

A Statistical Analysis of External Force on Electric Pole due to Meteorological Conditions

Park Chul Young[†] · Shin Chang Sun^{††} · Cho Yong Yun^{††} ·
Kim Young Hyun^{†††} · Park Jang Woo^{††††}

ABSTRACT

Electric Pole is a supporting beam used for power transmission/distribution which is sensitive to external force change of environmental factors. Therefore, power facilities have many difficulties in terms of maintenance/conservation from external environmental changes and natural disasters that cause a great economic impact. The aerial wire cause elasticity due to the influence of temperature, or factors such as wind speed and wind direction, that weakens the electric pole. The situation may lead to many safety risk in day-to-day life. But, the safety assessment of the pole is carried out at the design stage, and aftermath is not considered. For the safety and maintenance purposes, it is very important to analyze the influence of weather factors on external forces periodically. In this paper, we analyze the acceleration data of the sensor nodes installed in electric pole for maintenance/safety purpose and use Kalman filter as noise compensation method. Fast Fourier Transform (FFT) is performed to analyze the influence of each meteorological factor, along with the meteorological factors on frequency components. The result of the analysis shows that the temperature, humidity, solar radiation, hour of daylight, air pressure, wind direction and wind speed were influential factors. In this paper, the influences of meteorological factors on frequency components are different, and it is thought that it can be an important factor in achieving the purpose of safety and maintenance.

Keywords : Analysis of Variance, Accelerometer, Electric Pole, Fourier Transform, Kalman Filter, Meteorological Conditions

기상현상에 의한 전주 외력의 통계적 분석

박철영[†] · 신창선^{††} · 조용운^{††} · 김영현^{†††} · 박장우^{††††}

요약

전주(Electric Pole)는 전력 송/배전에 사용되는 지지물로 환경적인 요인의 외력 변화에 민감하다. 전력 설비는 외부 환경변화와 재해로부터 유지/보수적 관점에서 많은 어려움이 있다. 기상변화는 전주 피해에 주요인으로 작용하며, 경제적으로 미치는 영향이 매우 크다. 가공전선(Aerial Wire)은 온도 영향으로 탄성(Elasticity)변화가 나타나며, 탄성의 변화는 풍속, 풍향 등의 요인에 의해 영향력이 가중된다. 전선에 작용하는 외력은 전주의 피로누적으로 작용된다. 전주의 안전도 평가는 설계 단계에서 이루어지며, 운영중인 전주에 대한 영향도는 고려되지 않는다. 보수/안전성 확보 목적으로 외력의 기상요인 영향도를 분석하는 것은 매우 중요하다. 본 논문에서는 유지/안전성 확보 목적 수행을 위해 전주에 설치된 센서노드의 가속도 데이터를 분석하고, 잡음(Noise) 보상 방법으로 칼만필터를 이용했다. 기상 요인별 영향도를 분석하기 위해 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform)을 수행하고, 주파수 성분별 기상요인 영향도를 분석했다. 영향도 분석 결과 온도, 습도, 일사량, 일조시간, 대기압, 풍향, 풍속의 기상요인 영향이 크게 작용했다. 본 논문에서는 주파수 성분별로 기상요인의 영향도가 다를 것을 보였으며, 유지보수와 안정성 확보의 목적 달성에 중요한 요소로 작용될 수 있으리라 생각한다.

키워드 : 분산 분석, 가속도계, 전주, 푸리에 변환, 칼만 필터, 기상현상

※ 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

††† 비 회 원 : 한전 전력연구원 선임연구원
†††† 정 회 원 : 순천대학교 정보통신공학과 교수
Manuscript Received : May 10, 2017
First Revision : June 23, 2017
Accepted : July 17, 2017

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

1. 서 론

전주(Electric Pole)는 전력 송/배전에 사용되는 지지물로 옥외에 설치되는 전력 설비다. 전주는 외부 환경변화와 재해 등의 외력에 의해 진동, 파괴, 노후화 등의 피해가 나타난다[1-4]. 전주의 피해는 경제적으로 미치는 영향이 매우 크다. 피해의 영향을 최소화하기 위해 빠른 대처가 필요하며, 이는 유지보수 관점에서 매우 중요한 요소이다. 현재 운영 중인 전주의 유지보수를 위해 센서 노드(3축 가속도, 온도, 습도 등)를 설치하여 데이터를 수집하고 있다. 그러나 외력에 의한 데이터 잡음(Noise)과 센싱 범위 초과(편향, Bias)로 인하여 피해를 판단하기 위한 기준점을 설정하는데 어려움이 따른다.

