기상자료를 활용한 보건재난 연구: 쯔쯔가무시 감염병을 중심으로

A Study on the Public Health Disasters using Meteorological Factor: Scrub Typhus in South Korea

이영곤* · 최규현** · 객재원***

Lee, Younggon*, Choi, Kyuhyun**, and Kwak, Jaewon***

Abstract

Various disasters were continuously increased due to the climate change. Among these, scrub typhus considered as the most rapidly increased and urgent public health disasters. It's a 3rd grade nationally notifiable disease that had directly influenced by climate change and has greatly increased in Korea since 2000 onwards. The objective of this study is to investigate time-delayed correlation between scrub typhus and meteorological factor, and to construct a disease incidence model for prediction. The minimum, mean and maximum temperature, relative humidity and average wind speed were identified as the correlated factors. And the incidence model based on Artificial Neural Network were established, and the correlation were analyzed.

Key words : Public Health Disaster, Scrub Typhus, ANN, Meteorological Factor

요 지

기후변화로 인하여 여러 재해가 지속적으로 증가하고 있으나 그 중에서도 쯔쯔가무시는 가장 극적으로 증가하는 보건재난으로 간주된다. 쯔쯔가무시는 법정전염병 제3종으로서 2000년 이후에 높은 증가율을 보이고 있으며, 기후변화의 영향을 직접적으로 받은 감염병으로 알려져 있다. 이에 본 연구에서는 쯔쯔가무시 발병자료와 동기간의 기후인자를 이용하여 시간지연을 포함하는 상관관계를 규명하고 이를 모형화 하고자 한다. 월평균 최소, 평균, 최대기온과 상대습도 및 평균풍속이 상관성을 가지고 있음을 제시하고, 인공신경망을 이용하여 쯔쯔가무시의 감염수 모형으로 구축하였으며 이를 이용하여 쯔쯔가무시와 기후인자와의 관계를 비교 분석하였다.

핵심용어 : 보건환경재해, 쯔쯔가무시, ANN, 기후인자

1. 서 론

쯔쯔가무시는 *Orientia tsutsugamushi* 박테리아로 인하여 발병하는 리케차병의 일종으로서 감염된 진드기종이 사람을 무는 과정을 통하여 감염된다. 특히, 일본과 동남아시아의 여러 지방에서 풍토병으로 간주되어 왔으며, 약 10억명의 사람들이 매년 감염의 위험에 처해 있다(Watt and Parola, 2003). 일반적으로 쯔쯔가무시는 한국에서는 드문 질병으로

간주되어왔다. 1953년에 최초로 보고된 이후에 발견되지 않다가 1986년에 출현이 재보고되었으며, 그후 2000년대 초반까지 매년 2~300명의 케이스가 보고되어 왔다(Bang et al., 2008). 그러나, 2000년대 이후로는 매년 2,000명 이상의 발병이 보고되고 있으며, 현재는 법정3종 전염병 중에서도 중요한 감염병으로 간주되고 있다(KCDC, 2017). 이러한 질병의 창궐에는 여러 분석과 추측이 이루어져 왔으나, 일반적으로 곤충을 매개체로 사용하는 전염병의 경우 기상조건

*정회원, 국토교통부 낙동강홍수통제소 시설주사(Tel: +82-51-603-3347, Fax: +82-51-201-3494, E-mail: dleh3@korea.kr)

Member, Facility Officer, Nakdong Flood Control Office, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

**정회원, 국토교통부 낙동강홍수통제소 시설연구관(E-mail: choikyuhyun@korea.kr)

Member, Senior Researcher, Nakdong Flood Control Office, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

***교신저자, 정회원, 국토교통부 낙동강홍수통제소 시설연구사(Tel: +82-51-603-3347, Fax: +82-51-201-3494, E-mail: hydrokwak@gmail.com)

Corresponding Author, Member, Senior Officer, Nakdong Flood Control Office, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

에 매우 민감하다는 점(Jang et al., 2003)과 2000년대 초반부터 기후변화에 의한 실질적인 기상조건의 변화가 발생하였다는 연구를 고려하면(Choi et al., 2004), 기후변화로 인한 영향이 주요한 원인으로 보인다.

