

## A Model-Fitting Approach of External Force on Electric Pole Using Generalized Additive Model

Park Chul Young<sup>†</sup> · Shin Chang Sun<sup>††</sup> · Park Myung Hye<sup>†††</sup> ·  
Lee Seung Bae<sup>††††</sup> · Park Jang Woo<sup>†††††</sup>

### ABSTRACT

Electric pole is a supporting beam used for power transmission/distribution which accelerometer are used for measuring a external force. The meteorological condition has various effects on the external forces of electric pole. One of them is the elasticity change of the aerial wire. It is very important to perform modelling. The acceleration sensor is converted into a pitch and a roll angle. The meteorological condition has a high correlation between variables, and selecting significant explanatory variables for modeling may result in the problem of over-fitting. We constructed high deviance explained model considering multicollinearity using the Generalized Additive Model which is one of the machine learning methods. As a result of the Variation Inflation Factor Test, we selected and fitted the significant variable as temperature, precipitation, wind speed, wind direction, air pressure, dewpoint, hours of daylight and cloud cover. It was noted that the Hours of daylight, cloud cover and air pressure has high explained value in explanatory variable. The average coefficient of determination (R-Squared) of the Generalized Additive Model was 0.69. The constructed model can help to predict the influence on the external forces of electric pole, and contribute to the purpose of securing safety on utility pole.

**Keywords :** Accelerometer, Electric Pole, Generalized Additive Model, Machine Learning, Meteorological Conditions

## 일반화 가법 모형을 이용한 전주 외력 모델링

박철영<sup>†</sup> · 신창선<sup>††</sup> · 박명혜<sup>†††</sup> · 이승배<sup>††††</sup> · 박장우<sup>†††††</sup>

### 요 약

전주(Electric Pole)는 전력 송/배전에 사용되는 지지물로 외력 측정을 위해 가속도 센서가 이용된다. 기상현상은 전주의 외력에 다양한 영향을 미친다. 가공전선의 탄성변화가 그중 하나이다. 이러한 이유로 전주에 미치는 기상현상 요인을 모델링 하는 것은 매우 중요하다. 가속도 센서로부터 수신된 데이터는 피치(Pitch)와 롤(Roll) 각도로 변환되어 수신된다. 기상 현상은 변수간 상관관계가 높게 나타나며, 모델링을 위해 유의한 설명변수를 선택하는 것은 과대적합(Over Fitting)의 문제에서 매우 중요한 요소이다. 다중공선성(Multicollinearity)을 고려한 설명력이 높은 모델 구축을 위해 기계학습 방법의 하나인 일반화 가법 모형(Generalized Additive Model)을 사용했다. 모델 구축에 사용된 기상 요인 변수는 온도, 습도, 강수량, 풍속, 풍향, 증기압, 대기압, 노점온도, 일조시간, 일사량, 운량이다. 분산 팽창 요인 검증을 수행한 결과 온도, 강수량, 풍속, 풍향, 대기압, 노점온도, 일조시간, 운량의 변수가 선택됐다. 설명변수중 일조시간, 운량, 대기압의 영향도가 높게 나타났으며, 일반화 가법 모형의 평균 결정계수(R-Squared)는 0.69로 유의한 모델을 구축했다. 구축된 모델은 전주 외력의 영향을 예측하는데 도움이 될 수 있을 것이며, 안전성 확보의 목적에 기여할 수 있을 것이라 생각한다.

**키워드 :** 가속도계, 전주, 일반화 가법 모형, 기계 학습, 기상 현상

### 1. 서 론

전주(Electric Pole)는 전력 송/배전에 사용되는 지지물로 주변 환경 요인 변화에 민감하게 반응한다. 전주는 외부 환경에 노출되어있는 시설물로 주변 환경요인이나 인적요인 등에 의해 전도, 파괴 등의 피해가 나타난다. 이러한 전주의 피해는 비용, 안전성 측면에서 신속한 피해 복구가 요구된다[1-5]. 현재 전주의 피해 상황에 신속하게 대처하기 위해 전주에 가속도(Accelerometer) 센서를 설치/운영 중에 있으

\* This research was supported by Korea Electric Power Corporation through KEPCO Research Institute (Grant Number R15CA03).

\*\* The reserach was supported by 'Software Convergence Technology Development Program', through the Ministry of Science, ICT and Future Planning (No. S0177-16-1065).

† 비 회 원 : 순천대학교 전기·전자·정보통신공학과 박사과정

†† 정 회 원 : 순천대학교 정보통신공학과 부교수

††† 정 회 원 : 한전 전력연구원 책임연구원

†††† 비 회 원 : 한전 전력연구원 책임연구원

††††† 정 회 원 : 순천대학교 정보통신공학과 교수

Manuscript Received : May 10, 2017

First Revision : July 20, 2017

Accepted : August 2, 2017

\* Corresponding Author : Park Jang Woo(jwpark@sunchon.ac.kr)

며, 수집되는 데이터를 통해 전주의 환경변화를 모니터링하고 있다.

