통계적 모형을 통한 법주사와 선암사 목조건축물의 기상인자에 대한 상관성 분석

김영희¹ | 김명남 | 임보아 | 이정민 | 박지희
국립문화재연구소 복원기술연구실

Correlation Analysis of Meteorological Factors for Wooden Building in Beopjusa and Seonamsa Temples by Statistical Model

Young Hee Kim¹ | Myoung Nam Kim | Bo A Lim | Jeung Min Lee | Ji Hee Park
Restoration Technology Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage,
Daejeon, 34122, Korea

¹Corresponding Author: kimyh93@korea.kr, +82-42-860-9359

초 록 국내 목조건축문화재는 자연환경에 그대로 노출되어 있어 생물피해와 여러 환경요인에 의해 피해가 가속화되고 있다. 이에 본 연구에서는 보은 법주사와 순천 선암사에 기상인자 모니터링을 위한 자동기상측정장비를 설치하여 기상데이터를 수집하였다. 이들 데이터에 통계 모형을 적용하여 기상인자를 예측하고 기상인자별 예측성능을 비교하였다. 그 결과, 법주사와 선암사 두 곳 모두에서 대기온도와 이슬점온도의 상관계수가 0.95 이상으로 가장 높게 나타났으며 상대습도의 상관계수는 0.65로 낮게 나타났다. 결과적으로 일반선형모형은 대기온도와 이슬점온도를 예측하기에 적합하다는 것을 확인하였다. 기상인자들 사이의 상관성을 분석한 결과, 법주사와 선암사 모두 대기온도와 이슬점온도, 일사량과 증발량 사이에 강한 양의 상관성을 보였으며, 법주사에서는 대기온도와 증발량이 약한 양의 상관성을 나타내었고 선암사에서는 풍속이 대기온도와 상대습도에 대하여 약한 음의 상관성을 나타내었다. 선암사의 풍속은 겨울에 높고 여름에 평균 이하로 낮아지는 패턴을 보이는데, 이것은 대기온도와 상대습도가 높은 여름철에 수분의 증발을 막고 정체시키는 역할을 하는 것으로 판단되며, 결과적으로 이것이 선암사의 목조건축물 피해를 가속화시키는 것으로 판단된다.

중심어: 기상인자, 법주사, 선암사, 일반선형모형, 상관계수

ABSTRACT Exposure to the natural environment can cause damage to domestic wooden cultural assets, such as temples. Deterioration is accelerated by biological damage and various environmental factors. In this study, meteorological factors were monitored by equipment installed at Beopjusa temple of Boeun province and Seonamsa temple of Suncheon province. A statistical model was applied to these data to predict the meteorological factors and to compare the predictive performance of each meteorological factor. The resulting correlation coefficient between air and dew point temperatures was highest, at 0.95, while the correlation coefficient for relative humidity had a moderate value(0.65) at both the Beopjusa and Seonamsa temples. Thus, a general linear model was found to be suitable for predicting air and dew point temperatures. An analysis of correlation between meteorological factors showed that there was strong positive correlation between air temperature and dew point temperature, and between solar radiation and evaporation at both sites. There was a weak positive correlation

between air temperature and evaporation at Beopjusa temple. Wind speed was negatively correlated with both air temperature and relative humidity at Seonamsa temple. The wind speed at this location is higher than average in winter and lower than average in summer, and it was hypothesized that the low wind speed plays a role in reducing water evaporation in summer, when both air temperature and relative humidity are high. As a result, damage to the wooden buildings of Seonamsa temple is accelerated.