Kalra and Rao (1951)가 인도 카슈미르 지방의 쯔쯔가무시가 기온과 밀접한 관련이 있음을 제시한 이후로, 기상인자와 쯔쯔가무시와의 관련성을 입증하는 수많은 연구가 이루어졌다. 그 예로, 쯔쯔가무시의 발병은 우기에 더 높게 나타나며(Kelly et al., 2009), 특히, 기후유형과 연관성이 있음이 발견되기도 하였다(Kawamura et al., 1995). 한국에서의 쯔쯔가무시의 발병은 기온과 습도(Ree, 1994; Kim et al., 2010), 강우량(Kong et al., 2007)과 밀접하게 관련된 것으로 나타났다. 이외에도 많은 연구에서 쯔쯔가무시는 기후인자와 높은 연관성을 지니는 것으로 제시되었으며, 이 때문에 기후변화에 따른 주요한 보건재난의 하나로서 받아들여지게 되었다(Jang et al., 2003). 특히, 대한민국의 경우에는 2000년 이후로부터 실제 기후조건이 변화하고 있으며(Choi, 2004), 근래에 들어서는 남부 지방의 중요한 감염병의 하나로 대두되었다(Cho and Chu, 2013). 이 때문에 쯔쯔가무시를 비롯한 기후조건에 민감한 감염병에 대하여 그 발생 추이나 발병을 예측하기 위한 연구가 수행되어왔다. 예를 들어서 Shi-yong et al. (2011)은 중국 허베이성의 스좌장시에서 발병하는 쯔쯔가무시를 기후인자를 이용하여 예측하였으며, Kim and Cheong (2009)는 기후인자별로 그 영향정도를 분석하기도 하였다. 대한민국에 대해서도 Shin and Kim (2009)이 지금 같은 기후변화가 지속된다면 쯔쯔가무시의 발병이 5.98% 증가할 것이라는 예측을 내놓은 바 있으며, Kim and Jang (2010)이 여름철의 기후가 쯔쯔가무시 발병에 영향을 준다는 것을 발견하기도 하였다. 여기서 더 나아가서, 기후자료와 쯔쯔가무시의 발병이 지연효과(time-lagged effect)를 가지는 점이나(Yang et al., 2014), 향후에 이러한 감염병의 변화가 기후변화로 인한 주요한 사회적 장애요인이 될 것으로 제시하기도 하였다(Yoon et al., 2014). 다만, 대한민국에서는 직접적인 예측이나 분석은 아직까지는 미흡한 실정으로서 보건재난의 기작, 또는 한 부류로서 다루어지고 있다. 그러나, 최근들어 기후변화로 인한 영향이 가시적으로 나타나면서 직접적인 보건재난으로 받아들여지고 있으며(Kim, 2005; Kim and Lee, 2008; Wang, 2014), 특히 쯔쯔가무시와 같이 매개체를 이용하는 감염병의 경우에는 감염의 전파기간 및 범위가 지속적으로 변화 및 증가하고 있어 시급한 연구가 요구된다(Gage et al., 2008).

따라서, 본 연구의 목적은 대한민국에서 최근 급증하고 있는 쯔쯔가무시의 감염 및 발병과 기후인자와의 상관관계를 규명하고 예측하기 위한 방법론을 제시하는 것이다. 이를 위하여 인공신경망 및 2001년부터 2015년까지의 감염병 자료를 통한 예측 모형을 구축하여 분석하였다.

2. 이론적 배경 및 자료

2.1 보건재난현황 및 자료수집

한국에서의 쯔쯔가무시의 감염은 1986년도에 최초로 보고되었으며, 감염체는 *L. pallidum* 및 *L. scutellare*이 발견되었으나 주로 *L. scutellare*이 주요한 병원체로 나타나고 있다(Lee et al., 2012).

병원체에 감염된 털진드기류가 사람의 혈액을 흡혈할 때 전염되는 것이 주요한 감염경로이며, 진드기의 서식지인 덩불이나 숲, 초지 등에서 주로 감염이 발생하게 된다. 이러한 쯔쯔가무시는 기후변화의 영향이 가시화된 이후로 가장 극적으로 증가한 보건재난의 하나이다. 특히, 1994년에 단 238명만이 발병했던 것에 비하여, 10년 뒤인 2004년에는 4,698명의 감염되었으며, 2013년에는 10,365명이 감염되었다. 이는 매년 24%에 가까운 증가율에 해당하며, 기후변화에 따른 재난 중에서도 가장 큰 증가율을 보이는 것이다(Cho and Chu, 2013; Table 1 참조).