전주에 설치되는 가공 전선(Aerial Wire)은 기상현상의 영향으로 탄성(Elasticity) 변화가 나타난다. 탄성변화로 인한 전선의 신축은 전주의 하중(수직/수평)으로 작용하며, 기상 현상은 관측 데이터의 편향(Bias)을 초래하는 주요인이다. 기상 현상에 의한 탄성변화는 설계단계에서 이도(Dip) 계산을 통해 고려된다. 이도는 전선과 전주를 연결하는 지지점의 수평선으로부터 전선간 이격 거리를 의미하며 풍압 하중이 최대한 작용했을 것으로 예상했을 때의 장력이 최대 허용장력 이하가 되도록 설정하여 계산된다[3-6]. 이도 계산에는 전선의 온도, 탄성계수, 장력, 팽창계수, 풍압하중 등의 변수를 이용하여 계산된다. 그러나 이도 계산은 기상현상 중 온도와 풍압 하중만을 고려하며, 설계 단계에서 사용되는 방법으로 운영 중인 설비에 대한 기상현상을 고려하는데 어려움이 있다.

본 논문에서는 문제의 해결을 위해 관측데이터에서 나타나는 기상현상에 의한 외력을 분석하고자 한다. 우선적으로 데이터의 잡음 제거를 위해 확률 모델인 칼만 필터(Kalman Filter)를 이용했다. 기상요인 분석 과정은 관측데이터와 기상현상간의 상관관계를 확인하기 위한 통계적 과정으로 분산 분석(Analysis of Variance; ANOVA) 방법을 이용했다. 분산 분석(ANOVA)은 기상 현상의 영향을 보다 정밀하게 파악하기 위해 고속 푸리에 변환(FFT) 전과 후로 나누어 수행했다. 2장에서는 칼만 필터링 방법에 대해 관련연구를 기술하고, 3장에서는 칼만 필터링 수행 후 기초분석을 수행했다. 4장에서는 고속 푸리에 변환(FFT) 전과 후의 분산 분석(ANOVA) 결과를 기술했으며, 5장 결론에서는 결과의 활용 방안과 향후 연구를 기술했다.

2. 관련 연구

수집된 센서 데이터는 잡음(Noise) 성분을 포함하고 있어 기상현상에 의한 외력분석 이전에 필터링 방법이 수반된다.

칼만 필터는 수집되는 데이터 잡음의 확률적인 상태공간 모델과 측정 데이터를 이용하여 재귀적으로 상태변수를 찾아내는 시계열(Time Series) 데이터에 적용될 수 있는 확률 모델로 관측 데이터의 잡음을 제거하기 위해 매우 효과적인 방법이다[7].

칼만 필터는 시스템 노이즈와 측정 노이즈 파라미터를 이용하며 이에 대한 확률 추정 과정은 최대 우도 추정(Maximum Likelihood Estimation; MLE) 과정에서 수집된 데이터를 통해 계산된다. 최대 우도 추정(MLE) 과정에서 요구되는 상태 벡터 x_t 와 데이터에 의해 얻어진 y_t 는 다음과 같이 표현할 수 있다[7-10].

$$x_t = G_t x_{t-1} + w_t, \quad w_t \sim N_p(0, W_t) \quad (1)$$

$$y_t = F_t x_t + v_t, \quad v_t \sim N_m(0, V_t) \quad (2)$$

x_t 는 t 시간의 상태벡터이고, y_t 는 t 시간에 측정된 값이다. G_t 는 전이행렬이고, F_t 는 t 시간에서의 관측(또는 설계)행렬이다. w_t 는 상태에 대한 시스템 에러, v_t 는 t 시간에서의 측정 에러이다. W_t 는 시스템 개선을 위한 공분산 행렬이고, V_t 는 관측 잡음 공분산 행렬이다.

