

고온이 사망에 미치는 영향에 대한 메타분석

우 경 속
(한양대학교)

김 대 은
(노스캐롤라이나대학교)

채 수 미*
(한국보건사회연구원)

우리나라에서는 최근 기후변화와 여름철 이상 고온 현상이 건강을 비롯한 사회 전반에 중대한 영향을 미치고 있다. 본 연구에서는 우리나라를 배경으로 고온 노출에 따른 사망의 위험을 평가한 기존의 연구들을 메타 분석하여, 현재까지 확인된 근거의 실태를 파악하고자 했다. 분석 결과, 기온이 1°C 증가할 때 사망의 위험이 5%(95% CI: 3-6%) 증가했으며, 비폭염 기간에 비해 폭염 기간에 사망의 위험이 8% 증가(95% CI: 2-14%) 했다. 그러나 국내 연구 수가 제한적이어서 각기 다른 폭염의 정의별로 사망의 위험을 평가하지 못했으며, 하위집단별 분석에서 취약인구집단의 위험을 충분히 규명하기 어려웠다. 그럼에도 75세 이상 고령 인구집단에서는 고온의 분석단위와 관계없이 사망의 위험이 통계적으로 유의하게 증가했음을 확인했다. 또한 고온은 심뇌혈관질환, 호흡기 질환으로 인한 사망 위험의 증가와 관련이 있었다. 향후 고온의 건강영향에 대한 인식을 제고할 필요가 있으며, 이를 위해 우리나라에 적용 가능한 폭염의 기준을 마련하고, 고온 노출에 민감한 집단에 대한 건강영향을 평가하고 지원할 필요가 있다.

주요 용어: 고온, 폭염, 기후변화, 사망, 메타분석

이 연구는 한국보건사회연구원에서 수행한 '보건 분야 기후변화 대응을 위한 근거생산과 정책 개발(채수미 외, 2017)' 연구의 일부를 수정·보완한 것임.

* 교신저자: 채수미, 한국보건사회연구원(csm1030@kihasa.re.kr)

■ 투고일: 2018.8.25 ■ 수정일: 2019.3.5 ■ 게재확정일: 2019.4.3

I. 서론

전 지구적인 기후변화는 최근 우리나라에서도 문제가 되고 있는데, 특히 여름철 이상 고온 현상이 두드러진다. 국내에서 통계가 작성되기 시작한 1973년 이래 가장 더웠던 것으로 기록된 해는 1994년으로, 전국 평균 폭염일수가 16.6일로 평년 8.7일과 비교가 되지 않는다. 그런데 2016년에는 22.4일, 2018년 29.2일로 최근 들어 공식 기록이 경신되고 있는 만큼(질병관리본부, 2017, pp.48-49; 기상청, 2018), 고온이 우리 사회에 미치는 영향은 심각한 수준이다.

기온 변화, 강수량 변화, 자연재해 발생 등으로 나타나는 기후변화 현상은 인간의 건강과 삶에 다양한 경로로 영향을 미친다. 그 중 기온의 변화는 직접적으로 노출됨으로써 건강에 영향을 미치게 된다(Smith, Woodward, Campbell-Lendrum, Chadee, Honda, Liu, et al., 2014, pp.720-721).

국제적으로 기온의 변화가 건강에 미치는 영향을 정량적으로 평가한 연구가 지속적으로 보고되었고, 이러한 연구들을 종합하기 위한 연구도 다수 시도되었다. 지금까지 수행되어 온 연구들을 메타분석 한 결과에 따르면, 고온 현상 및 기온의 증가가 사망, 심뇌혈관 질환, 호흡기 질환의 위험을 증가시킨다는 것이 확인되었고(Guo, Gasparrini, Armstrong, Tawatsupa, Tobias, Lavigne, et al., 2017, p.8; Phung, Thai, Guo, Morawska, Rutherford, Chu. 2016, p.1084; Bunker, Wildenhain, Vandenberg, Henschke, Rocklov, Hajat, et al., 2016, p.258), 그 위험은 성, 연령, 사회경제적 상태에 따라서 다르게 나타났다(Benmarhnia, Deguen, Kaufman, Smargiassi, 2015, p.787). 특히 취약집단에 중점을 둔 메타분석 연구들도 있었는데, 기온의 변화가 노인의 사망, 심뇌혈관질환, 호흡기질환의 위험을 증가시키고(Bunker, Wildenhain, Vandenberg, Henschke, Rocklöv, Hajat, et al., 2016, p.258; Yu, Mengersen, Wang, Ye, Guo, Pan, et al., 2012, p.569), 만성폐질환자 사이에서 초과 사망을 야기한 것으로 보고했다(Witt, Schubert, Jehn, Holzgreve, Liebers, Endlicher, et al., 2015, p.878).

또한 미래 기후 시나리오를 적용하여 향후 발생할 수 있는 건강 위험을 예측한 연구들에 대해서도 체계적 검토가 이루어진 바 있어(Huang, Barnett, Wang, Vaneckova, FitzGerald, Tong, 2011, pp.1681-1690), 기후변화가 과거와 미래에 미치는 건강 영향에 대한 평가가 상당 수준에 이르렀음을 방증하고 있다.

그런데 국외 환경에서 입증된 건강 영향을 기초로 국내 건강 영향을 유추하여 적응 역량을 강화하는 것은 한계가 있다. 그것은 지역에 따라 기온의 변화가 다르게 나타날 뿐만 아니라, 지역마다 기후변화에 대한 취약성이 다르고, 인구집단 또는 개인의 생리적, 사회적 적응 역량에도 차이가 있기 때문이다. 따라서 우리의 건강 회복력을 증진시키기 위해서는 국내에서 고온이 미치는 영향을 파악할 필요가 있다.

국내에서는 기후변화에 대한 사회적 관심이 증대되고, 기온의 변화로 인한 건강 영향 평가가 상당수 보고되어 왔음에도 아직까지 이 연구들이 시사하는 문제의 크기를 체계적으로 종합하지 못했다. 따라서 본 연구에서는 우리나라를 배경으로 수행된 고온 노출이 건강에 미치는 영향에 대한 정량적 연구를 종합하고, 현재까지 확인된 근거의 실태를 파악하고자 했다. 구체적 목적은 고온으로 인한 사망의 위험을 정량화하고, 고온에 취약한 인구집단의 건강영향을 파악하는 것이다.

II. 연구 방법

1. 연구 설계

이 연구에서는 고온이 사망에 미치는 영향을 검증한 개별 연구들을 대상으로 양적 연구결과의 효과크기를 통계적으로 통합하기 위하여 메타분석을 수행하였다. 메타분석은 다양한 연구의 양적 결과를 합성하기 위한 일련의 통계적 방법으로, 연구 결과의 중심 경향성과 분포를 분석하고 연구의 오차와 편향을 교정하기 위하여 사용된다(정인숙, 전성숙, 황선경, 김동희, 하주영, 2011, pp.9-10).

연구 수행 과정과 주요 내용은 체계적 문헌고찰과 메타분석의 보고 기준인 PRISMA(PREFERRED Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses statement)(Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman, & Prisma Group, 2009, p.e1000097)와 MOOSE(Meta analysis of Observational Studies in Epidemiology)(Stroup, Berlin, Morton, Olkin, Williamson, Rennie, et al., 2000, pp.2008-2012)에 근거하여 수행하였다.

2. 연구 대상 및 자료 수집

가. 연구대상 선정 기준

체계적으로 분석 대상 문헌을 선정하기 위해 핵심질문(PICO-TS)을 정의했다. 대상자(Participants)는 한국의 일반 인구 및 사망자로 선정했다. 중재 또는 독립변수(Intervention)는 기온 노출을 의미하며, 이 중 고온을 포함했고, 대조군(Comparison)은 별도의 제한을 두지 않았다. 기존 연구에서는 고온의 영향을 평가하기 위해, 분석 자료를 활용해 기온 역치를 산출한 후 역치 이상의 기온에서 나타나는 관련성을 측정한다. 또는 폭염을 조작적으로 정의해, 폭염이 아닌 기간과 폭염 기간에 나타나는 영향을 비교한다. 이 연구에서는 두 가지 방법에 대해 각각 메타분석을 실시했다.

연구 결과(Outcomes)는 통계청 자료를 이용한 사망률 또는 사망자 수이다. 연구 시점(Timing of outcome)은 별도의 제한을 두지 않았고, 연구 설계(Study design)는 기온과 건강 간의 관련성을 분석한 모든 유형의 연구 설계를 포함했다.

나. 문헌 검색 및 수집 전략

사전에 합의된 문헌 검색 전략을 기준으로 연구자 2인이 국내외 전자 데이터베이스와 수기 검색을 통해 문헌을 수집했다. 문헌 검색 시 출판 연도는 제한을 두지 않았으나, 2017년 4월 30일까지 우리나라를 배경으로 기온이 사망에 미치는 영향을 분석한 국내외 연구를 대상으로 하였다.