Key Words: Meteorological factor, Beopjusa temple, Seonamsa temple, General linear model, Correlation coefficient

1. 서 론

문화유산은 그 가치가 손상되면 복원하기 쉽지 않기 때문에 오랜 기간 동안 안전하게 보존·관리하는 것이 중요하다. 지속 가능한 관리와 효율성 측면에서 현재 문화유산에 미치는 영향으로 주목되고 있는 것이 기후변화이다. 전 세계의 많은 문화유산이 다양한 자연재해에 노출되어 있고, 이러한 자연적 위협에 따라 문화유산이 위치한 지역의 위험요인은 재난 위험과 열화 위험이라는 두 가지로 나눌 수 있다. 화재, 홍수, 지진 등과 같은 재난 위험은 많은 분야에서 공통된 주제이지만 열화 위험은 문화유산이 위치한 지역의 고유한 특성에 따라 다르게 나타나기도 한다. 해당 지역에서 문화재 손상이 환경요인에 의해 가속화 되는 경우라면 이러한 가속열화는 지역적 특성을 함께 반영하기 때문에 심각한 손상을 초래하게 된다. 문화재 관리자는 이러한 위험성을 평가하여 그 결과를 토대로 조치를 취하려고 한다(Waller, 1994). 위험성 평가는 위험을 식별하고 분석하여 최종 위험성을 수치화하거나 이미지화하여 판별이 용이하게 이루어져야 한다. 이러한 과정 중 가장 중요한 단계는 위험의 본질과 원인을 식별하여 위험 수준을 결정하는 것이다. 그러나 위험 분석에 사용된 데이터는 문화재가 위치한 지역에 따라 다르며 변수가 다양하고 이질적이다. 또한 모니터링 데이터의 수치를 포함하여 분석해야 하므로 과정이 단순하지 않다. 따라서 위험 분석의 어려움을 줄이는 효율적인 방법이 수립되어야 한다. 최근 연구에서는 위험 분석에 열화 분포 및 환경 모니터링 데이터를 이용한 방법이 제시되고 있으며 이러한 방법에 문화재가 위치한 지역의 지형적 요인과 환경 요인을 적용하여 보다 포괄적인 위험평가를 진행하고 있다(Qian *et al.*, 2016). 기후변화가 문화유산에 미치는 영향에 대한 과학적 연구를 목적으로 노아의 방주 프로젝트가 수행되었다. 문화유산을 위협하는 주요 기후변화 요소는 기온 상승, 강수량 증가, 상대습도의 변동성, 해수면 상승 및 기후대의 이동에 관한 것이었다

(Sabbioni *et al.*, 2010). 이 연구에서는 새로운 방법론으로 미래의 실내 기후를 예측하고 역사적인 건물에서 미래의 위험을 식별하기 위해 새로운 고해상도 기후 변화 모델링을 건물 시뮬레이션 도구와 결합하는 것을 소개하기도 했다(Leissner *et al.*, 2015). 또한 2010년까지 유럽과 지중해의 야외 기후에 대한 새로운 고해상도 시뮬레이션이 막스 플랑크 기상연구소(Max Planck Institute for Meteorology)에서 개발된 지역 대기모델 REMO 수행되기도 하였다(Jacob, 2001; 2009; Jacob *et al.*, 2012).

기상 변화는 앞으로 문화유산에 심각한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 문화유산의 가치에 심각한 손상을 초래할 수 있는 열화 위험을 줄이기 위해 본 연구에서는 보은 법주사와 순천 선암사에 기상인자 모니터링을 위한 장비를 설치하여 환경데이터를 수집하고, 통계적 모형을 적용하여 기상인자들의 예측성능을 조사하였으며, 기상인자들 간의 상관관계를 분석하여 지역적 특성을 파악하고자 연구를 수행하였다.

2. 연구방법

2.1. 관측지점

법주사와 선암사의 기상인자 측정지점은 총지선원 마당(N36°32'36.40", E127°50'03.25", 해발높이 352 m)과 산신각 북편 70 m 지점(N34°59'51.90", E127°19'47.68", 해발높이 265 m)이며, 법주사의 건물은 남남서 방향으로 배치되어 있고, 선암사 건물은 남남동 방향으로 배치되어 있다(Figure 1).

