

기상요소와 지역 말라리아 발생자수의 상관관계

신 호 성

(한국보건사회연구원)

말라리아는 우리나라에서는 1970년대 이후 사라졌지만, 1993년 휴전선 근처에서 재 발생한 이후 매년 환자가 증가하고 있는 추세이다. 본 연구의 목적은 말라리아 발생에 있어서 기후요소의 영향을 살펴보고 기온 증가에 따른 말라리아 발생자수를 예측하는 것이다. 건강보험심사평가원으로부터 제공받은 2005~2007년 건강보험심사완결 원시자료 중 말라리아 16,898건이 분석대상에 포함되었다. 말라리아 발생 자료는 행정단위로 시군구, 발생기간은 주(week)를 분석단위로 하여 해당기간 시군구에서 발생한 전염병을 합산하였다. 기온자료는 전국 AWS(Automatic Weather Station)에서 3년간(2005~2007년) 최고기온, 최저기온, 평균기온, 일강수량 자료를 1일을 기준으로 작성된 자료를 이용하였다. 분석방법은 시계열 자료 분석방법인 Poisson 분포의 일반화추정방정식 (Generalized Estimation Equation, GEE)을 기반으로 기온변수에 대한 3차원 스플라인, 다항 시간지연효과를 고려하였고 연간 주기성(Annual Periodicity)을 가지고 사인 함수와 코사인 함수로 표시되는 최대 6주기 조화함수인 Fourier Term을 회귀식 포함하였다. 말라리아 발생 회귀방정식에서 추정된 예측값과 기온과의 관계를 해석하는데 변곡점 영향을 살펴보고 GIS(Geographic Information System) 상에 결과치를 표시하는 다양한 방법을 고려하였다. 분석기간 중 연도별 시군구 말라리아 발생자수는 계속 증가하였다. 2005년 평균 1.3명, 최대 262명이었으나 2006년 평균 1.6명 최대 240명, 2007년 평균 2.5명 최대 400명으로 증가하였다. 본 연구에서 제안된 기온상승에 따른 말라리아 발생예측 모형을 따라 분석을 수행한 결과 변곡점이 0.8℃, 20.2℃, 31.2℃인 영문글자 'M'자 모양을 나타내었다. 두 번째 변곡점(20.2℃) 이후의 경우, 기온이 1도 상승하면 주간 시군구단위 환자수가 0.212(95 CI, 0.201~0.224)명 증가할 것으로 예측되었다. 지역 결핍지수와 말라리아 발생과의 상관성을 살펴본 결과 말라리아 발생은 시군구 통합결핍지수가 낮은 지역에서 더 많이 발생하는 경향이 있었다. 말라리아 발생은 일부지역에 국한된 양상을 보였으나 해안가와 대도시의 경우 보다 세밀한 조사가 필요할 것으로 보인다.

주요용어: 말라리아, 기상요소, 통합결핍지수, 지리정보시스템, 기후변화

■ 투고일: 2011.1.31 ■ 수정일: 2011.3.4 ■ 게재확정일: 2011.3.5

I. 서론

지난 100년간(1906~2005년) 지표 평균기온은 $0.74 \pm 0.18^\circ\text{C}$ 상승하였으며 최근으로 올수록 기온상승률이 증가하는 추세를 보인다. 북극기온은 지구 평균보다 거의 2배 증가했고, 1980년 이후 빙하는 10년에 2.7%씩 감소한 것으로 관측되고 있다(IPCC, 2008). 우리나라의 10년 평균기온의 변화를 보면 기온은 지속적으로 상승하고 있다. 이러한 기온 상승의 원인은 지구온난화와 도시화를 들 수 있으며, 한반도 도시지역의 기온 관측값과 비교하여 산출한 도시화 효과는 지난 30년 동안 서울이 0.8, 부산 0.49, 대전 0.86, 대구 0.81을 나타내었다(오성남, 2010).

기후변화는 질병의 발생에 영향을 미칠 수 있는 중요한 요인 중 하나인데, 매개체를 통한 질병들은 생태계 내에서 숙주와 매개체, 병원체간의 상호작용에 의하여 발생하며, 이러한 상호작용은 각각의 생육 환경의 변화 즉 기후변화에 의하여 영향을 받기 때문이다(장재연 외, 2003). 생태학적 관점에서 보면 기후는 질병의 원인인 병원체와 매개체를 포함한 모든 살아있는 생명체의 생존과 번식에 영향을 미친다. 그러나 기후변화로 인해 발생양상에 분명한 변화를 보이는 전염성 질병도 있으나, 일반화시켜 영향을 파악하기에는 어려움이 있다. 특히, 모기를 매개로 하는 질병(Mosquito-borne disease)과 설치류를 매개로 하는 질병(Rodent-borne disease)은 기후의 영향을 크게 받으며, 기온, 강수량, 습도 등이 중요한 영향을 미치며 바람이나 일조량도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(박윤형 외, 2006).

말라리아는 매개체에 의한 전염병 중 가장 중요하게 다루어지는 전염병인 동시에 장기적인 기후변화에 가장 민감한 질병이다(Patz et al., 2003). 사람에게서 발병하는 말라리아는 총 4종으로 삼일열원충(*Plasmodium vivax*), 사일열원충(*Plasmodium malariae*), 열대열원충(*Plasmodium falciparum*), 나형열원충(*Plasmodium ovale*)이 있으나 우리나라에서 감염된 말라리아는 모두 삼일열원충 감염에 의한 것이다(질병관리본부, 2010). 우리나라에서는 1970년대 이후 사라졌지만(WHO, 1979), 1993년 휴전선 근처에서 재발생한 이후 매년 환자가 증가하고 있는 추세이다(장재연 외, 2008). 2005년 이후 말라리아 발생은 여름철에 집중적으로 증가하고 있으며 해가 거듭될수록 발생건수도 늘어나고 있다(장재연 외, 2003). 얼룩날개모기(*Anopheles mosquito*)에 의해 전파되는 말라리아는 관리대책의 소홀과 살충제에 대한 모기의 내성 증가, 인구 증가와 이동, 토지

이용방법 변화, 지구 온난화, 엘니뇨, 벌목과 댐의 건설 등 다양한 요인들로 인하여 전 세계적으로 증가추세에 있다(Lindsay & Birley, 1996; 박윤희 외, 2006 재인용).