추정 과정은 시스템 모델로부터 이전 상태 추정 값으로 현재의 상태 값을 예측(Prediction)하는 과정과 측정값을 사용하여 예측된 값을 교정(Correction)하는 두 단계로 이루어진다. 예측단계는 재귀 상태 예측 및 측정 업데이트 알고리즘으로 구성된다.

$$\begin{aligned} x_0 &\sim N_p(m_0, C_0) \\ x_{t-1}|y_{1:t-1} &\sim N(m_{t-1}, C_{t-1}) \end{aligned} \quad (3)$$

상태 추정(선형적):

$$\bar{x}_{t|t-1} = E(x_t|y_{1:t-1}) = G_t \bar{x}_{t-1|t-1} \quad (4)$$

에러 공분산 추정(선형적):

$$\begin{aligned} P_{t|t-1} &= \text{Var}(x_t|y_{1:t-1}) \\ &= G_t P_{t-1|t-1} G_t^T + Q_t \end{aligned} \quad (5)$$

예측 상태 추정(선형적)은 현재 시간 단계 정보를 포함하지 않는다. 측정이 수행된 후, 상태 추정을 구체화하기 위해 예측을 비교하게 된다. 측정 업데이트식은 다음과 같다.

측정치 개선:

$$\bar{y}_t = y_t - F_t \bar{x}_{t|t-1} \quad (6)$$

공분산 개선:

$$S_t = F_t P_{t|t-1} F_t' + R_t \quad (7)$$

칼만이득 계산:

$$K_t = P_{t|t-1} F_t' S_t^{-1} \quad (8)$$

상태 추정(후험적):

$$\bar{x}_{t|t} = \bar{x}_{t|t-1} + K_t \bar{y}_t \quad (9)$$

에러 공분산 추정(후험적):

$$R_{t|t} = P_{t|t-1} - K_t F_t P_{t|t-1} \quad (10)$$

상태 벡터의 관측을 위한 예측 값을 분산/공분산 행렬과 함께 한단계(One-step-ahead)씩 계산된다.

최대우도추정(MLE)은 정규분포를 가정하고, 분포의 모수를 추정하는데 활용된다. 어떤 모수 θ 로 결정되는 확률변수 $D_\theta = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 가 있고, D_θ 의 확률밀도함수나 확률질량 함수 f 에서 값 x_1, x_2, \dots, x_n 을 얻었을 경우, 가능도 $L(\theta)$ 는 다음과 같다.

$$L(\theta) = f_\theta(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (11)$$

여기서 가능도를 최대로 만드는 θ 는 다음과 같다.

$$\bar{\theta} = \operatorname{argmax}_\theta L(\theta) \quad (12)$$

이 때, x_1, x_2, \dots, x_n 이 모두 독립적이고 같은 확률분포를 가지고 있다면, L 은 다음과 같이 표현된다.

$$L(\theta) = \prod_i f_\theta(x_i) \quad (13)$$

로그함수는 단조 증가함수로 L 의 로그 최대값은 $\bar{\theta}$ 와 같고, 이 경우 최대 로그 우도는 다음과 같이 표현된다.

$$L^*(\theta) = \log L(\theta) = \sum_i \log f_\theta(x_i) \quad (14)$$

3. 분석 대상 및 데이터 전처리

분석대상은 대구지역 전주에 설치된 가속도계에서 수집된 데이터를 바탕으로 한다. 2016년 9월 1일부터 2016년 9월 30일 까지 한달간 수집된 데이터이다.

Table 1은 가속도계 센서 데이터의 일반현황이다. 데이터는 변압기 본체, 부하 개폐기, 완금, 전주, 통신용함체에 설치된 센서 노드를 통해 수집된다. 센서 노드는 가속도, 온도, 습도를 측정한다.