2.2. 기상요소

기상인자는 10개 항목 대기온도, 상대습도, 이슬점온도, 풍속, 풍향, 해면기압, 강수량, 일사량, 자외선량, 증발량에

Figure 1. Satellite map of Beopjusa and Seonamsa temple [(A): Weather station sites in Beopjusa temple, (B): Weather station sites in Seonamsa temple](Kim *et al.*, 2017).

대하여 자동기상측정기(Vantage Pro2 Plus, Davis Instrument, USA)를 설치하여 2015년 6월부터 2017년 12월까지 1시간 단위로 관측값을 수집하였다. 본 연구에는 기상인자 항목 중 대기온도(Air temperature, $^{\circ}\text{C}$), 상대습도(Relative humidity, %), 이슬점온도(Dew point temperature, $^{\circ}\text{C}$), 강수량(Rain, mm), 증발량(Evaporation, mm), 일사량(Solar radiation, MJ/m^2)과 풍속(Wind speed, m/s)에 대하여 통계분석을 실시하였다.

2.3. 일반선형모형

기상 및 환경자료는 다양한 변수에 대하여 수집되고 시간적·공간적 자료구조를 나타낸다. 이들 자료는 자료의 양이 방대하기 때문에 가공하여 지수형태로 만들거나, 정리·요약하여 새로운 변수를 만들어 분석하기도 한다. 분석과 예측을 위하여 역학모형 또는 실험이 주로 이용되나, 요즘은 통계적 모형을 이용하여 변수와 자료량을 축약시켜 자료처리시간이 짧아졌으며, 유용한 통계프로그램과 패키지들이 많아 분석과 예측을 위한 계산을 편리하게 산출할 수 있다(Sohn, 1998). 본 연구에서는 통계모형 중 시계열분석에 가장 많이 이용되고 있는 일반선형모형(General linear model), 즉 회귀모형(Regression model)을 이용하여 단기 간의 기상인자를 예측하고자 한다. 종속변수 Y 에 대해 p 개의 독립변수 X_i 의 가법적 선형모형이다. 여기서 $i=1, \dots, p$ 는 고려된 독립변수의 수를 의미하고, 종속변수는 다음과 같은 식으로 표현되며 오차항은 평균이 0이고 분산이 σ^2 인

정규분포를 따른다. ϵ 는 예측오차 또는 잔차를 의미한다.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i X_i + \epsilon, \quad \epsilon \sim N(0, \sigma^2)$$

모수의 추정치인 $\hat{\beta}$ 와 $\hat{\sigma}^2$ 는 최소자승법 또는 최우추정법으로 산출한다(Chatterjee and Price, 1997; Yoon, 2016).

2.4. 평가방법

통계모형의 예측성능을 평가하기 위해 평균제곱근오차(Root mean square error: RMSE)와 상관계수(Correlation coefficient: CC)를 사용하는데, 평균제곱근오차는 관측값과 추정값 또는 예측값의 차이를 다룰 때 흔히 사용하는 척도로 정밀도(precision)를 표현하는 방법이다. 오차의 제곱을 산술 평균한 값의 제곱근으로 그 값이 작을수록 정밀도가 높다는 의미이다. 상관계수는 관측값과 예측값 사이의 관련성을 나타내는 척도로서 $-1 \leq \rho \leq 1$ 의 범위의 값을 가지며 상관계수 ρ 가 +1에 가까울수록 강한 양의 선형관계를 나타내고 -1에 가까울수록 강한 음의 선형관계를 가진다는 의미이다. 상관계수 $\rho=0$ 이면 두 변수간의 선형관계는 없으며, 0에 가까울수록 선형관계가 약해진다는 의미이다(Wilks, 2011). 본 연구에서는 상관계수를 이용하여 관측값과 예측값의 관련성 여부를 판단하였으며, 기상인자들 간의 상관성도 상관계수를 이용하여 분석하였다.

Figure 2. Comparison of observed and predicted values of temperature, dew point and humidity of Beopjusa temple.

Figure 3. Comparison of observed and predicted values of temperature, dew point and humidity of Seonamsa temple.