말라리아 발생은 말라리아 병원균의 개체수와 모기에 물리는 횟수, 감염된 모기의 수, 그 모기에 사람이 물리는 횟수와 관계가 있으나 기온과 강수량, 습도의 변화도 중요한 요소를 차지한다(Lindsay & Birley, 1996; 박윤희 외, 2006 재인용). 기온은 모기가 성충이 되는 시간을 변화시킨다. 기온이 높아질수록 성충이 되는 기간이 단축되고 이에 따라 모기의 개체 수도 증가한다. 강수량도 말라리아 발생과 관련이 있다. 특정 해에 가뭄이 들면 이듬해 말라리아로 인한 사망이 증가한다. 여기에는 여러가지 이유가 있겠으나 가뭄으로 인한 흉작이 인간의 영양상태를 나쁘게 하여 결국 질병에 대한 감수성이 높아지고 또 가뭄으로 말라리아 전염이 줄어들게 되면 인간 집단내 집단 면역력이 줄어들게 되어 결국 이듬해 사망자수가 증가하게 된다는 보고가 있다(Hales et al., 2003).

본 연구의 목적은 말라리아 발생에 대한 기상요소의 영향을 살펴보고 이를 근거로 기상요소 변화에 따른 말라리아 발생을 예측하는 것이다. 이는 ‘분석에 포함되는 기간 동안 기상요소와 질병발생의 관계가 향후에도 지속될 것이다’라는 가정에 근거한다. 분석에 포함된 가용자료가 최근 3년간의 변화라는 제한점이 있으나 향후 기후변화와 관련된 예측 모형 개발에 일조할 수 있을 것으로 기대한다.

II. 연구방법

1. 연구자료 및 변수 설명

가. 전염병 자료

전염병 발생에 대한 예측모형 개발에서 부딪히는 가장 난제 중의 하나는 많은 지역에서 장기간에 걸쳐 수집된 질 좋은 역학 자료의 부족이다. 연구자료에서 나타나는 예외적인 변화를 가려내기 위해서는 장기간에 걸쳐 수집된 자료가 필요하며, 다양한 조건 및 상황하에서 기후변화가 전염병의 전이과정에 미치는 영향을 분석하는 것이 중요하다

또한 지역적으로 넓은 범위에 걸쳐 수집된 자료가 필요하다. 건강보험심사평가원으로부터 제공받은 2005~2007년 건강보험심사완결 원시자료 일부인 말라리아 16,898건이 분석대상에 포함되었다.

표 1. 분석대상 질병 및 연간 발생건수

질병	ICD-10	2005년	2006년	2007년	합계
말라리아 (malaria)	B50, B50.0, B50.8, B50.9, B51.0, B51.8, B51.9, B52.0, B52.8, B52.9, B53, B53.0, B53.1, B53.8, B54	4,765	5,590	6,538	16,893

전염병 발생 자료는 행정단위로 시군구, 발생기간으로는 주(week)를 분석단위로 하여 해당기간 시군구에서 발생한 전염병을 합산하였다. 194개의 시군구의 3년간(156주) 시간을 고려하면 30264(=156*194)의 분석단위수가 산출된다.

나. 기상 자료

기상청 기후자료 관리시스템에서 제공하는 일별기상자료에는 평균기온, 최고(최저)기온, 강수량, 신적설, 평균해면기압, 평균이슬점온도, 평균상대습도, 평균풍속, 평균운량, 일조시간 등이 포함된다. 기상청 기후변화자료는 전국 92곳의 기상 관측지점에서 1일 8회의 정시관측 값으로 일평균 기온을 산출한다. 전국 246개 시군구 단위의 분석을 위해서 시군구 행정단위로 산출된 말라리아 발생자수 자료와 동일 행정구역 단위로 작성된 기상자료가 필요하다. 그러나 전국 92개 관측지점에서 측정된 기후자료는 공간적으로 시군구 행정구역과 불일치를 보이게 되는데 이 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 기상청에서 운영하는 무인기상관측(Automatic Weather Station, AWS) 시스템을 활용하였다.

본 연구는 2008년 기준 464개 전국 AWS(Automatic Weather System)에서 측정된 최근 3년간(2005~2007년)의 최고기온 및 강수량 자료를 1일을 기준으로 작성된 자료를 이용하였다. 동일 시군구 행정단위별로 존재하는 여러 개의 AWS 중 임의로 하나의 AWS를 선정하여 해당 시군구의 대표 기상자료로 간주하였다. 기상청이 관할하고

있지 않은 일부 AWS를 제외한 194개 시군구 행정단위로 말라리아 발생 현황 자료와 병합하여 전염병 발생 모형의 분석자료로 활용하였다.

2. 모형 및 분석방법

본 연구는 통계적 모형에 따른 분석으로 기후변화와 전염병 발생과의 연관성을 분석하기 위하여 시계열 자료 분석방법인 Poisson 분포의 일반화추정방정식(Generalized Estimation Equation, GEE)과 일반화선형모형(Generalized Linear Model, GLM)을 적용한다(Baccini 외, 2008). 기온변수에 시간지연효과를 가진 3차원 스플라인을 적용하고 기상요인 이외 전염병 발생에 영향을 주는 계절성을 반영하기 위하여 푸리에 변환(Fourier transform)을 적용하며 전염병 발생에 있어 기온의 시간지연 효과를 고려하였다. 또한 전염병 발생 온도의 변곡점을 고려하여 기후변화에 따른 영향을 분석하였다. 기후변화와 전염병 발생과의 관계를 분석하기 위해 사용된 분석방법은 다음과 같다.

비모수회귀분석의 장점은 모수회귀분석과 달리 특정 분포를 가정하지 않는 유연성에 있는데 독립변수와 종속변수의 기능적 관계는 특정분포에 의해 이루어지는 것이 아니라 자료에 근거하여 만들어지게 된다. 특히 스플라인 방법을 사용할 경우 강수량과 같은 특정 변수들은 종속변수와 선형관계를 가진다고 가정하나 최고온도와 같은 변수들은 비선형적인 관계를 가정한다(Ruppert, 2002). 본 연구에서는 3차원 섭씨 0도 이후 매 16도마다 마디를 가지는 natural cubic spline을 적용한다. 이는 평균기온이 16℃ 이하에서 모기 활동이 중단되고 30℃ 이상에서 모기의 활력이 감소되는 생물학적 특징을 반영한 것이다(박윤형, 2006).

