

기온과 지역특성이 말라리아 발생에 미치는 영향

채 수 미

(한국보건사회연구원)

윤 석 준

(고려대학교)

김 동 진

(한국보건사회연구원)

신 호 성*

(원광대학교)

기온은 매개체에 의한 감염병 발생에 가장 많은 영향을 주는 기후요인으로, 말라리아는 기후변화에 민감하여 세계적으로 중요한 매개질환으로 다루어지고 있다. 본 연구는 말라리아 발생에 영향을 주는 지역적 특성을 반영하여, 기온으로 인한 말라리아 발생 위험을 추정하는 것이다. Generalized Additive Model을 이용하여, 역치기온 이상에서의 삼일열 말라리아 발생 위험을 평가하였다. 기온상승에 따라 말라리아 발생 위험이 증가하였는데, 말라리아 환자가 밀집되어 있는 서울, 경기, 인천, 강원에서 기온이 1°C 상승하면 발생 위험이 10.8%, 12.7%, 14.2%, 20.8% 증가하였다. 위험도는 역치기온 이후에서 추정된 것으로, 역치는 지역별로 다르게 나타났다. 매개체, 가축 등 지역의 특성은 기온상승이 말라리아 발생에 영향을 미치는데 관련이 있는 것으로 보고되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 말라리아 발생 위험을 추정하는데 기상요소만을 포함한 경우와 지역의 특성을 함께 고려한 경우를 비교하였는데, 그 결과 모기와 가축 자료를 포함하면 모형의 적합도가 좋아졌으며, 기온으로 인한 말라리아의 위험은 낮아졌다. 앞으로 신뢰할 수 있는 정확한 데이터를 기반으로 말라리아에 영향을 미치는 여러 요인들을 효과적으로 반영한 예측 모형이 개발되어야 하겠다.

주요용어: 말라리아, 기후변화, 기온, 지역특성

본 연구는 환경부 차세대에코이노베이션기술개발사업(No.412-111-004)의 환경성 통합건강평가·적용 기술개발 연구과제에서 지원받았음.

* 교신저자: 신호성, 원광대학교(shinhosung@gmail.com)

■ 투고일: 2013.5.27 ■ 수정일: 2014.2.10 ■ 게재확정일: 2014.2.24

I. 서론

기후변화는 온도, 강수량, 습도에 영향을 미치고, 그로 인해 매개체의 생존기간, 성장 발달, 숙주의 분포와 개체수, 매개체의 서식지에 영향을 미친다. 이러한 영향은 결과적으로 감염병의 전파 시기와 강도, 질병 분포를 변화시킨다(Gubler et al., 2001). 기온은 매개체에 의한 감염병 발생에 가장 많은 영향을 주는 기후요인으로, 2100년에는 세계 기온이 1.8~4°C까지 증가할 것으로 예측되는 상황에서 매개 질환이 상당히 증가할 것으로 전망된다(IPCC, 2007). 특히 모기 매개 질환 중 하나인 말라리아는 기후변화에 민감하여 세계적으로 중요한 매개질환으로 다루어지고 있다. 기온이 증가함에 따라 말라리아 전파 지역이 점차 확장되고, 전파 기간도 늘어나게 된다(WHO, 2003). 기후변화로 인한 건강위험을 예측한 연구에서는 기후변화로 인해 2100년까지 5천만명의 새로운 말라리아 환자가 발생할 것으로 추정했다(McMichel et al., 2006).

우리나라는 1983년에 세계보건기구에 말라리아 근절을 보고하였으나, 1993년 1명의 환자가 발견되기 시작하여 2006~2007년에는 2천명을 넘어섰다(장재연 외, 2009). 말라리아 재출현 이후 계속적으로 발생하고 있으며, 처음에는 현역군인에게서 발견되었으나 점차 민간인에게 확산되어 2005년 이후에는 현역 및 제대 군인보다 민간인 환자 비율이 더 높다(질병관리본부, 2009). 또한 우리나라에서 기후변화로 인한 기온상승으로 말라리아 전파기간이 길어지고 있으며, 단기 잠복기로 인한 첫 발생 시기가 1997년에는 8월이었으나 2000년에는 6월초로 나타나는 등 재출현 이후 단기 잠복기에 의한 조기 발병 시점이 빨라지고 있다(질병관리본부, 2009; Park, 2011; 강준영, 2012).

그런데 이러한 위험들은 기존의 보건사업들을 잘 활용하면 상당부분 줄일 수 있기 때문에, 보건의료체계 강화 및 건강증진활동을 통해서 기후변화에 대한 취약성을 줄여 나갈 필요가 있다(홍윤철, 2008). 기후변화에 따른 건강문제는 우리나라 정부의 건강증진 정책에도 잘 나타나 있다. 기후변화에 대비한 건강관리는 보건복지부의 건강증진정책 전략으로, 여름철 열성질환과 함께 말라리아 등과 같이 기온상승과 관련된 전염병 예방을 강조하였다(오상윤, 2009). 또한 제3차 국민건강증진종합계획의 32개 중점과제 중의 하나로 '비상방역체계'가 포함되어 있으며, 이의 세부 지표 중 하나가 '매개체 및 매개체 전파질환 감시체계 구축'이다. 구체적으로 기후변화 등으로 인한 매개충 서식환경의 변화로 지역별 유행성 감염병의 분포지역 확산 등에 대한 우려 및 이에 대한 대책

마련의 필요성을 역설하고 있다(보건복지부·질병관리본부, 2011). 외국에서는 이미 기후변화로 인해 발생할 수 있는 건강영향을 건강증진의 핵심영역으로 포함하고 있으며(Catford, 2008), 환경부문 전문가와의 파트너십을 통해 기후변화에 대비한 새로운 건강증진 아젠다 개발을 제안하고 있다(Loft, 2010).