국내 데이터베이스는 ‘의학논문데이터베이스(KMBASE)’, ‘한국교육학술정보원(RISS)’, ‘코리아메드(Koreamed)’를 활용했고, 전향적 회색 문헌 검색 방법으로 연구 주제와 관련된 정부기관 및 연구기관에서 발행하는 출판물에 대하여 수기 검색(hand search)을 실시했다. 국외 데이터베이스로는 국제적으로 보건의료 분야에서 가장 많이 이용되는 ‘Pubmed’, ‘EMBASE’, 그리고 ‘Cochrane library’를 활용했다. 국내 데이터베이스의 검색어는 선행 연구에서 사용한 검색어와 문헌 선정 기준인 PICOTS-SD의 전략 중에서 PIO에 근거하여 선정했고, 제한 변수로서 대상자를 ‘한국으로 했다. 국문 검색어는 독립변수에 해당하는 검색어는 “기후” OR “기온” OR “고온” OR “저온” OR “폭염” OR “한파”

OR “혹서” OR “혹한” OR “더위” OR “추위” OR “날씨” OR “일교차”이며, 종속변수에 해당하는 검색어는 “사망” OR 이환” “유병” OR “질병” OR “질환” OR “건강” OR “입원” OR “외래” OR “응급” OR “의료” OR “취약성”을 포함했다.

영문 검색어는 국문 검색어와 일치하는 검색어로 선정하되, 민감도와 특이도를 높이기 위해 사전 검색을 통해 의학주제표목(Medical Subject Headings, MeSH)과 이엠트리(Emtree) 여부를 확인하여 이를 적용했다. 또한 비-의학주제표목(non-MeSH)과 비-이엠트리(non-Emtree) 검색어(all fields 해당)에 대해서는 제목(title) 또는 초록(abstract) 또는 주요 용어(keyword)를 중심으로 검색하였다. 제한 변수로서 대상자를 ‘Korea’ 그리고 ‘Humans’를 적용했다. 영문에 대항하는 독립 변수는 “weather” OR “climate” OR “environment” OR “temperature” OR “hot temperature” OR “extreme heat” OR “environmental change OR “heat wave” OR “heat stress” OR “heat effect” OR “hot effect OR “cold wave” OR “cold spell” OR “extreme cold”를 포함하였고, 종속변수에는 “mortality” OR “death” OR “morbidity” OR “incidence” OR “prevalence” OR “patients” OR “disease” OR “health” OR “risk” OR “disease susceptibility” OR “hospitals” OR “emergencies” OR “die” OR “in patient” OR “out patient” OR “illness” OR “sickness” OR “vulnerability” OR “susceptibility”를 포함했다.

우리나라를 배경으로 수행된 기온 변화로 인한 건강영향에 대한 문헌을 포괄적으로 파악하기 위해서 검색어의 검색 범위를 최대한 넓게 선정했다.

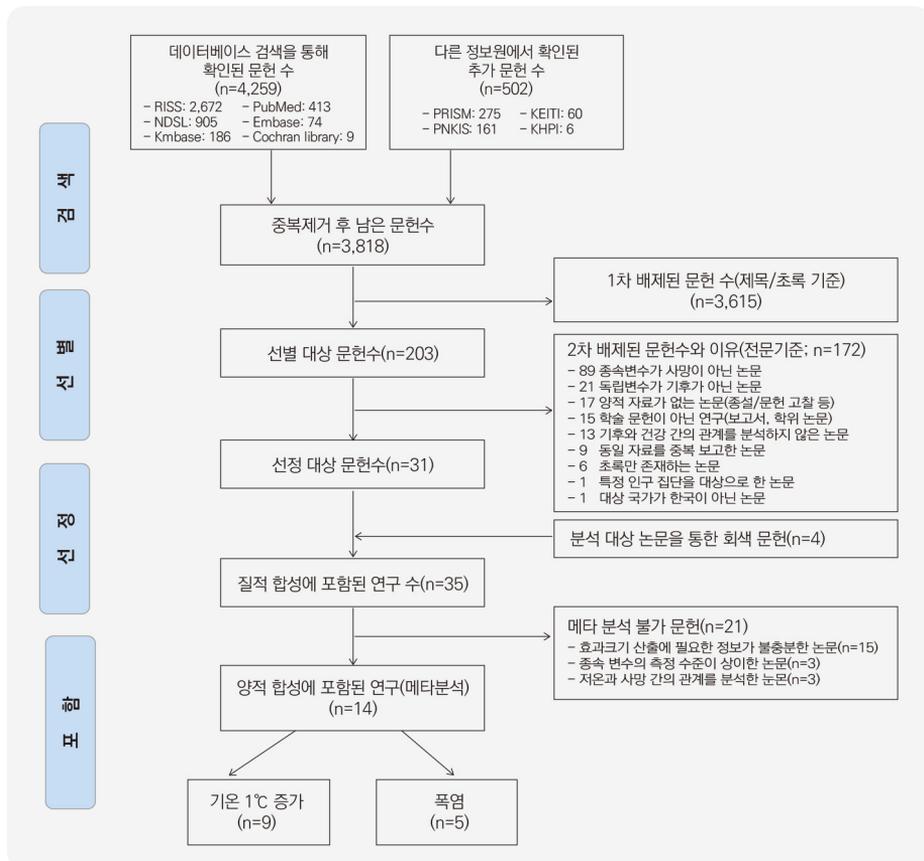
다. 대상 문헌 선정 및 분류

문헌 검색 결과 6개의 국내외 전자 데이터베이스에서 4,259개의 문헌(국내 저널 3,763개, 국외 저널 496개)을 수집했고, 전자 데이터베이스 외에 다른 정보원을 통한 전향적 문헌 수집(forward searching)방식으로 주제와 관련된 정부 기관 및 연구소를 통해 502개의 회색문헌을 수집했다. 이와 같은 과정을 통해 수집된 총 4,761개 문헌을 대상으로 제목, 연도, 저자를 중심으로 일일이 대조하여 중복 수집된 943개 문헌을 제외하고, 총 3,818개의 논문을 대상으로 포함 및 배제를 선별했다.

문헌 선정 및 분류 과정은 2명의 연구자가 각각 수행했고, 연구자 간 포함 및 배제 결정이 일치하지 않은 논문에 대해서는 추가적으로 논의가 이루어졌다. 포함 및 배제

기준은 PIO(대상자, 독립변수, 종속변수)에 근거했으며, 다음과 같다. 첫째, 기온과 사망 간 관련성을 검증한 연구로서, 독립변수가 기온이고, 종속변수가 사망인 연구를 포함했다. 따라서 기온이 공변량(보정변수) 또는 매개변수로 사용된 논문을 제외했다. 둘째, 한국을 배경으로 사망을 추정한 연구를 포함했다. 따라서 대상 국가가 한국이 아니거나, 사망이 아닌 질병 이환, 사업장과 같은 특수 환경에 노출된 대상자, 그리고 사람이 아닌 동물을 대상으로 한 연구는 제외했다. 셋째, 분석 결과를 합성하여 효과 추정치를 산출

그림 1. 메타분석 대상 문헌 선별 과정 및 결과(PRISMA 흐름도)



주: Moher 등(2009)이 제시한 PRISMA flow diagram에 근거하여 분석 대상 논문의 선정
 자료: Moher et al. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. PLoS med, 6(7), p.e1000097.

할 수 있는 양적 연구를 대상으로 했다. 넷째, 출판 유형은 동료 심사를 거쳐 학술지에 게재된 학술 논문을 포함하되, 출판 유형이 전문 형태인 문헌으로 제한했고, 다섯째, 출판 언어는 한글과 영어로 작성된 논문만을 대상으로 했다. 여섯째, 서로 다른 연구자가 동일 자료를 이용하여 온도와 사망 간의 관련성을 분석한 경우, 분석 기간이 일부 겹치더라도 연구 모형, 분석 방법, 분석에 포함된 대상자 등의 차이가 있으면 개별 연구로 간주하여 분석에 포함하였다. 그러나 동일 저자가 동일한 자료를 이용하여 동일 주제로 여러 편의 연구에 게재한 경우에는 분석에서 제외하였다. 마지막으로 분석 대상 논문에서 인용한 참고 문헌 목록을 통한 후향적 수기 검색(backward searching)을 이용하여 회색 문헌 4개편을 추가했다.

사전에 마련된 포함 및 배제 기준 이외에 논문 전문을 검토하여, 메타분석에 적합하지 않은 문헌들은 제외했다. 제외한 경우는 효과 크기를 합성하기 위한 통계 정보가 부족한 논문(15편), 기온이 사망에 미치는 영향을 전국 또는 도 단위가 아닌 특정 지역의 구 단위로 분석한 논문(2편), 기온의 영향을 1년 단위가 아닌 월 단위의 영향으로 산출하여 다른 논문들과 효과의 측정 단위가 상이한 논문(1편)이다. 또한 기온과 사망 간 관련성을 분석한 연구 중에서 저온을 대상으로 한 문헌이 총 3편에 불과하여 메타분석에서 제외하였다.