기후변화와 관련된 전염병 발생의 계절성을 반영하기 위하여 연간 주기성(Annual Periodicity)을 가지고 사인함수와 코사인 함수로 표시되는 최대 6주기 조화함수인 Fourier Term을 회귀식에 반영할 수 있다.

$$f_s(t) = \cos(T) + \sin(T)$$

$$T = 2\pi \frac{(t-1)}{t_F} \quad (1)$$

위 식은 전염병 발생률의 계절성 반영하는 부분으로 t_p 는 한 주기 동안 반영될 계절성의 수를 의미하며 t 는 숫자로 표시된 주 단위 시간을 의미한다. 전염병 발생의 계절성은 기후변화에 의한 것이 아니라 사람들의 활동 양식이나 환경적인 문제 때문에 발생한 전염병 발생의 계절성을 고려하는 것이다(Hashizume 외, 2007). 기후변화에 따른 전염병 발생에 영향을 미치는 장기간에 걸쳐 나타나는 시간 효과를 통제하기 위하여 기후변화와 관련 없는 계절성 요인 변수를 방정식에 포함하였다.

온도와 같은 노출변수의 시간지연 효과를 반영하기 위하여 일정기간(예, 4주) 동안 노출변수의 영향을 산출하여야 한다. 이 경우 노출변수간의 자기상관(serial correlation) 문제가 발생할 수 있는데 이런 문제점을 해결하기 위하여 다항 시간지연효과 모형(polynomial distributed lag model)을 적용할 수 있다(Schwartz, 2000; Braga, 2002; Michelozzi, 2007). 시간지연 효과의 일반적 모형은 다음과 같이 표현 가능하다.

$$\log(E(Y_i)) = \alpha + \sum_k \beta_k X_{ki} + \delta_0 Z_0 + \dots + \delta_q Z_q \quad (2)$$

여기에서 Z 는 노출변수를 나타내며 q 시간 동안의 지연효과는 Z_q 로 Z_0 는 현재시점이 되며 Z_1 은 바로 전 시간대의 노출변수의 크기를 나타낸다. 위 식 (2)를 효과적으로 추론하기 위해서 일반적으로 적용하는 방법은 Almon(1965)이 개발한 식 (3)을 δ 에 적용하는 것인데, 이 방법은 δ 의 변위를 제한하는 것이다.

$$\delta_j = \sum_k^d \eta_k j^k \quad (3)$$

여기서 d 는 다항방정식의 차원을 의미한다. 매개체로 인한 질병 발생 건수에 대한 기온의 시간지연 효과는 주단위로 계산하고, 4주로 제한하며 각 주 시간 지연 온도변화는 3차원식을 이용하여 계산할 경우 시간지연 온도 변수 $L(\text{week})$ 는 아래의 변환식 (4)를 이용하여 산출된 변수 W 를 회귀식에 포함한다(Schwartz, 2000).

$$W_d = L1 + 2^d L2 + 3^d L3 + 4^d L4 \quad (4)$$

이상에서 제시한 분석방법들을 고려한 최종모형은 다음과 같다.

$$\log(\lambda_{ij}) = \alpha + \sum_{k=1}^3 b_{jk} B_k(Temp_{ij}) + rain_{ij} + \sin(T_i) + \cos(T_i) + W1 + W2 + W3 + W4$$

여기에서 $\sum_{k=1}^3 b_{jk} B_k(Temp_{ij})$ 은 스플라인 함수 영향을 나타내며 $rain_{ij}$ 는 강수량 변화로 인한 효과, $\sin(x_i) + \cos(x_i)$ 는 전염병 발생에 영향을 미치는 계절성의 효과(계절성의 영향의 크기는 $\sqrt{\beta_s^2 + \beta_c^2}$ 이므로 이를 계산되는데 β_s 는 sine함수의 계수 값이고 β_c 는 cosine 함수값의 회귀방정식 계수 값이다), $W_1 + W_2 + W_3 + W_4$ 는 노출변수의 시간지연 효과를 나타낸다.

매개체 전염병 발생 회귀방정식에서 추정된 예측값과 기온은 ‘V’ 또는 ‘N’ 글자형태의 분포를 보인다(신호성·김동진, 2008; 신호성 외, 2009). 특정 온도를 전후하여 온도가 전염병 발생에 미치는 영향이 완전히 바뀌는 분포를 하게 되는데, Muggeo(2003)가 제안한 방식을 따라 온도의 회귀방정식 계수값이 음에서 양으로 바뀌는 변곡점(change point 혹은 break point) 전후의 영향을 살펴보았다. Muggeo(2003)에 따르면 전염병 발생건수 Y와 변곡점을 가지는 비선형관계를 보이는 설명변수 Z는 변곡점 ψ 지점에서 다음과 같은 관계를 보인다.

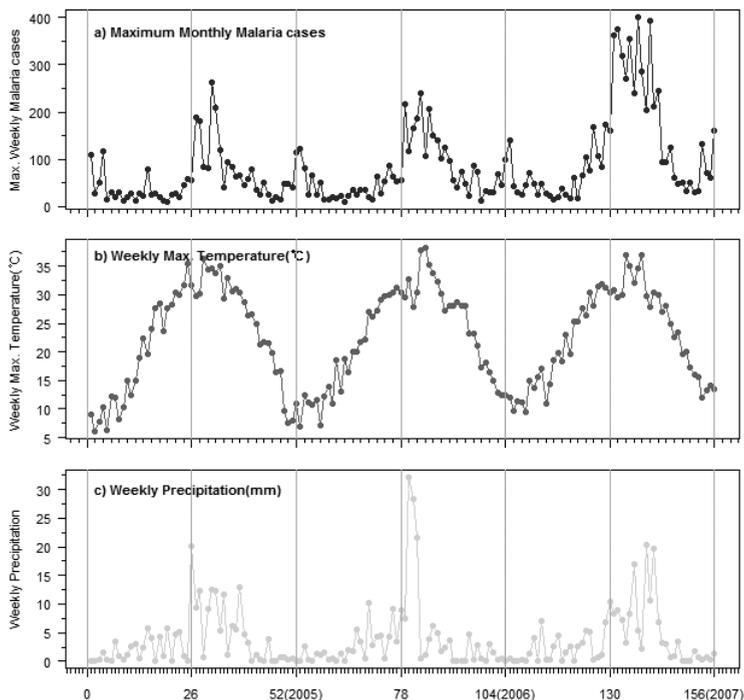
$$g(E(Y)) = \alpha Z + \beta(Z - \psi)_+ \tag{5}$$

$g(\cdot)$ 는 독립변수 Y의 연계함수이며 $(Z - \psi)_+$ 는 $(Z > \psi)$ 의 조건에서 $(Z - \psi)$ 그 반대일 경우 0의 값을 가진다. α 는 변곡점 ψ 전의 기울기(회귀계수), β 는 변곡점 전후의 기울기의 차이이다. 따라서 변곡점 이후의 기울기는 $\alpha + \beta$ 가 된다(Muggeo, 2003).