Table 1. Regression equation and R-square value for meteorological factors of Beopjusa and Seonamsa temple

	Beopjusa temple		Seonamsa temple	
Temperature (°C)	$y=0.9643x-0.0316$	$R^2=0.9634$	$y=0.9673x+0.0159$	$R^2=0.9646$
Humidity (%)	$y=0.8841x+8.6094$	$R^2=0.9536$	$y=0.9231x+5.5647$	$R^2=0.9615$
Dewpoint (°C)	$y=0.9625x-0.2158$	$R^2=0.9644$	$y=0.9636x-0.1551$	$R^2=0.9658$

$$CC = \frac{\sum_{i=0}^{N_p} (\chi_i - \bar{\chi})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N_p} (\chi_i - \bar{\chi})^2 \times \sum_{i=0}^{N_p} (y_i - \bar{y})^2}}$$

여기서 χ_i 는 기상인자의 관측값이고 y_i 는 기상인자의 예측값을 의미하며 N_p 는 모형검정자료의 수를 의미한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 일반선형모형으로 기상인자 예측

본 연구에 사용한 모형화 자료는 범주사와 선암사에 설치한 자동기상측정장비로부터 수집된 2015년 6월부터 2017년 12월까지의 시간자료이다. 통계 데이터 분석을 통하여 범주사와 선암사 관측값에 대한 시간별 예측값을 산

출하였으며, 대기온도, 이슬점온도와 상대습도에 대하여 관측값과 예측값의 월평균 데이터를 서로 비교해 보았다 (Figure 2, 3). 예측값은 시계열 데이터의 특성을 고려하여 독립변수를 시간으로 하여 과거의 관측치를 시간의 흐름에 따른 가중치를 주고 합산하여 예측하는 지수평활법(Exponential smoothing)과 이전에 생긴 불규칙한 현상 이후의 결과에 편향성을 초래하는 이동평균(Moving average) 현상으로 구분하여 산출하였다. 각각의 기상인자들에 대한 관측값과 예측값을 이용하여 회귀분석을 실시하여 다음의 회귀식을 도출하였다(Table 1). 법주사와 선암사 두 곳 모두 대기온도와 이슬점온도에서 관측값과 예측값의 차이가 적었으나 상대습도에서는 예측값과 차이가 나는 구간이 관찰되었다.

법주사의 경우는 2015년 10월, 2016년 11월과 2017년 3월에서 관측값과 예측값의 차이를 보였으며, 선암사의 경우는 2016년 11월, 2017년 3월과 2017년 11월에서 차이를 보였다. 예측값은 기상인자 관측값을 바탕으로 산출한 것으로 차이가 나는 것은 기상인자 예측값 산출 시 적용한 가중치와 상수 값이 대기온도와 이슬점온도 보다 상대습도에서 차이를 나타내는 것으로 사료된다. 이것은 상대습도에 적용한 방법이 적합도가 낮다는 것으로 상대습도는 기상인자 외에 다른 공간적 요소를 추가적으로 고려할 필요가 있다. 또한, 기상인자들의 월평균 데이터는 그 차이가 크지 않아 일평균이나 시간별 데이터를 이용하여 통계처리를 하는 것이 이러한 데이터 오차를 줄일 수 있을 것이다.

Figure 4. The scatter plot between observed and predicted values in Beopjusa and Seonamsa temples.

Table 2. The validation results of observed value and predicted value by year in Beopjusa temple

	Year	Temp. ^a (°C)	Humidity (%)	Dew pt. ^a (°C)	Rain (mm)	ET ^a (mm)	Solar radiation (MJ/m ²)	Wind speed (m/s)
Obs.	2015*	15.2	81.1	11.5	575.2	454.7	133.4	0.5
	2016	12.3	76.6	7.7	1005.2	733.6	142.0	0.5
	2017	10.9	75.4	6.1	1131.6	773.8	145.9	0.4
Pred.	2015*	15.1	79.8	11.5	572.6	453.9	131.8	0.5
	2016	12.3	76.5	7.7	1005.2	733.0	142.3	0.5
	2017	10.9	75.2	6.1	1130.8	772.2	145.5	0.4
Correl.	2015	0.966	0.561	0.952	-0.006	0.652	0.589	0.279
	2016	0.972	0.639	0.950	0.252	0.679	0.557	0.341
	2017	0.978	0.681	0.956	0.218	0.731	0.620	0.353
	All	0.974	0.655	0.955	0.203	0.694	0.591	0.333