센서 노드에서 측정되는 3축 가속도계로부터 측정된 값은 피치(Pitch)각, 롤(Roll)각으로 변환하여 수집중이며, 주변 환경변화를 모니터링하기 위해 온도, 습도, 대기압 등의 기상 데이터를 수집한다. 그러나 관측 데이터는 측정 잡음(Noise)을 포함하고 있으며, 온도, 습도, 대기압 등의 기상현상에 의한 외력으로 인해 나타나는 가공전선(Aerial Wire)의 탄성(Elasticity) 변화로 데이터의 편향(Bias)이 매우 크게 나타난다. 관측 데이터는 잡음과 편향으로 인해 센서의 측정 범위를 초과하는 문제를 보이며, 이로 인해 피해 상황 발생 시 알람을 위한 임계치를 설정하는데 어려움이 따른다.

본 논문에서는 문제의 해결을 위해 관측 데이터로부터 나타나는 잡음과 기상현상에 의한 편향을 모델링하고, 관측 데이터와 모델링 데이터 사이의 잔차(Residuals)를 통해 영향요인을 제거하고자 한다. 잡음은 확률적인 상태공간 모델과 측정 데이터를 이용하여 재귀적으로 상태변수를 찾아내는 확률모델인 칼만 필터링 방법을 이용하여 보정(Correction)했다. 수집되는 피치각, 롤각 데이터의 분포는 편향으로 인해 치우침(Skewed)이 존재하는 비모수(Non-parametric), 비선형(Non-linear) 형태로 나타난다.

일반화 가법 모형(Generalized Additive Model; GAM)은 기상현상(온도, 습도, 기압 등)에 의한 편향의 효과를 고려하고, 선형(Linear)관계 모형으로 적합(Fitting)하기 어려운 설명변수와의 관계를 평활함수(Smoothing Spline Function)를 이용하는 모델링 방법으로 기상현상에 의한 외력을 모델링하는데 적합하다.

GAM의 반응변수(Response Variable)를 피치각, 롤각으로 설정하고, 설명변수(Explanatory Variable)로 온도, 습도, 강수량, 풍속, 풍향, 증기압, 대기압, 노점온도, 일조시간, 일사량, 운량 등의 변수를 이용하여 모델링을 수행했다. 모델링 과정에서 설명변수간의 높은 상관성(Correlation)으로 인해 나타나는 다중공선성(Multicollinearity) 문제는 반복적인 분산 팽창 요인(Variation Inflation Factor; VIF) 검증 과정을 통해 고려했다. 이에 따라 선택된 유의 변수(Significant Variables)는 온도, 강수량, 풍속, 풍향, 대기압, 노점온도, 일사량, 운량이다.

2장에서는 전주관리에 대한 관련연구를 기술하고, 3장에서는 일반화 가법 모형을 기술했으며, 4장에서는 칼만필터링을 수행하고, 다중공선성의 문제를 고려했다. 5장에서는 일반화 가법 모형을 이용한 모델링 결과를 기술했으며, 6장에서는 결론과 향후 연구를 기술했다.

## 2. 관련 연구

전주에 작용하는 기상현상에 의한 외력은 배전선로의 장력 변화로 나타나며, 전주에 작용하는 허용범위 이상의 장력은 경사, 도괴, 절손 등의 피해로 나타난다. 이러한 이유로 외력을 파악하는 것이 피해 예방을 위한 필수적인 요소이다[6-8].

현행 배전선로 설계기준에서 장력의 변화는 이도(Dip) 계산을 통한 기준을 제시하고 있다. 이도는 전선과 전주를 연결하는 지지점의 수평선으로부터 전선간 이격 거리를 의미하며, 다음의 Equation (1)과 같이 정의하고 있다.

$$D = \frac{WS^2}{8T} [m] \quad (1)$$

Equation (1)에서 이도  $D[m]$ 는 전선의 하중  $W[kg/m]$ , 지지물간의 거리(경간)  $S[m]$ , 전선의 수평 장력  $T[kg]$ 에 의해 계산된다. 전선의 하중은 온도, 탄성계수, 장력, 팽창계수, 풍압하중 등의 변수를 이용하여 빙설을 포함한 경우와 제외한 경우에 따라 계수를 달리하여 계산된다. 빙설을 제외한 경우 합성하중은 다음의 Equation (2), (3)과 같이 계산된다.

$$W_s = \sqrt{W^2 + W_{ps}^2} \quad (2)$$

$$W_{ps} = w_p \times \frac{d}{1000} \quad (3)$$

여기서,  $W_s[kg/m]$ 는 빙설이 없는 경우의 합성하중이며,  $W[kg/m]$ 은 전선 1m 당 중량,  $W_{ps}$ 는 전선 1m당 수평풍압 하중,  $W_p[kg^2/m]$ 는 전선  $1m^2$ 당 수평풍압,  $d[mm]$ 는 전선의 외경으로 정의된다.