Ⅲ. 분석결과

분석기간 중 시군구 말라리아 발생자수는 계속 증가하였다. 2005년 평균 1.3명 최대 262명이었으나 2006년 평균 1.6명 최대 240명, 2007년 평균 2.5명 최대 400명으로 증가하였다. 이 기간 동안 주간최고기온도 지속적으로 증가하여 2005년 연평균 주간최고기온은 17.6℃에서 2007년 18.5℃로 상승하였다. 그러나 주간강수량의 경우 일정한 경향을 보이지 않고 등락을 보였는데 2006년이 가장 높은 수치를 기록하였다. 말라리아 발생자수, 주간최고기온, 주간강수량의 관계를 그림에 나타내었다(그림 1). 말라리아 발생자수가 높은 주간과 주간최고기온, 주간강수량은 높은 상관관계를 나타내었다. 다만 한겨울에 해당하는 12월, 1월에 주간최고기온과 주간강수량이 최저치를 나타내어도 불구하고 말라리아 발생자수는 증가하는 양상이 나타났다.

그림 1. 기후변화와 주간 말라리아 발생률(2005~2007년)



본 연구에서 제안된 기온상승에 따른 말라리아 발생예측 모형을 따라 분석을 수행한 결과를 [그림 2]와 <표 2>, <표 3>에 제시하였다. 변곡점이 0.8℃, 20.2℃, 31.2℃인 영문 ‘M’자 모양을 나타내었는데([그림 2]) 변곡점 분석결과 0.8℃ 이하에서는 추정 기온이 0으로 추산되어 큰 의미를 가지지 못하였다. 즉 0.8℃ 이하에서는 온도 증가하더라도 말라리아 발생자수는 증가하지 않을 것으로 예측되었다. 이는 겨울철 말라리아 발생자수가 외부 겨울철 온도에 큰 영향을 받지 않고 특정 절대값을 가지는 경향이 있는 것으로 해석된다. 계절변화와 함께 온도가 상승하더라도 두 번째 변곡점인 20.2℃에 이르기 전까지 말라리아 발생자수는 계속 감소한다. 그러나 기온이 계속 상승하여 계절이 여름철로 접어들어 따라 말라리아 환자수는 증가하기 시작하며 마지막 변곡점에 도달하기 전까지 환자수는 계속 증가한다. 기온이 31.2℃를 넘어서면 기온이 상승하더라도 말라리아 환자수는 감소하는 경향을 보일 것으로 전망되었다.

[그림 2]의 오른쪽 그림은 예측모형의 시간지연 효과를 나타내는 그림이다. Lag로 표시된 부위가 시간지연 정도를 나타내는 것으로 단위는 주(week)이다. [그림 2]에서 보는 바와 같이 온도의 시간지연 효과는 2주 이후에는 그 영향이 거의 미미하다. 특히 30℃ 정도의 온도에서 시간지연 감소효과가 상대적으로 크게 나타났다.

<표 2>는 GEE 모형을 이용한 예측결과를 사용하여 기온의 변곡점 영향을 살펴본 것이다. 두 번째 변곡점 이후의 경우, 기온이 1도 상승하면 주간 시군구단위 환자수가 0.212(95% 신뢰구간: 0.201, 0.224)명 증가할 것으로 예측되었다. 시군구 단위 주간 평균 말라리아 발생자수는 평균 1.808명이므로 이는 11.7%의 증가를 의미한다. 2005~2007년 주간최고기온의 평균이 18.126℃로 나타나 주간최고기온의 1℃ 증가와 비슷한 의미를 지닌다. 즉 주간최고기온이 1℃ 증가하면 말라리아 발생자수는 11.7% 증가할 것으로 예측되었다.

그림 2. 온도변화와 말라리아 발생 예측과 시간지연 효과

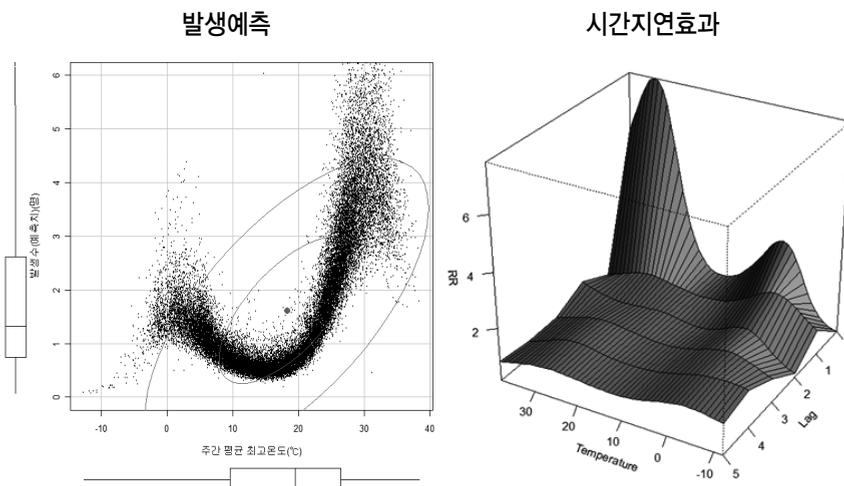


표 2. 말라리아 발생예측모형의 변곡점 및 기울기(GEE 모형)

	기울기		변곡점 온도	
	계수값	95CI	계수값	95CI
변곡점1	-0.134	(-0.145, -0.122)	0.787	(0.549, 1.026)
변곡점2	0.212	(0.201, 0.224)	20.220	(20.170, 20.260)
변곡점3	-0.164	(-0.180, -0.148)	31.210	(31.140, 31.280)

표 3. 말라리아 발생예측모형의 변곡점 및 기울기(GLM 모형)

