가 확인되나 통계적으로 유의미한 연관성은 확인되지 않는다.



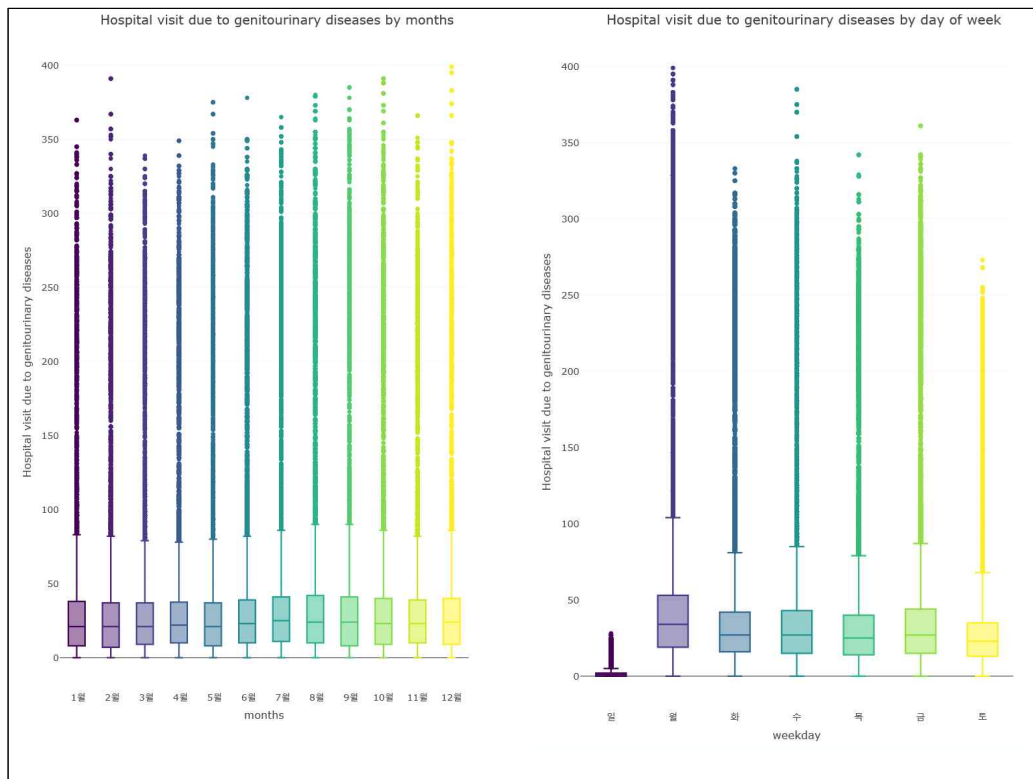


[그림 3-42] 기상 정보별 근골격계 질환과의 연관성

근로자의 근골격계 질환과 더위와의 연관성은 문헌고찰에서 확인되지 않는다. 이번 분석에서도 둘 사이의 연관성은 관찰되지 않았다. 병의원 이용 현황을 유병율이 아닌 발생률로 정리할 경우 의미 있는 결과가 도출될 가능성이 있다. 또한 여름철에는 사고 및 손상의 위험은 높은 것으로 알려져 있다. 이와 연관된 근골격계 질환은 추후 확인해 볼 필요가 있다.

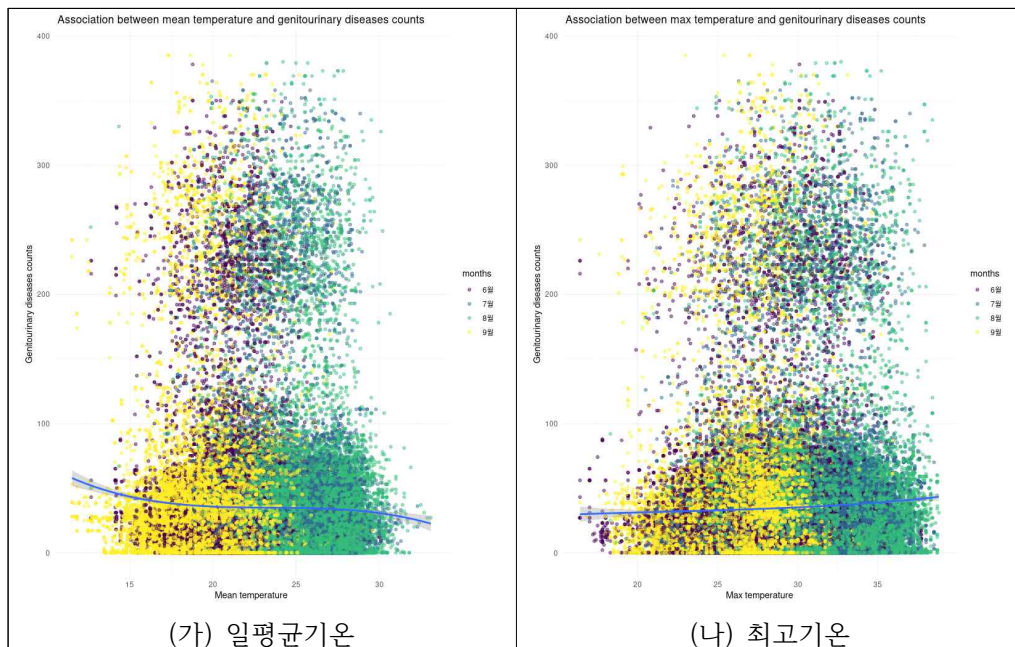
12) 일반건강영향 (비뇨생식기계 질환)

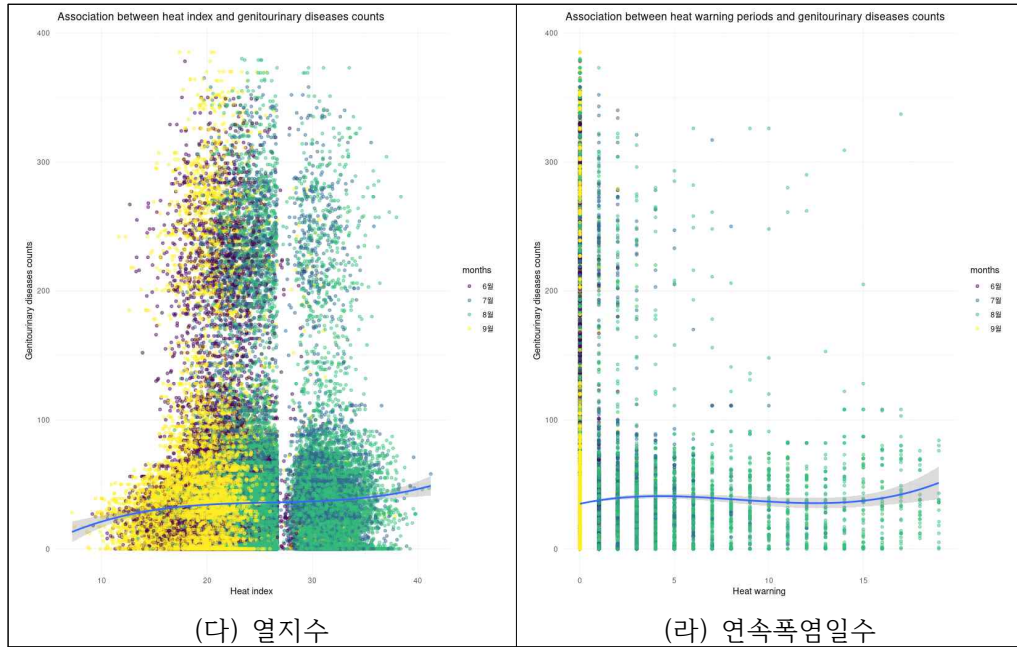
일반건강영향에서 비뇨생식기계 질환은 표준 질병 분류상 ‘비뇨생식계통의 질환 (N00-N99)’으로 병의원을 이용한 경우를 의미한다. 근로자의 비뇨생식기계 질환은 관찰 기간 동안 전체 11,800,634건으로 나타났다. 월별로는 7월부터 10월까지가 다른 월에 비해 비뇨생식기계 질환의 빈도가 높았다. 요일별로는 주중이 주말보다 높게 관찰되었으며, 월요일과 금요일에 높았다.