정책적 측면과 더불어 국내 연구를 통해서도 기후변화에 따른 말라리아 발생 위험을 평가하는데 관심이 증가하고 있음을 알 수 있다. 우리나라 말라리아 연평균 발생률은 인구 백만명 당 25.8명으로 여름철에 집중적으로 발생하는데, 이것은 기온, 상대습도, 강수량의 변화와 높은 양의 상관관계를 갖는다(김시현·장재연, 2010). 월평균 기온이 0.5℃ 상승하면 말라리아가 2% 증가한다는 보고가 있었으며(박윤형 외, 2006), 특정 온도 이후에서의 위험을 평가한 경우가 있었다. 16℃ 이후 기온으로 인한 위험이 증가하였고(신호성·김동진, 2008), 19.6℃ 이후에는 온도가 1℃ 상승할 때마다 시군구 행정구역 당 말라리아 환자가 주간 평균 0.196명 발생할 것으로 예측하였다(신호성, 2011). 또한 기온과 질병발생 간 시간 지연에 따라 위험도가 다르게 나타나는데, 주 평균기온이 1℃ 증가하면 그 주의 발생 위험은 16.1%, 3주 후의 위험은 17.7%까지 증가하였다(Kim et al., 2012). 분석모형 및 방법에 따라 위험의 크기는 다르지만, 우리나라에서도 향후 기온 상승에 따라 더 많은 위험에 노출될 것을 짐작할 수 있다.

한편 기상요인과 함께 모기와 가축은 말라리아 발생에 영향을 미치는 주요한 요인으로 알려져 있다. 모기 증가와 환자 발생과의 관련성은 여러 연구에서 입증해 왔는데, 관련성이 나타나는 시간지연에 대해서는 다르게 언급하고 있다. 국외 연구에서는 모기 증가가 한 달 후의 환자 발생과 관련성이 있다고 하였다(Tadei et al., 1998; Amerasinghe et al., 1999). 우리나라에서 모기발생은 6주 후의 환자 발생까지 상관관계가 있었고(이희일, 2001), 또 다른 연구에서는 장기잠복기로 인해 지연 발생하는 사례가 연초부터 여름까지 계속적으로 발생하여, 그 해의 감염 환자는 전년도의 모기밀도를 검토해야 할 필요가 있다고 제안하기도 하였다(심재철·신이현, 2002). 또한 이 연구들에서는 소와 돼지 등 대형가축을 사육하는 것이 모기 발생원과 주거지 사이에 생물학적 장벽의 역할을 수행하여 모기 흡혈에 보호효과를 갖는다고 설명하였다(이희일, 2001; 심재철·신이현, 2002). 그러나 국내에서는 아직까지 기상요인이 감염병 발생에 미치는 영향을 평가하는데 매개체 등 지역 특성을 고려하지 못하였다.

이러한 배경에서 본 연구의 목적은 기후변화에 의한 곤충 매개 감염병에 대응할 수 있는 적응기술 개발을 위해, 기온으로 인한 말라리아 발생 위험을 추정하는 것이다. 특히 기상요소뿐 아니라 매개체 분포, 가축 사육과 같이 말라리아 발생에 영향을 주는 지역적 특성을 반영하여, 지금까지 발표되어 왔던 기온상승으로 인한 말라리아 발생 위험 예측을 보다 발전시키고자 한다.

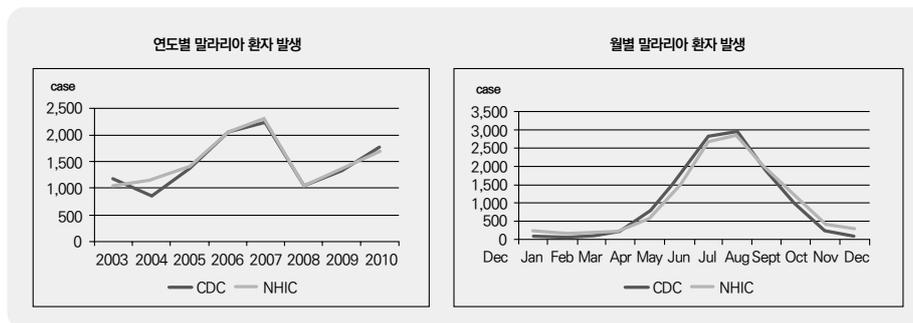
II. 연구방법

1. 연구자료

가. 환자 발생 자료

우리나라 말라리아 환자 현황은 질병관리본부 감염병웹통계와 국민건강보험공단의 명세서 자료에서 파악할 수 있다. [그림 1]에 볼 수 있듯이 두 자료에서 나타난 2003~2010년까지 연도별, 월별 환자 분포는 비슷하였는데, 건강보험자료는 입원, 외래 구분이 가능하고 환자자격정보가 포함되어 있다는 장점이 있다.

그림 1. 자료원별 말라리아 환자 현황



이에 본 분석에서는 국민건강보험공단이 구축하고 있는 건강보험자료에서 2003년부터 2010년까지 삼일열 말라리아(주상병 또는 부상병 코드 B51.0, B51.8, B51.9)로 외래

의료이용을 한 경우를 대상으로 하였다. 건강보험 청구자료를 이용하여 환자 발생수를 안정적으로 추정하기 위해서, 명세서 단위로 구성되어 있는 자료를 질병 에피소드 단위로 재가공해야 한다. 하나의 질병 에피소드에 대해서도 여러 개의 명세서로 분할 청구하는 경우가 있기 때문이다.

여러 개의 날짜로 분리되어 청구된 명세서를 1회의 환자 발생으로 묶기 위해, 의료기관 첫 번째 방문과 다음 방문 사이의 기간, 즉 무진료기간을 정해야 한다. 일반적으로 사용하는 무진료기간의 정의는 없기 때문에, 무진료기간을 여러 가지로 적용하여 에피소드 건수의 변화를 검토하였다. 그러나 말라리아로 외래 의료이용을 한 경우가 매우 적고, 진료기간이 짧아서 무진료기간을 몇 일로 정의하는가가 환자 발생수에 큰 영향을 미치지 않았다.

최종적으로 동일한 날짜에 명세서가 두 번 청구된 경우를 동일한 에피소드로 정의하였고, 진료에피소드의 수를 질환의 발생수로 간주하였다.

나. 기상자료

활용 가능한 시군구 단위의 일별 기상자료는 2012년부터 기상청에서 제공하는 응용 시나리오 자료이다. 응용 시나리오 자료는 과거의 실측 데이터를 기반으로 시나리오에 따라 미래의 기상수준을 예측한 자료이다. RCP 8.5 시나리오로 추정된 12.5km 격자 자료의 상대습도, 1km 격자 자료의 일평균기온, 일최대기온, 일최저기온 변수를 활용하였다.