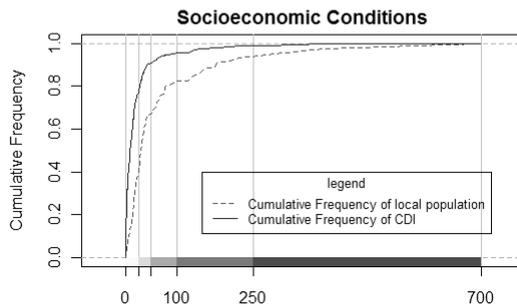
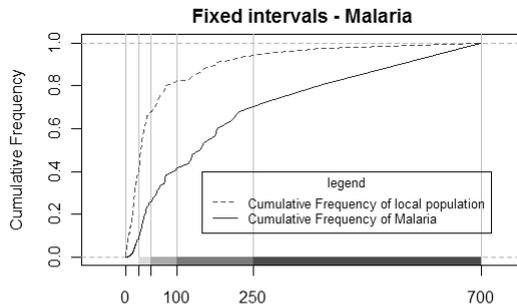
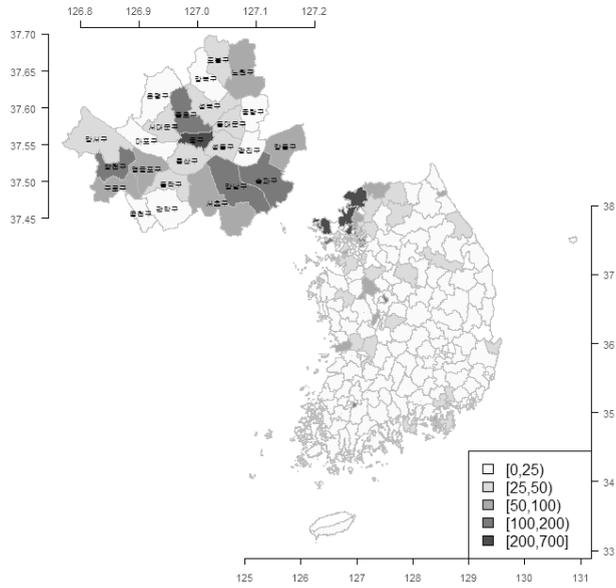
	기울기		변곡점 온도	
	계수값	95CI	계수값	95CI
변곡점1	-0.233	(-0.263, -0.203)	-0.895	(-1.225, -0.564)
변곡점2	0.196	(0.166, 0.226)	19.630	(19.560, 19.700)
변곡점3	-0.394	(-0.430, -0.358)	30.990	(30.900, 31.080)

[그림 3]은 시군구 주간 말라리아 발생자수를 인구 100,000명당으로 표준화한 발생률을 지도로 표시하고 아래쪽에 발생률의 분자(발생자수) 분모(인구수)에 해당하는 값과 해당 시군구의 통합결핍지수값을 누적분포로 표시한 것이다. 이 때 [그림 3]에서 위쪽 지도와 아래 그림에서 같은 색으로 표시된 것은 같은 범주에 해당하는 것을 의미한다. 즉 지도에서 가장 높은 발생 구간에 속하는 짙은 색은 아래 그림에서도 같은 색으로 표시하여 해당 범주의 상대적인 크기를 알 수 있도록 하였다.

인구 십만명당 최고 700명까지 분포하나 대부분의 경우(분석대상 시군구의 70.1%) 25명 미만인 것으로 나타났다. 25인 이상 50인 미만의 발생률을 보이는 두 번째 범주는 16.5%의 시군구에 해당하며 50인 미만의 발생률을 보이는 시군구는 전체 조사대상 시군구의 86.6%에 해당하였다. 반면 최빈도 발생률을 보이는 다섯 번째 범주인 200인 이상 700인 미만의 경우 단지 2.6%에 해당하였고 지역적으로도 경기 북부에 주로 분포하였다. 전국적으로 말라리아 발생이 일부지역에 국한된 편중 경향을 보이는데 반해 서울지역의 경우([그림 3]의 위쪽 그림) 모든 범주를 모두 포함하였으며 말라리아 발생도 저소득층 밀집지역보다 고소득층이 주로 밀집된 곳에서 발생하는 경향을 보였다.

[그림 3]의 하단 첫 번째 누적 분포는 [그림 3]의 지도에 나타난 말라리아 발생률의 분자 분모에 해당하는 단위 시군구 말라리아 발생자수와 인구수를 각각 말라리아 발생률 범주에 따라 누적분포로 나타낸 것이다. 25인 미만의 가장 낮은 범주는 전체 조사대상 시군구 인구의 70.1%를 차지하지만 말라리아 발생자수의 누적 분포에 따르면 10.7%에 해당하며 분모에 해당하는 인구수로는 전체 조사대상 인구수의 38.8%에 해당하는 것으로 나타났다. 반면 가장 발생빈도가 높은 범주는 조사대상 시군구의 2.6%, 전체인구대비 3.8%이지만 말라리아 발생자수 누적수치는 전체의 27.4%를 차지하였다.

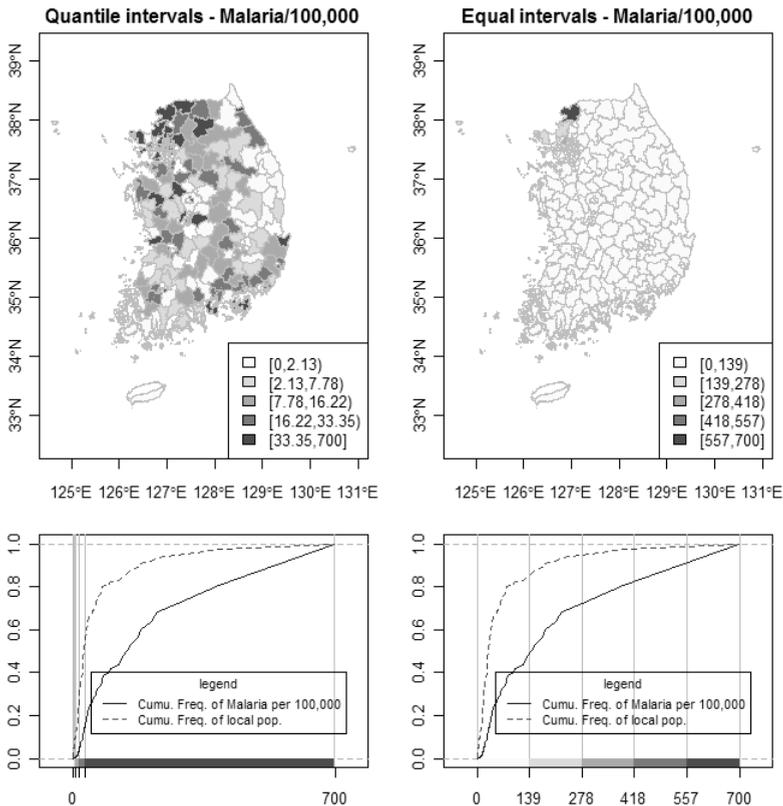
그림 3. 인구 10만명당 말라리아 분포(2005~2007년)