3. 자료 분석 방법

가. 자료 추출 및 코딩

연구자 1인이 분석 대상 논문을 예비 고찰하여 자료 추출 항목을 선정하고, 추출 서식 양식을 작성한 후 2인의 연구자가 이를 검토했다. 자료 추출 항목은 대상 논문의 일반적 특성, 조사 대상자 특성, 그리고 효과 크기를 산출하기 위한 정보로 구성되었다.

분석 자료 추출 및 코딩은 3명의 연구자들이 각각 수행했고, 1차 자료 추출 및 코딩을 완료한 후 자료 입력의 정확성을 높이기 위해 2명의 연구자가 코딩 내용을 확인했다. 이 과정에서 사전에 합의하지 못한 추출 항목, 추출 내용의 불일치 항목, 오류 및 이상치가 확인된 부분은 연구자 간 충분한 논의와 합의를 거쳐 교정함으로써, 자료 추출 및 입력 결과의 신뢰도를 높였다.

나. 비뚤림 위험 평가

논문의 비뚤림 위험(risk of bias)은 체계적인 오류로 결과나 추정에 있어 참값에서 벗어나는 것을 의미하며(김수영, 박지은, 서현주, 이운재, 손희정, 장보형 등, 2011, p.65), 비뚤림 위험 평가(assessing risk of bias)는 연구 설계에 맞게 개발된 표준화된 비뚤림 위험 평가 도구를 사용하여 선정된 연구의 비뚤림 위험을 평가하는 단계이다(김수영, 박지은, 서현주, 이운재, 손희정, 장보형 등, 2011, p.3).

14개 분석 대상 연구의 방법론에 대한 질 평가는 3명의 연구진이 참여했고, 연구자 간 평가 결과가 일치하지 않는 경우 논의를 거쳤다. 각 연구의 질 평가에 이용한 도구는 2004년 캐나다 의료 연구재단인 AHFRA(Alberta Heritage Foundation for Medical Research)에서 정량적 연구를 위해 개발한 QualSyst(checklist for assessing the quality of quantitative studies)를 사용했다. 이 평가 도구는 질 평가 척도로 권고되는 검점 항목으로 구성되어 있으며, 비-실험 설계(non-experimental designs) 및 비-무작위 설계(non-randomised designs)를 포함한 광범위한 연구 연구의 질을 평가 할 수 있는 체계적이고, 재현성 있는 도구이다(Kmet, Lee, Cook, 2004, p.11).

이 연구에서는 QualSyst 평가 도구에 포함된 연구 방법 및 결과, 그리고 결론의 타당성 등의 14개 항목 중에서 분석 대상 문헌에 해당되지 않는 3개 항목(중재 연구 해당 항목)은 평가에서 제외했다. 또한 해당 연구의 비뚤림 위험을 평가하는 공식적인 기준이 없기 때문에, 이 연구에서는 기온 역치에 대한 정보 제공 여부를 평가 도구에 추가하여, 총 12개 항목으로 비뚤림 위험을 평가했다. 각 평가 항목은 0~2점으로 평가하도록 되어 있으며, 전체 논문에 대한 총 평가 점수의 범위는 0~1점으로 나타낼 수 있다. 이 연구에서는 선행 연구(Davis, Oh, Butow, Mullan, Clarke, et al., p.1477)에 근거해 0.75점을 기준으로 질적 수준을 평가했다.

다. 메타분석 방법

이 연구에서는 저자, 발행연도, 출판 유형, 기온 노출 등 일반적 특성에 대해 기술 분석을 수행했다. 메타분석에서는 개별 연구에서의 결과 측정치를 합성하여 효과 크기(effect size)를 산출하게 되는데, 분석 대상 연구에서 제시하고 있는 통계량(Odds Ratio,

Relative Risk, Hazard Ratio)들이 다양하기 때문에 동일한 통계량으로 일치시킬 필요가 있었다. 따라서 이 연구에서는 분석 대상 논문에서 가장 많이 보고된 상대 위험도 (Relative risk, RR)로 모든 통계량을 전환하였고, 전환에 사용한 산출식은 선행 연구 (Zhang & Kai, 1998, p.1691)에 근거하였다.

통합 효과 추정치(pooled effect estimate)는 기온의 사망에 미치는 영향에 있어서 독립변수의 유형을 기온 1℃ 증가와 폭염으로 구분하여 분석하였다. 메타분석 과정에서 효과 추정치(RRs)와 95% 신뢰구간은 로그(log)를 취하여 통합 효과 추정치(pooled effect size)를 산출했고, 결과를 해석하기 위해 다시 RR로 전환하였다. 또한 분석에 포함된 연구들의 특성이 다르기 때문에 그 특성(표본의 크기)을 반영한 가중치를 부여하기 위해서 표준오차를 사용하여 분산의 역수(inverse variance)를 적용했고(Higgins & Green, 2011, p.196), 표준오차를 보고하지 않은 연구에서는 신뢰구간, t-값, 유의수준 등을 사용해 산출했다. 결과 보고 및 해석은 온도변화에 따른 사망의 백분율 변화량과 95% 신뢰구간을 이용했다.

메타분석 모형은 고정 효과 모형(fixed effect model)과 임의 효과 모형(random effect model)으로 구분된다. 고정 효과 모형은 하나의 진정한 효과크기가 존재하며, 단지 표본 추출 오류로 인해 효과 크기에 차이가 발생한다고 가정하는 반면, 임의 효과 모형은 연구 내 변이성만 고려하는 것이 아니라 연구 간 변이성도 고려하는 방법으로 (Borenstein, Hedges, Higgin, Rothstein, 2009, p.61), 이 방법은 통합 효과 추정치를 제공할 때 연구 간 이질성을 설명하는데 유용하다(DerSimonian & Laird, 2015, p.139). 이 연구에서는 기본적으로 임의 효과 모형을 적용하되, 효과 추정치의 수와 이질성 지표에 근거하여 일부 하위 분석에서는 고정 효과 모형을 적용했다.

이 연구에서는 통합 메타분석(overall meta-analysis) 뿐만 아니라 하위 집단 메타분석(sub-group analysis), 효과 크기의 출판 편향, 민감도 분석을 수행했다. 하위 집단 분석에서는 통합 결과(pooled estimates)에 영향을 미치는 주요 집단 및 변수(성, 연령, 지역, 사망 원인) 간에 차이를 확인하기 위하여 특정 조절효과의 영향을 평가했다. 이 때 성별 하위집단 분석에서는 남성과 여성을 구분해 위험도를 산출한 연구를, 통합 분석에서는 성별 전체를 통합해 분석한 연구를 분석에 포함했다. 연령 구분은 노인계층이 기온 노출에 더 취약하다는 선행 연구에 따라(Bunker, Wildenhain, Vandenbergh, Henschke, Rocklöv, Hajat, et al., 2016, p.258; Yu, Mengersen, Wang, Ye, Guo, Pan, et al., 2012,

p.569) 노인인구 집단과 비노인인구 집단을 비교하고자 했으며, 분석 대상 논문에서 가장 많이 보고한 연령 층화 기준인 75세 미만과 75세 이상으로 구분했다. 지역별 분석의 경우, 연구마다 지역 단위를 다르게 하고 있는데 한 연구에서 효과추정치가 중복적으로 선정되지 않도록 했다. 예를 들어, 한 연구에서 몇 개 행정 구역의 효과추정치를 제시한 경우는 각각을 독립적인 값으로 간주해 모두 분석에 포함했고, 전국 단위와 특정 행정 구역을 모두 제시한 경우에는 전국 단위의 값을 분석에서 제외했다. 마지막으로 사망 원인은 ‘뇌혈관질환’, ‘심혈관질환’, ‘호흡기질환’으로 구분했다. 이와 같은 변수들이 연구 전반에 걸쳐 효과 크기의 변동에 기여하고, 통계적으로 유의한 매개 변수인지를 확인하기 위해서 meta-anova 분석을 수행했는데, 이것은 연구 및 연구 내 집단 간 이질성을 파악하고자 할 때, 조절 변수가 범주형인 경우에 적용하는 탐색적 방법이다(Card, 2012, p.199).

메타분석의 목표는 단순히 효과 크기의 평균을 도출하는 데 있지 않고, 효과 크기의 전체 패턴을 이해하는 데 있다. 일반적으로 메타분석을 하면 각 개별 연구로부터 도출된 효과 크기는 서로 다르게 나타나는데, 이러한 효과 크기 간의 차이를 효과 크기의 이질성이라 한다(황성동, 2015, p.131). 또한 이질성 검증은 결과의 일관성을 측정하는데 이용될 뿐만 아니라, 동일한 데이터를 사용한 연구들 간의 독립성을 평가하기 위한 대체 방법 또는 간접 방법으로 사용된다(Shin, 2009, p.24). 본 메타 분석은 온도와 사망이라는 주제의 특수성으로 인하여 기상청 및 통계청 자료를 이용한 연구들이 많기 때문에 연구 간 변이를 평가하기 위하여 이질성 검사를 수행하였다. 이 연구에서는 이질성을 평가하기 위해 전체 관찰 분산 중에서 실제 연구 간 분산이 차지하는 비율인 I^2 통계치를 적용했다. 일반적으로 I^2 값이 25% 이하면 이질성이 낮다고 하며, 50%까지는 이질성이 중간 정도이고, 75%까지는 이질성이 높다고 해석한다(Higgins & Thompson, 2002, pp.1551-1552). 이 연구에서는 I^2 값이 50% 이상이면 연구들 간에 통계적인 이질성이 있다고 판단했다(Deeks, Higgins & Altman, 2004, p.113).