다. 모기 및 가축 자료

삼일열 말라리아 발생에 영향을 미치는 중국열록날개 모기 자료의 출처는 시도보건환경연구원이다. 시도보건환경연구원에서 해당 시도 내 지역별로 사이트를 정하여 모기를 채집하고 있으며, 일부 시도에서 정보를 공개하고 있다. 예를 들어, 강원도의 경우 2010년 현재 9개 시군에 대해 농촌지역 일반주택과 우사에 유문등을 설치하여 4월부터 (2006년까지는 5월부터) 10월 사이 약 30주 동안 매주 2회씩 야간에 모기를 채집하여 모기종별 분포와 발생밀도를 조사하고 있다.

가축자료로는 전국오염원조사 원자료를 가공하여 지역별 육우 및 한우 분포로 활용하였다. 전국오염원조사에서는 수질에 영향을 줄 수 있는 각종 점오염원 및 비점오염원 관련 자료를 수집한다. 이중 지역별로 한우, 젓소, 돼지, 닭, 말 등의 가축 수를 수집한 축산계 자료는 리 단위까지 수집하고 있으며, 매년 시군구 단위로 발표되고 있다.

모기 자료가 주별, 가축은 연도별로 구축되어 있으므로, 일별 환자발생 및 기상자료와 연결하여 재구성하였다. 모기는 한 주간 매일 동일 개체수가 발생하는 것으로, 가축은 한 해 동안의 가축수에 변화가 없는 것으로 간주하였다.

2. 분석방법

가. 기상요인을 고려한 모형

기온 상승에 따른 말라리아 발생 위험을 추정하기 위하여 GAM(Generalized Additive Model)을 사용하였는데, 이 방법은 비선형 자료를 유연하게 모델링하는데 유용하다. GAM은 GLM 방정식에 평활함수를 포함하는데, 평활함수가 연간 계절적 변이를 통제해 준다. 평활함수가 연간 계절적 변이를 잘 제거해 줄수록 주요 독립변수와 종속변수와의 관계가 더 잘 설명될 수 있다(Barnett & Dobson, 2010).

분석에 포함되는 기상요인, 모기분포 자료는 계절성의 패턴을 갖기 때문에 선형으로 가정하기 어렵다. 따라서 주요 효과를 파악하기 위한 기온을 제외하고, 상대습도, 모기 분포를 평활함수로 통제하였다. 이 외에도 연도와 요일이 factor 변수로 모형에 포함되었다. 이것은 환자수가 자연 증가하는 것, 그리고 특정 요일에 의료이용이 두드러지는 것을 고려하였기 때문이다.

지역별 데이터에서 세 개의 기온 변수를 각각 모델링한 결과 적합도가 가장 좋게 나타나는 것은 일평균기온 또는 일최저기온이었는데, 분석결과에서는 모두 일평균기온을 적용한 결과를 제시하였다. 기상요소인 일별습도는 자유도 3을 갖는 평활함수로 포함하였다. 최종적으로 지역별 기온으로 인한 말라리아 환자 발생 위험을 추정하기 위한 모형은 다음과 같다.

$$\log[\text{Daily outpatient episode}] = \beta_1(\text{Temperature}) + S(\text{Humidity}, k=3) + \text{factor}(\text{Year}) \\ + \text{factor}(\text{Day of Week})$$

나. 지역특성을 고려한 모형

기상요인 외에 말라리아 환자 발생과 관련이 있다고 알려진 매개 모기와 가축분포 현황을 모형에 포함하여 비교하였다. 모형은 크게 세 가지로 나누어지는데, 첫째, 기상요인으로 인한 말라리아 발생 위험을 평가한 경우(모형 A), 둘째, 기상요인과 모기발생 자료를 함께 고려한 경우(모형 B), 셋째, 기상요인, 모기발생, 가축의 분포를 모두 고려한 경우(모형 C)로 구성하였다.

$$\text{모형A} \quad \log[\text{Daily outpatient episode}] = \beta_1(\text{Temperature}) + S(\text{Humidity}, k=3) + \\ \text{factor}(\text{Year}) + \text{factor}(\text{Day of Week})$$

$$\text{모형B} \quad \log[\text{Daily outpatient episode}] = \beta_1(\text{Temperature}) + S(\text{Humidity}, k=3) + \\ \text{factor}(\text{Year}) + \text{factor}(\text{Day of Week}) + \\ S(\text{mosquito}, k=\#)$$

$$\text{모형C} \quad \log[\text{Daily outpatient episode}] = \beta_1(\text{Temperature}) + S(\text{Humidity}, k=3) + \\ \text{factor}(\text{Year}) + \text{factor}(\text{Day of Week}) + \\ S(\text{mosquito}, k=\#) + \beta_2(\text{animal})$$

말라리아 환자발생 데이터는 시군구별 일별 에피소드 건수로 구축이 가능하나, 매개 모기 및 가축 데이터는 일부지역, 일부기간에 대해 주 또는 연도별로 구축되어 있다. 그렇기 때문에 각 모형별 비교를 위해 환자발생, 모기발생, 가축분포, 기상 데이터를 모두 연결한 최종 데이터는 앞서 지역별 기온에 따른 말라리아 발생 위험을 평가했던 데이터보다 축소되었다. 자료 이용 가능성에 따라 모형별 비교는 강원도, 경상북도, 충청남도 지역을 대상으로 하였다.

모형에서 모기의 분포는 선형으로 가정하기 어려우므로 평활함수로 적용하였으며, 이 때 자유도는 Eilers & Marx(1996)가 제안한 Akaike's Information Criterion(AIC)을

이용하여 결정하였다. 자유도를 3부터 9까지 적용한 결과에 따라 강원도, 경상북도, 충청남도에서 각각 5, 3, 4의 값을 적용하기로 하였다. 분석은 R version 3.0.0 for windows를 사용하였다.