Table 1. Number of Case of Scrub Typhus in Korea (KCDC, 2017)

Year	1994	1995	1996	1997	1998	1999
# of Case (Person)	238	274	263	277	1,140	1,342
Year	2000	2001	2002	2003	2004	2005
# of Case (Person)	1,758	2,638	1,919	1,415	4,699	6,780
Year	2006	2007	2008	2009	2010	2011
# of Case (Person)	6,480	6,022	6,057	4,995	5,671	5,151
Year	2012	2013	2014	2015		
# of Case (Person)	8,604	10,365	8,130	9,513		

본 연구에서는 이러한 쯔쯔가무시와 기후와의 관계를 규명하기 위하여 국내의 쯔쯔가무시 월별 발병자료와 동기 간의 다양한 기후자료를 수집하였다. 쯔쯔가무시의 월별 감염자 자료는 질병관리본부의 감염병자료를 이용하였으며(Fig. 1 참조), 기후자료는 기상청 유인기상대(ASOS)의 자료를 활용하였다. 일반적으로 상관관계나 모형화를 위해서는 최대한 장기간의 자료를 사용하는 것이 바람직하나, 자료의 일관성 및 감염병 자료의 조사주기를 고려하여 2001년부터 2015년 사이의 자료를 수집하였다.

또한, 쯔쯔가무시는 털진드기목에 속하는 진드기를 통하여 전파된다. 털진드기는 기온이 상대적으로 높고, 수풀, 삼림, 농경지가 많은 지방에서 주로 서식한다. 따라서, 전라남도 및 경상남도에 높게 분포하며, 상대적으로 경기도 및 강원도 북부에서는 거의 발견되지 않고 있다. 전국의 ASOS

Fig. 1. Scrub Typhus Incidence Cases of South Korea (KCDC, 2016)

기후자료 중 해당 지역에서 조사된 털진드기목의 개체수를 가중치로 하여 면적기후자료화 하였으며, 털진드기과가 조사되지 않은 지역의 기상자료는 제외하였다(Fig. 2 참조).

Fig. 2. Spatial Distribution of Trombiculidae

2.2 Granger's causality

많은 연구를 통하여 찌르가무시와 기후인자의 연관성이 제시되었으나, 어떠한 기후인자와 찌르가무시 감염과의 상관성을 특정하는 것은 매우 난해한 일이며, 특히 대한민국에서의 찌르가무시는 기후인자와 시간지연효과를 가지는 연관성도 지적되었다(Kim and Jang, 2010; Yang et al., 2014). 따라서, 찌르가무시와 기후인자와의 상관성이나 영향을 분석하기 위해서는 시간적인 관련성을 고찰할 수 있는 방법이 필수적이다. 본 연구에서는 이러한 점을 고려하여

Granger 인과관계 검정을 적용하였다. Granger 인과관계 검정은 1969년에 Granger (1969)가 제안한 기법으로 독립변수와 종속변수와의 관계가 불분명한 경우에 상관성을 검증하는 방법이다. Granger 인과관계 검정은 시차분포모형(distributed lag model)을 이용하여 상관관계를 검정하며, 여기서 시차분포모형이란 회귀모형이 설명변수의 현재 관측값은 물론 과거의 관측값까지 포함하고 있는 설명변수들로 정의된 경우의 모형을 말한다. Granger 상관검정은 다음과 같은 두 식에서 각각의 변수 X 와 Y 를 제거하는 과정을 거친다.

$$\begin{aligned}\epsilon_1(t) &= X(t) - \left(\sum_{i=1}^n \omega_1 X(t-i) + \sum_{i=1}^n \omega_2 Y(t-i) \right) \\ \epsilon_2(t) &= Y(t) - \left(\sum_{i=1}^n \omega_3 X(t-i) + \sum_{i=1}^n \omega_4 Y(t-i) \right)\end{aligned}\quad (1)$$

여기에서 X 및 Y 는 상관관계를 검정하려는 각각의 시계열이며, t 및 i 는 시계열의 시간 및 시간순을 나타낸다. ϵ 은 모형의 오차, ω 는 각각의 회귀모형에서의 파라미터를 나타낸다. 여기에서 각각의 모형에 따른 오차 ϵ_1 및 ϵ_2 이 각각의 시계열 Y 및 X 를 식에 포함하였을 때 감소한다면, 이는 각각의 시계열이 상관관계에 있다는 증거가 될 수 있다. 이 경우 ω 값이 0보다 더 큰 값을 보이며, F-검정 값으로 나타낼 수 있다.