Table 1. General Information for Sensor Data

Position	Device	Count of Device
Area "A" (26 locations)	Transformer	11
	Load Switch	4
	Arm	3
	Pole	22
	Enclosure	13
Area "B" (46 locations)	Transformer	23
	Load Switch	2
	Arm	14
	Pole	33
	Enclosure	22

Table 1에서 지역 "A", 지역 "B"는 관리상의 구분 지역이며, 설치 위치에 따른 분류로 수집되는 데이터 구조 및 데이터 형태의 차이는 없다. 본 논문에서 "B" 지역은 "A" 지역보다 수집범위가 넓어 비교 대상이 많은 "B"지역의 데이터를 분석했다.

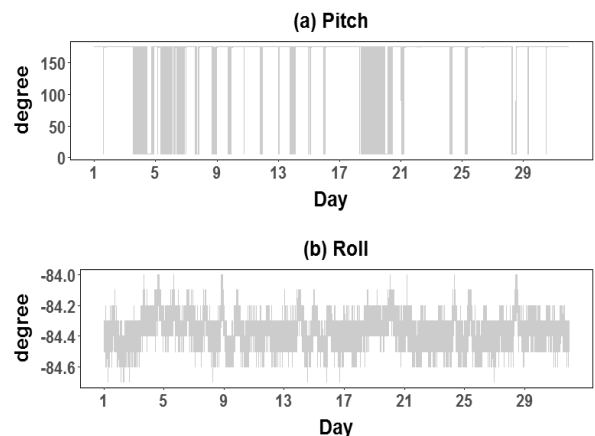


Fig. 1. Observed Data for (a) Pitch and (b) Roll

3축 가속도계에서 수집된 데이터는 센서노드에서 피치(Pitch)각과 롤(Roll)각으로 변환되어 수집된다. Fig. 1에서 2016년 9월 한달동안 수집된 "B" 지역 전주(Pole)의 센서에

서 수집된 관측값을 나타낸다. 가속도 센서는 외력의 변화에 민감하며 데이터 측정 주기, 센서 오차 등의 영향과 더불어 잡음으로 나타난다. 관측 데이터에 대해 잡음(Noise) 보상 방법으로 칼만 필터를 사용한다.

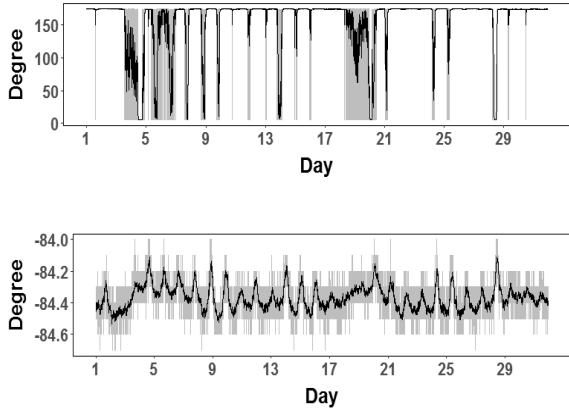


Fig. 2. Comparison of Sensor Data between Observed and Filtered Data

Fig. 2는 칼만필터 수행의 결과이다. 수집된 데이터로부터 최대우도 추정(MLE)을 통해 계산된 파라미터를 기반으로 필터링을 수행했다. 시계열 데이터는 경향성(Trend), 계절성(Seasonality), 주기성(Cycle), 불규칙성(Irregular)의 성분이 나타날 수 있으며, 계절성은 데이터가 일정한 형태의 패턴(Pattern)을 가지고 반복되는 것을 의미한다. 센서노드에서 수집된 가속도 데이터를 필터링한 결과 데이터 형태는 일차별로 계절성(Seasonality)을 보이고, 경향성(Trend)는 나타나지 않는다.