[그림 3-43] 월별, 요일별 비뇨생식계 질환 현황

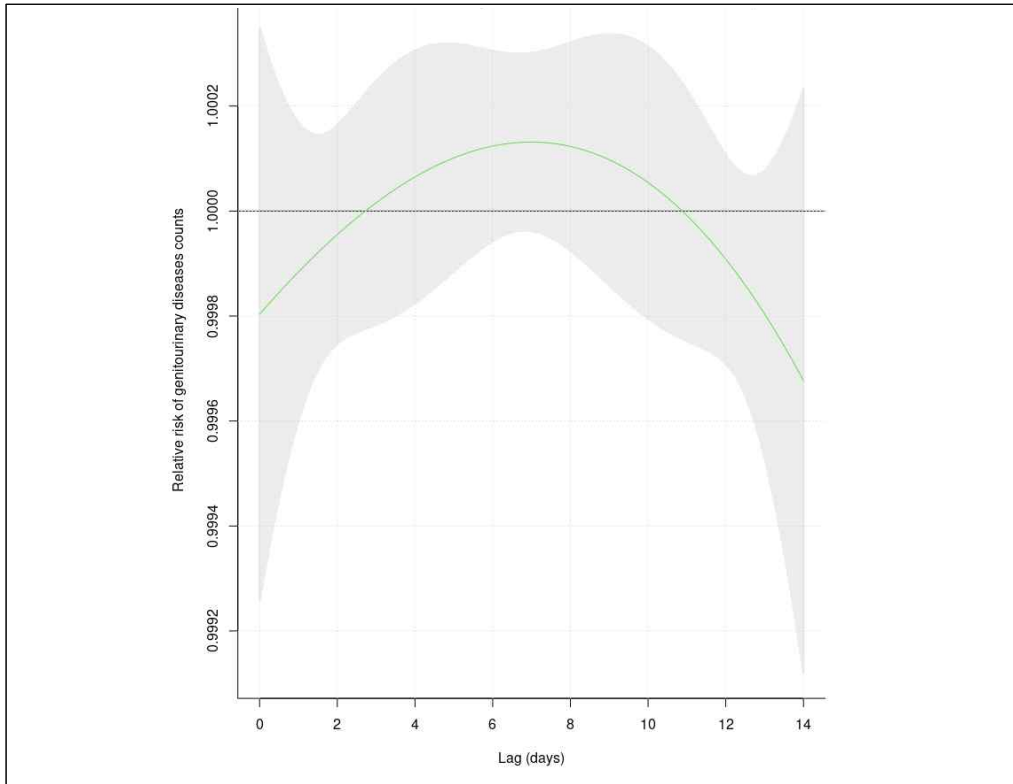
폭염 관련 기상 인자와 비뇨생식기계 질환과의 연관성은 다음 그림과 같다. 최고 기온, 열지수, 연속폭염일수 모두 비뇨생식기계 질환과 양의 상관관계를 나타냈으나, 통계적으로 유의미한 연관성은 최고 기온에서 관찰되었다. 최고 기온이 1℃ 상승할 때 마다 근로자 10만 명당 1,260건의 비뇨생식기계 질환이 증가하는 것으로 확인되며 통계적으로도 유의하였다($P=0.0156$).





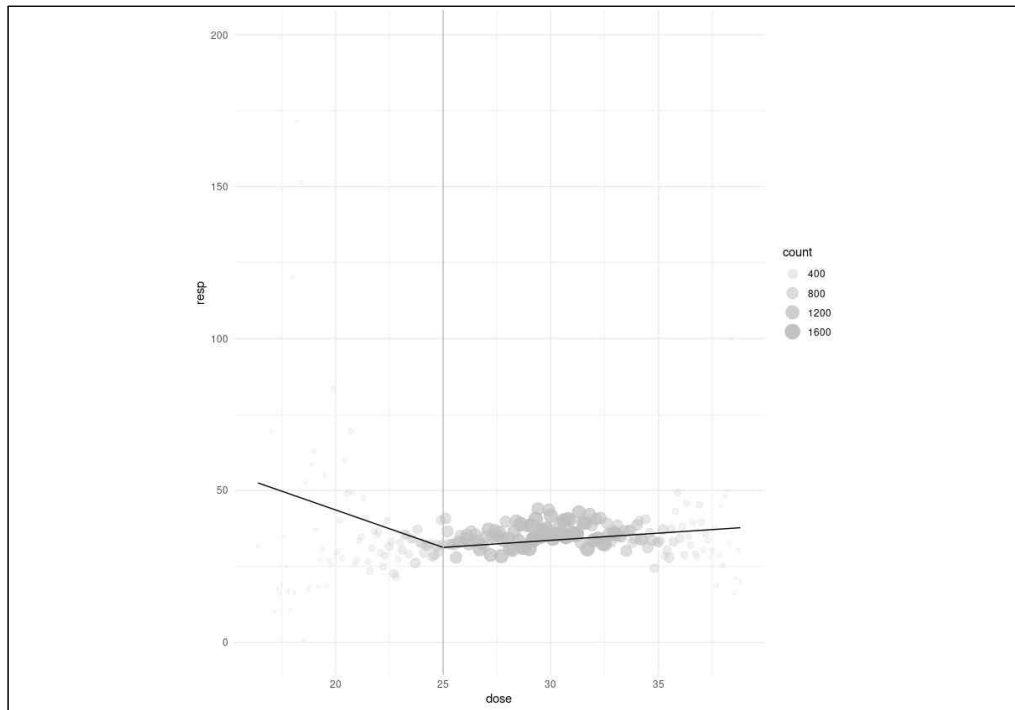
[그림 3-44] 기상 정보별 비뇨생식기계 질환과의 연관성

최고 기온이 비뇨생식기계 질환에 영향을 미치는 기간은 다음 그림과 같다. 통계적으로 유의한 지연 효과는 관찰되지 않는다.



[그림 3-45] 기상 정보별 비뇨생식기계 질환의 지연효과

최고 기온과 근로자의 비뇨생식기계 질환과의 양-반응관계와 역치는 다음 그림과 같다. 최고 기온의 경우 25.1℃ 부터 비뇨생식기계 질환의 위험이 증가하게 된다.

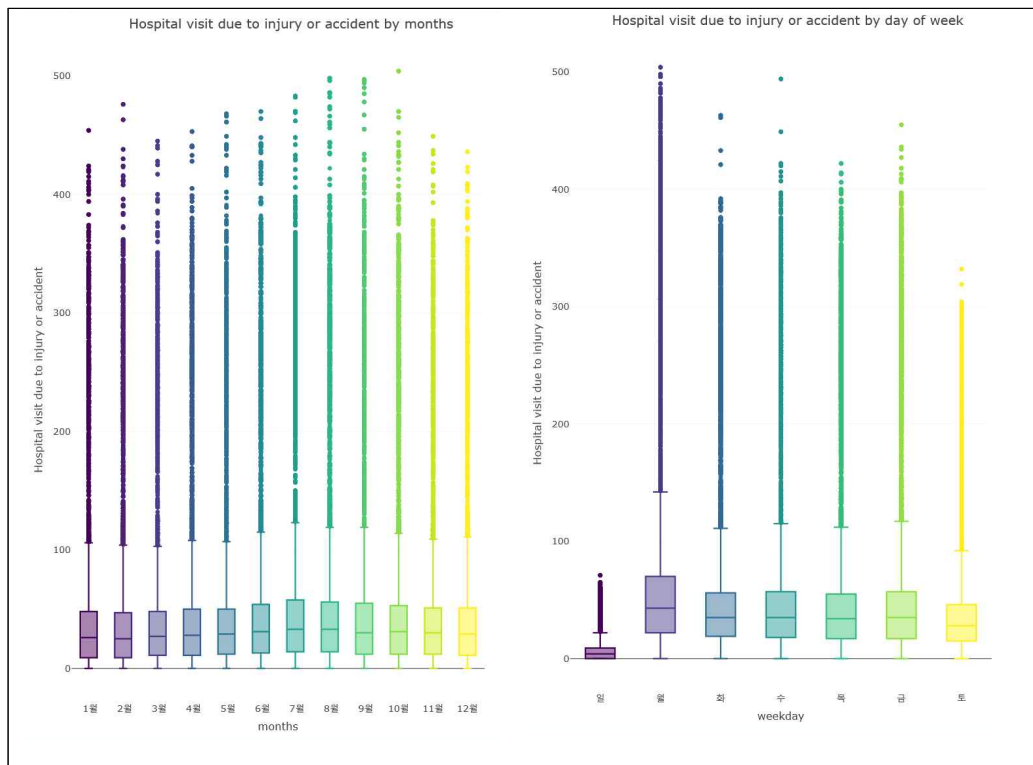


[그림 3-46] 기상 정보별 비노생식기계 질환의 양반응 관계 및 역치

근로자의 비노생식기계 질환의 경우, 최고 기온과의 연관성이 통계적으로 유의미했다. 최고 기온이 1℃ 오를 때 마다 근로자 10만 명당 1,260건의 비노생식기계 질환이 증가하는 것으로 추정된다. 노출 이후의 지연효과는 길게 작용하는 것으로 관찰되나 통계적 유의성은 확인되지 않았다. 최고 기온이 25.1℃를 넘게 되면 근로자의 비노생식기계 질환의 위험이 증가하는 양상이 관찰되었다. 근로자의 비노생식기계 질환의 경우 기대보다 낮은 수준의 최고 기온에서부터 건강영향을 나타내는 것을 확인되었다.