2.3 인공신경망

상관관계에 있는 시계열자료를 모형화하기 위한 여러 가지 기법이 존재하고 있으나, 계절성이 존재하는 시계열에 대해서는 ARIMA와 같은 모형보다 인공신경망이 더 유용한 것으로 제시된 바 있다(Kihoro et al., 2004). 인공신경망은 생물의 시각 신경망을 모방하여 만들어진 알고리즘으로서 퍼셉트론 이론이 처음으로 제안된 이후로(Rosenblatt, 1958) 비선형 자료의 분류 및 모형화를 위하여 널리 사용되고 있다.

인공신경망은 크게 자료를 받아들이는 입력층, 이를 결과 값으로 나타내는 출력층, 또한, 자료와 결과와의 상관관계를 나타내는 은닉층과 각각의 층을 구성하는 노드(Node)로 구성되어 있다(Fig. 3 참조). 각각의 노드의 연결강도를 자료를 통하여 학습함으로써 신경망을 구성하게 되며, 이 과정에서 역전파 알고리즘을 통하여 각각의 연결강도를 조정하게 된다(Battiti, 1989). 따라서, 역전파 알고리즘과 각각의 계층의 개수를 선정하는 것이 인공신경망의 효율을 결정짓는 중요한 요소가 된다. 본 연구에서는 기후자료를 비롯한 비선형 자료에 대해서 좋은 결과를 보여주었던 Levenberg-Marquardt 역전파 알고리즘을 선정하였다(Battiti, 1989).

Fig. 3. ANN Schematization

3. 발병모형 입력자료 선정

많은 선행연구와 더불어서 Fig. 1에서의 자료를 보면 대한민국의 쯔쯔가무시 발병은 계절성을 지니고 있는 것으로 보인다. 이러한 계절성은 각종 회귀모형이나 기타 선형적인 모형 구축에서 오차를 발생시키게 되며(Bernstein, 1998), 실제로 문순기후 지역에서의 말라리아 모형화에서 계절성으로 인한 오류가 발생한다는 연구결과가 제시된 바 있다(Briët et al., 2008). 따라서, 본 연구에서는 입력자료 선정에 앞서 계절성을 제거하기 위하여, 20년간의 월평균치를 시계열에서 차감하는 방법을 적용하였다(Kawale et al., 2011). 이러한 방법을 이용하여 계절성이 제거된 기후자료와 쯔쯔가무시 감염자수와의 상관관계를 나타낸 산포도는 Fig. 4와 같다.

계절성이 제거된 기후인자와 쯔쯔가무시의 감염수와의 산포도를 보면 기존의 연구결과와는 상이한 결과를 나타낸다. 각각의 산포도에 나타난 Pearson 상관계수를 보면 각각의 기후인자와 쯔쯔가무시의 감염수는 큰 관계가 없는 것으로 나타났다. 대부분의 상관계수가 0.0~0.2 사이로 나타났으며, 이는 상관관계가 거의 없는 것으로 보아도 무방한 수준이다. 이는 기존의 연구(Yang et al., 2014)에서 제시된 것과 같이 기후인자와 쯔쯔가무시가 지연된 상관성을 가지고 있기 때문인 것으로 판단된다. 특히, Kim and Jang (2010)의 연구결과에 따르면 여름기간의 기후와 큰 연관성을 가지고 있는 것으로 판단되며, 일반적인 쯔쯔가무시의 감염이 9월부터 증가하는 것을 고려하면 최대 5개월 정도의 시간적인 지연이

Fig. 4. Scatter Plot of Scrub Typhus and Each Variable, the Number Indicates Pearson's Correlation Coefficient

Table 2. Number of Case of Scrub Typhus in Korea (KCDC, 2017)

Meteorological factor	Time delay (month)					
	1	2	3	4	5	6
Mean Temp.(°C)	61.74**	3.60	1.62	3.87	6.02*	6.06*
Minimum Temp.(°C)	4.01	0.96	1.96	3.55	7.02*	7.60*
Maximum Temp.(°C)	89.86**	14.77**	12.14*	5.85	5.18	5.32
Precipitation (mm)	3.67	4.00	4.61	4.19	4.03	6.14*
Relative Humidity(%)	1.37	3.73	5.38	7.81*	9.35*	8.26*
Wind Speed (m/s)	1.68	1.97	2.11	29.11**	40.10**	43.06**
Duration of sunshine (h)	3.61	3.23	5.43	3.9	3.1	5.10
Cloud amount	4.37	4.68	5.53	4.44	3.9	4.15

있을 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 시간지연을 가지는 상관성을 확인하고 이에 따른 모형을 구축하기 위하여 Granger 상관검정을 적용하였다. 기존 연구결과를 고려하여 최장 시간지연은 6개월로 가정하였으며, 그에 따른 결과는 Table 2와 같다.