출판 편향은 연구 결과의 속성이나 방향에 따라 연구 결과가 출간되거나 출간되지 못하는 오류를 의미한다(Higgins & Green, 2011, p.188). 이 연구에서는 연구논문의 출판 편향을 검정하기 위해 깔때기 도표(funnel plot)를 작성하여 표본의 크기와 효과 크기의 관계를 확인했다. 깔때기 도표의 수평축에는 효과의 크기가, 수직축에는 표준오차로 구성된다. 일반적으로 표본이 큰 연구는 그래프 상단의 평균 주변에 몰려 분포하는

반면, 표본 크기가 작은 연구들은 표준오차가 크기 때문에 그래프 하단에 위치하며 상대적으로 폭넓게 분포한다(황성동, 2015, pp.164-170). 또한 출판 편향이 적을수록 도표는 좌우 대칭이 되어 깔때기 모양을 뒤집어 놓은 형태가 된다(신우중, 2015, pp.11-12). 깔때기 도표의 비대칭을 확인하기 위한 통계적 분석은 에저 선형 회귀분석(egger's linear regression) 검정을 이용했다. 깔때기 도표에 비대칭이 있을 경우, 비대칭을 교정하고 보정된 통합 효과(adjusted pooled effects)에 변화가 있는지 추정하기 위하여 절삭과 채움 방법(trim and fill method)을 이용하여 추가 분석을 수행했다(강현, 2015, p.31). 또한 이 연구에서는 잠재적인 이상치(potential outlier)를 확인하고, 결과의 타당성을 검증하기 위하여 민감도 분석을 추가적으로 수행했다.

분석은 R software version 3.3.2의 package “meta” 프로그램을 이용하여 실시했다.

III. 연구 결과

1. 분석 대상 논문의 일반적 특성

기온이 사망에 미치는 영향을 분석한 연구의 주 저자, 출판 연도, 조사 기간을 포함한 연구의 일반적 특성은 표 1과 같다. 분석에 포함된 14편의 연구는 2006~2016년 사이에 해외 저널에 출판되었으며, 이 중 12편이 2010년 이후에 출판되어, 2010년 이후 기온이 사망에 미치는 영향에 관한 연구가 활발하게 수행되어 왔음을 알 수 있다.

9편의 연구는 기온 1℃ 증가에 따른 사망의 영향을 검증했고, 5편이 폭염의 영향을 평가했다. 종속변수인 사망의 원인 및 유형은 전체 사망, 손상(사고) 제외 사망, 심혈관계질환 사망, 뇌혈관계질환 사망, 호흡기계질환 사망을 대상으로 했다.

기온 1℃ 증가에 따른 사망의 영향을 본 연구들에서 역치기온의 범위는 최고기온 29.2℃~33.5℃(평균기온 23.4℃~28.4℃) 수준이었다. 폭염의 영향을 분석한 연구들은 폭염의 정의를 각기 다르게 적용했다. 절대적 기준을 이용해 일평균기온 29℃ 이상이 2일 이상 지속되는 경우, 상대적 기준을 이용해 기온 분포의 98 백분위수의 기온이 2일 이상 지속되는 경우, 일평균 기온이 29℃인 날과 15℃인 날을 비교한 경우가 있었다.

표 1. 분석 대상 논문의 일반적 특성

저자(출판 연도)	조사 기간	노출	역치기온	결과	성별	연령	지역
Heo et al. (2016)	1996-2000, 2008-2012	1°C 증가	(최고기온) 31.5°C, 33.5°C	전체 사망, 심혈관계질환 사망, 호흡기계질환 사망	전체, 남성, 여성	전체, 20세 미만, 75세 이상	전국
Lee et al. (2016a)	1991-2012	1°C 증가	(일평균기온) 28.2°C(서울)	손상(사고) 제외 사망	전체	전체	서울, 부산
Lee et al. (2016b)	1992-2012	폭염 vs. 비폭염	폭염 vs. 비폭염	손상(사고) 제외 사망, 심혈관계질환 사망, 호흡기계질환 사망	전체	전체	서울
Kim et al. (2015)	1992-2009	1°C 증가	(최고기온) 29.5°C	전체 사망, 심혈관계질환 사망, 호흡기계질환 사망	전체	전체	서울
Gasparrini et al. (2015a)	1992-2010	폭염	(최고기온) 99 percentile vs. 최저사망 percentile	손상(사고) 제외 사망	전체	전체	전국
Gasparrini et al. (2015b)	1992-2010	폭염	(일평균기온) 89 percentile vs. 최저사망기온	손상(사고) 제외 사망	전체	전체	전국
Ha et al. (2013)	1993-2009	1°C 증가	(일평균기온) 27.2°C	손상(사고) 제외 사망, 심혈관계질환 사망	전체	전체	전국
Lim et al. (2013)	1992-2007	1°C 증가	(일평균기온) 23.4°C - 25.3°C	뇌혈관계질환 사망	전체	전체	서울, 인천, 대구, 부산
Son et al. (2013)	2000-2007	폭염	(일평균기온) 29°C vs. 15°C	손상(사고) 제외 사망, 심혈관계질환 사망, 호흡기계 질환 사망	전체, 남성, 여성	전체, 0-14세, 15-64세, 65-74세, 75세 이상	서울
Son et al. (2012)	2000-2007	폭염 vs. 비폭염	폭염 vs. 비폭염	손상(사고) 제외 사망, 심혈관계질환 사망, 호흡기계질환 사망	전체, 남성, 여성	전체, 65-74세, 75세 이상	전국, 서울, 부산, 인천, 대구, 광주, 울산
Ha et al. (2011a)	1991-2008	1°C 증가	(일평균기온) 27.1°C - 28.4°C	손상(사고) 제외 사망, 심혈관계질환 사망	전체	전체, 65세 이상	서울, 대구, 인천
Ha et al. (2011b)	1992-2007	1°C 증가	(일평균기온) 25.5°C - 28.1°C	손상(사고) 제외 사망, 심혈관계질환 사망	전체	전체, 65세 이상	서울, 대구, 인천
Kim et al. (2006a)	2000-2002	1°C 증가	(최고기온) 29.2°C	사고 제외 사망	전체	전체, 65세 이상	서울
Kim et al. (2006b)	1994-2003	1°C 증가	(일평균기온) 26.6°C - 28.1°C	전체 사망	전체	전체, 65세 이상	서울, 대구, 인천, 광주, 대전

비뿔림 위험 평가 결과, 분석에 포함된 연구의 평균 점수는 0.96점(최저 0.92점, 최고 1.00점)으로 질적 수준이 높은 것으로 나타났다. 비뿔림 위험이 높은 항목을 중심으로 살펴보면, 역치기온 설정이 중요하게 다루어져야 함에도 불구하고, 5편은 충분히 정보를 제공하지 않았고, 3편은 분석 표본 수를 제시하지 않았다.

2. 통합 및 하위 메타분석

고온이 사망에 미치는 영향에 대한 메타분석에 포함된 효과 추정치는 전체 32개이며, 고온의 기준에 따라 두 개 그룹으로 분류하여 효과 추정치를 통합했다. 먼저 기온 1°C 증가에 따른 사망 위험도의 통합 효과 추정치에 대한 결과는 다음과 같다. 이질성 지표인 I² 값이 96.9%로, 분석에 포함된 연구 간 이질성이 매우 높아 임의효과 모형을 적용했다. 기온 1°C 증가에 따른 사망의 통합 효과 추정치인 상대 위험비(RR)는 1.05(95% CI: 1.03-1.06)로, 기온이 1°C 증가할 때 사망 위험이 5% 증가하는 것으로 추정됐다. 이것은 각 연구에서 다르게 산출된 기온역치를 기반으로 보고한 사망위험의 크기를 종합한 결과이다.