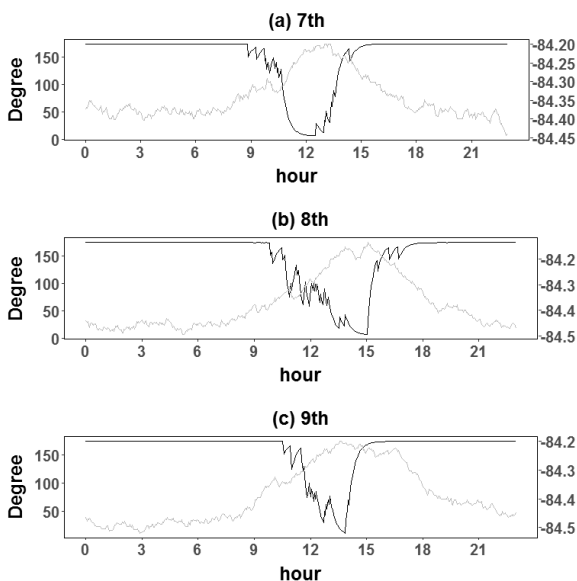


Fig. 3. Observed Data for Pitch Data on (a) 7th, (b) 8th, and (c) 9th day

Fig. 3은 2016년 9월 7일, 8일, 9일의 피치각 관측데이터이다. Pitch는 7일의 데이터에서 최저 6.229, 최대 174.569, 중위수는 174.425, 8일의 데이터에서 최저 6.942, 최대 174.607, 중위수 174.482, 9일의 데이터에서 최저 11.567, 최대 174.644, 중위수 174.504을 가진다. 7일, 8일, 9일의 최빈값은 174.5와 175 사이의 값을 가진다. 데이터에서 Pitch는 오전 9시부터 오후 6시까지 변화가 있으며, 감소하는 형태를 보인다. Roll의 범위는 -84.444에서 -84.199로 데이터의 변량이 매우 작게 나타나며, 외력의 영향은 피치(Pitch)각에 대해 크게 작용함을 보인다.

4. 기상 영향요인 분석

전주에서 수집된 가속도 데이터는 유지/보수의 목적으로 구조물의 피해(전도/파괴 등)를 탐지하기 위함이다. 가속도에서 수집되는 데이터는 피치(Pitch)각과 롤(Roll)각이며 이는 진동으로 나타난다. 진동은 주파수 성분으로 해석될 수 있으며, 기상 요인별로 나타나는 주파수 성분을 분석하기 위해 시간 영역(Time Domain)을 주파수 영역(Frequency Domain)으로 변환하는 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform; FFT)을 이용했다.

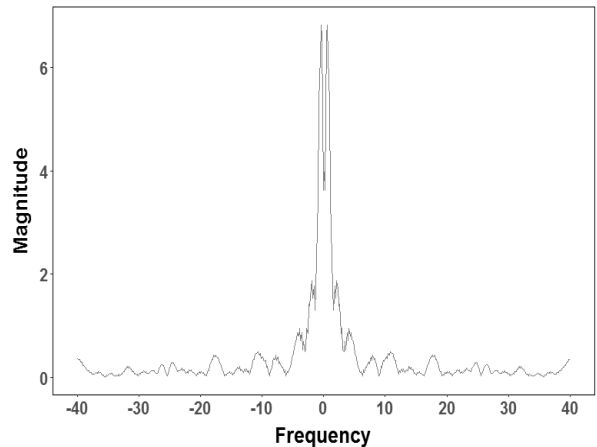


Fig. 4. A Spectrum of Fast Fourier Transform for Pitch Data

Fig. 4는 고속 푸리에 변환(FFT)의 스펙트럼 성분을 나타낸 도표이다. 도표에서 주파수 성분에 따라 0~10 사이 크기(magnitude)가 높게 나타나며, 여러 주파수 성분을 포함한 진동의 형태를 나타낸다.

Fig. 5는 Pitch 데이터를 고속 푸리에 변환한 결과 도표이다. Fig. 4의 고속 푸리에 변환(FFT) 결과에 따라 0~10(저주파), 10~20(중주파), 20~30(고주파) 영역으로 필터링을 수행한 결과이다. Fig. 5에서 높은 주파수 성분이 존재

할 때 낮은 주파수 성분이 동일한 시간대에 나타나고 있다. 각 주파수에 따른 기상요인 영향 분석을 위해 분산 분석(ANOVA)을 수행했다. 분산분석은 설명 변수들의 영향을 고려하기 위해 사용된다.