III. 연구결과

1. 기온으로 인한 말라리아 발생 위험

기온으로 인한 말라리아 발생의 변화를 살펴보기 위해, 기온과 질병 발생의 관계에 영향을 미치는 기상요소인 상대습도를 함께 고려하였다. 분석 결과 역치기온과 역치기온 이후의 발생 위험이 시도별로 차이가 있었다. AIC 값이 최소가 되는 지점의 기온을 역치로 선정하였는데, 예를 들어 서울에서는 일평균기온이 9.5°C일 때 AIC 값이 최소였다. 서울은 일평균기온 9.5°C 이상에서 1°C 증가에 따라 말라리아 발생 위험이 1.108배 유의하게 높아지는 것으로 나타났다. 제주를 제외한 모든 시도에서 역치기온 이후 말라리아 발생 위험이 유의하게 증가하였다. 특히 고온에서의 위험은 급격하게 증가하여, 일평균기온 수준에 따른 말라리아 발생 위험도는 완만한 “J” 혹은 “U”자 형태를 나타내었다. 제주도는 분석기간 동안 말라리아 외래환자 발생이 총 9건으로 드물게 나타나 기온의 영향을 해석하는데 주의가 필요하다.

2003년부터 2010년까지 삼일열 말라리아로 의료기관을 이용했던 경우는 경기도가 5,545건으로 가장 많았고, 다음으로 서울(2,504건), 인천(1,185건) 순으로 많았으며, 강원도가 뒤를 이었으나 385건으로 큰 차이가 있었다. 질병관리본부에서는 동 기간 경기도(5,372건), 인천(2,028건), 서울(1,699건), 강원도(970건)의 순으로 발표하여 순위의 차이가 있었다. 그러나 말라리아 발생이 많았던 이들 지역에서 기온상승으로 인한 위험이 특히 두드러지지 않는 않았다. <표 1>은 지역별 기온 증가에 따른 말라리아 발생 위험을 추정한 결과이다. 기온 1°C 증가에 따른 상대위험도는 강원도가 역치기온 15.5°C이후에서 1.208로 가장 높게 나타났다. 기온 증가에 따라 발생 위험이 증가하는 지점인 역치기온은 지역별로 다양했다. 충청남도와 경상남도는 영하 3.3~3.4°C 이후 기온상승으로 인한 말라리아 발생 위험이 증가하기 시작했다.

표 1. 지역별 일평균기온 1°C 증가로 인한 말라리아 발생 위험

지역	상대위험도 ¹⁾	95%신뢰구간	역치기온(°C)
서울	1.108	(1.097-1.119)	9.5
부산	1.123	(1.087-1.159)	9.0
대구	1.101	(1.073-1.129)	8.2
인천	1.142	(1.126-1.159)	0.6
광주	1.126	(1.075-1.180)	9.0
대전	1.091	(1.044-1.139)	7.4
울산	1.091	(1.045-1.140)	8.8
경기	1.127	(1.120-1.134)	4.4
강원	1.208	(1.162-1.255)	15.5
충북	1.179	(1.095-1.269)	0.3
충남	1.033	(1.014-1.052)	-3.4
전북	1.163	(1.110-1.218)	17.5
전남	1.141	(1.085-1.200)	6.2
경북	1.158	(1.099-1.219)	17.5
경남	1.090	(1.068-1.111)	-3.3
제주	0.952	(0.858-1.056)	4.9

주: 1) 지역별 역치기온 이후에서 기온 1°C 증가에 따른 위험도.

2. 분석 모형별 말라리아 발생 위험

세 가지 분석 모형에 따른 말라리아 발생 위험의 차이를 <표 2>에 제시하였다. 강원도의 모기 채집 지역은 2010년 9개 시군으로, 분석 대상 기간 동안 10개 시군의 모기 채집 자료를 활용하였다. 따라서 분석모형 비교를 위한 강원도 데이터는 10개 시군으로 축소되었다. 강원도 전체 지역에서 산출한 말라리아 발생 위험은 역치기온 15.5°C 이후 1.208이었다. 그러나 축소된 자료에서는 역치기온 15.6°C 이후 1.189로 낮아졌다(모형 A). 그런데 모기 발생(모형 B)과 가축 분포(모형 C)까지 고려하면 상대위험도가 각각 1.141, 1.144로 낮아졌다. 모형 A보다 B, C의 AIC 값이 더 작아져 모형의 적합도는 점점 좋아지는 것으로 나타났다.

경상북도의 경우 2005년도 이후 1개시의 모기 데이터를 경북지역 전체에 적용하였

다. 모형 비교를 위한 데이터는 모기 자료의 제한으로 2003~2004년도의 자료를 제외하였다. 축소된 데이터에서 일평균기온에 따른 말라리아 발생위험은 역치기온 17.5°C 이후 1.131로 앞에서 제시했던 경북 전체 지역의 위험도보다 낮았다(모형 A). 모형 A와 비교하여 모형 B와 C에서의 위험도는 낮아졌다.

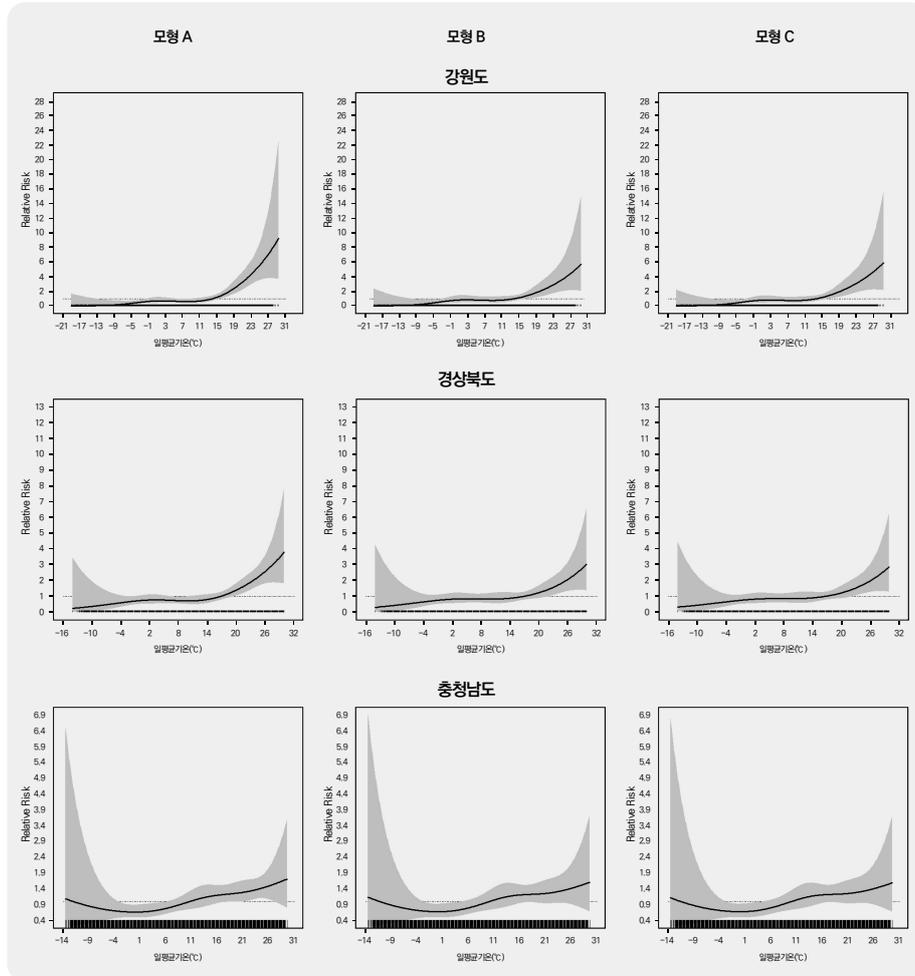
충청남도의 경우 분석 대상 기간은 모두 포함할 수 있었으나, 3개 시군의 모기 발생 자료만 이용 가능하여, 그것의 평균값을 충남 지역 전체에 적용하였다. 충남에서는 비교적 위험도의 변화가 미미하였으나, 지역특성 변수를 포함할 경우 모형의 적합도가 향상되었고 위험도가 낮아졌다.