상관검정 결과에 따르면 쯔쯔가무시 발병과 가장 큰 상관성을 보인 것은 기온으로 나타났다. 평균기온은 1개월 및 5-6개월 시차를 두고 큰 상관성을 보였으며, 최저기온은 5-6개월 시차, 최고기온은 1개월부터 3개월 시차를 두고 상관성을 보였다. 또한, 상대습도는 4-6개월 시차 상관성을 보였으며, 풍속도 동일하게 4-6개월의 시차를 두고 상관성이 있는 것으로 나타났다. 다만, 상관성의 정도는 상대풍속이 굉장히 높게 나타났으며, 마지막으로 강수량, 일조시간, 운량의 경우에는 상관성이 낮은 것으로 나타났다.

이러한 결과는 기존의 연구결과가 주로 기온과 강수량과의 연관성을 제시(Kim and Jang, 2010) 했던 것에 비하여 기본적인 경향성은 유사하나 세부적인 연관성에서는 다소의 차이를 보인다. 가장 특징적인 것은 기온이 전체적으로 높은 상관성을 보인다는 점이며, 이는 기존의 연구와도 일치하는 결과로서 일반적인 곤충의 활동성이 기온에 영향을 받는다는 점을 고려하면 타당한 것으로 판단된다. 그러나, 이전의 연구에서 지적되지 않은 상대습도 및 풍속과의 상관성도 나타났는데, 공통적으로 4개월 및 5개월 시차를 두고 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 쯔쯔가무시 발병을 모형화하기 위한 입력자료로 평균기온, 최소 및 최대기온, 상대습도와 풍속의 5가지를 선정하였다. 세부적으로는 평균기온은 1, 5-6개월, 최고 기온은 1-3개월, 최소기온은 5-6개월, 상대습도와 평균풍속은 모두 4-6개월 시차자료를 입력자료로서 선정하였다.

4. 적용 및 결과

4.1 쯔쯔가무시 감염모형의 보정 및 검증

이전 절에서 선정된 기후자료, 쯔쯔가무시의 감염자료, 인공

신경망을 이용하여 쯔쯔가무시의 감염예측모형을 구축하였다. 인공신경망의 역전파 알고리즘은 Levenberg-Marquardt를 적용하였으며, 은닉층의 개수는 시행착오를 통하여 12개의 층을 선정하였다. 인공신경망의 학습을 위한 자료는 Fig. 1과 같이 2002년부터 2012년까지의 기후자료 및 쯔쯔가무시 감염수를 활용하였다. 모형화에 따른 효율을 비교하기 위하여 일반적으로 기후인자와 감염의 상관성 분석에 널리 사용되는 다중회귀모형을 적용하여 비교하였으며(Fig. 5(a) 참조), 인공신경망 모형 구축에 따른 결과는 Fig. 5(b)와 같다. 또한, 2012년부터 2015년까지의 기후자료와 쯔쯔가무시 감염수를 이용하여 구축된 모형을 검증하였으며, 그 결과는 Fig. 6과 같다.

4.2 결과 및 고찰

모형의 보정과 검증 결과를 보면 상대적으로 쯔쯔가무시의 감염을 잘 반영하는 것으로 판단된다. 모형의 보정 시에 예측값과 모의값의 분산을 나타내는 R^2 값이 0.91, $NRMSE$ 값이 각각 0.1를 나타내었으며, 일반적인 모형의 효율을 나타내는 Nash 효율계수도 0.90을 나타내고 있다(Fig. 5(b) 참조). 이는 일반적으로 사용되는 다중회귀모형이 각각 0.77, 0.1, 0.61의 효율계수를 보여주는 것에 비하여(Fig. 5(a) 참조) 더 설득력 있는 값을 보여주고 있다. 따라서, 구축된 쯔쯔가무시 감염예측모형은 충분한 설명력이 있다고 판단된다.