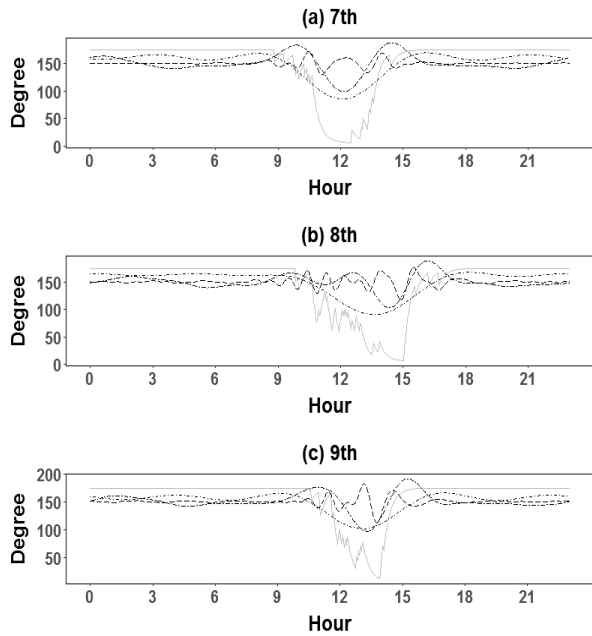


Fig. 5. Results of Band Pass Filter for Pitch Data on (a) 7th, 8th, and 9th Day

기상청에서는 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[11]. 본 연구에서는 대구지역에서 수집된 정보로 분석을 수행했으며, 수집 데이터와 동일한 지역과 기간의 기상청 정보를 사용한다. 기상청 자료에서 분석에 사용된 데이터는 온도, 습도, 강수량, 풍속, 풍향, 증기압, 대기압, 노점온도, 일조시간, 일사량, 운량을 설명변수로 이용했다.

Table 2는 칼만 필터링을 수행한 후의 기상요인에 대한 분산분석의 결과이다. 유의수준 0.05에서 온도, 풍속, 증기압, 대기압, 노점온도, 일조시간, 일사량이 유의하게 나타난다. 결과 중에서도 온도, 증기압, 일조시간, 일사량은 Pitch에 대한 영향이 매우 크다.

피치(Pitch)에서 주파수 성분별 기상영향 요인을 고려하기 위해 고속 푸리에 변환(FFT)을 수행하여 주파수 성분을 확인하고 이를 3개의 범주로 분리했다. 기상청(KMA)은 시간단위 기상정보를 제공하며, 10분단위로 수집된 센서 노드의 샘플링 과정이 필요하다.

Table 2. Results of ANOVA Test for Kalman Filtered Data

Variable	F Value	P-Value
Temperature	140.97696	0.02*10 ⁻⁶
Humidity	0.73141	0.3927
Precipitation	3.34724	0.0677
Wind Speed	7.78381	0.0054
Wind Direction	1.96158	0.1618
Steam Pressure	16.06002	0.07*10 ⁻⁴
Air Pressure	5.56270	0.0186
Dew Point	5.89362	0.0154
Hours of Daylight	82.71527	0.02*10 ⁻⁶
Solar Radiation	222.51119	0.02*10 ⁻⁶
Cloud Cover	0.92785	0.3357

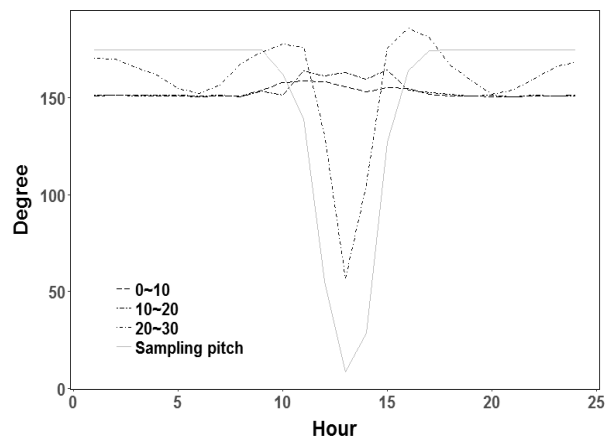


Fig. 6. Sampling Results for Band Pass Filtered Data

Fig. 6은 Fig. 5의 주파수 대역 필터링 결과에서 시간단위로 샘플링을 수행한 결과이다. 각 시간대에 따른 주파수 대역별 기상영향 요인을 고려하기 위해 시간대에 나타나는 최댓값으로 데이터 재구성을 수행했다.