표 2. 모형별 말라리아 환자 발생 위험

지역	모형	AIC	상대위험도	95% 신뢰구간	역치기온(°C)
강원도	A	1380.1	1.189	(1.122-1.273)	15.6
	B	1374.4	1.141	(1.062-1.228)	16.0
	C	1362.9	1.144	(1.073-1.230)	15.9
경상북도	A	1910.3	1.131	(1.122-1.273)	17.5
	B	1904.6	1.105	(1.062-1.228)	18.3
	C	1862.6	1.097	(1.073-1.230)	18.2
충청남도	A	2188.4	1.0330	(1.014-1.052)	-3.4
	B	2190.4	1.0327	(1.009-1.057)	-3.4
	C	2186.1	1.0325	(1.008-1.057)	-3.4

[그림 2]는 세 가지 분석 모형별로 일평균기온 수준에 따라 말라리아 발생 위험의 변화를 나타낸 것이다. 세 지역에서 모형에 따라 위험도의 변화는 있었으나, 일평균기온이 높을수록 말라리아 발생 위험은 유의하게 증가하였고, 특히 고온에서 위험도는 급격히 증가하였다. 그런데 기상요인만을 고려한 모형보다 모기, 가축분포를 함께 고려하면 극단적인 고온에서의 위험 증가가 다소 완만해졌다.

그림 2. 모형별 일평균기온 수준별 말라리아 발생 위험



IV. 논의

본 연구에서는 2003년부터 2010년까지 삼일열 말라리아 발생 현황과 기상요소 자료를 연결하여, 우리나라에서 기온 변화에 따른 말라리아 발생 위험을 지역별로 살펴보았다. 또한 기온의 변화, 말라리아 감염과 관련이 있는 매개체 및 가축 자료를 통합하여 위험도를 평가하여, 기상요소의 영향만을 고려한 경우와 비교하였다.

분석결과 모형에서 기상요인만을 고려할 경우 15개 시도에서 기온상승에 따라 말라리아 발생 위험이 증가하는 것으로 나타났다. 말라리아 환자가 주로 많이 보고되었던 서울, 경기, 인천, 강원에서는 기온이 1°C 상승하면 발생 위험이 각각 10.8%, 12.7%, 14.2%, 20.8% 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 말라리아 환자가 적게 보고되는 지역에서도 기온상승으로 인한 위험도가 높은 지역이 있었는데, 충청북도, 전라북도, 경상북도가 각각 17.9%, 16.3%, 15.8%였다. 지역별로 위험도의 크기에서 차이가 있었으나, 기온이 상승하면 말라리아 발생 위험이 증가한다는 기존 연구들의 결과와 같은 맥락이다. 2005~2007년 건강보험자료를 이용하여 GEE 방법으로 추정된 연구에서는 기온 1°C 상승으로 11.7%가 증가한다고 하였고(신호성, 2011), 2001~2009년 사이의 자료로 분석한 연구에서는 16.1%가 증가했다(Kim et al., 2012).

많은 매개 감염병이 최저 14~18°C, 최고 35~40°C에서 발생하는 것으로 알려져 있는데(Githeko et al., 2000), 분석 결과 지역별로 역치기온은 다양하게 나타나지만 대체로 낮은 기온에서 위험이 시작되는 것으로 나타났다. 지역별로 나타난 위험도는 각각 다른 역치수준에서 추정된 것인데, 충청남도와 경상남도는 역치기온이 영하의 온도에서 나타났다. 말라리아 발생은 기존의 연구에서 알려진 바와 같이 기상요인, 매개체, 잠복기요인의 복합적인 작용 뿐 아니라 방역활동이나 예방접종과 같은 지역의 보건사업, 그리고 지역주민의 취약정도와 관련이 있을 수 있다. 따라서 이 지역에서 특히 역치기온이 낮게 나타나는 원인을 명확히 파악하기는 어렵지만, 관련 요인 중 다른 지역에 비해 두드러지는 특성을 갖는 요인들이 무엇인지 비교해 볼 필요가 있겠다.

그런데 일평균기온과 말라리아의 관련성은 “J” 혹은 “U”자 형태로, 역치기온 수준에서는 완만하게 증가하고 상대적으로 고온에서 위험도가 가파르게 증가하였다는데 중점을 두어야 한다. Kim et al.(2012)의 연구에서도 비슷한 그래프를 제시하였는데, 31.2°C의 상당한 고온을 넘어서면 환자수가 다시 감소하는 경향을 보인다는 결과(신호성, 2011)와는 차이가 있다.