그러나, 이도 계산은 최대 하중이 전선에 작용한 것으로 예상했을 때의 최대 허용 장력을 고려하는 설계단계에서의 기준으로 온도, 풍압, 빙설을 제외한 다른 기상 요인에 대한 고려가 없으며, 상시 안전도를 평가하는데 어려움이 있다. 또한, 이도계산을 이용한 안전도 평가 방법은 현장에서 평가가 이루어져야 하며, 이를 효율적으로 관리할 수 있는 기술의 부재로 이상상황을 적시에 판단하기가 어려운 실정이다. 이러한 이유로 현재 이상상황의 판단과 신속한 피해복구를 위해 전주에 3축 가속도계를 설치하여 데이터를 수집 중이다. 그러나, 수집된 데이터는 기상 요인(장력 변화)에 의한 데이터의 편향과 잡음이 매우 크게 반영되어 센서 측정값의 임계치를 초과하는 문제가 발생된다. 본 논문에서는 측정된 센서값에서 편향과 잡음을 제거하는 방법을 기술하고, 기상현상에 의한 외력은 일반화 가법 모형을 이용하여 모델링을 수행했다.

## 3. 일반화 가법 모형

일반화 가법 모형은 일반화 선형 모형(Generalized Linear Model; GLM) 속성에 가법 모형을 적용한 통계적 모형이다. 선형 관계 모형으로 적합하기 어려운 설명변수와의 관계를 평활함수로서 모형을 적합한다. 지수 분포족(Family of Distribution) 특성을 갖는 반응변수에 대한 가법적 비선형(Non-linear) 모형이다[10, 11].

반응변수  $\mu = E(Y)$ 와 공변량  $X = (x_1, \dots, x_p)$ 는 다음과 같은 확률모델로 표현된다.

$$\mu = E(Y|x_1, \dots, x_p) \quad (4)$$

연결함수(Link Function,  $g$ )는 설명변수와의 연결구조를 나타내며, 예측치에 대한 연결함수 구조는 Equation (5)와 같이 표현된다.

$$\eta = g(\mu) = s_0 + \sum_{j=1}^p s_j(x_j) \quad (5)$$

여기서  $s_0, s_1(x_1), \dots, s_p(x_p)$ 의 추정은 연결함수로 고정된 반응변수에 가중치를 부여한 값으로 계산된다. 일반화 가법 모형은 비선형 관계를 표현하기 위해 설명변수에 비모수적인 평활함수가 사용된다.

일반화 가법모형에서는  $x_j$ 의 가법적 효과를 나타내는 평활함수  $s_j(x_j)$ 의 추정이 필요하다.

$$s_k(x_k) = E[Y - s_0 - \sum_{k \neq j} s_j(x_j) | x_k] \quad (6)$$

Equation (6)은 가법모형의 조건부 기댓값으로 다음과 같은 백피팅(Backfitting) 알고리즘을 통해 추정된다.

단계 1. 초기화 :  $s_j = s_j^{(0)}, j = 1, \dots, p$

단계 2. 반복 :  $j = 1, \dots, p, 1, 2, \dots, p, \dots$

$$s_j = s_0 R_j(Y - s_0 - \sum_{k \neq j} s_k | x_j)$$

( $R_j$  : Cubic Smoothing Spline)

단계 3.  $\hat{s}_j$ 의 값이 기준치 이하일 때 까지 2)의 과정을 반복한다.

3단계로 구성된 백피팅 알고리즘은 단순 회귀 모형  $Y$ 로부터  $x_k$ 를 제외한 모든 설명 변수들의 효과를 제외한 Equation (3)의 조건부 기댓값을  $x_j$ 에 회귀(Regression)시켜 반복적으로  $s_k(x_k)$ 를 계산하는 방법으로 평활 함수를 추정한다. 일반화 가법 모형은 추정된 평활 함수로부터 변수간의 비선형 효과를 탐지한다.

#### 4. 데이터 전처리 및 사전분석

분석대상은 전주에 설치된 가속도계에서 수집된 데이터를 바탕으로 한다. 2016년 9월 1일부터 2016년 9월 30일까지 한 달간 수집된 데이터이다. 센서노드는 가속도, 온도, 습도를 측정하며 전주의 변압기 본체, 부하 개폐기, 완금, 통신용합체에 설치되어 있다. 3축 가속도계에서 수집된 데이터는 센서 노드에서 피치각과 롤각으로 변환되어 수집된다.

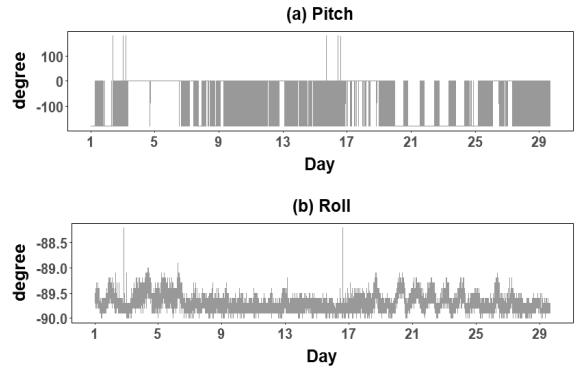


Fig. 1. Observed Data for (a) Pitch and (b) Roll

Fig. 1은 관측 데이터의 피치각, 롤각을 나타낸다. 센서의 측정 범위는 -180부터 0까지이며, 편향(Bias)으로 인해 관측 데이터 전반에 걸쳐 측정 범위를 초과하고 있다. 또한, 측정 잡음(Noise)로 인해 3일, 15일 그리고 16일에 이상치(Outlier)가 나타난다.