연령, 지역, 사망 원인에 대한 하위 집단 분석에서도 전반적으로 이질성이 높아, 임의 효과 모형을 적용했다. 연령별로는 75세 이상 인구집단의 효과 크기를 통합했을 때, 기온 1°C 증가 시 사망의 위험이 7% 증가했다(RR: 1.07, 95% CI: 1.03-1.12). 지역을 중재 변수로 선정하여 분석한 결과, 고온으로 인한 사망 위험은 전국(RR: 1.03, 95% CI: 1.02-1.05), 대구(RR: 1.05, 95% CI: 1.03-1.07), 인천(RR: 1.05, 95% CI: 1.03-1.06)에서 통계적으로 유의하게 증가했다. 사망원인이 된 질병 유형에 따른 효과 추정치는 심혈관질환(RR: 1.06, 95% CI: 1.03-1.09), 뇌혈관질환(RR: 1.04, 95% CI: 1.03; 1.06), 호흡기질환(RR: 1.02, 95% CI: 1.01-1.04)으로 인한 사망 모두가 기온의 증가와 관련이 있었다. 하위집단 간 차이를 확인하기 위해 메타 아노바(meta-anova) 분석을 수행했으나, 분석에 포함된 논문의 결과들로는 특정한 연령, 지역, 사망원인에서 더욱 기온 증가에 따른 위험이 두드러진다고 결론짓기는 어려웠다.

다음은 비폭염 기간 대비 폭염 기간의 사망 위험도의 통합 효과 추정치에 대한 결과이다. 분석에 포함된 효과 추정치는 10개였으며, I² 값이 85.5%로 높아서 임의효과 모형을 적용했다. 폭염으로 인한 사망의 상대 위험비(RR)는 1.08(95% CI: 1.02-1.14)로, 비폭

염 기간에 비해 폭염기간에는 사망 위험이 8% 증가하는 것으로 나타났다. 이 결과는 각 연구에서 다르게 정의한 폭염기준을 기반으로 보고한 사망위험의 크기를 종합한 것이다.

하위 집단 분석에서는 지역 변수에 대해 임의효과 모형을 적용하였고, 이외의 중재 변수에서는 이질성이 낮게 나타났기 때문에 고정효과 모형을 적용했다. 성별로는 남성(RR: 1.08, 95% CI: 1.04-1.12)과 여성(RR:1.13, 95% CI: 1.08-1.17) 모두 폭염 기간 사망의 위험은 증가했지만, 여성의 위험이 더 높다고 볼 수는 없었다. 연령별로는 75세 이상에서의 효과 크기(RR)가 1.16(95% CI: 1.11-1.21)으로 75세 미만의 효과 크기(RR)인 1.06(95% CI: 1.02-1.10)보다 유의 확률 5% 수준에서 폭염으로 인한 사망 위험이 높았다(Q = 9.58, df = 1, p=0.002). 전국 지역을 대상으로 폭염이 사망에 미치는 영향은 통계적으로 유의하지 않았다(RR:1.04, 95% CI: 0.95-1.15).

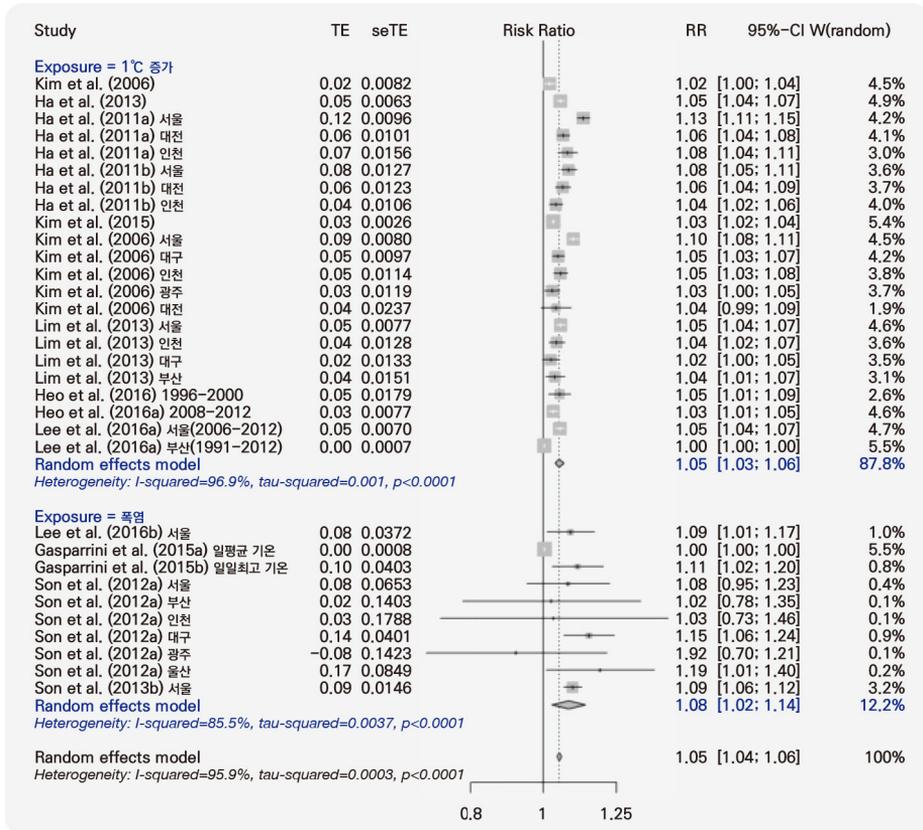
심혈관질환(RR: 1.07, 95% CI: 1.02-1.12)과 호흡기질환(RR: 1.11, 95% CI: 1.01-1.23)으로 인한 사망도 폭염 기간에 증가했으나, 호흡기질환으로 인한 사망위험이 심혈관질환보다 통계적으로 더 높은 것은 아니었다(Q = 9.58, df = 1, p = 0.5)(표 2).

표 2. 고온과 사망 간 관련성 연구에 대한 통합 및 하위 메타분석 결과

메타분석	기온 1°C증가				폭염				
	효과 추정치 (RR)	95% 신뢰구간	N	I ² (%)	효과 추정치 (RR)	95% 신뢰구간	N	I ² (%)	
통합 분석	1.05	1.03; 1.06	22	96.9	1.08	1.02; 1.14	10	85.5	
하위 분석									
성별	남성	-			1.08	1.04; 1.12	2	0	
	여성	-			1.13	1.08; 1.17	2	0	
연령	75세 미만	1.11	1.00; 1.24	2	0	1.06	1.02; 1.10	4	0
	75세 이상	1.07	1.03; 1.12	7	98.1	1.16	1.11; 1.21	2	0
지역	전국	1.03	1.02; 1.05	2	0	1.04	0.95; 1.15	2	83.9
	서울	1.06	1.03; 1.09	6	96.5	-	-		
	대구	1.05	1.03; 1.07	4	50.0	-	-		
	인천	1.05	1.03; 1.06	4	26.5	-	-		
	부산	1.01	0.98; 1.05	2	79.1	-	-		
사망원인	뇌혈관질환	1.04	1.03; 1.06	4	28.7	-	-		
	심혈관질환	1.06	1.03; 1.09	6	90.4	1.07	1.02; 1.12	3	44.4
	호흡기질환	1.02	1.01; 1.04	3	31.9	1.11	1.01; 1.23	3	0

주: -: 효과 크기가 2개 미만인 중재변수, N: 효과 추정치 수, I²: 이질성 지표

그림 2. 고온과 사망 간 관련성 연구에 대한 메타분석 결과



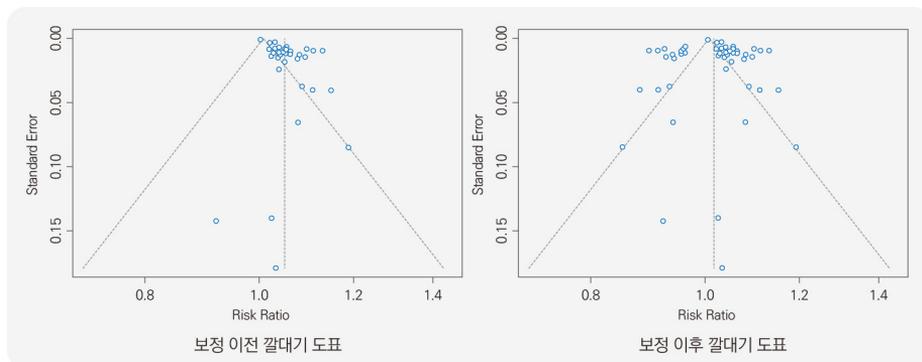
주: TE: 효과 추정치(estimated treatment effect), se TE: 효과 크기의 표준 오차(standard error of treatment estimate), W: 가중치(weight), I^2 · τ^2 : 연구 간 변이 값(value of the between-study variance)

3. 출판 편향 및 민감도 분석

고온이 사망에 미치는 영향에 대한 메타분석에 포함된 연구를 대상으로 출판 편향 정도를 파악했다. 깔때기 도표(funnel plot)를 이용하여 시각적으로 비대칭 정도를 확인한 결과, 표본이 큰 연구들은 상위에 밀집하여 모여 있는 반면, 표본이 작은 연구들은 그래프 하부에 폭 넓게 퍼져있는 것이 확인되었으며, 좌우 비대칭 모양의 분포를 보이고 있었다. 이러한 비대칭 정도를 통계적으로 검증하기 위하여 에거 회귀분석(egger's

regression test)을 실시한 결과, bias가 4.42($t = 6.81$, $df = 33$, $p < 0.05$)로 출판 편향이 있는 것으로 나타났다(그림 3). 깔때기 도표의 비대칭을 절삭 및 채우기 기법(trim and fill method)을 적용하여 메타분석에서 내재된 출판 편향을 제거하고, 누락되었다고 가정된 효과크기(16개)를 추가하여 교정한 효과 추정치($RR=1.02$, 95% CI: 1.01-1.02)는 보정 전의 효과 추정치($RR = 1.05$, 95% CI: 1.04-1.05)의 방향 및 크기, 통계적 유의성에 있어서 차이가 없었다.