지금까지 논의한 결과는 상대습도를 보정한 기온의 영향을 분석한 것이며, 기상요인에 지역특성까지 고려한 모형과 비교하기 위하여 일부 지역을 대상으로 추가 분석하였다. 모기와 가축 현황이 모형에 포함됨에 따라 모형의 적합도를 나타내는 AIC 값이 더 좋아졌고, 기온으로 인한 말라리아의 위험은 더 낮아졌다. 기상요인만을 고려하였을 경우 강원도에서는 기온이 1°C 증가하면 삼일열 말라리아로 외래 의료이용을 할 위험이 18.9% 높아졌으나, 지역특성을 고려하면 약 14%로 위험이 감소하였다. 경상북도는 13%에서 약 10%로 감소하였고, 충청남도에서도 다소 감소하였다. 그러나 데이터의 제한으로 모형비교를 위해 구축된 자료가 축소되었기 때문에, 환자 변화율이 앞서 전국민 자료를 활용한 결과와 차이가 있음을 다시 한 번 언급한다. 이러한 결과는 말라리아 발생 위험을 예측할 때 지역특성을 고려하지 않고 기상요소만을 고려할 경우 기온상승으로 인한 위험이 과대추정 될 가능성을 시사한다. 또한 기상요인 외에 말라리아 감염에 영향을 미치는 요소가 지역별로 다르기 때문에, 이러한 점을 고려하면 지역 간 위험도의 편이도 다르게 추정될 것이다.

본 연구가 갖는 의의는 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, 우리나라에서 계속적으로 환자가 발생하고 있으며, 기후 변화로 인해 위험이 증가하고 전파 지역이 확산될 것으로 예상되는 질환에 대하여 다루었다는 점이다. IPCC 4차 보고서에서는 곤충에 의한 감염병을 기후변화로 인한 건강영향의 한 분야로 제시하고 있고, 특히 말라리아 등 모기에 의한 질환에 유의할 것을 경고하고 있다(IPCC, 2007). 우리나라에서 말라리아는 제3군 법정전염병으로, 발생률 기준에 따라 위험지역을 구분하여 선별적으로 적극적인 관리 사업을 시행하고 있으며(박재원 외, 2009), 말라리아 퇴치사업 중장기계획을 마련하고, 매개체 및 감염병 감시체계인 Vector-Net을 운영하는 등 국가차원에서 노력을 기울이고 있다(보건복지부, 질병관리본부, 2010). 따라서 객관적인 근거 자료가 구축되어 전략 수립 및 시행을 뒷받침하고, 문제 인식을 제고할 필요성을 갖는다. 특히 기후변화로 인한 영향은 노인이나 저소득 계층 등 건강취약계층의 건강에 더 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있기 때문에(Patrick et al., 2011), 기후변화로 인해 예상되는 건강영향을 파악하고 이에 대비한 정책을 사전에 마련하는 것이 중요한 건강증진전략이 될 수 있다는 점에서 본 연구가 중요성을 갖는다.

둘째, 기온이 말라리아에 미치는 영향을 평가하는데 매개체 등 지역 특성을 함께 고려하였다는 점이다. 기후요소를 기반으로 질병의 위험을 예측하는 것은 질병의 위험을

예측하는 중요한 첫 번째 과정으로, 이러한 시도는 계속적으로 이루어져 왔다. 그런데 기상요인이 말라리아 환자 발생에 미치는 영향 뿐 아니라, 매개체, 가축 등의 관련성에 대하여 추가적으로 다루어야 할 필요가 있다. 기온 증가에 따라 모기, 병원균 등의 개체 수가 증가하는 생태적 변화가 일어나는데(김호 외, 2009), Pascual et al.(2006)은 기온이 0.1°C 상승하면 모기개체수가 10배 이상 증가한다고 하였으며, 국내 연구에서도 기온과 모기의 관련성을 보고하였다(박용배, 2000; 이희일, 2001). 기온상승으로 증가한 모기의 밀집정도는 말라리아 감염과 관련이 있다(Parham et al., 2010). 본 연구에서는 모기와 함께 지역의 가축 자료를 모형에 포함하였는데, 가축사육이 말라리아에 미치는 영향에 대한 논의는 국내 연구에서 고찰된 바 있다. 이희일(2001)의 연구에 따르면 가축사육이 말라리아에 미치는 영향에 대해 상반된 근거가 있다고 하였는데, 사육장의 위치와 규모에 따라 예방의 효과가 다르게 나타나는 것으로 설명하였다. 이러한 관점에 따라 모기 서식지, 감염병 환자 분포 등 지역의 특성을 고려하면, 위험도 예측 모형을 더 향상시킬 수 있다(Lindsay et al., 2010).

셋째, 본 연구는 8년간 건강보험자료에 삼일열 말라리아로 진단명을 갖는 모든 데이터를 대상으로 하였다. 다양한 예측 모형과 통계기법, 그리고 관련 자료의 신뢰도에 따라 결과는 다르게 나타날 수 있으나, 전체 국민의 환자 발생 현황을 근거로 위험도를 예측하였다는 점에서 의의를 갖는다.

연구가 갖는 의의에 이어 향후 보다 개선되어야 할 점을 두 가지 언급하고자 한다. 한 가지는 말라리아 발생의 결정인자를 모두 반영하기는 어렵다는 점이다. 말라리아 발생에는 매개 모기의 밀도, 모기 한 마리가 사람을 무는 횟수의 제곱, 모기가 하루 동안 생존할 확률의 10배에 정비례하는 것으로 알려져 있으며, 특히 모기의 수명이 중요하여 기온에 따라 8~30일까지 차이가 발생한다(박윤희 외, 2006). 그리고 모기가 사람을 물었다 하더라도 사람이 모기에 물리면 바로 감염시킬 수 있는 것이 아니라 잠복기 집단으로 들어가게 된다는 측면이다(질병관리본부, 2009). 우리나라 말라리아 환자 발생 패턴은 단기 잠복기와 장기 잠복기로 나타나며, 각각 평균은 25.4일, 328.6일이었다(나경아 외, 2010). 말라리아 환자는 7, 8월에 최고조에 달하는데, 7월 하순 이전에 발생하는 사례는 대부분 장기 잠복기로 인한 지연 발병 사례이고, 8월 하순 이후의 발생은 단기 잠복기로 인한 것이다(강준영, 2012). 그러나 분석 모형에서는 다양하게 나타나는 증상 발현 시점을 충분히 다루지 못하였다.