Table 1. Statistics for Observed Data

	Pitch	Roll
Maximum	180	-88.2
Median	-0.2	-88.2
Minimum	-180	-90
Mode	-0.2	-89.8
Quantity	13244(441 per day)	

Table 1은 관측데이터의 기초통계량을 보인다. 피치는 최소 -180, 최대 180 그리고 중위수는 -0.2로 데이터의 변량이 매우 크고, 데이터의 편향이 나타난다. 롤은 최소 -90, 최대 -88.2이며 중위수는 -90으로 데이터의 변량이 매우 작다. 피치각의 측정 위는 0~-180 이며, 롤각의 측정 범위는 0~90이다. 본 논문에서는 변량이 매우크고 측정범위를 초과하는 피치각을 기준으로 분석과 모델링을 진행했다.

Fig. 2는 칼만필터 수행의 결과이다. 변환시점에서 발생하는 오차와 외적 요인에 의한 잡음(Noise)과 이상치의 보상 방법으

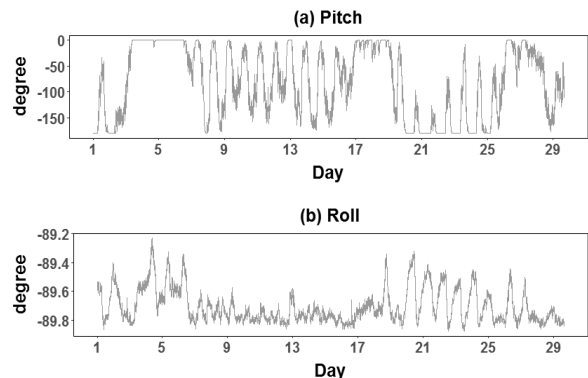


Fig. 2. Results of Kalman Filtering for (a) Pitch and (b) Roll

로 칼만 필터를 이용하여 전처리 과정을 수행했다. 칼만 필터링 결과 Fig. 1에서 3일, 15일, 16일에 나타나는 이상치가 보정되었으며, 데이터의 편향요인 또한 일정부분 보정되었으나 데이터의 변량은 필터링 후에도 매우 크게 나타남을 보인다.

이에 따라 기상 현상에 의한 편향 요인의 외력을 모델링하기 위해 기상청에서 제공하는 자료를 사용한다. 지역별로 관측 장비 자료와 목측(目測)에 의한 종관기상관측 자료를 제공한다. 데이터는 기압, 기온, 풍향, 풍속, 상대습도, 강수량, 강수유무, 일사량, 일조시간, 지면온도, 초상온도, 지중온도, 토양수분, 지하수위, 시정, 구름, 증발량, 일기현상 자료를 제공하고 있다[14].

다중공선성은 설명변수간의 높은 상관관계로 인해 모델 계수의 신뢰도에 영향이 존재하는 것을 말한다. 모델 적합(Fitting) 이전에 설명변수들의 상관관계를 확인하는 과정이 수행되어야 한다. 데이터간의 높은 상관관계는 강한 선형성을 의미하며, 이는 선형 모델을 사용함으로써 설명 변수간의 상관관계를 확인할 수 있다. 선형 모델은 모수검정 기법인 (T-test)를 기반으로 수행했으며, 계산된 유의확률(P-Value)과 검정값(T-Value)을 Table 2에 나타냈다.

Table 2. Results of Linear Model Fitting for Meteorological Conditions

Variable	T-Value	P-Value
Humidity	-128.762	0.02*10 <sup>-14</sup>
Precipitation	3.174	0.0015
Wind Speed	-1.340	0.1860
Wind Direction	-0.032	0.7623
Steam Pressure	3.630	0.0003
Air Pressure	-10.761	0.02*10 <sup>-14</sup>
Dew Point	18.515	0.02*10 <sup>-14</sup>
Hours of Daylight	6.436	0.02*10 <sup>-8</sup>
Solar Radiation	0.178	0.8591
Cloud Cover	3.335	0.0008

Table 2는 온도를 반응변수로 설정한 선형 모델(Linear Model)의 적합(Fitting) 결과이다. 선형 모델은 일반화 가법 모델 적합 이전에 설명변수간의 상관성을 확인하는 절차이며, 온도는 탄성(Elasticity)변화의 주요인으로 제외대상이지 아니므로 온도를 선형모델의 반응변수로 이용했다.