그림 3. 출판 편향 및 절삭 및 채우기 기법을 이용한 보정



민감도 평가는 다른 문헌에 비해 역치 기온이 상대적으로 낮은 연구(Lim et al., 2013)를 제외하여 분석하였다. 그 결과, 기온 1°C 증가에서의 통합 효과 추정치(RR)는 1.05(95% CI: 1.04-1.07)로 전체 효과 추정치에 미치는 영향은 없었다. 또한 메타분석에 포함된 개별 연구들을 하나씩 순차적으로 제외시킴으로써, 통합 효과 크기에 영향을 미치는지 검증하기 위하여 단인잔류(leave-one-out) 방법을 이용하여 반복적 메타분석을 수행하였다(Schwarzer, 2017, p.3, p.88). 개별 연구가 제거되면서 산출된 통합 효과 추정치(RR)는 1.04에서 1.05의 범위로 나타나, 전체 통합 효과 추정치에 유의한 변화가 없었다.

4. 고찰 및 결론

최근 한반도의 이상 기온 현상으로 고온이 건강을 비롯한 사회 전반에 중대한 영향을

미치고 있어, 건강 피해를 최소화하기 위한 공중보건학적 대응이 요구되고 있는 상황이다. 이에 본 연구는 우리나라를 배경으로 고온 노출에 따른 사망의 위험을 평가한 기존의 연구들을 종합하기 위한 목적으로 수행되었다.

우리나라에서 수행된 여러 연구들의 결과를 메타분석한 결과, 기온이 1°C 증가할 때 사망의 위험이 5%(95% CI: 3-6%) 증가한다는 결과가 도출되었다. 이는 기존 연구에서 아시아, 유럽, 북아메리카, 남아메리카 등을 대상으로 한 연구들을 종합한 메타분석 결과(기온 1°C 증가 당 사망률 4% 증가)와 유사하다(임연희와 김호, 2011, p.397). 고온에 대한 분석 단위를 달리하여, 비폭염 기간 대비 폭염 기간의 사망 위험도를 메타분석하면, 사망이 8% 증가(95% CI: 2-14%)하는 것으로 나타났다. Xu, FitzGerald, Guo, Jalaludin & Tong (2016, p.193)은 폭염으로 인한 사망 위험에 대한 메타분석을 수행한 바 있는데, 폭염을 정의하는 기준에 따라 사망 위험도를 3-16%의 수준으로 보고했다.

분석 결과는 각 연구마다 다르게 산출된 기온역치 또는 다르게 정의한 폭염기준에 따라 나타난 사망위험의 크기를 종합한 것이다. 고온의 건강영향을 평가하는 연구에서는 일반적으로 역치기온 이상에서 단위 온도 증가(예. 1°C 증가)에 따라 건강의 위험을 측정하고 있다. 고온의 건강영향은 고온에 대한 노출 정도, 개인의 건강상태나 적응력, 지역사회 적응 관련 인프라에 따라 다르게 나타나기 때문에, 역치기온이 다를 수밖에 없고 역치 이하(저온의 영향이 나타나는 지점 제외)에서의 건강문제에 관심을 두는 것은 의미가 없다. 기존 연구에서는 지역마다 적용할 수 있는 폭염의 정의를 설정할 것을 권고하고 있으며, 세계적으로 통용되는 폭염의 정의가 없다는 것은 이러한 상황을 설명해 주는 것이기도 하다(Xu, FitzGerald, Guo, Jalaludin & Tong, 2016, p.193; Guo, Gasparrini, Armstrong, Tawatsupa, Tobias, Lavigne, et al., 2017, p.2). 이에 따라 단위 온도 증가에 따라 건강 위험을 메타분석한 선행 연구에서는 특정 역치를 구분해 건강영향을 평가하지는 않았으나, 역치를 2개 이상 구분해 비교한 연구를 제외하는 경우가 있었다(Bunke, Wildenhain, Vandenberg, Henschke, Rocklöv, Hajat, et al., 2016, p.261).

한편, 폭염의 정의는 기온의 지표, 강도, 기간에 따라 달라진다. 기온 지표는 최고기온, 평균기온, 체감기온, 열지수 등이 있는데, 사망을 예측하는 데 어느 지표가 적절한지에 대해서는 논란이 있다. 기온의 강도에 대해서도 절대적 기온, 또는 퍼센타일과 같은 상대적 기온을 다르게 적용하고 있다. 또한 기존 연구에서는 폭염 에피소드를 1~7일의

기간으로 다양하게 적용하고 있다(Xu, FitzGerald, Guo, Jalaludin & Tong, 2016, p.197). 우리나라에서도 지역의 건강영향을 고려한 폭염의 기준이 정립되지 않은 상황에서, 연구마다 조작적 정의를 적용하여 적절한 정의를 찾기 위한 시도가 이루어졌다. 그러나 폭염이 사망에 미치는 영향을 평가한 연구의 수가 충분하지 않아 폭염의 정의에 따라 사망의 위험을 평가하는 것은 어려움이 있었다. 그럼에도 국내 폭염으로 인한 사망 위험을 가늠해 봄으로써, 폭염의 위험에 대한 인식을 제고하고 향후 연구의 방향을 검토하는 데 의의가 있다.

세부 분석으로는 고온에 특히 취약한 인구집단을 평가하고자 했으나, 효과추정치(OR)의 수가 2개 미만인 경우 성, 연령, 지역, 사망원인의 모든 하위집단별 분석이 이루어지지 못 했고, 효과추정치가 3개 미만인 경우 통합 분석을 실시하기는 했으나 해석에 제한이 있었다. 그럼에도 본 연구의 하위집단별 분석 결과에 따른 함의는 다음과 같다.

연령별 하위 분석 결과, 75세 미만 인구집단의 경우 기온 1°C 증가에 따른 위험은 통계적 유의성을 확인하지 못 했는데 이는 효과추정치가 충분하지 않기 때문일 수 있다. 그러나 폭염으로 인한 위험은 분명하게 나타났다. 75세 이상 고령 인구집단에서는 고온의 분석단위와 관계없이 사망의 위험이 통계적으로 유의하게 증가했다. 75세 미만과 75세 이상 인구집단 간 위험은 분석 단위가 기온 1°C일 때에는 차이를 확인할 수 없었으나, 폭염일 때에는 75세 이상 인구집단의 사망위험이 보다 높은 것으로 해석할 수 있었다. Benmarhnia, Deguen, Kaufman, Smargiassi(2015, p.787)는 고온 노출에 대한 사망 위험도에 대한 메타분석을 통해, 65세의 고온 노출로 인한 사망위험비(RRR, Ratios of relative risk)가 1.02, 75세 이상이 1.04로 15-64세에 비해 고연령군의 사망 위험이 높다는 결론을 내렸다. 노인 인구집단은 다양한 기저질환을 가지고 있고 면역력이 낮아 상대적으로 고온에 견디는 신체적 적응 능력이 낮을 것으로 예측해 볼 수 있다. 그러나 젊은 노동자들이 외부 환경에 노출될 기회가 많고, 극단적인 폭염 사태로 이들에 대한 국가적 지원이 요구되는 상황을 고려할 때, 현재까지 발표된 국내 연구 결과를 바탕으로 노인인구집단의 위험이 더 심각하다고 결정짓기는 어렵다.

다음으로 지역별 하위 분석 결과를 보면, 지역별 폭염으로 인한 위험은 본 연구의 메타분석 기준에 포함되는 연구가 수행되지 않았고, 서울, 대구, 인천 지역에서 기온 1°C 증가에 따라 사망 위험이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 메타 아노바 분석 결과, 이들 지역 간 사망 위험의 차이는 나타나지 않았다. 2011-2017년 사이의

여름철 평균 기온을 보면 서울 29.5℃, 대구 30.8℃, 인천 27.5℃, 부산 27.8℃(기상청 국가기후데이터센터, 2018)로 대구가 다른 지역보다 덥기는 하지만, 현재까지의 국내 연구로는 대구에서 기온 1℃ 증가에 따른 사망의 위험이 다른 지역에 비해 더 높다고 볼 수 없었다. 이는 대구 지역 거주자가 고온에 노출될 확률은 높지만, 고온에 대한 회복력과 적응력이 높기 때문일 수 있고, 아직 충분히 많은 연구가 발표되지 않았기 때문일 수도 있다.