다른 하나는 자료와 예측모형이 갖는 한계이다. 모기 및 가축 데이터는 특정 지역 및 기간, 그리고 다양한 단위로 구축되어 있고, 모기 자료의 경우 지역별로 수집 장소에 편차가 있을 뿐 아니라 수집된 자료가 체계적으로 종합되어 있지 않다. 향후 예측모형에서는 잠복기 등 말라리아 감염의 특성을 고려하고, 신속하고 체계적인 감시체계를 기반으로 하는 신뢰도 높은 자료를 연결할 필요가 있다. 특히 말라리아와 같은 감염병은 비교적 드물게 발생하기 때문에 현재의 모형에서는 좁은 지역 단위로 분석할수록 기온 상승에 따른 위험도를 추정하는 것이 더욱 어렵다. 본 연구에서는 시도별 위험도를 추정하였으나 일부 지역에서만 모형 비교가 가능하며, 앞으로 환자수가 적은 질환에 대해서도 예측이 가능한 모형 개발이 요구된다. 또한 예측모형에서 당일의 기온과 당일 환자수와의 관련성을 평가하였다는 점에서 제한점을 갖는다. 말라리아는 상당한 기간의 잠복기가 있는 것으로 알려져 있으므로 향후 우리나라 말라리아 발생 패턴을 고려하여 지연 기간에 따른 위험도를 평가해 볼 필요가 있겠다.

V. 결론

매개질환의 생태는 여러 요인의 영향으로 복잡하게 나타나는데, 기후변화로 인한 기온 및 강수량의 변화는 전파 주거나 질환의 발생에 직, 간접적으로 영향을 미치는 주요 요인이다. 우리나라는 오래 전 말라리아 완전 퇴치 지역으로 분류되었으나, 삼일열 말라리아가 재유행하면서 기후변화의 영향과 맞물려 예방 및 관리 대책이 더욱 중요해지고 있다. 전파기간 및 지역이 확산되고 있고, 우리나라 대부분의 지역에서 기온과의 관련성이 입증되고 있다는 점에서 말라리아의 위험은 집중적으로 발생이 보고되는 중부지역에 한정된 문제가 아니다. 따라서 위험지역을 선정하는데 발생률뿐만 아니라 기온과의 연관성을 함께 고려해야 하며, 지역사회 건강위험의 근거를 기반으로 건강증진 프로그램에 기후변화 적응 전략이 통합될 수 있어야 한다.

이를 위해서 기후변화로 인한 건강영향을 이해할 수 있도록 지역사회에서 기후변화로 인한 질병발생의 위험과 변이를 정확히 파악해야 할 필요가 있다. 국, 내외에서 기후변화로 인한 말라리아 발생 위험을 예측하기 위한 노력이 다양하게 시도되어 왔는데, 우리나라에서 유행하는 질환 및 매개체의 역학적 특성, 지역의 특성을 고려한 발전된 예측기

법이 개발되어야 한다. 신뢰할 수 있는 예측 모형을 개발하기 위해서는 신뢰할 수 있는 정확한 데이터가 기반 되어야 한다. 우선 지역 및 주최별로 분산되어 있는 데이터의 접근성이 향상되어 효과적으로 통합되어야 하며, 시범적으로 시행되고 있는 질병, 매개체에 대한 체계적인 감시체계가 안정적으로 구축되어야 한다.

본 연구는 지금까지 기온으로 인한 말라리아 발생 위험 분석에서 한 단계 나아가 매개체와 가축 자료를 반영함으로써 발전된 예측 모형을 제안하고자 시도하였다. 그러나 지역별로 기후, 산업, 지역주민의 인구학적 특성, 지자체의 예방 및 관리 사업 운영에 대한 시각과 노력이 상호작용하여, 결과적으로 지역의 말라리아 발생 위험은 다양하게 나타났을 수 있다. 앞으로 우리나라 삼일열 말라리아에 영향을 미치는 여러 요인들을 효과적으로 반영한 진일보한 예측 모형이 개발되어, 기후변화로 인한 감염병 발생 저감 기술 개발에 기여해야 하겠다.

채수미는 고려대학교에서 보건학 박사학위를 받았으며, 현재 한국보건사회연구원에서 전문연구원으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 기후변화의 건강영향 및 적응전략, 보건사업평가, 의약품정책 등이다.
(E-mail: csm1030@kihasa.re.kr)

김동진은 서울대학교에서 보건학 박사과정을 수료하였으며, 현재 한국보건사회연구원에서 부연구위원으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 기후변화로 인한 건강영향, 건강영향평가, 건강결정요인, 건강형평성 등이다.
(E-mail: djkim@kihasa.re.kr)

윤석준은 서울대학교에서 의료관리학 박사학위를 받았으며, 현재 고려대학교 의과대학 예방의학 교실에서 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 기후변화로 인한 건강영향 및 질병부담, 건강보험, 만성질환 관리 등이다.
(E-mail: yoonsj02@korea.ac.kr)

신호성은 미국 University of South Carolina에서 보건학 박사학위를 받았으며, 현재 원광대학교 치과대학 인문사회치의학교실에서 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 의료형평성, 기후변화, 공간분석 등이다.
(E-mail: shinhosung@gmail.com)