선형 모델 적합 결과 R<sup>2</sup>=0.9874로 과대 적합의 가능성이 있으며, 데이터간의 높은 상관성이 나타난다. T-검정값에서 반응변수인 온도와 설명 변수인 습도의 선형성이 매우 크게 나타나고 있으며, 유의확률 5%, 유의수준(P-Value) 0.05를 기준으로 습도, 강수량, 증기압, 대기압, 노점온도, 일조시간, 운량에서 강한 선형성이 나타난다. 과대 적합의 문제로 나타나는 다중공선성을 고려하기 위해 피치각에 대한 분산 팽창 요인(VIF) 검증을 수행했다.

Table 3. Results of VIF Test for Pitch with Meteorological Conditions

Variable	First Time	Iteration Results
Temperature	105.8432	2.4846
Humidity	103.8234	-
Precipitation	1.3128	1.2621
Wind Speed	1.3413	1.3199
Wind Direction	1.0884	1.0813
Steam Pressure	98.5901	-
Air Pressure	1.6244	1.3999
Dew Point	138.73806	1.9488
Hours of Daylight	4.4760	1.7927
Solar Radiation	16.8662	-
Cloud Cover	1.4226	1.1702

Table 3은 분산 팽창 요인(VIF) 검증 수행 결과이다. 첫 번째 수행 결과(First Time)에서 온도, 습도, 노점온도, 일사량에서 높은 상관관계를 나타낸다. 온도를 제외한 나머지 변수에서 높은 상관관계를 갖는 변수를 제외하며 기준치 이하가 될 때까지 반복적으로 검증을 수행했다.

Table 3의 Iteration Results는 선형 모델링에서 선형성이 높게 나타난 습도, 증기압, 일사량의 변수를 제외하며 3회 반복 계산한 결과이다. VIF 수치 상한기준 2.5에서 온도, 강수량, 풍속, 풍향, 대기압, 노점온도, 일사량, 운량의 설명변수를 선택했다. 반응변수를 피치각(Pitch)으로 한 선형 모델 적합 결과 R<sup>2</sup>=0.3774로 약 기상요인은 37%의 설명력을 갖는다.

### 5. 일반화 가법 모형 적합(Fitting)

일반화 가법 모형은 기계학습 알고리즘의 하나로, 데이터 패턴 모델링과 설명변수의 영향도 분석과 패턴 모델링에 적합하다. 본 논문에서는 기상영향 요인을 설명변수로 한 일반화 가법 모델을 사용한다. Equation (5)의 설명변수와 연결함수에 대한 수식에 따라 정규분포를 가정한 모델은 Equation (7)과 같이 정리된다.

$$g(\mu) = s_0 + s_1(Temperature) + s_2(Precipitation) + s_3(WindSpd) + s_4(WindDir) + s_5(AirPress) + s_6(Dewpoint) + s_7(Daylight) + s_8(CloudCov) \quad (7)$$

다중공선성을 고려하여 선택된 유의한 설명변수는 온도, 강수량, 풍속, 풍향, 대기압, 노점온도, 일사량, 운량이다.

Table 4는 백피팅(Backfitting) 알고리즘을 통해 추정된 평활함수의 모수(Parameter)이다. 추정된 평활함수는 대기압의 경우 8.296으로 비선형 효과가 가장 높으며, 일조시간의 경우 1로 선형성을 보인다. 추정된 모수를 이용한 피치를 반응 변수로 적합(Fitting)한 일반화 가법 모형의 모델링 결과는 다음과 같으며, 적합 결과는 반응 변수(피치)에 대한 비선형적 효과(증가/감소)를 나타낸다.

Table 4. Results of Estimating Parameter

Variable	Parameter
Temperature	3.176
Precipitation	4.449
Wind Speed	2.322
Wind Direction	2.363
Air Pressure	8.296
Dew Point	7.018
Hours of Daylight	1.000
Cloud Cover	2.683

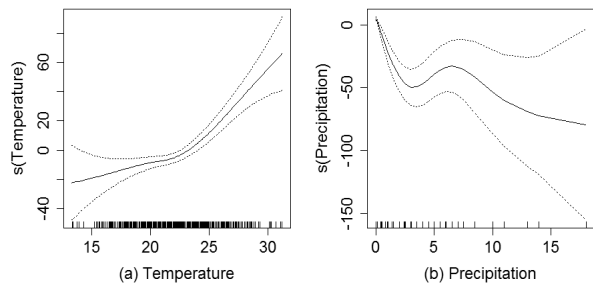


Fig. 3. Fitting Results for (a) Temperature and (b) Precipitation

Fig. 3은 온도와 강수량에 대한 적합(Fitting) 결과이다. (a) 결과에서 온도가 높을수록 반응변수(피치)에 대한 효과가 증가함을 보이며, (b) 결과에서 강수량이 높을수록 효과가 감소함을 보인다. 온도는 23°C에서  $s_1(Temperature)$ 는 0으로 나타난다.