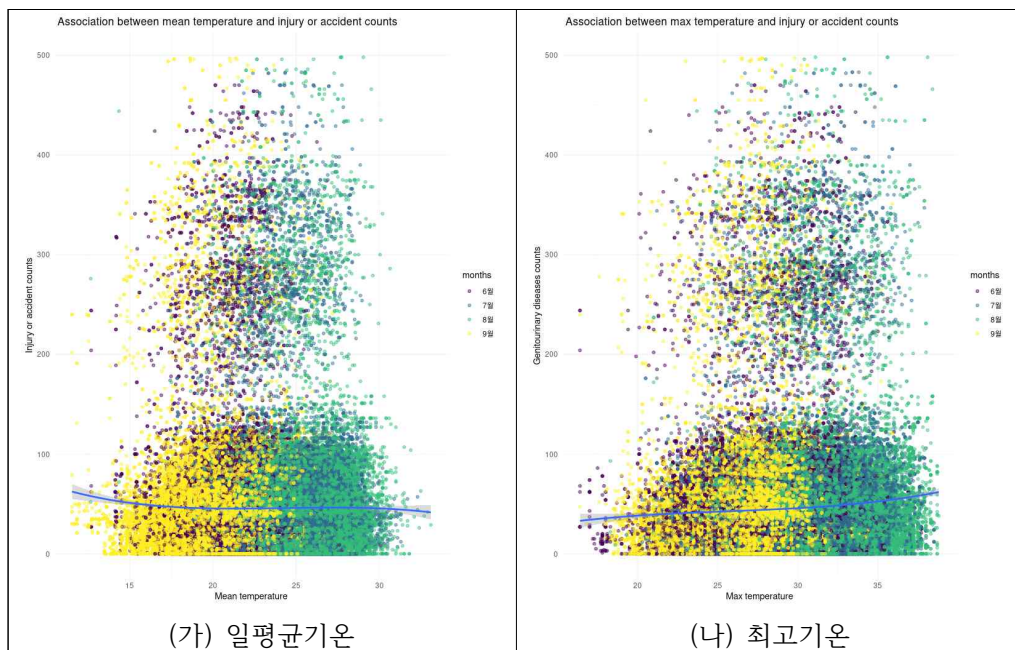
13) 일반건강영향 (사고 및 손상)

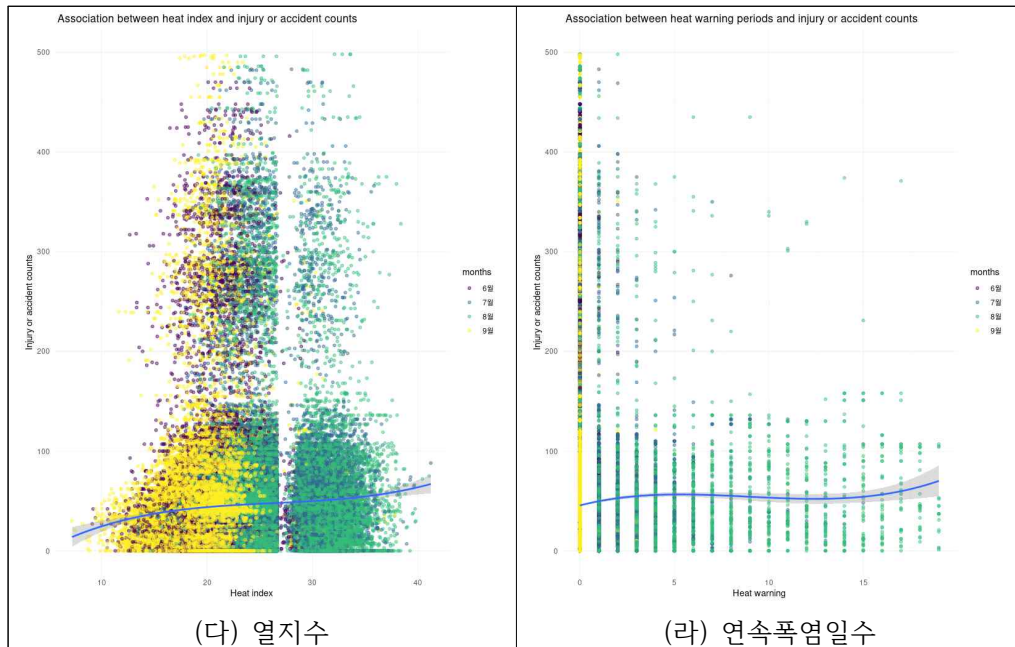
일반건강영향에서 사고 및 손상은 표준 질병 분류상 ‘손상, 중독 및 외인에 의한 특정 기타 결과 (S00-T98)’ 으로 병의원을 이용한 경우를 의미한다. 근로자의 사고 및 손상은 관찰 기간 동안 전체 14,888,037건으로 나타났다. 월별로는 7월이 다른 월에 비해 사고 및 손상의 빈도가 높았다. 요일별로는 주중이 주말보다 높게 관찰되었으며, 월요일에 높았다.



[그림 3-47] 월별, 요일별 사고 및 손상 현황

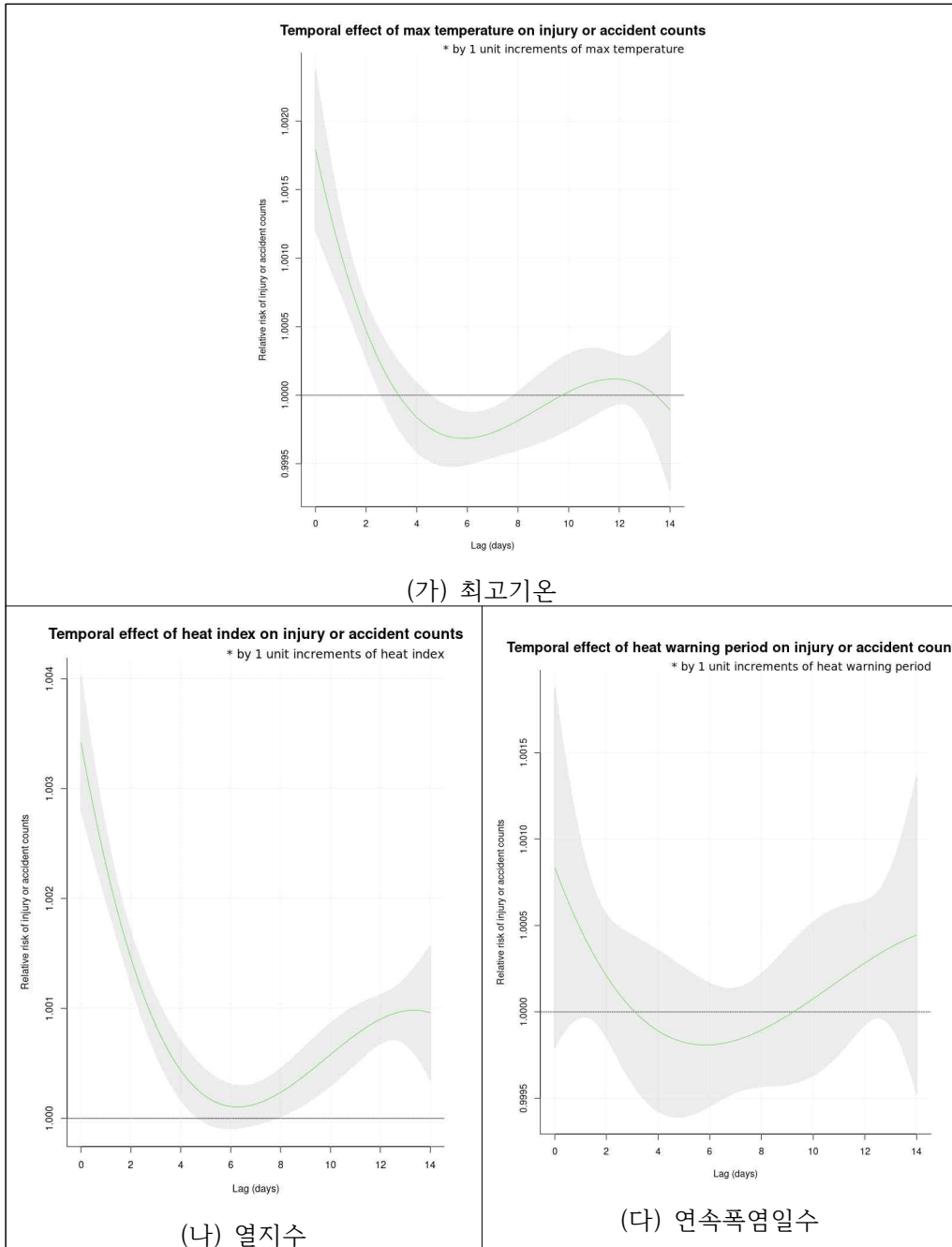
폭염 관련 기상 인자와 사고 및 손상의 연관성은 다음 그림과 같다. 최고 기온, 열지수, 연속폭염일수 모두 사고 및 손상과 통계적으로 유의미한 연관성을 나타냈다. 최고 기온이 1℃ 상승할 때마다 근로자 10만 명당 3,097건의 사고 및 손상이 증가하는 것으로 확인되며 통계적으로도 유의하였으며 ($P<0.001$), 열지수가 1℃ 상승할 때마다 근로자 10만 명당 2,821건의 사고 및 손상이 증가하는 것으로 확인되었다 ($P<0.001$). 연속폭염의 경우 1일 증가할 때마다 사고 및 손상은 11,357건이 증가하는 것으로 나타났다($P<0.001$).