주: CDI, Composite Deprivation Index(신호성, 2009)

[그림 3] 아래 누적 분포는 분석단위 시군구의 통합결핍지수(Composite deprivation Index, CDI)와 말라리아 발생과의 관계를 누적 분포로 나타낸 것이다. 통합결핍지수는 시군구단위 물질결핍을 측정하는 빈곤과 함께 근로, 주거, 사회적 관계, 실업 등 다양한 사회적 환경에서 한시적으로 혹은 장기적으로 배제되고 있는 계층까지 포괄하는 지역단위 결핍지수이다(신호성 외, 2009). 누적분포에 따르면 두 번째 범주인 50인 미만의 발생자수를 보이는 시군구는 전체 통합결핍지수값의 90%를 차지하여 시군구수 누적 값인 86.6%보다 상대적으로 높다. 이는 말라리아 발생자수가 작은 시군구의 통합결핍지수 값이 상대적으로 높다는 의미로 말라리아 발생은 시군구 통합결핍지수가 낮은 지역에서 더 많이 발생하는 경향이 있음을 보여주는 것이다.

그림 4. 표현방식에 따른 말라리아 발생빈도 분포



[그림 4]는 동일한 시군구 지역별 말라리아 발생자수를 표현방법을 달리 적용하여 지도상에 표현한 것이다. [그림 3]의 경우 특정 값(25, 50, 100, 250)을 중심으로 지역별 발생자수를 5등분한 것이며 [그림 4]의 왼쪽 그림은 5분위(quintile) 값으로 오른쪽 그림은 발생자수의 최소값과 최대값 범위를 등간격으로 5등분 한 값을 기준으로 분포를 살펴본 것이다. 각각의 그림은 특정한 의미를 갖는다. [그림 3]은 우리나라 말라리아 발생자수에 대한 일반적 경향 파악에 적합하며 [그림 4]의 왼쪽 그림은 말라리아의 전반적 발생 현황과 국내 토착 유무 파악에, 오른쪽 그림은 말라리아 발생의 hot spot 추정에 적합한 그림이다.

특히 [그림 4]의 왼쪽 그림은 일정 수준 이상의 위생환경과 사회경제적 수준에 도달한 국가에서처럼 말라리아가 유행성 전염병 양상을 보이지 않고 일부지역 혹은 소수의 환자가 전국적인 분포를 가지는 발생 양상을 보일 경우, 기온 변화가 말라리아 발생에 미치는 영향을 분석할 때 간과할 수 있는 점을 지적해 준다. 말라리아 발생이 특정지역에 국한된 양상을 보이는 것으로 표현되는 오른쪽 그림을 중심으로 살펴보면 말라리아가 중요한 공중보건 사업의 영역이 될 것 같지 않은 인상을 준다. 그러나 이 경우 [그림 4]의 왼쪽 그림과 같이 많은 지역(특히 해안가 및 대도시 지역)에 말라리아가 발생하고 있음에도 말라리아가 관심 영역에서 소홀히 될 수 있는 경향이 있을 수 있다.

IV. 고찰

본 연구는 건강보험 자료를 이용하여 기상요소와 말라리아 발생과의 관계를 살펴보고 기온 상승에 따른 말라리아 발생 예측을 수행한 것이다. 연구에서 제안된 말라리아 발생예측 모형을 따라 분석을 수행한 결과 3곳의 변곡점을 가지는 영문글자 ‘M’자 모양의 예측곡선이 생겨났다. 첫 번째 변곡점인 0.8℃ 이하에서는 추정 기온기가 0으로 추산되어 큰 의미를 가지지 못하였고 두 번째 변곡점(20.2℃) 이후의 경우, 기온이 1℃ 상승하면 주간 시군구단위 환자수가 0.212명 증가할 것으로 예측되었는데 이는 시군구 지역 단위당 11.7%의 증가를 의미한다. 지역 결핍지수와 말라리아 발생과의 상관성을 살펴본 결과 말라리아 발생은 시군구 통합결핍지수가 낮은 지역에서 더 많이 발생하는 경향이 있었다.

겨울철 모기와 말라리아 발생자수에 대한 다양한 논의가 존재한다. 주된 설명은 여름철에 걸린 말라리아가 잠복기를 거쳐 겨울철에 나타난 것이다 라는 해석이다(고원규, 2007; 염준섭·박재원, 2008). 또 다른 이유는 겨울철 외국 여행 등으로 인한 해외유입에 의한 말라리아 발생에 관한 의견이다(박재원 외, 2009). 아직 근 거는 희박하지만 가능성이 있는 의견은 겨울철 월동 모기에 의한 것이다(강수윤, 2010). [표 4]는 분석 대상 말라리아 발생자수를 월별 원인별로 구분한 것인데 여름철에 비하여 겨울철 열대 열 말라리아로 인한 감염이 2배 정도 증가한 것을 알 수 있다. 앞서 연구결과에서 서술한 바와 같이 겨울철 온도에서 말라리아 발생자수가 일정한 값을 보이는 것은 외부 겨울철 온도보다는 해외유입이나 잠복기에 의한 영향으로 보는 것이 타당할 것으로 예측되었다. 겨울철 이후 3월과 4월에 환자수가 감소하는 원인은 해외유입과 잠복기에 의한 말라리아 환자가 줄어들었기 때문이다.

표 4. 월별 말라리아 발생 현황

상병코드	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
B50*(A)	163	101	93	92	97	207	405	310	126	126	88	123	1,931
B51(B)	86	32	30	79	208	553	1,120	1,294	847	489	162	74	4,974
B52	2	0	1	1	5	14	20	19	7	7	1	0	77
B53	28	28	27	31	45	74	149	167	97	95	46	39	826
B54	534	278	229	241	454	938	1,910	1,834	1,130	757	383	397	9,085
합계(C)	813	439	380	444	809	1786	3604	3624	2207	1474	680	633	16,893
비율(A/B)	0.11	0.07	0.08	0.18	0.26	0.31	0.31	0.36	0.38	0.33	0.24	0.12	0.29
비율(B/C)	0.20	0.23	0.24	0.21	0.12	0.12	0.11	0.09	0.06	0.09	0.13	0.19	0.11

주: *B50, 열대열 말라리아; B51, 삼일열 말라리아; B52, 사일열 말라리아; B53, 기타 기생충학적으로 확인된 말라리아; B52, 상세불명의 말라리아

말라리아는 사회경제적으로 열악한 환경에서 주로 발생하는 경향이 있다. 본 연구에서 말라리아 발생자수와 지역단위 사회경제적 지표인 통합결핍지수와의 관련성을 살펴본 결과 사회경제적 변수와 역관계가 관찰되었다. 이는 우리나라 말라리아 발생은 일반적인 경향이 아니라 특정 환경이나 특정 지역에 국한된 경향과 관련성이 있을 것으로 생각되었다. [그림 4]의 왼쪽 그림에서 보이는 것처럼 우리나라 말라리아는 휴전선 근처와 해안가 지역, 대도시 주변 등에 밀집되어 있는데 이런 특징이 사회경제적 변수와

역관계를 만든 요인으로 사료되었다. 잦은 해외여행으로 인한 열대열 말라리아 환자의 증가나 특정 지역에서의 야외 활동의 증가, 주거 환경 개선으로 인한 겨울철 모기 서식 환경 제공 등이 이와 관련이 있을 것이다.