*Data from June to December 2015, ^aAbbreviation of temperature, dew point temperature, evaporation

Table 3. The validation results of observed value and predicted value by year in Seonamsa temple

	Year	Temp. ^a (°C)	Humidity (%)	Dew pt. ^a (°C)	Rain (mm)	ET ^a (mm)	Solar radiation (MJ/m ²)	Wind speed (m/s)
Obs.	2015*	16.3	84.3	13.4	978.4	425.0	129.2	0.3
	2016	13.7	78.5	9.5	1437.6	695.5	137.1	0.4
	2017	12.8	73.9	7.6	827.8	808.2	147.3	0.4
Pred.	2015*	16.4	84.1	13.4	975.4	423.5	129.2	0.3
	2016	13.7	78.4	9.5	1440.4	695.2	137.1	0.4
	2017	12.6	72.9	7.5	826.8	808.2	145.3	0.4
Correl.	2015	0.967	0.538	0.954	0.125	0.458	0.435	0.442
	2016	0.970	0.629	0.947	0.074	0.500	0.411	0.678
	2017	0.970	0.622	0.946	0.303	0.562	0.471	0.651
	All	0.970	0.650	0.950	0.144	0.519	0.445	0.648

*Data from June to December 2015, ^aAbbreviation of temperature, dew point temperature, evaporation

3.2. 기상인자 관측값과 예측값의 산점도 및 상관성 분석

법주사와 선암사의 기상인자 일평균 데이터를 이용하여 관측값과 예측값의 산점도를 비교해 보았다. Figure 4의 x축은 자동기상측정장치에서 얻은 실제 관측값이고 y축은 일반선형모형을 적용하여 산출한 예측값이다. 산점도는 두 변수가 서로 연관되는지를 확인하기 위한 분석방법으로 두 변수가 서로 관련되었을 때는 점들이 좌표평면에 직선이나 곡선형태로 집중되게 나타나고 반면에 서로 연관되지 않을

때는 평면에 고루 분포하게 된다. 각 기상인자들에 대한 산점도 그래프를 Figure 4에 나타내었다. 그래프에서 대기온도와 이슬점온도가 직선 형태로 집중되는 모양으로 관측값과 예측값의 관련성이 높게 나타난 반면, 강수량과 일사량은 데이터가 일정한 패턴을 보이지 않았다. 강수량은 시계열 데이터로 수집되지 않고 비가 오는 경우와 아닌 경우의 빈도에 대한 것과 강수량의 편차 범위를 보정해야 하기 때문에 일반선형모형을 적용하는 것은 바람직하지 않으며 이를 보정할 수 있는 다른 통계모형을 적용하여 예측하는 것

이 바람직할 것으로 사료된다.

산점도는 두 변수 간 즉 관측값과 예측값의 직선적인 관계를 개략적으로 파악하여 상관성을 알 수 있지만, 두 변수 사이의 관계를 보다 정확히 나타내기 위하여 공분산 및 상관계수를 이용하여 수치화하여 비교한다. 본 연구에서는 관측값과 예측값에 대하여 상관계수를 산출하여 비교하였다. 상관계수는 -1.0과 1.0 사이의 값을 가지며 0일 경우에는 두 변수간의 선형관계가 전혀 없다는 것을 의미한다. 0.3과 0.7 사이이면 선형관계가 보통이며, 0.7과 1.0 사이이면 강한 양적 선형관계를 가진다는 의미이다. 법주사의 기상인자 관측값과 예측값의 상관계수를 산출한 결과 대기온도와 이슬점온도가 0.974와 0.955로 강한 양적 선형관계를 나타내었고, 그 다음으로 증발량과 상대습도가 0.694와 0.655로 양적 선형관계를 나타내었다. 선암사의 기상인자 관측값과 예측값의 상관계수를 산출한 결과 법주사와 마찬가지로

대기온도와 이슬점온도가 0.970과 0.950으로 강한 양적 선형관계를 나타내었으며 그 다음으로 상대습도와 풍속이 0.650과 0.648로 양적 선형관계를 나타내었다(Table 2, 3).