65세 이상 인구집단을 대상으로 한 기존 메타분석 결과에 따르면, 기온 1℃ 증가하면 심혈관질환, 뇌혈관질환, 호흡기질환으로 인한 사망률이 각각 3.79%, 1.40%, 2.32% 증가한다(Bunker, Wildenhain, Vandenberg, Henschke, Rocklöv, Hajat, et al., 2016, p.265). 본 연구에서 사망원인별 사망위험을 분석한 결과에서는 심혈관질환 6%, 뇌혈관질환 4%, 호흡기질환이 2%로 나타났다. 기온 증가에 따라 심혈관질환으로 인한 사망의 위험이 뇌혈관질환이나 호흡기질환보다 통계적으로 더 높다고 할 수는 없지만, 주요 만성질환으로 인한 사망의 위험이 더 높아진다는 것은 기존의 연구와 같다.

이와 같은 분석 결과를 도출하는 과정에서 다음의 제한점이 있음을 언급해 둔다. 첫째, 모든 논문이 특정 주제에 대하여 동일한 자료의 사용을 피해야 함에도 불구하고, 이 연구에서는 동일 자료를 사용한 연구들이 분석에 일부 포함되었다. 보건복지를 포함한 다양한 분야에서 많은 대용량의 공공 데이터 세트(large public access data sets)를 사용하는 연구들이 많아지고 있다. 따라서 메타 분석에서 1차 연구를 수집할 때, 동일한 주제에 대하여 공통의 데이터를 이용한 연구들이 포함되는 경우가 발생하게 된다(Shin, 2009, p.5). 동일한 자료를 사용한 연구들을 포함할지 또는 제외할지는 연구자가 결정하는데, 같은 동일 자료를 사용한 연구들을 분석에서 제외하면 정보의 손실이 발생하게 되며, 반면에 모든 연구들을 포함하면 효과 크기의 의존성 문제에 직면하게 된다(Shin, 2009, p.2; Scammacca, Roberts, Stuebing, 2014, pp.1-2). 따라서 이 연구에서는 동일 자료를 사용하더라도 연구 모형, 분석 방법, 대상자 추출 등이 다른 연구들을 독립적인 연구로 간주하고 분석에 포함하되, 연구들 간 의존성을 최소화 시키고 편향 없는 결과를 보고하기 위하여 이질성 검사를 수행하였다. 동일 자료를 이용한 연구들을 대상으로 메타 분석을 실시한 경우 일반적으로 낮은 이질성을 보이게 되지만(Rose & Stanley, 2005, p.350; Shin, 2009, p.24), 이 연구에서는 고온과 사망($I^2 = 96.9\%$), 그리고 폭염과 사망($I^2 = 85.5\%$)에 대한 통합 효과 결과에서 이질성 수치가 높은 것으로 나타났다.

둘째, 통합 메타분석에서 높은 수준의 이질성이 관찰되었고, 이를 평가하기 위하여 하위 집단 분석을 수행하였으나, 일부 하위 집단에서는 여전히 이질성이 높게 나타났다. 따라서 메타분석 결과를 해석하는데 주의가 필요하다. 셋째, 분석 대상 문헌을 검색하는데 있어서 포괄적인 방법을 적용하여 수행하였으나, 출판 편향이 발견되었다. 따라서 본 연구에서는 절삭 및 채우기 기법(trim and fill method)을 이용하여 출판 편향을 조정하였다. 이 접근법은 출판 편향을 보정하는데 있어서 이상적인 방법이 아니라는 우려가 지속되고 있기 때문 효과 크기를 더 신중하게 평가할 필요가 있다(Duval & Tweedie, 2000, p.462). 그러나 출판 편향을 조정한 통합 효과 크기의 변화를 추정함으로써(Duval & Tweedie, 2000, p.90), 결과의 민감도를 평가하는 방법으로 권장되고 있다(Duval & Tweedie, 2000, p.462; Idris, 2012, p.1513).

다음은 향후 추가적으로 연구가 수행되어야 할 방향에 대해 본 연구를 수행하면서 얻게 된 몇 가지를 제안하고자 한다. 먼저 고온 노출이 건강에 미치는 영향을 분석한 연구들은 각 연구마다 다양한 통계적 모형과 설명변수를 이용하고 있어서 통합된 효과를 추정하는 데 가정이 필요했다. 향후에는 분석 모형의 타당성을 확보하여 안정적인 지표를 산출하는 데 노력이 필요하겠다. 다음으로는 메타 분석을 통해 전체 인구집단에 대한 영향을 평가했으나, 분석에 포함된 연구들로는 인구집단의 특성별 차이를 충분히 규명하기 어려웠다. 고온의 건강영향을 평가하기 위한 후속 연구에서는 고온 노출에 특히 민감한 집단을 정의하고 이들에 미치는 영향의 크기를 확인하는 데 보다 집중할 필요가 있다. 마지막으로 앞서 연구의 한계점으로 논의했던 폭염의 기준을 정립하기 위한 연구를 제안하고자 한다. 폭염의 영향을 최소화할 수 있는 공중보건정책을 마련하기 위해서는 국제적 기준이 아닌 우리에게 적절한 기준을 찾아야 한다. 지역의 특성과 차이가 반영된 폭염 기준을 정의할 수 있는 연구가 추가적으로 수행되어야 하겠다.

한편, 기온의 건강영향을 분석한 연구결과를 고찰하는 과정에서 기존 연구가 주로 고온의 영향을 분석하기 위해서 수행되었음을 확인했다. 향후 전 지구적인 온난화 현상의 여파로 겨울철 평균기온은 상승할 것으로 예상되지만, 한파의 강도와 지속기간은 보다 강해질 우려도 함께 제기되고 있기 때문에 저온 노출로 인한 건강영향도 체계적으로 평가할 필요가 있다.

참고문헌

- 강현. (2015). 메타분석에서 통계학적 고려사항들. *Hanyang Med Rev*, 35, pp.23-32.
- 기상청 국가기후데이터센터. 한반도 기후통계. sts.kma.go.kr에서 2018.5.25. 인출.
- 기상청. (2018.8.17.) 2018년과 1994년 폭염 비교 보도자료.
- 김수영, 박지은, 서현주, 이윤재, 손희정, 장보형, 등. (2011). NECA체계적 문헌고찰 매뉴얼. 서울: 한국보건의료연구원.
- 신우중. (2015). 체계적 고찰과 메타분석의 개요. *Hanyang Med Rev*, 35, pp.9-17.
- 오성삼. (2011). 메타분석의 이론과 실제. 서울: 건국대학교 출판부.
- 임연희, 김호. (2011). 기후변화와 건강: 저온과 고온이 사망에 미치는 영향에 관한 체계적 고찰. *한국환경보건학회지*, 37(6), pp.397-405.
- 정인숙, 전성숙, 황선경, 김동희, 하주영. (2011). 체계적 문헌고찰과 메타분석. 서울: 수문사.
- 질병관리본부. (2017). 2016년 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보. 오송: 질병관리본부.
- 황성동. (2015). R을 이용한 메타분석. 서울: 학지사.
- Amegah, A. K., Rezza, G., & Jaakkola, J. J. K. (2016). Temperature-related morbidity and mortality in Sub-Saharan Africa: A systematic review of the empirical evidence. *Environment International*, 91, pp.133-149.
- Benmarhnia, T., Deguen, S., Kaufman, J. S., & Smargiassi A. (2015). Vulnerability to heat-related mortality: A systematic review, meta-analysis, and meta-regression analysis. *Epidemiology*, 26, pp.781-793.
- Borenstein, M., Hedges, L., Higgins, J., & Rothstein, H. (2009). *Introduction to meta-analysis*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Ltd.
- Bunker, A., Wildenhain, J., Vandenberg, A., Henschke, N., Rocklöv, J., Hajat, S., et al. (2016). Effects of air temperature on climate-sensitive mortality and morbidity outcomes in the elderly; a systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. *EBioMedicine*, 6, pp.258-268.

- Card, N. A. (2012). *Applied meta-analysis for social science research*. New York: The Guilford Publications.
- Davis, E. L., Oh, B., Butow, P. N., Mullan, B. A., & Clarke, S. (2012). Cancer patient disclosure and patient-doctor communication of complementary and alternative medicine use: a systematic review. *Oncologist*, 17(11), pp.1475-1481.
- Deeks, J. J., Higgins, J. P. T., & Altman, D. G. (2004). Analysing and presenting results. In Alderson, P., Green, S., & Higgins, J. P. T. (Eds). *Cochrane reviewers' handbook* 422. Chichester: John Wiley & Sons.
- DerSimonian, R., & Laird, N. (2015). Meta-analysis in clinical trials revisited. *contemp. Clin. Trials*, 45(A), pp.139-145.
- Duval, S., & Tweedie, R. (2000). Trim and fill: a simple funnel-plot - based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics*, 56(2), pp.455-463.
- Duval, S., & Tweedie, R. (2000). Trim and fill: a simple funnel-plot - based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics*, 56(2), pp.455-463.
- Duval, T. (2000). A Nonparametric-Trim and Fill Method of Accounting for Publication Bias in Meta-Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 95(449), pp.89-98.
- Gasparri, A., Guo, Y., Hashizume, M., Kinney, P. L., Petkova, E. P., Lavigne, E., et al. (2015a). Temporal variation in heat-mortality associations: A multicountry Study. *Environmental Health Perspectives*, 123(11), pp.1200-1207.
- Gasparri, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., et al. (2015b). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet*, 386, pp.369-375.
- Guo, Y., Gasparri, A., Armstrong, B. G., Tawatsupa, B., Tobias, A., Lavigne, E., et al. (2017). Heat wave and mortality: A multicountry, multicomunity study. *Environmental Health Perspectives*, 087006, pp.1-8.