질병발생 변화 추이에 영향을 미치는 환경요소는 좁은 지역의 작은 시간 단위에 영향을 받기 때문에(예를 들어, 모기의 발생과 활동에 영향을 미치는 요소는 평균 대기 온도보다는 서식지에 연계된 작은 지역의 특정 시간대의 기온(micro-environmental temperature)에 더 큰 영향을 받는다) 기후자료 역시 이런 척도로 측정된 자료가 요청된다. 작은 범위의 척도로 자료수집이 가능한 원거리조작 기상위성자료의 활용이나 통계적 방법의 개선 및 적용으로 이런 문제점을 극복할 가능성이 있을 것이다.

본 연구는 기상요소 중 주간최고온도와 강수량을 변수를 이용하여 시군구 지역 단위로 발생하는 말라리아 발생자수 변화를 추정하였다. 이런 연구에서 기온관련 변수로 최대온도, 평균온도, 최소온도, apparent temperature(최광용, 2005), 습도온도 등이 사용되어 왔으나(Michelozzi et al., 2007) 현재까지 말라리아 발생예측과 관련하여 표준척도로서 정해진 것은 없다. 최근 들어 일부 기후변화 관련 영향을 예측하는 모형에서 평균, 최대, 최소 기온을 변수로 사용하던 경향에서 탈피하여 Apparent temperature를 사용하는 연구가 늘어나고 있다. 본 연구가 사용한 기상자료는 AWS 기상자료로 상대 습도에 관한 자료가 수집되고 있지 못하다. 말라리아 모기 생활사에 영향을 미치는 습도 대신 강수량을 이용하여 예측모형을 수립하였다. 상대습도는 전국 92개 관측소에서 수집되고 있어 시군구 행정단위를 분석단위로 할 경우 일대일 대응이 어렵게 된다. 향후 세밀한 지역단위 분석을 위해 기상자료의 수집방법 개선과 보다 표준화된 온도척도가 개발될 필요가 있을 것이다.

모델링 방법은 구조모형과 통계모형으로 대별된다. 구조모형이란 기후변화에 따른 전염병 질환이 인체에 미치는 영향에 대하여 생리적인 이론에 근거한 기전이나 과정을 설명변수와 결과변수간의 관계로 표현한 식이며 관계식은 임의의 함수 형태가 적용된다. 질병발생에 대한 위험은 현재적 상황에 근거하여 예측되기 때문에 전염과정이나 인체반응에 영향을 미칠 수 있는 적응정책이나 개입이 고려될 수 없다(National Research Council, 2001). 그럼에도 불구하고 구조모형은 기후변화가 생태계에 어떤 변화를 가져오며 이것이 질병양상에 미칠 영향을 파악하는데 사용되어져 왔다. 본 연구에서 적용한 통계적 모형은 기존의 연구에서 확인되어진 기후와 질병관련 변수와의 관계에 기초한

모형이며 과거의 변화패턴에 기초하여 관심변수가 미래에 미칠 영향을 예측한다. 이 방법은 가용자료의 부족 때문에 미래예측 모형으로서 한계가 생길 수 있으므로, 회귀식에 포함되지 못한 변수에 의한 영향과 다른 변수와의 관련성 때문에 생길 수 있는 설명력은 포함될 수 없다. 그럼에도 불구하고 향후에 예측 가능한 변수에 의한 질병 영향을 분석하는데 유용한 도구가 될 수 있고 구조모형에 비해 필요한 자료의 양이 적은 장점이 있다.

본 연구는 생태학적 분석방법을 적용하였다. 본 연구는 국내 말라리아 발생이 기후변화의 영향인지, 외부로 부터의 유입(북한지역에서 유입되었다는 견해)에 의한 것인지 그 발생 유래에 대한 역학적인 문제에 관심이 있는 것이 아니다. 개인 수준에서 말라리아 감염에 영향을 미치는 요소의 분석이 목적이 아니라 지역단위에서 발생하는 말라리아 발생자수와 기상요소와의 관련성을 살펴본 것이다. 따라서 기존 개인 분석단위 연구에서 이미 관련성이 밝혀진 기상변수(기온 및 강수량)를 분석에 사용하였다. 분석결과 말라리아 발생 예측은 말라리아 생활사와 아주 유사한 경향을 보여주었다. 일반적으로 말라리아는 16℃ 이상에서 발생하며 30℃ 근처에서 발생자수가 급격히 감소하는 경향이 있다. 그러나 분석기간이 3년간이라는 제한과 기상요소 이외의 변수 예를 들면 방역 관리 등에 대한 통제가 향후 연구에서 극복될 필요가 있다. 동시에 본 연구는 해외유입에 의한 말라리아 발생을 모두 포함하여 분석하였다. 해외유입을 고려할 때 특히 유의할 점은 겨울철 말라리아 발생과 관련한 부분인데 겨울철 기온대에서 거의 0에 가까운 기온기를 가져 거의 영향력을 가지지 못하는 것으로 나타난 예측결과에 근거하여 그 영향력이 크지 않은 것으로 판단하였다.