법주사와 선암사의 기상인자 상관계수 비교에서 구별되는 점은 법주사에서는 증발량이 선형관계를 나타내었고 선암사에서는 풍속이 양적 선형관계를 보인 것이다. 기상인자들 중 증발량에 영향을 줄 수 있는 것은 온도와 일사량이 관련이 있을 것으로 보이나 풍속은 기상인자들에 영향을 주는 요인이지만 영향을 받은 인자는 아닌 것으로 생각되며 영향을 받게 된다면 지형적인 것이 클 것으로 사료된다. 이상의 결과로 통계 모형에서 제일 기본적인 일반선형모형을 이용하여 예측해 볼 수 있는 기상인자는 시계열 데이터로 수집가능한 대기온도와 이슬점온도가 가장 적합하며, 그 다음으로 약한 선형관계를 보이는 상대습도에 대하여 적용해 볼 수 있을 것이다. 그러나 강수량은 산점도에서 확인한

Table 4. Correlation analysis between meteorological elements in Beopjusa temple

Beopjusa temple	Temp. ^a (°C)	Humidity (%)	Dew pt. ^a (°C)	Rain (mm)	ET ^a (mm)	Solar radiation (MJ/m ²)	Wind speed (m/s)
Temperature (°C)	1						
Humidity (%)	0.307	1					
Dew point (°C)	0.968*	0.532	1				
Rain (mm)	0.190	0.358	0.259	1			
Evaporation (mm)	0.600	-0.428	0.417	-0.214	1		
Solar radiation (MJ/m ²)	0.450	-0.498	0.266	-0.266	0.970*	1	
Wind speed (m/s)	-0.082	-0.283	-0.137	0.016	0.065	0.022	1

*Correlation is significant at the 0.01 level, ^aAbbreviation of temperature, dew point temperature, evaporation

Table 5. Correlation analysis between meteorological elements in Seonamsa temple

Seonamsa temple	Temp. ^a (°C)	Humidity (%)	Dew pt. ^a (°C)	Rain (mm)	ET ^a (mm)	Solar radiation (MJ/m ²)	Wind speed (m/s)
Temperature (°C)	1						
Humidity (%)	0.496	1					
Dew point (°C)	0.962*	0.712	1				
Rain (mm)	0.110	0.326	0.183	1			
Evaporation (mm)	0.426	-0.429	0.213	-0.321	1		
Solar radiation (MJ/m ²)	0.317	-0.467	0.114	-0.357	0.977*	1	
Wind speed (m/s)	-0.701	-0.627	-0.756	-0.073	-0.004	0.078	1

*Correlation is significant at the 0.01 level, ^aAbbreviation of temperature, dew point and evaporation

결과와 마찬가지로 상관계수 또한 0에 가깝게 낮아 본 연구의 통계 모형을 적용하기에 부적합한 것으로 나타났다.

3.3. 법주사와 선암사의 기상인자들 간의 상관성 분석

법주사와 선암사 기상인자들의 평균값을 비교해 보면 선암사가 대기온도, 상대습도, 이슬점온도와 강수량에서 법주사 보다 높게 나타났으며 반면 법주사는 증발량, 일사량과 풍속이 선암사 보다 높게 나타났다. 단, 2017년 선암사의 상대습도와 강수량은 법주사 보다 낮게 나타났다 (Table 2, 3). 법주사와 선암사 모두 여름의 평균 기온이 높고 겨울 평균 기온이 낮아 기온의 변화폭이 컸으며 봄에 평균 상대습도가 낮게 나타났다(Figure 2, 3).