구축된 모형의 검증시에는 전체적인 모의의 효율성은 보정시보다는 다소떨어지는 것으로 나타났으나, R^2 값이 0.78, 전체적인 오차의 크기를 나타내기 위한 $RMSE$ 값이 593, Nash 효율계수는 0.83을 나타내었다. 전체적인 모의의 정도는 낮아졌으나, 상대적으로 그 정확도는 0.8 이상의 수치를 보여 쯔쯔가무시 감염수에 대한 설명력이 있는 것으로 판단되며 쯔쯔가무시 예방이나 사전대응 등에 유용하게 쓸 수 있을 것으로 보인다. 다만, 본 연구를 통하여 도출된 사항에 대해서 추가적인 조사와 연구를 통하여 규명하는 절차가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서 도출된 결과는 기후와의 상관성을 제시하였던 기존의 연구(Kim and Cheong, 2009; Shin and Kim, 2009;

Fig. 5. Calibration Results of Scrub Typhus Incidence Model with (a) multiple-regression model; (b) artificial neural network

Fig. 6. Validation Results of Scrub Typhus Incidence Model

Kim and Jang, 2010; Cho and Chu, 2013)와 전체적으로 유사한 결과를 나타내었으나 세부적인 부분에서 상이한 결과도 동시에 나타내었다. 기온이 가장 큰 상관성을 지닌 것으로 도출된 것은 기존의 연구와 동일하나, 상대습도 및 풍속과의 상관성은 기존의 연구에서 거의 지적되지 않은 사항이며 두 기후인자 모두 46개월 사이에 상관성을 보였다는 점과 기온도 동일하게 46개월에 상관성을 보였다는 점이 다르다 하겠다. 찌르가무시는 일반적으로 10-11월 사이에 집중적으로 환자가 발병하므로 이를 토대로 판단하면 46월의 상대습도와 풍속이 찌르가무시 감염과 관계가 있는 것으로 보인다. 일반적으로 찌르가무시의 주요한 매개체인 작은 소참진드기는 약충이 4-6월, 유충이 8월에 나타나는 것으로 알려져 있다(Chong et al., 2013). 특히 온도와 습도에 따라서 진드기의 미흡혈 생존기간이 달라진다는 연구(Barker et

al., 2014)를 고려하면, 상대습도와 풍속, 기온이 이 시기에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 특히, 풍속의 경우에는 계절에 따른 변동이 없이 지난 50년간 점차적으로 증가하는 경향성을 보여 왔으므로(Choi and Moon 2008), Table 2에서 보여주는 평균 풍속과 찌르가무시의 높은 상관성은 직접적인 연관성이 있다는 것을 의미한다. 또다른 특이점으로는 월평균 최고기온이 찌르가무시 감염에 가장 큰 상관성을 보였다는 점이다. 일반적으로 최고기온이 오후시간대의 기온과 관계가 높다는 점을 감안하면 낮시간대에 기온이 높을수록 작은소참진드기의 활동성이 높아지고 그에 따른 감염 횟수가 증가하는 것으로 의심된다. 그러나, 이러한 상관관계를 좀 더 명확하게 파악하기 위해서는 해당 진드기의 생태 및 생애주기에 대한 연구가 필요하며, 특히 습도와 풍속에 따른 생애주기 변동성에 대한 추적연구가 선행되어야 할

것으로 보인다.