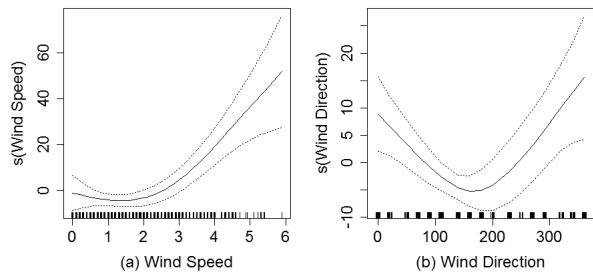


Fig. 4. Fitting Results for (a) Wind Speed and (b) Wind Direction

Fig. 4는 풍속과 풍향에 대한 적합(Fitting) 결과이다. (a) 결과에서 풍속이 높을수록 반응변수가 증가하는 효과를 보이는 것을 알 수 있으며, (b) 풍향의 경우 160° 미만일 경우 선형 감소하는 경향을, 이상일 경우 선형 증가하는 경향을 보인다.

Fig. 5는 대기압과 노점온도에 대한 적합(Fitting) 결과이다. (a) 대기압은 1,001hpa 미만에서 증가하는 경향을, 이상에서 감소하는 경향을 보인다. (b) 노점온도의 경우 증가하는 경향을 보인다.

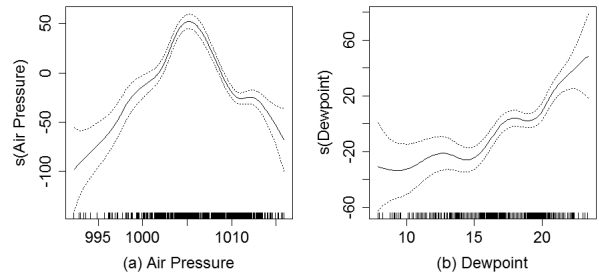


Fig. 5. Fitting Results for (a) Air Pressure and (b) Dewpoint

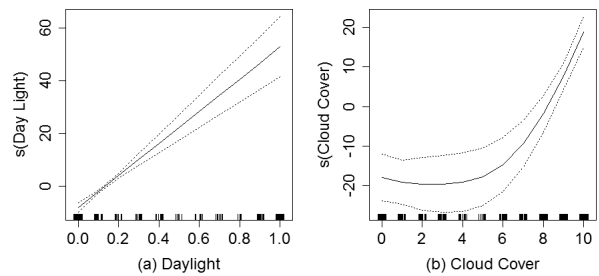


Fig. 6. Fitting Results for (a) Daylight and (b) Cloud Cover

Fig. 6은 일조시간과 운량에 대한 적합(Fitting) 결과이다. (a) 일조시간의 경우 추정된 모수는 추정된 평활함수의 모수는 “1”로 일조시간이 높을수록 선형 증가한다. (b) 운량의 경우 5를 기준으로 급격한 선형 증가를 보인다.

Table 5. GAM Fitting Result for Pitch Data with Meteorological Conditions

Variable	F-Value	Probabilities
Temperature	10.100	$0.06 * 10^{-6}$
Precipitation	9.181	$0.08 * 10^{-7}$
Wind Speed	7.930	$0.03 * 10^{-3}$
Wind Direction	4.394	0.0035
Air Pressure	33.511	$0.02 * 10^{-14}$
Dew Point	7.847	$0.03 * 10^{-8}$
Hours of Daylight	64.954	$0.03 * 10^{-13}$
Cloud Cover	21.360	$0.08 * 10^{-12}$

Table 5는 일반화 가법 모형(GAM) 적합의 결과표이다. 적합결과 유의확률 5%, 유의수준 0.05에서 사용된 설명변수 모두 유의한 결과를 보인다. 설명 변수 중 대기압, 일조시간, 운량의 영향도가 높게 나타났다.

Fig. 7은 일반화 가법모형의 적합(Fitting) 결과이다. 적합결과 관측 데이터의 변동을 잘 따르고 있음을 보인다. 일반적으로 모델링 데이터의 검증을 위하여 평균 제곱근 편차(Root Mean Square Error; RMSE) 등의 검증 방법을 이용하지만, 본 논문의 데이터는 기상현상에 의한 외력을 모델링 한 것으로, 모델의 오차는 기상현상이 아닌 인적 외력 등의 가능성이 존재하므로 오차 검증은 의미를 갖지 않는다

다. 본 논문에서는 관측 데이터와 모델링 데이터 사이의 잔차(Residuals)를 통해 영향 요인을 제거하기 위한 목적으로 모델링을 수행했다. 관측 데이터와 모델링 데이터 사이의 잔차(Residuals)는 다음과 같다.