참고문헌

- 강준영(2012). 한국에서의 2008-2009년도 삼일열 말라리아 발생 현황. 박사학위논문, 의학과, 가천의과대학교, 인천.
- 김시현, 장재연(2010). 국내 기후변화 관련 감염병과 기상요인간의 상관성. *예방의학회지*, 43(5), pp.436-444.
- 김호, 권순만, 이승묵, 김명희, 도순자, 이사라 외(2009). 서울시 보건분야 기후변화 대응기반 구축 연구. 서울: 서울대학교.
- 나경아, 최일수, 김용국(2010). 2006-2008년 삼일열 말라리아환자의 잠복기 연구. *한국데이터정보과학회지*, 21(6), pp.1237-1242.
- 박용배, 홍해근, 방선재, 임준래, 문혜경(2000). 경기북부지역의 말라리아에 관한 역학적 연구. *대한위생학회지*, 15(1), pp.46-53.
- 박윤희, 김호, 장원기, 김용배, 황보영, 기모란 외(2006). 기후변화에 의한 감염병 발생영향 통합관리체계 구축. 충남: 순천향대학교 · 건강증진기금사업지원단.
- 박재원, 홍지영, 염준섭, 조성래, 오대규(2009). 국내 말라리아 퇴치사업의 현황 분석과 개선방안. *대한감염학회지*, 41(1), pp.42-53.
- 보건복지부, 질병관리본부(2010). 한국의 기후변화 건강영향과 적응대책. 충북: 질병관리본부.
- 보건복지부, 한국보건사회연구원(2011). 제3차 국민건강증진종합계획. 서울: 한국보건사회연구원.
- 신호성(2011). 기상요소와 지역 말라리아 발생자수의 상관관계. *보건사회연구*, 31(1), pp.217-237.
- 신호성, 김동진(2008). 기후변화와 전염병 질병 부담. 서울: 한국보건사회연구원.
- 심재철, 신이현(2002). 한국에서의 말라리아 환자 발생. *감염*, 34(2), pp.104-135.
- 오상윤(2009). 정부의 건강증진정책방향. *대한의사협회지*, 52(7), pp.634-636.
- 이희일(2001). GIS를 활용한 국내 말라리아 발생과 매개체인 중국열룩날개모기(*Anopheles sinensis*)의 Vectorial Capacity에 관한 연구. 박사학위논문, 생명과학과, 건국대학교, 서울.
- 장재연, 조수남, 김성자, 김시현, 신소영(2009). 기후변화에 따른 건강분야 적응대책 수립방안 연구. 경기: 아주대학교 · 건강증진사업지원단.

- 질병관리본부(2009). 재출현 이후 국내 삼일열 말라리아 발생 현황. *주간건강과 질병*, 2(38), pp.633-636.
- 질병관리본부(2009). 한국형 말라리아의 수확 모형과 응용프로그램 개발. *주간건강과 질병*, 2(17), pp.264-269.
- 홍윤철(2008). 기후변화와 건강. *대한의사협회지*, 51(8), pp.764-769.
- Amerasinghe, P. H., Amerasinghe, F. P., Konradsen, F., Fonseka, K. T., Wirtz, R. A. (1999). Malaria vectors in a traditional dry zone village in Sri Lanka. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 60(3), pp.421-429.
- Barnett, A. G., Dobson, A. J. (2010). *Analysing seasonal health data*. Statistics for Biology and Health.
- Catford, J. (2008). Food security, climate change and health promotion: opening up the streams not just helping out downstream. *Health Promotion International*, 23, pp.105-108.
- Eilers, P. H. C., Marx, B. D. (1996). Flexible smoothing with B-splines and penalties. *Statistical Science*, 11(2), pp.89-121.
- Githeko, A. K., Lindsay, S. W., Confalonieri, U. E., Patz, J. A. (2000). Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. *Bulletin of the World Health Organ*, 78(9), pp.1136-1147.
- Gubler, D. J., Reiter, P., Ebi, K. L., Yap, W., Nasci, R., Patz, J.A. (2001). Climate variability and change in the United States: potential impacts on vector- and rodent-borne diseases. *Environ Health Perspect*, 109(Suppl2), pp.223-233.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *IPCC fourth assessment report: climate change 2007*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kim, Y. M., Park, J. W., Cheong, H. K. (2012). Estimated Effect of Climatic Variables on the Transmission of Plasmodium vivax Malaria in the Republic of Korea. *Environ Health Perspect*, 120(9), pp.1314-1319.
- Lindsay, S. W., Hole, D. G., Hutchinson, R. A., Richards, S. A., Willis, S. G. (2010). Assessing the future threat from vivax malaria in the United Kingdom using two markedly different modelling approaches. *Malaria Journal*, 9(70).

- Loft, S. (2010). *Co-benefits of reducing green-house gas emissions by active transport compared to motor vehicle in Copenhagen*. Denmark. Canberra: Healthy Climate, Planet and People, Fenner conference Program and Abstracts.
- McMichael, A. J., Woodruff, R. E., Hales, S. (2006). Climate change and human health: present and future risks. *Lancet*, 367(9513), pp.859-869.
- Parham, P. E., Michael, E. (2010). Modeling the effects of weather and climate change on malaria transmission. *Environmental Health Perspectives*, 118(5), pp.620-626.
- Park, J. W. (2011). Changing transmission pattern of plasmodium vivax malaria in the republic of Korea: relationship with climate change. *Environmental Health and Toxicology*, 26.
- Pascual, M., Ahumada, J., Chaves, L., Rodo, X., Bouma, M. (2006). Malaria Resurgence In The East African Highlands: Temperature Trends Revisited. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(15), pp.5829-5834.
- Tadei, W. P., Thatcher, B. D., Santos, J. M., Scarpassa, V. M., Rodrigues, I. B., Rafael, M. S. (1998). Ecologic observations on anopheline vectors of malaria in the Brazilian Amazon. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 59(2), pp.325-335.
- World Health Organization (2003). *Climate change and human health: risks and responses*. Geneva: World Health Organization.

The Impact of Temperature Rise and Regional Factors on Malaria Risk

Chae, Su-Mi

(Korea Institute for
Health and Social Affairs)

Yoon, Seok-Jun

(Korea University)

Kim, Dongjin

(Korea Institute for
Health and Social Affairs)

Shin, Hosung

(Wonkwang University)

The impact of climate change on infectious diseases became one of the major public health interest in Korea. The purpose of this study is to estimate the potential effect of temperature rise on malaria transmission and to improve a prediction model by reflecting regional factors. We used claims data for health care utilization to identify malaria incidence during 2003~2010. Generalized additive model was used to examine the correlations between malaria incidences and meteorological factors. To investigate the impact of temperature on malaria incidence, we adjusted the number of Anopheles mosquitoes, the primary vector for malaria, and the animal hosts as regional factors. There were significant correlations between temperature and malaria incidence by region in Korea. For a daily mean temperature increase of 1°C above the threshold, the relative risk of malaria incidence increased except Jeju-do. When the regional factors like the number of Anopheles mosquitoes and animal hosts were added to the model, relative risks of malaria incidence were lower than those were not adjusted for regional factors in Gangwon-do, Gyeongsangbuk-do, and Chungcheongnam-do. Malaria incidence was correlated with not only meteorological factors but also regional factors in Korea. This implies that malaria incidence could be influenced by temperature rise and regional environment.

Keywords: Malaria, Climate Change, Temperature, Regional Factor