마지막으로 본 연구의 한계점은 크게 두 가지로 나누어볼 수 있다. 첫 번째로 주요한 감염 매개체인 진드기류의 생태학적 특성을 고려하지 않았다는 점이다. 물론 기후인자를 고려하였으므로 진드기류의 기후민감성이나 활동성 등은 모형에 내재화되었을 가능성이 있다. 그러나, 정확한 원인과 상관분석을 위해서는 생태적 부분에서도 고찰하여야 할 것으로 보인다. 또다른 한계점은 과적합(Overfitting) 문제의 가능성이 있다는 점이다. 감염병의 경우 전술한 생태적, 기후학적, 병리학적 요인이 복합적으로 작용하여 나타나나 구축된 모형은 80% 이상의 설명력을 보여주고 있다. 찌찌가무시가 매년 유사한 감염상황을 보여주는 것을 고려한다면 과적합 문제를 일부 내포하고 있을 가능성이 있다. 그러나, 본 연구가 기존의 연구결과에 의거하여 가장 효율적인 접근 방법이라는 점은 변하지 않으며 본 연구에서 도출된 결과는 보건재난의 예방을 위한 기초자료로서 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 가장 극적으로 증가하고 있는 보건재난인 찌찌가무시 감염병과 기후인자를 모형화 함으로서 그 상관성을 규명하고 재해예방자료로서 활용할 수 있는 자료를 제공하고자 하였다. 연구 결과에 따르면 찌찌가무시는 기후인자와 시간지연을 포함한 상관관계에 있는 것으로 판단되며, 이러한 효과를 고려한 모형을 통하여 접근할 수 있는 것으로 판단된다. 연구를 통하여 도출된 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 찌찌가무시 감염병과 기후인자 사이의 상관관계를 규명하기 위하여 시계열 사이의 상관성을 고려할 수 있는 Granger 상관검정을 적용하였다. 상관분석결과, 최저, 평균, 최고기온 및 상대습도, 풍속의 5가지가 찌찌가무시와 연관성이 있는 것으로 나타났으며 1-3개월 및 4-6개월 사이의 시간지연을 포함하고 있는 것으로 판단된다.
- (2) 찌찌가무시 감염병의 기후인자 상관관계를 고찰한 결과, 기온과 큰 상관성이 있는 등 기존의 국외 연구와 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 다만, 기존의 연구에서 제시되지 않았던 상대습도와 풍속이 약 4-6개월의 시간지연을 가지고 상관성을 나타내는 것으로 나타나 이 부분에 대한 추가적인 연구가 요구된다.
- (3) 기후인자와 인공신경망을 이용하여 찌찌가무시 감염수에 대한 모형을 구축한 결과, 보정단계에서 90%, 검증단계에서 80% 수준의 설명력을 보였다. 따라서, 보건재난대응에 필요한 기초자료로서 활용할 수 있을 것으로 보인다.

References

- Bang, H.A., Lee, M.J., and Lee, W.C. (2008) Comparative Research on Epidemiological Aspects of Tsutsugamushi Disease (Scrub Typhus) between Korea and Japan. *Japanese journal of infectious diseases*, Vol. 61, p. 148.
- Barker, S.C., and Walker, A.R. (2014) Ticks of Australia. *Zootaxa*, Vol. 3816, No. 1, pp. 1-144.
- Battiti, R. (1989) Accelerated Backpropagation Learning: Two Optimization Methods. *Complex Systems*, Vol. 3, pp. 331-342.
- Bernstein, J. (1998) *Seasonality: Systems, Strategies, and Signals* (Vol. 13). John Wiley & Sons.
- Briët, O.J., Vounatsou, P., Gunawardena, D.M., Galappaththy, G.N., and Amerasinghe, P.H. (2008) Temporal Correlation Between Malaria and Rainfall in Sri Lanka. *Malaria Journal*, Vol. 7, p. 77.
- Cho, H.W., and Chu, C. (2013) The Geographical and Economical Impact of Scrub Typhus, the Fastest-growing Vector-borne Disease in Korea. *Osong Public Health and Research Perspectives*, Vol. 4, p. 1.
- Choi, E.S., and Moon, I.J. (2008) The Variation of Extreme Values in the Precipitation and Wind Speed During 56 Years in Korea. *Atmosphere*, Vol. 18, No. 4, pp. 397-416.
- Choi, Y. (2004) Trends on Temperature and Precipitation Extreme Events in Korea. *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 39, pp. 711-721.
- Chong, S.T., Kim, H.C., Lee, I.Y., Kollars, T.M.Jr., Sancho, A.R., Sames, W.J., Chae, J.S., and Klein, T.A. (2013) Seasonal Distribution of Ticks in Four Habitats Near the Demilitarised Zone, Gyeonggi-do (Province), Republic of Korea. *Korean Journal of Parasitology*, Vol. 51, No. 3, pp. 319-325.
- Gage, K.L., Burkot, T.R., Eisen, R.J., and Hayes, E.B. (2008) Climate and Vectorborne Diseases. *American Journal of Preventive Medicine*, Vol. 35, pp. 436-450.
- Granger, C.W.J. (1969) Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica*, Vol. 37, pp. 424-438.
- Jang, J.Y., Cho, S.H., Kim, S.Y., Cho, S.N., Kim, M.S., and Baek, K.W. (2003) *Assessment of Climate Change Impact and Preparation of Adaptation Program in Korea*. Ministry of Environment, Seoul, Republic of Korea. (in Korea)
- Kalra, S.L., and Rao, K.N. (1951) Typhus Fevers in Kashmir