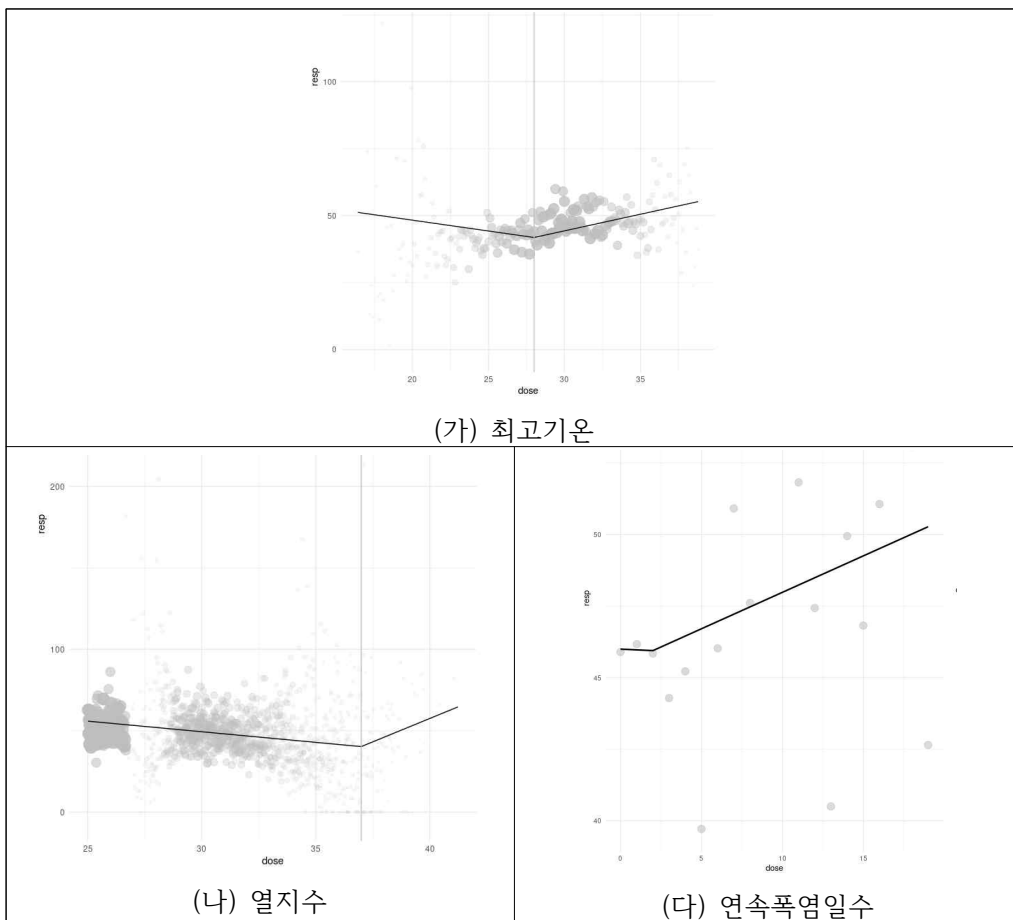
[그림 3-48] 기상 정보별 사고 및 손상과의 연관성

최고 기온, 열지수, 연속폭염일수가 사고 및 손상에 영향을 미치는 기간은 다음 그림과 같다. 최고 기온의 경우 노출당일의 효과가 가장 컸으며, 노출 이후 2.3일까지 사고 및 손상에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 확인된다. 열지수의 경우 노출당일의 효과가 가장 컸으며, 노출 이후 4.2일까지 사고 및 손상에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 확인된다. 연속폭염일수의 경우 통계적으로 유의한 지연효과는 확인되지 않는다.



[그림 3-49] 기상 정보별 사고 및 손상의 지연효과

최고 기온, 열지수, 연속폭염일수와 근로자의 사고 및 손상과의 양-반응관계와 역치는 다음 그림과 같다. 최고 기온의 경우 27.9℃ 부터, 열지수의 경우 37.4℃ 부터, 폭염의 경우 연속 2.5일부터 사고 및 손상의 위험이 증가하게 된다.



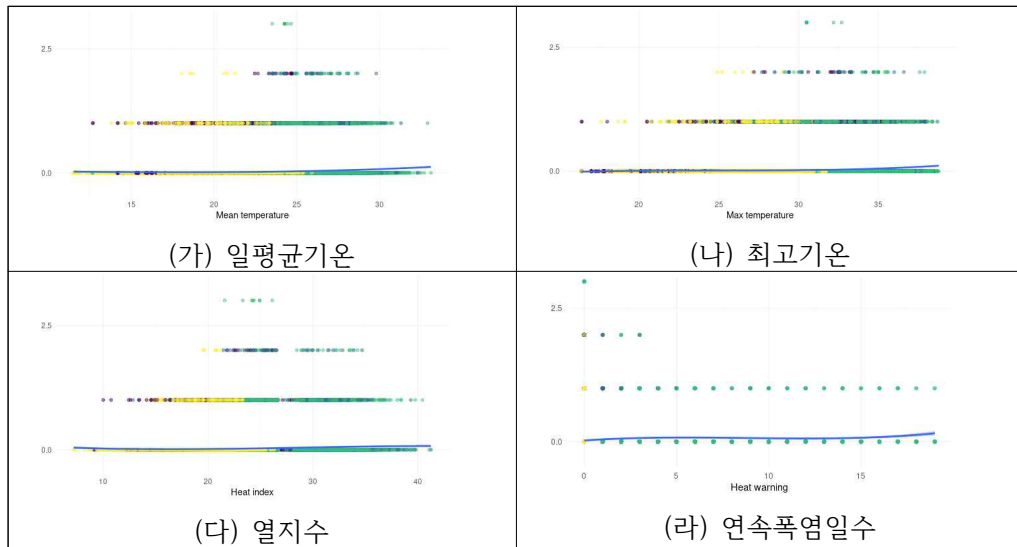
[그림 3-50] 기상 정보별 사고 및 손상의 양반응 관계 및 역치

근로자의 사고 및 손상의 경우, 대부분의 기상 인자와 연관성이 통계적으로 유의미하게 나타났다. 최고 기온이 1℃ 오를 때마다 근로자 10만 명당 3,097건, 열지수가 1℃ 오를 때마다 근로자 10만 명당 2,821건, 폭염이 연속될 때마다 11,357건의 사고 및 손상이 증가하는 것으로 추정된다. 노출 이후의 지연효과는 열지수에서 가장 길게 작용하는 것으로 관찰되었다. 최고 기온이 27.9℃부터, 열지수의 경우 37.4℃부터, 폭염의 경우 연속 2.5일부터 사고 및 손상의 위험이 증가하는 것으로 확인된다. 근로자의 손상 및 사고는 폭염관련 기상 정보와 밀접한 연관이 있는 것으로 확인되었다.