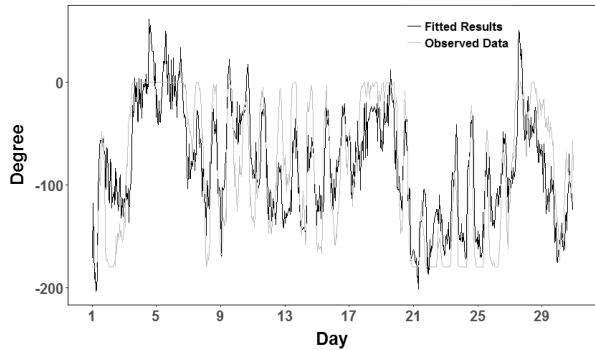


Fig. 7. GAM Fitting Result for Pitch Data with Meteorological Conditions

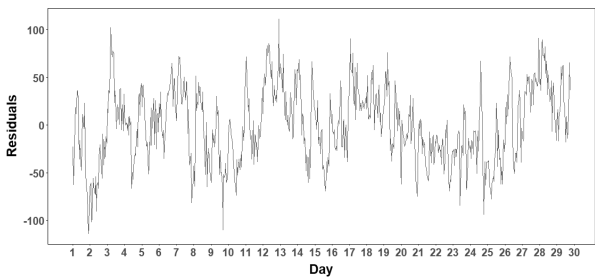


Fig. 8. Residuals between Observed Data and Fitted Results

Fig. 8은 관측 데이터와 모델링 데이터 사이 피치각의 잔차를 보인다. 잔차는 최소 -113.7, 최대 111.4, 중위수는 -1.044이며 평균은 0이다. Fig. 1의 관측데이터 (a) Pitch의 결과와 비교할 때, Fig. 8은 기상 요인(온도, 강수량, 풍속, 풍향, 대기압, 노점온도, 일사량, 운량)이 관측데이터에서 제거된 결과를 보인다.

Table 6. GAM Fitted Coefficients

Variable	Coefficients
Intercept( $S_0$ )	$1.86 \times 10^3$
Temperature	4.4556
Precipitation	-7.2168
Wind Speed	5.7286
Wind Direction	$4.13 \times 10^{-3}$
Air Pressure	-2.1633
Dew Point	5.5761
Hours of Daylight	$6.09 \times 10^1$
Cloud Cover	3.6689

Table 6은 최종 모델 계수를 계산한 결과이다. 일반화 가법 모형 적합 결과 adjusted- $R^2=0.642$ 로 모델의 설명력은 65.8%이다.

Table 7. GAM Fitting Results on Different Location

No.	$R^2$ (adjusted)	Deviance Explained
1	0.488	51.6%
2	0.686	70.4%
3	0.752	76.4%
4	0.654	66.9%
5	0.864	87.3%
Average	0.69	70.52%

Table 7은 지역별로 일반화 가법 모형을 적합한 결과이다. adjusted- $R^2$ 는 평균 0.69, 설명력은 평균 70.52%로 유의한 설명력을 갖는 모델이다.

## 6. 결론

현재 전주의 안정성 확보를 위해 가속도센서를 설치/운영하고 있다. 3축 가속도계로 수집된 데이터는 피치, 롤 각도로 변환되어 수집된다. 기상요인에 의한 데이터의 변화로 인해 이상상황 판단 임계값 설정에 어려움이 따른다. 기상요인은 변수간의 상관관계가 높게 나타나며, 모델의 과대적합의 문제가 될 수 있다.

선형 모델을 적합한 결과  $R^2=0.9874$ 로 다중공선성의 영향이 크게 반영됐다. 분산팽창요인(VIF)을 분석하고 유의한 설명변수로 온도, 강수량, 풍속, 풍향, 대기압, 노점온도, 일사량, 운량을 선택했다. 반응변수를 피치각(Pitch)으로 한 선형 모델(Linear Model) 적합 결과  $R^2=0.3774$ 로 약 기상요인은 피치에 대해 37%의 설명력 보였다.

설명력이 높은 모델을 구축하기 위해 반응변수를 피치로 한 일반화 가법 모형(GAM)을 사용했으며, 적합(Fitting)결과 유의확률 5%, 유의수준 0.05에서 사용된 설명변수 모두 유의한 결과를 보인다. 설명 변수 중 대기압, 일조시간, 운량의 영향이 높게 나타났다.

결과적으로 일반화 가법 모형을 사용하여 구축한 모델은 수정된 결정계수(adjusted- $R^2$ ) 0.642로 모델의 설명력은 65.8%이다. 본 논문의 결과로 기상요인의 영향을 모델링하기 위한 유의한 모델을 구축하였으며, 이를 통해 안전성 확보의 목적에 기여할 수 있을 것이라 생각한다.

본 논문에서는 기상 현상에 의한 외력을 모델링하고 이에 따른 영향을 관측데이터에서 제거하여 임계치 설정의 문제를 해결하고자 진행된 연구이다. 관측 데이터와 모델링 데이터의 잔차는 기상요인에 의한 외력을 제거한 결과로 다른 외력 요인(비승인 작업, 철거 등의 인적요인)의 상황에 대한 추가 분석이 요구된다. 또한, 전주는 형태(Type)/설치 지역에 따라 다양한 기상영향의 효과를 보인다. 이에 따라 형태/

지역별 분류가 필요하며, 상황에 따른 높은 설명력을 갖는 공통 적용 모델을 구축하는 연구가 필요하다.

References

[1] J. G. Park, K. Y. Yoon, D. H. Won, and Y. J. Kang, "Behavior analysis by unequivalent tension for snapping wire at transmission pole," *Civil Expo 2007*, Korean Society of Civil Engineers, pp.241-244, 2007.