- State. Part II. Murine Typhus. *The Indian Journal of Medical Research*, Vol. 39, pp. 297-302.
- Kawale, J., Chatterjee, S., Kumar, A., Liess, S., Steinbach, M., and Kumar, V. (2011) Anomaly Construction in Climate Data: Issues and Challenges. *Proceedings of NASA Conference on Intelligent Data Understanding*, CA, USA, pp. 1-15.
- Kawamura, A., Tanaka, H., and Takamura, A. (1995) *Tsutsugamushi Disease An Overview*. University of Tokyo Press, Tokyo, Japan.
- Kelly, D.J., Fuerst, P.A., Ching, W.M., and Richards, A.L. (2009) Scrub Typhus: The Geographic Distribution of Phenotypic and Genotypic Variants of *Orientia tsutsugamushi*. *Clinical Infectious Diseases*, Vol. 48, Suppl 3, pp. S203-S230.
- KCDC (Korea Centers for Disease Control & Prevention) (2017) *Scrub Typhus Incidence Cases of South Korea*. Retrieved from <http://www.cdc.go.kr/>
- Kihoro, J.M., Otieno, R.O., and Wafula, C. (2004) Seasonal Time Series Forecasting: A Comparative Study of ARIMA and ANN Models. *African Journal of Science and Technology*, Vol. 5, No. 2, pp. 41-49.
- Kim S.G. (2005) The problem on Public Health Effect During Disaster. *Magazine of Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 5, No. 4, pp. 24-31. (in Korean)
- Kim, J.H., and Cheong, H.K. (2009) Impacts of Climate on the Incidence of Scrub Typhus. *Epidemiology*, Vol. 20, No. 6, pp. S202-S203.
- Kim, J.H., and Lee, S.Y. (2008) A Brief Review of National Management System in Public Health and Medical Aspect. *Proceedings of KOSHAM 2008 Conference*, Seoul, Korea, pp. 375-376.
- Kim, S.H., and Jang, J.Y. (2010) Correlations between Climate Change-Related Infectious Diseases and Meteorological Factors in Korea. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, Vol. 43, pp. 436-444. (in Korean)
- Kong, W.S., Shin, E.H., Lee, H.I., Hwang, T.S., Kim, H.H., Lee, N.Y., Sung, J.H., Lee, S.G. et al. (2007) Time-spatial Distribution of Scrub Typhus and Its Environmental Ecology. *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 42, pp. 863-878. (in Korean)
- Lee, S.H., Lee, Y.S., Lee, I.Y., Lim, J.W., Shin, H.K., Yu, J.R., and Sim, S. (2012) Monthly Occurrence of Vectors and Reservoir Rodents of Scrub Typhus in an Endemic Area of Jeollanam-do, Korea. *The Korean Journal of Parasitology*, Vol. 50, pp. 327-331.
- Ree, H.I. (1994) *Medical Entomology* (3rd ed). Komoonsa Co., Seoul, Korea. (in Korean)
- Rosenblatt, F. (1958) The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain. *Psychological Review*, Vol. 65, No. 6, p. 386.
- Shin, H., and Kim, D. (2009) Climate Change and Infectious Disease in South Korea. *Epidemiology*, Vol. 20, No. 6, pp. 175-185.
- Wang, S.J. (2014) The Effect and Countermeasure on Public Health Due to Cold Wave. *Magazine of Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 14, No. 1, pp. 29-41. (in Korean)
- Watt, G., and Parola, P. (2004) Scrub Typhus and Tropical Rickettsioses. *Current Opinion in Infectious Diseases*, Vol. 16, pp. 429-436.
- Yang, L.P., Liu, J., Wang, X.J., Ma, W., Jia, C.X., and Jiang, B.F. (2014) Effects of Meteorological Factors on Scrub Typhus in a Temperate Region of China. *Epidemiology and Infection*, Vol. 142, pp. 2217-2226.
- Yoon, S.J., Oh, I.H., Seo, H.Y., and Kim, E.J. (2014) Measuring the Burden of Disease due to Climate Change and Developing a Forecast Model in South Korea. *Public Health*, Vol. 128, pp. 725-733.

Received	October 30, 2017
Revised	November 1, 2017
Accepted	November 22, 2017