14) 폭염관련 건강영향 (폭염질환)

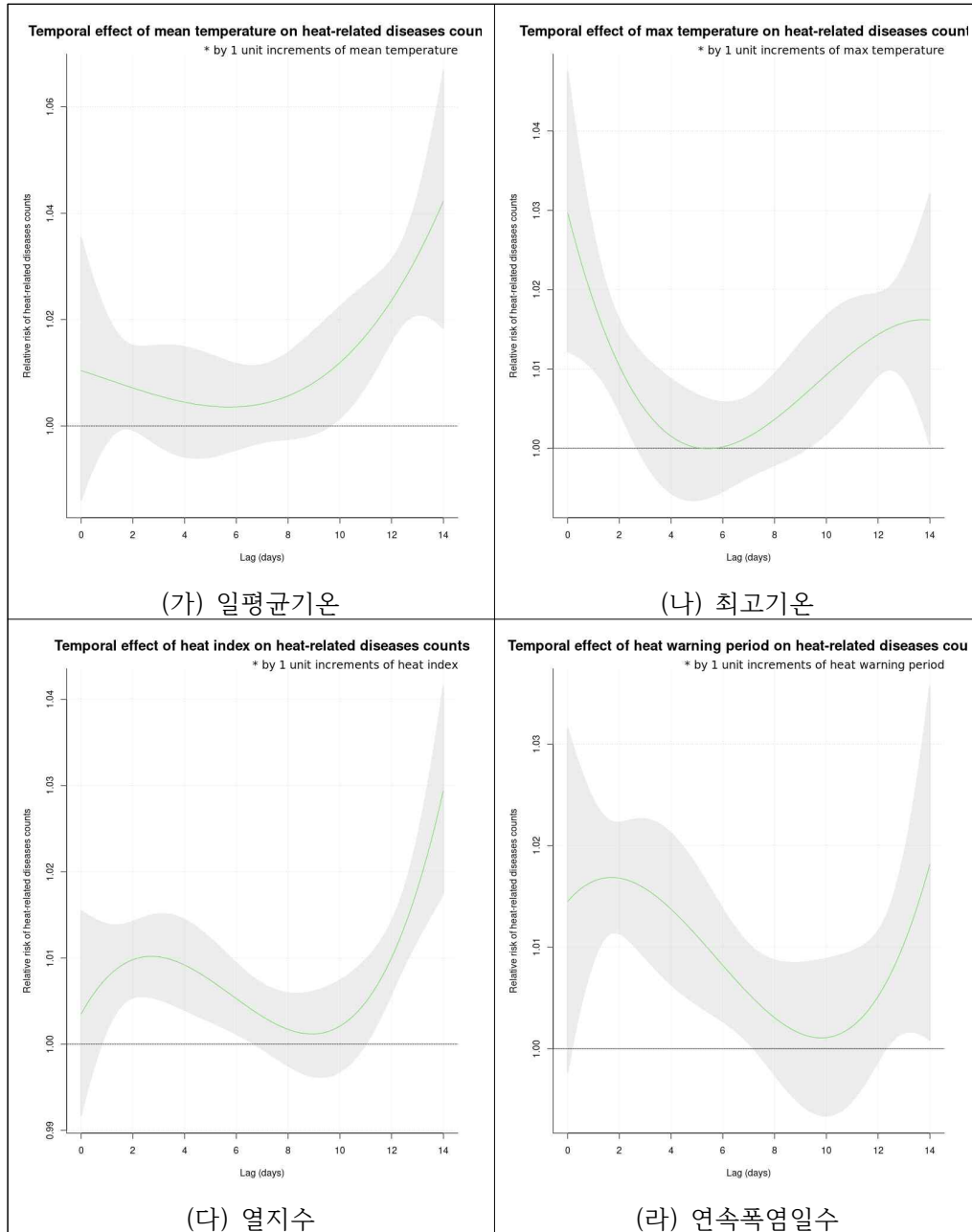
폭염관련 건강영향은 표준 질병 분류상 ‘열 및 빛의 영향 (T67)’으로 병의원을 이용한 경우를 의미한다. 폭염질환은 폭염관련 기상과 당연히 밀접한 연관성이 있을 것으로 추정된다. 이번 분석은 대기 인자별로 폭염질환에 미치는 효과의 크기와 영향력을 미치는 기간, 역치에 대한 고찰을 목적으로 수행하였다. 근로자의 폭염질환은 관찰 기간 동안 전체 5,342건으로 다른 질환보다 빈도가 낮았다. 월별로는 8월이 1,091건으로 가장 많았다. 폭염질환의 월별, 요일별 현황 그림은 빈도가 매우 낮아 표현하기 어려워 제외하였다.

폭염 관련 기상 인자와 폭염질환의 연관성은 다음 그림과 같다. 평균기온, 최고 기온, 열지수, 연속폭염일수 모두 폭염질환과 통계적으로 유의미한 연관성을 나타냈다. 평균 기온이 1℃ 상승할 때마다 근로자 10만 명당 60,677건, 최고 기온이 1℃ 상승할 때마다 근로자 10만 명당 24,075건, 열지수 1℃ 상승할 때마다 근로자 10만 명당 49,862건, 폭염이 연속될 때마다 42,086건의 폭염질환이 증가하는 것으로 확인되며, 모두 통계적으로 매우 유의하였다 ($P < 0.001$). 여기서 제시된 기상 인자와 건강영향 사건의 발생의 연관성의 크기는 분석 모형에 따라 추산된 값이며, 실제 발생 규모를 직접적으로 의미하지는 않는다. 특히 샘플 추출자료인 건강보험공단의 표본코호트를 분석한 경우에는 전수 조사인 통계청의 사망자료와 달리 추산된 값과 실제 질병의 발생 규모와의 차이가 더욱 클 수 있다.



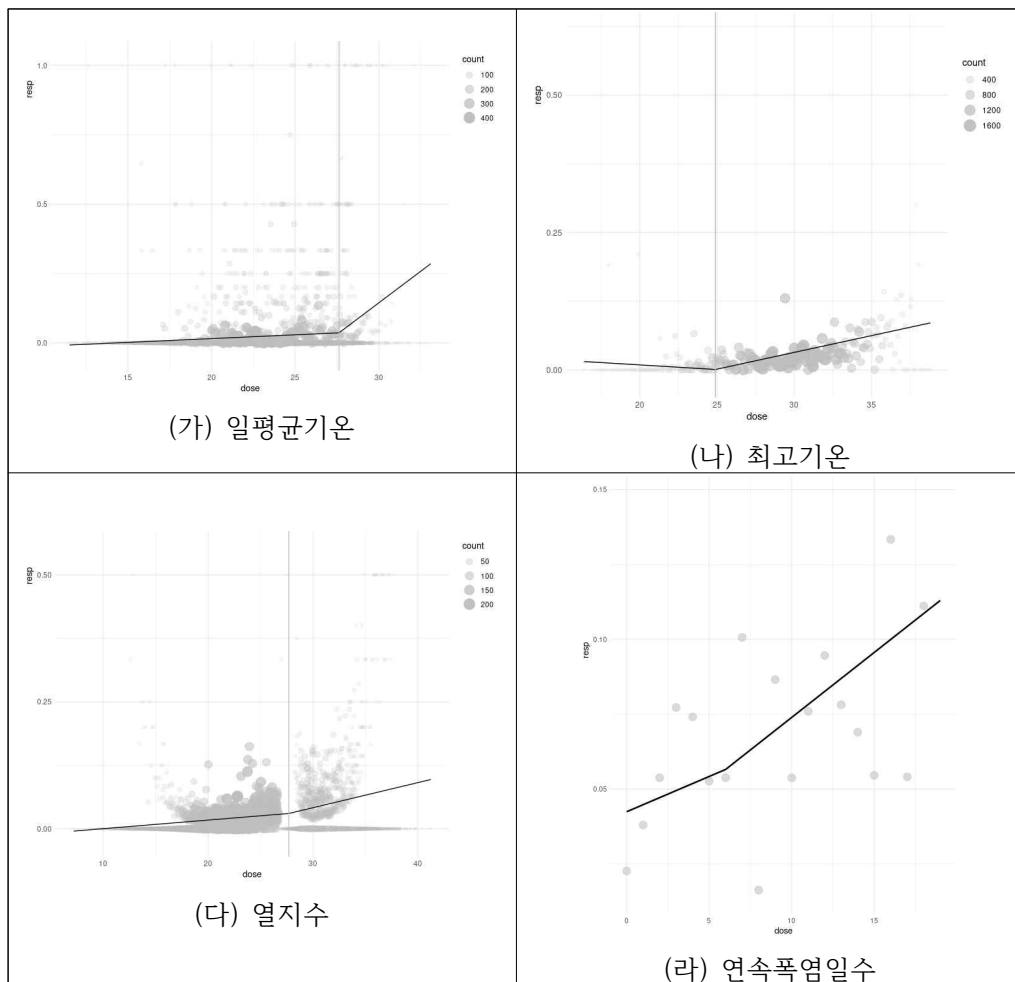
[그림 3-51] 기상 정보별 폭염질환의 연관성

폭염 관련 기상 인자가 폭염질환에 영향을 미치는 기간은 다음 그림과 같다. 최고 기온의 경우 노출당일의 효과가 가장 컸으며, 노출 이후 2.2일까지 사고 및 손상에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 확인된다. 열지수의 경우 노출 이후 6.8일까지, 연속폭염일수의 경우 7일까지 통계적으로 유의한 지연효과가 확인된다. 평균기온의 경우 통계적으로 유의한 지연효과는 관찰되지 않는다.