법주사와 선암사의 일평균 기상데이터를 이용하여 서로 영향을 주고받는 인자가 무엇인지 기상인자들 간의 상관성을 분석하고 비교하였다(Table 4, 5). 법주사와 선암사 모두 대기온도와 이슬점온도가 0.968과 0.962로 상관성이 높았으며, 일사량과 증발량이 0.970과 0.977로 높게 나타났다. 그 외 법주사에서는 대기온도와 증발량의 상관계수가 0.600으로 양적 선형관계를 나타내었으며, 선암사에서는 풍속이 대기온도, 상대습도와 이슬점온도에 대하여 -0.701, -0.627과 -0.756으로 음의 선형관계를 나타내었다. 상관계수 비교에서 대기온도와 일사량이 높을 때 증발량이 증가하고 그로 인해 상대습도가 낮아지는 경향을 나타내는 것은 법주사와 선암사에서 공통되게 발생하는 경우에 해당되고, 단지 그 크기가 법주사가 높고 선암사가 낮다는 것이다.

Figure 5. Graph of correlation between temperature and humidity for the wind speed of Beopjusa temple.

Figure 6. Graph of correlation between temperature and humidity for the wind speed of Seonamsa temple.

이는 계곡에 위치해 있는 산사의 특성으로 선암사가 남남동 방향으로 향해 있고 법주사는 남남서 방향으로 인해 야기되는 것으로 사료된다. 선암사의 풍속이 대기온도와 상대습도에 대하여 상관계수가 높게 나타난 것은 계절별 차이가 크고 일정한 패턴을 보이기 때문이다(Figure 6). 선암사와 법주사의 연평균 풍속 차이는 0.1 m/s 로 법주사가 조금 높게 나타나지만 선암사가 법주사에 비해 겨울철 월평균 풍속이 높고 여름철 월평균 풍속이 낮다(Figure 5, 6). 이것은 결과적으로 선암사의 경우 여름철의 높은 대기온도와 상대습도를 낮추지 못하고 정체시키기 때문에 목조건축물에는 부적절한 환경을 야기하게 된다.

4. 결 론

본 연구는 법주사와 선암사의 환경인자 변화를 관찰하기 위하여 자동기상측정장비를 설치하였고, 수집된 데이터들의 상관성 분석을 통하여 지역적 특성을 비교하였다. 가장 일반적인 통계모형인 일반선형모형을 적용하여 기상인자들의 예측값을 산출하여 관측값과 비교하였다. 그 결과 일반선형모형을 적용하기에 대기온도와 이슬점온도가 가장 적합하다는 것을 확인하였으며, 특징적으로 법주사에서는 증발량이 약한 양적 선형관계를 나타내었고 선암사에서는 풍속이 선형관계를 나타내었다. 강수량은 두 지역 모두에서 일반선형모형을 적용하기에 부적합한 것으로 나타났다. 강수량은 국내의 경우 여름철에 집중되는 경향이 있고 지리적인 요인도 있기 때문에 공간적 상관구조를 포함하는 통계모형을 적용하여야 한다(Jung *et al.*, 2008). 또한, 강수량은 산악효과를 야기하는 지형인자에 영향을 받기 때문에 지형인자 중 고도, 위도와 경도를 포함하는 회귀모형을 구성하여 예측할 경우 고도와 선형관계가 나타났으며, 고도 이외에 위도와 경도를 추가인자로 고려할 경우 강수량과 더욱 강한 상관성을 나타낸다는 보고가 있다(Yun *et al.*, 2009). 법주사와 선암사 기상인자들 사이의 상관성을 조사한 경우 법주사에서는 증발량이 대기온도와 일사량과 상관성이 있는 것으로 나타났으며, 선암사에서는 풍속이 대기온도와 상대습도 그리고 이슬점온도와 상관성이 있는 것으로 나타났다(Kim *et al.*, 2017). 선암사의 경우 월평균 풍속에 대한 대기온도와 상대습도 비교 그래프에서 풍속이 높은 겨울철에 대기온도와 상대습도가 낮아지고 풍속이 낮은 여름철에 대기온도와 상대습도가 높아지는 경향을 나타내는데, 이것은 국내 여름철 강수량이 집중되는 특성과 더불어