- Ha, J., & Kim, H. (2013). Changes in the association between summer temperature and mortality in Seoul, South Korea. *International Journal of Biometeorology*, 57, pp.535-544.
- Ha, J., Kim, H., & Hajat, S. (2011b). Effect of previous-winter mortality on the association between summer temperature and mortality in South Korea. *Environmental Health Perspectives*, 119(4), pp.542-546.
- Ha, J., Shing, Y. S., & Kim, H. (2011a). Distributed lag effects in the relationship between temperature and mortality in three major cities in South Korea. *Science of the Total Environment*, 409, pp.3274-3280.
- Heo, S., Lee, E., Kwon, B. Y., Lee, S., Jo, K. H., & Kim, J. (2016). Long-term changes in the heat-mortality relationship according to heterogeneous regional climate: a time-series study in South Korea. *BMJ Open*, 6, e011786.
- Higgins, J. P. T., & Green, S. (2011). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 5.1.0*. The Cochrane Collaboration,
- Higgins, J. P., & Thompson, S. G. (2002). Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Stat Med*, 21, pp.1539-1558.
- Huang, C., Barnett, A. G., Wang, X., Vaneckova, P., FitzGerald, G., & Tong, S. (2011). Projecting future heat-related mortality under climate change scenarios: A systematic review. *Environmental Health Perspectives*, 119(12), pp.1681-1690.
- Idris, N. R. N. (2012). Performance of the Trim and Fill Method in Adjusting for the Publication Bias in Meta-Analysis of Continuous Data. *American Journal of Applied Sciences*, 9(9), pp.1512-1517.
- Kim, C. T., Lim, Y. H., Woodward, A., & Kim, H. (2015). Heat-attributable deaths between 1992 and 2009 in Seoul, South Korea. *PLoS ONE*, 10(2), e118577.
- Kim, H., Ha, J., & Park, J. (2006b). High temperature, heat index, and mortality in 6 major cities in South Korea. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 61(6), pp.265-270.
- Kim, Y., & Joh, S. (2006a). A vulnerability study of the low-income elderly in the

- context of high temperature and mortality in Seoul, Korea. *Science of the Total Environment*, 371, pp.82-88.
- Kmet, L. M., Lee, R. C., & Cook, L. S. (2004). *Standard quality assessment criteria for evaluating primary research papers from a variety of fields*. Alberta: Alberta Heritage Foundation for Medical Research.
- Lee, W. K., Lee H. A., & Park H. (2016a). Modifying effect of heat waves on the relationship between temperature and mortality. *Journal of Korean Medical Science*, 31, pp.702-708.
- Lee, W. K., Lee, H. A., Lim, Y. H., & Park, H. (2016b). Added effect of heat wave on mortality in Seoul, Korea. *International Journal of Biometeorology*, 60, pp.719-726.
- Lim, Y. H., Kim, H., & Hong, Y. C. (2013). Variation in mortality of ischemic and hemorrhagic strokes in relation to high temperature. *International Journal of Biometeorology*, 57, pp.145-153.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Prisma Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS med*, 6(7), e1000097.
- Phung, D., Thai, P. K., Guo, Y., Morawska, L., Rutherford, S., & Chu, C. (2016). Ambient temperature and risk of cardiovascular hospitalization: An updated systematic review and meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 550, pp.1084-1102.
- Rose, A. K., & Stanley, T. D. (2005). A meta-analysis of the effect of common currencies on international trade. *Journal of Economic Surveys*, 19(3), pp.347-365.
- Scammacca, N., Roberts, G., & Stuebing, K. K. (2014). Meta-analysis with complex research designs: Dealing with dependence from multiple measures and multiple group comparisons. *Review of Educational Research*, 84(3), pp.328-364.
- Schwarzer, G. (2017). *Package 'meta': General Package for Meta-Analysis*. The R

Foundation for Statistical Computing.

- Shin, I. S. (2009). *Same Author and Same Data Dependence in Meta-Analysis*. Florida State University Doctoral dissertation, Florida State University.
- Smith, K. R. A., Woodward, D., Campbell-Lendrum, D. D., Chadee, Y., Honda, Q., Liu, J. M., et al. (2014). Human health: impacts, adaptation, and co-benefits. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C. B., V. R. Barros, D. J., Dokken, K. J., Mach, M. D., Mastrandrea, T. E., Bilir, M., et al. (eds)]. Cambridge: Cambridge University Press, New York: United Kingdom and New York.
- Son, J. Y., Lee, J. T., Anderson, G. B., & Bell, M. L. (2012). The impact of Heat waves on mortality in seven major cities in Korea. *Environmental Health Perspectives*, 120(4), pp.566-571.
- Son, J. Y., Lee, J. T., Anderson, G. B., & Bell, M. L. (2013). Vulnerability to temperature-related mortality in Seoul, Korea. *Environmental Research Letters*, 6(3), 034027.
- Stroup, D. F., Berlin, J. A., Morton, S. C., Olkin, I., Williamson, G. D., Rennie, D., et al. (2000). Meta-analysis of observational studies in epidemiology: a proposal for reporting. *JAMA*, 283(15), pp.2008-2012.
- Witt, C., Schubert, A. J., Jehn, M., Holzgreve, A., Liebers, U., Endlicher, W., et al. (2015). The effects of climate change on patients with chronic lung disease - a systematic literature review. *Dtsch Arztebl Int*, 112, pp.878-883.
- Xu, Z., FitzGerald, G., Guo, Y., Jalaludin, B., & Tong, S. (2016). Impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 89-90, pp.193-203.
- Yu, W., Mengersen, K., Wang, X., Ye, X., Guo, Y., Pan, X., et al. (2012). Daily average temperature and mortality among the elderly: a meta-analysis and systematic review of epidemiological evidence. *International Journal of*

Biometeorology, 56, pp.569-581.

Zhang, J., & Kai, F. Y. (1998). What's the relative risk?: A method of correcting the odds ratio in cohort studies of common outcomes. *JAMA*, 280(19), pp.1690-1691.

우경숙은 한양대학교 의과대학 예방의학과 박사학위를 받았으며, 현재 한양대 건강과 사회연구소에서 연구조교수로 재직 중이다. 주요 관심 분야는 재난적 의료비, 건강보험급여 정책, 메타분석이다.

(E-mail: jeeye798@gmail.com)

김대은은 미국 University of North Carolina at Chapel Hill에서 보건학 박사과정에 재학 중이며, 주요 관심 분야는 복합만성질환에 대한 유전과 환경의 영향, 기후변화와 건강 등이다.

(E-mail: kdanny87@gmail.com)

채수미는 고려대학교에서 보건학 박사학위를 받았으며, 현재 한국보건사회연구원에서 부연구위원으로 재직 중이다. 주요 관심 분야는 기후변화 건강 적응 정책, 미세먼지의 건강영향, 정신건강 증진, 보건정책 평가 등이다.

(E-mail: csm1030@kihasa.re.kr)

High Temperature-Related Mortality in Korea:

A Meta-Analysis of the Empirical Evidence

Woo, Kyung-Sook

(Hanyang University)

Kim, Dae Eun

(University of North
Carolina at Chapel Hill)

Chae, Su Mi

(Korea Institute for Health
and Social Affairs)

In Korea, climate change and high temperatures have a significant impact on health and society as a whole. We aimed to provide a meta-analysis of epidemiologic evidence regarding high temperature-related mortality in Korea. The pooled results suggest that for a change in temperature condition, the risk of total mortality increased 5% (95% CI: 3-6%) for 1°C increase, 8% (95% CI: 2-14%) for heatwave exposure. However, it was difficult to identify differences in risk of mortality by gender, age, region and cause of death due to high temperatures and to assess the impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions. Nevertheless, it was possible to ensure that the risk of mortality over 75 was higher than that under 75 for heatwave exposure. High temperatures were also associated with increased risk of death for cardiovascular disease and respiratory diseases. It is necessary to define groups that are sensitive to high temperatures and to identify the magnitude of their impact in the future, and to provide in-depth studies of the temperature threshold that the country and the community should respond to.

Keywords: High Temperature, Heat Wave, Climate Change, Mortality, Meta-Analysis