[그림 3-52] 기상 정보별 폭염질환의 지연효과

최고 기온, 열지수, 연속폭염일수와 근로자의 사고 및 손상과의 양-반응관계와 역치는 다음 그림과 같다. 일평균 기온 26.2℃ 부터, 최고 기온의 경우 24.8℃ 부터, 열지수의 경우 28.3℃ 부터, 폭염의 경우 연속 6일부터 폭염질환의 위험이 증가하게 된다.



[그림 3-53] 기상 정보별 폭염질환의 양반응 관계 및 역치

근로자의 폭염질환은, 이번 분석에 적용된 모든 기상 인자와 연관성이 통계적으로 유의미하게 나타났다. 효과의 크기도 다른 질환에 비해 매우 크게 확인되어 평균 기온이 1℃ 상승할 때마다 근로자 10만 명당 60,677건, 최고 기온이 1℃ 상승할 때마다 근로자 10만 명당 24,075건, 열지수 1℃ 상승할 때마다 근로자 10만 명당 49,862건, 폭염이 연속될 때마다 42,086건의 폭염질환이 증가하는 것으로 추정된다. 노출 이후의 지연효과는 연속폭염일수에서 가장 길게 작용하는 것으로 관찰되었다. 일평균 기온 26.2℃부터, 최고 기온의 경우 24.8℃부터, 열지수의 경우 28.3℃부터, 폭염의 경우 연속 6일부터 폭염질환의 위험이 증가하는 것으로 관찰된다. 근로자의 폭염질환은 평균기온의 상승과 가장 연관성의 크기가 크게 확인되었으며, 본격적으로 여름이 시작되기 이전의 기상에서도 위험이 증가하는 것이 확인되었다.

15) 종합 결과

이번 연구를 통해, 대기의 기상 변화에 따른 근로자의 건강영향을 다각도로 살펴보았다. 폭염관련 기상자료로는 일평균 기온과 최고 기온, 열지수, 연속된 폭염일수를 선정하였다. 근로자의 건강영향은 문헌 고찰과 전문가 회의를 통해 선정하였으며, 3가지로 구분하여 접근하였다. 치명건강영향, 일반건강영향, 그리고 폭염관련 건강영향이다. 치명건강영향은 통계청 사망자료를 기반으로 하였으며, 근로자의 사망을 결과변수로 선정하였다. 야외에서의 사망은 폭염과 연관성이 높다고 판단하여, 야외 사망을 추가로 분석을 진행하였다. 일반건강영향과 폭염관련 건강영향은 건강보험공단의 표본코호트를 활용하였다. 일반건강영향은 한국 표준 질병 사인 분류의 대분류 위주로 적용하였다. 일반건강영향은 전체 11가지로, 감염성 질환, 내분비계 질환, 정신 질환, 순화기계 질환, 뇌심혈관계 질환, 호흡기계 질환, 소화기계 질환, 피부 질환, 근골격계 질환, 비뇨생식기계 질환, 사고 및 손상이 여기에 해당된다. 폭염관련 질환은 폭염질환 전체를 선정하였다. 분석은 흐름은 다음과 같은 순서로 진행되었다. 관찰기간인 2002년부터 2015년까지의 개별 건강영향마다 전체 현황을 파악하였다. 이후 월별, 요일별 현황을 확인하고 차이가 있을 경우 분석 모형에 반영하였다. 네 가지 대기 기상 정보 각각에 대해, 개별 건강영향과의 연관성을 확인하였다. 연관성이 통계적으로 의미 있게 확인된 경우에는 지연효과를 확인하고, 추산된 역치를 제시하였다. 종합 결과는 다음 표와 같다.

<표 3-10> 주요 결과 정리

건강영향		평균기온	최고기온	열지수	연속폭염
치명 건강영향	전체 사망	연관성 없음	$\beta=0.008517$ L=2.0 T=34.9°C	연관성 없음	연관성 없음
	옥외 사망	연관성 없음	$\beta=0.004663$ L=2.0 T=31.2°C	연관성 없음	$\beta=0.004663$ L=2.4 T=11.4일
일반 건강영향	감염성 질환	$\beta=0.042636$ L=3.4 T=27.1°C	$\beta=0.042636$ L=3.6 T=30.0°C	연관성 없음	연관성 없음
	내분비계 질환	연관성 없음	연관성 없음	연관성 없음	연관성 없음
	정신질환	연관성 없음	연관성 없음	연관성 없음	연관성 없음
	순환기계 질환	연관성 없음	연관성 없음	연관성 없음	$\beta=0.006175$ L=none T=12.7일
	뇌심혈관계 질환	연관성 없음	$\beta=0.003127$ L=none T=32.8°C	연관성 없음	연관성 없음
	호흡기계 질환	음의 상관관계	음의 상관관계	연관성 없음	연관성 없음
	소화기계 질환	연관성 없음	연관성 없음	연관성 없음	연관성 없음
	피부 질환	연관성 없음	연관성 없음	연관성 없음	연관성 없음
	근골격계 질환	연관성 없음	연관성 없음	연관성 없음	연관성 없음
	비뇨생식기계 질환	연관성 없음	$\beta=0.001260$ L=none T=25.1°C	연관성 없음	연관성 없음
	사고 및 손상	연관성 없음	$\beta=0.003097$ L=2.3 T=27.9°C	$\beta=0.002821$ L=4.2 T=37.4	$\beta=0.011357$ L=none T=2.5일
폭염 관련 건강영향	폭염 질환	$\beta=0.060677$ L=none T=26.2°C	$\beta=0.024075$ L=2.2 T=24.8°C	$\beta=0.049862$ L=6.8 T=28.3	$\beta=0.042086$ L=7 T=6일

통계적으로 유의한 결과만 제시

L: 지연효과 (lag time), 단위(일)

T: 역치 (threshold)

*연관성의 크기(β)는 모델에 적용하여 추산된 값이며, 실제 건강영향의 규모와 다를 수 있음.

16) 결과 해석상 주의 및 분석의 한계

기상이 근로자의 건강에 미치는 영향을 중심으로 한 연구 및 보고는 매우 드물다. 연구가 활발하지 못한 이유는 대부분 자료의 한계 및 하드웨어의 한계 때문이었다. 이번 연구 결과도 자료의 한계 등 여러 가지 제한점이 있지만, 국가에서 구축한 대표성 있는 자료를 활용하였고, 우리나라 전체 근로자를 대상으로 선제적으로 연관성을 고찰하였다는 점에서 의미가 크다.

그럼에도 다음과 같은 한계점을 감안하여 결과를 해석해야 한다.

첫 번째는 기상 정보의 한계이다. 이번 연구는 기상 측정소를 바탕으로 갈무리된 정보를 활용하였다. 남한 지역 전체를 103개 측정소를 기반으로 대기 정보를 유추하여 적용하였다. 또한 건강영향이 행정구역으로 정리되어 있다 보니, 기상 정보를 행정구역 기준으로 변환하여 적용해야 했다. 특정 지표의 기상 정보를 인접 지역의 대푯값으로 적용하는 방법은 환경역학 분야에서 주로 사용되는 방법이지만, 결과 해석시 이를 감안해야 한다. 이번연구에서는 구름의 양, 일조 시간, 습도 및 풍속 등 다양한 기상 정보를 고려하여 연관성 분석을 시행하였다. 하지만 인체에 영향을 주는 것으로 여겨지는 일교차, 열대야, 대기오염 등은 반영하지 못했다. 국소 대기의 상태를 보다 면밀하게 반영하는 자료의 구축 및 활용이 필요하다.