어 선암사의 여름철 환경특성을 나타내는 주요 기상인자가 풍속이라고 판단해 볼 수 있다. 즉, 강수량이 많아 상대습도가 높은 여름철 선암사의 상대습도를 더 높게 유지시키는 것이 풍속이라고 판단되어진다. 결과적으로 통계모형을 적용할 때 대기온도와 이슬점온도와 같은 단순 시계열 데이터에 대해서는 일반선형모형을 적용할 수 있으나 지역적 특성을 나타내기 위해서는 지형인자인 고도와 위·경도를 포함하는 공간적 선형회귀모형을 적용하여 유효성을 증가시킬 필요가 있으므로 추후 연구가 필요하다.

사 사

본 연구는 문화재청 국립문화재연구소 문화유산 조사연구(R&D) 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- Chatterjee, S. and Price, B., 1997, Regression analysis by example. WILEY, New York.
- Jacob, D., 2001, A note to the simulation of the annual and interannual variability of the water budget over the baltic sea drainage basin. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 77, 61-73.
- Jacob, D., 2009, Regional climate models: Linking global climate change to local impacts. *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, 7591-7602.
- Jacob, D., Elizalde, A., Haensler, A., Hagemann, S., Kumar, P., Podzun, R., Rechid, D., Remedio, A.R., Saeed, F., Sieck, K., Teichmann, C. and Wilhelm, C., 2012, Assessing the transferability of the regional climate model REMO to different COordinated Regional climate Downscaling EXperiment (CORDEX) regions. *Atmosphere*, 3(1), 181-199.
- Jung, J., Jin, S. and Park, M.S., 2008, Precipitation analysis based on spatial linear regression method. *The Korean Journal of Applied Statistics*, 21(6), 1093-1107. (in Korean with English abstract)
- Kim, M.N., Lim, B.A., Lee, M.S. and Jung, S.Y., 2017, Comparison of characteristics of local meteorological and particulate matter(TSP) on the Beopjusa temple and Seonamsa temple. *Journal of Conservation Science*, 33(4),

- 283-295. (in Korean with English abstract)
- Leissner, J., Kilian, R., Kotova, L., Jacob, D., Mikolajewicz, U., Broström, T. and Ashley-Smith, J., 2015, Climate for culture: Assessing the impact of climate change on the future indoor climate in historic buildings using simulations. *Heritage Science*, 3(1), 38.
- Qian, K., Sun, J., Chen, H. and Zhang, J., 2016, Visual analysis method for cultural heritage site risk assessment. *Journal of Visualization*, 19(3), 503-514.
- Sabbioni, C., Brimblecombe, P. and Cassar, M., 2010, The atlas of climate change impact on European cultural heritage: Scientific analysis and management strategies. Anthem Press, London & New York.
- Sohn, K.T., 1998, Statistical methods for analyzing meteorological and environmental data. *Korean Journal of the Atmospheric Sciences*, 34(3), 497-504. (in Korean with English abstract)
- Waller, R., 1994, Conservation risk assessment: a strategy for managing resources for preventive conservation. *Studies in Conservation*, 39(2), 12-15.
- Wilks, D.S., 2011, Statistical methods in the atmospheric sciences. Academic Press, New York.
- Yoon, S., 2016, Generating high resolution of daily mean temperature using statistical models. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, 27(5), 1215-1224. (in Korean with English abstract)
- Yun, H., Um, M.J., Cho, W. and Heo, J.H., 2009, Orographic precipitation analysis with regional frequency analysis and multiple linear regression. *Journal of Korea Water Resources Association*, 42(6), 465-480. (in Korean with English abstract)
-