[2] S. K. Yang, "A Study on Soundness and Safety Improvement of Concrete Pole," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, pp.389-390, 2016.

[3] G. D. Oh, K. S. Kim, D. S. Park, H. Y. Lee, and D. M. Kim, "Behavior of Concrete Electric Pole Foundation on Lateral Load," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, pp.1577-1578, 2014.

[4] K. Y. Yoon and Y. J. Kang, "Development of foundation reinforcing technique and supplementation installation for increasing the safety factor about upset of concrete pole," Asan-si Chungcheongnam-do Republic of Korea: Sunmoon Univ, R-2005-7-151, 2007.

[5] B. G. B. W. Min, T. W. Woo, H. B. Wi, and J. W. Park, "Research on Wind Pressure Criteria of the Transsmission Tower," *The Korean Institute of Electrical Engineers*, KIEE, Vol.13, No.15, pp.20-22, 2003.

[6] Y. C. Wong, S. H. Cho, G. H. Kim, J. S. Park, D. H. Kim, and S. C. Lee, "An Experiment on Guy Tensions and Stub Strengths," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, pp.5-6, 2006.

[7] Y. C. Wong, S. J. Sun, and J. Y. Jung, "A Study on Vertical Clearances of Overhead Distribution Conductor Tensioned by Standard Sag of KEPCO in," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, pp.309-310, 2009.

[8] H. Oh, "A Study on the Protect Measures and Impact of Electric Pole for Abnormal Tension of Messenger Wire," *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol.20, No.3, pp.78-83, 2006.

[9] D. M. Kim and D. C. Ra, "The Characteristic Analysis of Breaking Failure on ASCSR-OC Conductor," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, pp.185-187, 2008.

[10] Liu. H, "Generalized Additive Model," Ph. D. dissertation, University of Minnesota Duluth, Duluth, MN, USA, 2008.

[11] M. J. Choo, "A Study on the Application of Generalized Additive Model in predicting customer churn of the mobile phone company," Master, Ewha Womans Univ, Korea, 2011.

[12] B. Portugais and M. Khanal, "State-Space Models With Kalman Filtering for Freeway Traffic Forecasting," *International Journal of Modern Engineering*, Vol.15. No.1, pp.11-14, 2014.

[13] G. Petris and S. Petrone, "State Space Models in R," *Journal of Statistical Software*, Vol.41. No.4. pp.1-25, 2011.

[14] Korea Meteorological Administration (KMA) [Internet], <http://data.kma.go.kr>.

[15] G. Petris, S. Petrone, and P. Campagnoli, "Dynamic Linear Models with R," Springer Science Business Media, 2009.

[16] Gudmund R. Iversen and Helmut Norpoth, "Analysis of Variance," Sage Publications, Incorporated, 1987.

[17] J. Songok, P. Salminen, and M. Toivakka, "Temperature effects on dynamic water absorption into paper," *J. Colloid Interface Sci.*, Vol.418, pp.373-377, 2014.

[18] P. S. Nasirabadi, H. Conseil-Gudla, S. Mohanty, M. Jabbari, R. Ambat, and J. H. Hattel, "Semi-empirical prediction of moisture build-up in an electronic enclosure using analysis of variance (ANOVA)," *2016 IEEE 18th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC)*, pp.785-790, 2016.



박철영

e-mail : naksu21@gmail.com  
 2010년 순천대학교 정보통신공학과(공학사)  
 2012년 순천대학교 정보통신공학과  
 (공학석사)  
 2012년~현 재 순천대학교 전기·전자·  
 정보통신공학부 박사과정  
 관심분야 : 기계학습, 시계열 분석, IoT



신창선

e-mail : csshin@sunchon.ac.kr  
 1996년 우석대학교 전산학과(학사)  
 1999년 한양대학교 컴퓨터교육과(석사)  
 2004년 원광대학교 컴퓨터공학과(공학박사)  
 2005년~현 재 순천대학교 정보통신공학과  
 부교수  
 2016년~현 재 순천대학교 정보전산원 원장  
 관심분야 : 분산컴퓨팅, 실시간 객체모델, 시계열분석



박명혜

e-mail : myunghye.park@kepcoco.kr  
 1993년 경북대학교 전자공학(학사)  
 1995년 경북대학교 전자공학(석사)  
 1995년~현 재 한전 전력연구원  
 책임연구원  
 관심분야 : 유·무선 통신망 설계, IoT



### 이 승 배

e-mail : sblee83@kepco.co.kr

1993년 청주대학교 행정학(학사)

1996년 충북대학교 행정학(석사)

1993년~현 재 한전 전력연구원  
책임연구원

관심분야: 전력자동화통신망, 사물인터넷



### 박 장 우

e-mail : jwpark@sunchon.ac.kr

1989년 한양대학교 전자공학과(공학사)

1991년 한양대학교 전자공학과(공학석사)

1993년 한양대학교 전자공학과(공학박사)

1995년~현 재 순천대학교 정보통신공학과  
교수

관심분야: SoC, USN, 기계학습, 시계열 분석