두 번째는 건강 영향 정보의 한계이다. 건강보험공단인 표본 코호트는 병의원 이용 당시의 현황을 반영하는 의료 이용 정보이다. 즉, 병

의원 이용 시점은 질병 및 손상이 발생한 시점과 꼭 일치하지 않는다. 사망과 같은 급성 치명 질환의 경우 이러한 질병 발생 시점과 병의원 이용 시점과의 차이가 적은 편이지만, 만성 일반 질환의 경우 차이가 발생한다. 이러한 차이는 요일별 의료이용 현황에서 확인된다. 대부분의 의료기관이 문을 닫는 주말에 질병 발생이 확연히 낮았으며, 월요일에 가장 높은 빈도를 나타냈다. 추후 질병 발생 시점이 비교적 명확하게 확인되는 산재신청자료 등을 활용하여 분석해 볼 필요가 있다. 또한 우리나라는 행위별 수가제를 적용한다. 즉, 표본코호트의 진단명에는 실제 의학적으로 명확하게 확인되지 않은 질병도 일부 포함되어 있다. 처방 및 시술 정보, 입원 여부, 응급실 내원 여부 등을 반영한 보완된 진단명의 적용이 필요하다. 근로자의 정의를 건강보험공단의 가입자격을 기준으로 직장가입자로 정의하였다. 여기에는 맞벌이나 자영업자 등의 근로자 인구가 제외될 수 있다.

세번째는 분석의 한계이다. 자료 구축의 한계로 인해 분석의 깊이가 다소 부족하다고 판단된다. 남녀, 연령, 소득 등의 인구학적 특성은 건강영향에 중요한 인자 중 하나이지만 이번 분석에 적용하지는 못했다. 이는 표본코호트 자료 추출의 한계 때문이다. 건강보험공단에서는 일정빈도 이내의 자료 추출은 특정 개인의 추적 가능성이 있어 반출을 제한하고 있다. 분석을 위해 지역과 날짜는 필수로 반출해야하는 자료의 특성상 성별이나 나이, 소득 등의 정보는 포함하기 어려웠다. 대기 정보를 표본코호트에 반입하는 방법도 고려하였으나 대기 정보의 자료가 방대하였고, 건강보험공단에서의 자료 검토 등의 시간이 요구되므로 연구 기간 내로 반입이 가능하지 않았다.

마지막 해석상의 주의점은 다음과 같다. 이번 연구를 통해, 대기인자와의 연관성이 통계적으로 유의하게 확인된 질병군이 있었다. 통계적 유의성은 연관성 고찰에 중요한 요인이지만 전부는 아니다. 특히 사람의 질병의 경우, 생리학적 기전이나 질병의 병태생리, 또는 의학적 발병 기전 등을 종합하여 연관성에 대한 결론을 지어야 한다. 이번 연구에서는 대기인자에 따른 근로자의 건강영향에 대해 통계학적인 가능성을 제시한 것이다. 대기인자에 따른 근로자의 건강영향에 대한 인과성 결론을 위해서는 의학적, 생리학적, 또는 역학적 연구 등을 통한 종합적인 고찰이 병행되어야 한다.

IV. 결론

더위와 관련된 4가지 대기 기상 정보에 따른 14가지 근로자 건강영향을 분석하였다. 이번 연구에 따르면, 근로자의 일부 건강 및 안전은 기상 정보와 통계적으로 밀접한 연관성이 있는 것으로 나타났다. 자료의 한계 등으로 인해 비록 근로자의 업무 특성과 직종, 사회경제적인 요소 등 다양한 관련 인자를 모두 반영되지 못했으나, 이러한 제한된 조건하에서도 근로자의 건강 보호와 안전을 위해 기상 정보에 관심을 가지고 이해하려는 노력이 필요하다는 점을 선제적으로 제시하였다는 의의가 있다.

치명적인 건강영향인 사망 역시 기상 정보와 밀접한 연관성이 있었다. 특히 근로자의 옥외 사망의 경우에는 전체 사망보다 많은 기상 정보와 연관성이 확인되었다. 이는 기상 정보는 옥외 작업 근로자의 중요한 건강 위협이 될 수 있음을 시사한다. 이전 연구²⁾에 따르면, 옥외작업자는 주로 저소득, 저학력, 고령, 일용직 근로자가 대부분이었다. 이들은 산업 보건학적 건강 취약계층과 맞닿아 있다. 기상 인자가 취약계층 근로자의 건강 및 안전 취약성을 악화시킬 가능성이 있다는 것을 확인하였다. 취약계층 근로자를 중심으로 한 기상 영향에 대한 세밀한 연구가 필요하다.

2) 이완형, 윤진하, 강성규 등. 기후변화에 따른 옥외작업자 건강보호 종합대책 마련 연구. 산업안전보건연구원 연구보고서. 2019.

이번 연구에서는 일반 기상 정보인 최고기온, 평균기온, 응용 기상 정보인 열지수와 연속폭염일수를 노출인자로 선정하였다. 이 중 근로자의 건강 영향과 연관성이 가장 높은 지표는 최고 기온이었다. 전체 14가지의 건강영향에서 절반인 7가지 건강영향이 최고 기온과 통계적으로 의미 있는 연관성이 확인되었다. 연속폭염일수의 경우 4가지, 열지수와 일평균기온은 각각 2가지 건강영향과 연관성이 확인되었다. 더위노출의 인체 부담은 대기 온도 뿐 아니라 습도와 풍량 등 다양한 인자를 함께 고려해야 한다. 따라서 최고 기온을 중심으로 다양한 기상 인자를 폭넓게 적용하여, 대기온도에 따른 근로자의 건강 영향을 가장 효과적으로 반영하는 인자를 찾아내는 후속 연구가 필요하다.

이번 연구에서는 대기온도 뿐 아니라 4가지 기상 요인(운량, 습도, 일조량, 풍속)을 보정 변수로 활용하였다. 하지만 건강에 영향을 미치는 기상 요인은 위에 언급된 4가지가 전부가 아니다. 특히 근로자의 건강은 SO_2 , NO_2 , O_3 , CO , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ 와 같은 대기오염인자뿐 아니라 사업장에서 작업간 발생하는 공기 중의 유기용제, 흙 등도 영향을 미칠 수 있다. 이들 인자에 대한 영향은 이번 연구에 반영되지 못했다. 추후 이러한 기상 요인을 포함한 근로자 건강영향 연구가 필요하다.

한반도는 기후변화의 영향으로 연평균 기온의 상승, 폭염의 증가, 여름일수의 증가 등 결국 무더위가 증가할 것으로 꾸준히 일관적으로 예측되고 있다³⁾. 이미 연평균 폭염일수의 증가가 발생하고 있으며, 유래없는 폭염이 2016년과 2018년에 극심하게 나타났다. 더위에 노출

3) 한반도 기후변화 보고서, 기상청 (2012, 2017, 2018)

되는 근로자의 건강 보호를 위한 예방 노력이 시급히 필요하다. 이를 위해서는 정확한 기상정보의 확보, 대기온도에 따른 건강영향에 대한 위험도 전파, 신속한 대응 체계를 구축해야 한다. 일반적인 기상정보는 측정소를 바탕으로 하고 있으며, 100여개의 측정소를 기반으로 우리나라의 기상 정보를 생산 및 유통하고 있다. 근로자가 일하는 곳의 실제 기상과 예보된 기상 정보가 다를 수 있다는 한계점을 인식해야 한다. 지난 연구⁴⁾에 따르면, 실제 예보된 기온보다 작업 현장의 특성(그늘여부, 바람이 통하는 지 여부 등)에 따라서 훨씬 가혹한 기상 조건이 발생할 수 있다는 것을 보고하였다. 따라서 근로자가 실제 일하는 장소의 국소 기상의 자료를 구축하는 것이 중요하다. 정확한 정보가 바탕이 되어야 효과적인 대응책을 강구할 수 있다. 모든 사업장에서 당장 시행하기는 어려운 점이 있더라도, 온열질환에 취약한 작업장인 옥외 작업장, 일정 규모 이상의 건설현장 등에서는 국소 기상 정보를 확인하는 것이 중요하다. 이는 대기온도의 영향을 크게 받은 취약 근로자를 보호하기 위한 첫걸음이 될 수 있다. 대기온도의 위험을 근로자에게 신속하게 전파하는 것이 필요하다. 현재 기상청에서는 ‘폭염영향예보 정규서비스’ 등을 통해 주요 기상 정보와 함께 건강영향의 위험도를 전파하고 있다. 근로자 개개인에게 사업장의 특성과 근로 조건을 반영한 폭염의 건강영향 위험을 쉽고 직관적으로 확인할 수 있는 정보를 일과시작 전에 제공해야 한다. 아무리 예방에 힘써도 지속적인 무더위는 건강을 악화시킬 수 있다. 폭염과 관련된 질환의 경우, 신속한 조치가 있으면 치명적인 질병이나 사망으로의 이환을 예방할 수 있다. 따라서 현장에서의 신속한 폭염관련 응급 대응 체계

4) 이완형, 윤진하, 강성규 등. 기후변화에 따른 옥외작업자 건강보호 종합대책 마련 연구. 산업안전보건연구원 연구보고서. 2019. 부록 6.