신호성은 미국 University of South Carolina 보건대학원에서 보건학 박사학위를 받았으며 현재 한국보건사회연구원에서 부연구위원으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 의료형평성, 기후변화, 공간 분석 등이며 현재 기후변화 취약성 평가, 의료패널을 이용한 접근성 분석 등을 연구하고 있다.
(E-mail: shin_hs@kihasa.re.kr)

참고문헌

- 강수윤(2010). 겨울철 모기박멸 '정화조를 공격하라!' 뉴스시, 2010.12.19 07:01.
<http://media.daum.net/society/others/view.html?cateid=1067&newsid=20101219070109991&p=newsis> 2011년 1월 27일 인출.
- 고원규(2007). 국내 말라리아의 재유행. 대한의사협회지, 50(11), pp.959-966.
- 박재원, 홍지영, 염준섭, 조성래, 오대규(2009). 국내 말라리아 퇴치사업의 현황 분석과 개선 방안. 감염과 화학요법, 41(1), pp.42-53.
- 박윤형, 김호, 장원기, 김용배, 황보영, 기모란 외(2006). 기후변화에 의한 전염병 발생영향 통합관리체계 구축. 서울: 건강증진기금사업지원단.
- 신호성, 김동진(2008). 기후변화와 전염병 질병 부담. 서울: 한국보건사회연구원.
- 신호성, 이수형, 김동진, 이종경, 최성은(2009). 기후변화에 따른 식품안전분야의 사회경제적 손실비용 평가. 서울: 한국보건사회연구원.
- 신호성, 이수형, 추장민(2009). 표준화사망비와 지역결핍지수의 상관관계: 지역사회 통합 결핍지수 개발. 예방의학회지, 42(6), pp.392-402.
- 오성남, 주옥정, 문영수, 이규석(2010). 기후변화와 한반도 도시지역의 기온 증가. 환경영향평가, 19(2), pp.169-177.
- 염준섭, 박재원(2008). 재출현 이후 국내 삼일열 말라리아 발생 현황. 감염과 화학요법, 40(4), pp.191-198.
- 장재연, 박윤형 외(2008). 기후변화에 따른 건강피해 모니터링 및 위험인구 감소전략 개발 연구. 아주대학교·건강증진사업지원단.
- 질병관리본부(2010). 2009년 사례조사서 기반 국내 감염 말라리아 환자의 역학적 특성. 주간건강과질병, 3(16), pp.257-261.
- 최광용, 최종남, 권호장(2005). 높은 체감온도가 서울의 여름철 질병 사망자 증가에 미치는 영향, 1991-2000. 예방의학회지, 38(3), pp.283-290.
- Almon S.(1965). The Distributed Lag Between Capital Appropriations and Expenditures. *Econometrica*,. 33(1), pp.178-196.
- Baccini, M., Biggeri, A., Accetta, G., Kosatsky, T., Katsouyanni, K., Analitis, A., et al.(2008). Heat effects on mortality in 15 european cities.

- Epidemiology(Cambridge, Mass.)*, 19(5), pp.711-719.
- Braga, A. L. F., Zanobetti, A., Schwartz, J.(2002). The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 U.S. cities. *Environmental health perspectives*, 110(9), pp.859-863.
- Hales, S., Woodward, A.(2003). Climate change will increase demands on malaria control in africa. *The Lancet*, 362(9398), pp.1775-1775.
- Hashizume, M., Armstrong, B., Hajat, S., Wagatsuma, Y., Faruque, A., Hayashi, T., et al.(2007). Association between climate variability and hospital visits for non-cholera diarrhoea in bangladesh: Effects and vulnerable groups. *Int. J. Epidemiol*, 36(5), pp.1030-1037.
- Hastie, T., Tibshirani, R.(1995). Generalized additive models for medical research. *Statistical methods in medical research*, 4(3), pp.187-196.
- IPCC(2008). Climate Change 2007 - Impacts, Adaptation and Vulnerability.
- Michelozzi, P., Kirchmayer, U., Katsouyanni, K., Biggeri, A., McGregor, G., Menne, B., et al.(2007). Assessment and prevention of acute health effects of weather conditions in europe, the PHEWE project: Background, objectives, design. *Environmental health*, 6(12), pp.doi:10.1186/1476-069X-6-12.
- Muggeo, V. M. R.(2003). Estimating regression models with unknown break-point. *Statistics in medicine*, 22, pp.3055-3071.
- National Research Council.(2001). Under the weather: climate, ecosystems, and infectious disease. National Academy Press.
- Patz, J. A., McGeehin, M. A., Bernard, S. M., Ebi, K. L., Epstein, P. R., Grambsch, A., et al.(2001). The potential health impacts of climate variability and change for the united states. executive summary of the report of the health sector of the U.S. national assessment. *Journal of environmental health*, 64(2), pp.20-28.
- Ruppert, D.(2002). Selecting the number of knots for penalized splines. *Journal of computational and graphical statistics*, 11(4), pp.735-757.

- Schwartz, J.(2000). The distributed lag between air pollution and daily deaths. *Epidemiology, 11*, pp.320-326.
- Western, B., Kleykamp, M.(2004). A bayesian change point model for historical time series analysis. *Political Analysis, 12*, pp.354-374.
- WHO(1979), synopsis of the world malaria situation. *Weekly Epid, Rec. 56*, pp.145-149.

Malaria Prevalence Rate and Weather Factors in Korea

Shin, Hosung

(Korea Institutes for Health and Social Affairs)

Malaria has been eradicated since 1970's, but has re-emerged near the DMZ in 1993. Malaria prevalence rates have tended to increase over time. The purpose of this study is to investigate the impact of weather factors on municipal malaria patient numbers, and to predict the future prevalence rate of malaria. The data came from 2005~2007 claim data from the National Health Insurance, which is calculated based on the municipal level in weekly time bands. Weather data were taken, including daily temperature and precipitation from 194 automatic weather station (AWS) managed by the Korea Meteorological Administration. The analytical approach that was used were a generalized estimation equation and a generalized linear model for a time-series of Poisson distribution. To account for the seasonal patterns of malaria not directly due to weather factors, Fourier terms with annual periodicity were introduced into the model. To allow autocorrelation due to the biological process of pathogen development and host reactions, we also considered time lags, cubic spline, and change point analysis. Malaria patients had continuously shown an increase during the study period. In 2007, for example, malaria patients were 2.5 on average and 400 in the maximum compared to those of the year 2005, which were 1.3 on average and 262 in the maximum. The distribution of the predicted model showed the shape of a character 'M', which had three change points in temperature 0.8°C, 20.2°C, and 31.2°C. In the prediction model of malaria, marginal temperature effects after the second change point temperature (20.2°C) was a 0.202 increase of the weekly municipal patients per 100,000 of population. While analyzing the effects of a regional socioeconomic status on malaria prevalence, we found the inverse relationship between estimated malaria patients and the deprivation index. In this study, malaria largely occurred near the DMZ, but we need more detailed investigations in specific regions such as costal areas and large cities.

Keywords: Malaria, Weather Factor, Composite Deprivation Index, Geographic Information System, Climate Change