를 구축해야한다. 현재의 온열질환 대응체계는 일반인구를 대상으로 한 응급조치를 준용하고 있다. 근로자의 경우 단독으로 작업하는 경우도 있으며, 주변에 물을 구하기 어려운 작업환경도 있다. 다양한 작업조건에 따른 시나리오를 구축하고 이에 대한 대응 체계를 개발하고 전파해야 한다.

V. 참고문헌

- 건강보험자료 공유서비스. 건강보험공단. <https://nhiss.nhis.or.kr>
- 기상자료개방포털. 기상청. <http://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>
- 기상청. 한반도 기후전망 보고서. 기상청 보고서. 2018
- 이완형, 윤진하, 강성규 등. 기후변화에 따른 옥외작업자 건강보호 종합대책 마련 연구. 산업안전보건연구원 연구보고서. 2019.
- 임연희, 이경신, 한창우 등. 취약계층 맞춤형 폭염피해 위험 진단기술 개발: 온열·한랭질환 피해위험 예측 기술개발. 국립재난안전연구원 연구보고서. 2018
- 질병관리본부. 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보. 질병관리본부 보고서. 2018
- Adam-Poupart A, Smargiassi A, Busque M-A, et al. Summer outdoor temperature and occupational heat-related illnesses in Quebec (Canada). Environ Res. 2014;134:339-44.
- Arcury TA, Summers P, Talton JW, et al. Heat illness among North

Carolina Latino farm workers. J Occup Environ Med. 2015;57(12):1299.

Bethel JW, Harger RJJoer. Heat-related illness among Oregon farmworkers. Int J Environ Res Public Health. 2014;11(9):9273-85.

Crowe J, Nilsson M, Kjellstrom T, et al. Heat Related symptoms in sugarcane harvesters. American J Ind Med. 2015;58(5):541-48.

El-Shafei DA, Bolbol SA, Allah MBA, et al. Exertional heat illness: Knowledge and behavior among construction workers. Environ Sci Pollution Res. 2018;25(32):32269-76.

García-Trabanino R, Jarquín E, Wesseling C, et al. Heat stress, dehydration, and kidney function in sugarcane cutters in El Salvador - a cross-shift study of workers at risk of Mesoamerican nephropathy. Environ Res. 2015;142:746-55.

Gasparrini A, Ben A, Mike G. K. Distributed lag non linear models. Stat Med. 2010;29:2224-2234.

Harduar Morano L, Bunn T, Lackovic M, et al. Occupational heat related illness emergency department visits and inpatient

hospitalizations in the southeast region, 2007 - 2011. American J Ind Med. 2015;58(10):1114-25.

Kearney GD, Hu H, Xu X, et al. Estimating the prevalence of heat-related symptoms and sun safety - related behavior among Latino farm workers in Eastern North Carolina. J Argomed. 2016;21(1):15-23.

Maeda T, Kaneko S-y, Ohta M, et al. Risk factors for heatstroke among Japanese forestry workers. J Occup Health. 2006;48(4):223-29.

Marinaccio A, Scortichini M, Gariazzo C, et al. Nationwide epidemiological study for estimating the effect of extreme outdoor temperature on occupational injuries in Italy. Environ Int. 2019;133:105176.

Mutic AD, Mix JM, Elon L, et al. Classification of Heat Related Illness Symptoms Among Florida Farmworkers. J Nurs Scholar. 2018;50(1):74-82.

Rameezdeen R, Elmualim AJIjoer, health p. The impact of heat waves on occurrence and severity of construction accidents. Int J Environ Res Public Health. 2017;14(1):70.

Riley K, Wilhalme H, Delp L, et al. Mortality and morbidity during extreme heat events and prevalence of outdoor work. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(4):580.

Spector JT, Bonauto DK, Sheppard L, et al. A case-crossover study of heat exposure and injury risk in outdoor agricultural workers. *PLoSone*. 2016;11(10):e0164498.

Varghese BM, Hansen A, Nitschke M, et al. Heatwave and work-related injuries and illnesses in Adelaide, Australia: a case-crossover analysis using the Excess Heat Factor (EHF) as a universal heatwave index. *Int J Occup Environ Health*. 2019;92(2):263-72.

Xiang J, Hansen A, Pisaniello D, et al. Extreme heat and occupational heat illnesses in South Australia, 2001 - 2010. *Occup Environ Med*. 2015;72(8):580-86.

Xu Y, Dadvand P, Barrera-Gómez J, et al. Differences on the effect of heat waves on mortality by sociodemographic and urban landscape characteristics. *J Epi Community Health*. 2013;67(6):519-25.

Abstract

The research for the workers' health impact related with the ambient temperature

Objectives:

Climate change in Korea is predicted by a significant increase in yearly average temperature with longer summer duration. Workers who have to work regardless of the temperature are greatly affected by the temperature, which is a group that needs health protection. It is necessary to understand the main characteristics of climate change in Korea and to consider the health impact of workers according to the ambient temperature.

Methods:

This study conducted review of trend of climate change in Korea and the literature on air temperature and health effects of workers. The analysis for health effects of workers according to ambient temperature were conducted. The daily average and maximum temperature, heat index, and heatwave warning periods were selected as ambient temperature related factors. The health impacts of workers were selected through literature review and expert meetings, and approached in three categories. These are fatal health effects, general health effects, and heatwave-related health effects. The observation period was from 2002 to 2015. The association between each of the four ambient temperature related factors and fourteen health effects were

estimate using generalized additive models and distributed lag non-linear models.

Results:

Summers are expected to be very long and yearly average temperature are highly increased after 50 years in Korea. It has been reported that the risk of death, accidents and injuries, genitourinary disorders, and mental disorders is increased among workers who were exposed to high ambient temperatures. In fatal health effects, it was observed that all cause mortality and deaths at outside were closely related with high ambient temperatures. In general health effects, infectious diseases, circulatory system diseases, cerebral cardiovascular diseases, genitourinary system diseases, accidents and injury were associated with ambient temperature related factors. Heatwave related health effect were related to daily average temperature, maximum temperature, heat index, and continuous heatwave warning periods.

Conclusions:

Health effects related to ambient temperature related factors were found among workers in Korea. Health protection of workers whoe were exposed to high temperatures is necessary.

Key words: climate change, ambient temperature, health effect, outdoor workers.

〈〈연 구 진〉〉

연구 기관 : 가천대학교 산학협력단

연구책임자 : 이 완 형 (조교수, 보건학박사, 가천대학교)

연구원 : 윤 진 하 (부교수, 의학박사, 연세대학교)
강 성 규 (교수, 의학박사, 가천대학교)
최 원 준 (부교수, 의학박사, 가천대학교)
함 승 헌 (조교수, 보건학박사, 가천대학교)
강 모 열 (조교수, 의학박사, 가톨릭대학교)

연구보조원 : 이 준 형 (연구원, 가천대학교 길병원)
이 용 호 (연구원, 가천대학교 길병원)
이 은 이 (연구원, 가천대학교 길병원)
이 미 정 (연구원, 가천대학교 길병원)

연구 상대역 : 윤 민 주 (연구위원, 직업건강연구실)

〈〈연 구 기 간〉〉

2020.04.16 ~ 2020.10.31.

본 연구는 산업안전보건연구원의 2020년도 위탁연구 용역사업에 의한 것임

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며, 우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

대기온도의 특성에 따른 근로자 건강영향 분석

(2020-산업안전보건연구원-652)

발 행 일 : 2020년 10월 31일
발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 고 재 철
연구책임자 : 가천대학교 교수 이 완 형
발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원
주 소 : (44429) 울산광역시 중구 중가로 400
전 화 : (032) 5100-756
F A X : (032) 5100-759
Homepage : <http://oshiri.kosha.or.kr>

[비매품]