Table 3은 저주파, 중주파, 고주파 대역별로 2016년 9월 한달간 데이터로 샘플링 후 ANOVA분석을 수행하고, 유의확률 5%, 유의수준 0.05에서 유의하지 않은 설명변수를 제외한 결과를 나타낸다.

“A” 범위(저주파)에서 일조시간과 일사량이 유의하다. “B” 범위(중주파)에서 온도, 습도, 강수량, 풍향, 증기압, 대기압 변수가 유의하다. “C” 범위(고주파)에서 온도, 풍속, 대기압, 일조시간, 일사량 영향이 나타난다. “A” 범위에서 일사량이 가장 유의하며, “B” 범위에서 대기압 영향이 가장 유의하고, “C” 범위에서 온도와 일사량이 가장 유의하다.

Table 3. Results of ANOVA Test for Sampling Data

Frequency Range	Variable	P-Value
"A" (0 to 10)	Hours of Daylight	0.02×10^{-3}
	Solar Radiation	0.02×10^{-14}
"B" (10 to 20)	Temperature	0.04×10^{-3}
	Humidity	0.06×10^{-1}
	Precipitation	0.0258
	Wind Direction	0.04×10^{-2}
	Steam Pressure	0.02×10^{-3}
	Air Pressure	0.02×10^{-5}
"C" (20 to 30)	Temperature	0.02×10^{-8}
	Wind Speed	0.0332
	Air Pressure	0.0091
	Hours of Daylight	0.02×10^{-3}
	Solar Radiation	0.01×10^{-8}

분산 분석의 결과로 선형 모델, 일반화 선형 모델, 일반화 가법 모형 등의 모델링 방법을 이용할 수 있으며, 모델 구성을 통한 설명력을 확인하기 위해 각 주파수 범위별로 선형모형(Linear Model)을 이용하여 공변량 분석(Analysis of Covariance; ANCOVA)를 수행했다.

Table 4. Results of ANCOVA Test using Linear Model

Frequency Range	Degrees of Freedom	Residual Standard error	R-squared
"A" (0 to 10)	390	18.2793	0.1988
"B" (10 to 20)	163	3.0412	0.3582
"C" (20 to 30)	387	3.5949	0.2312

가속도 센서로부터 수집된 피치(Pitch)각에 대한 기상요인의 영향도 모델로 선형 모델을 이용할 경우 "A" 범위는 19%, "B" 범위는 35%, "C" 범위는 23%의 설명력 보인다. 평균 26%의 설명력을 보인다.

5. 결 론

외력에 의한 잡음(Noise)과 편향(Bias)이 크게 반영된 데이터는 전도/노후화 등의 이상상황 판단을 어렵게 한다. 이상상황을 판단하기 위한 임계치 설정을 위해서는 잡음

(Noise)과 편향(Bias)을 제거해야 한다. 잡음은 필터링 방법을 통해 제거 될 수 있으며, 편향(bias)은 외력 모델링을 통해 요인을 파악하고 제거할 수 있다. 본 논문에서는 문제의 해결을 위해 칼만 필터를 통해 잡음을 제거했다. 또한, 외력 모델링의 사전단계로 고속 푸리에 변환(FFT)을 이용하여 기상 요인 분산 분석(ANOVA)을 수행한 결과를 제시했다.

수집된 가속도 데이터는 2016년 9월 한달간 수집된 것으로, 칼만 필터링 후의 데이터는 일자별로 유사한 패턴이 반복되는 계절성(Seasonality)을 보이고 있다. 수집된 데이터는 오전 9시에서 6시까지 변량이 있으며, 최빈값은 174.5, 중위수는 174.482로 데이터의 편향이 크게 나타난다. 데이터의 편향(bias)은 선형 모형, 일반화 선형 모형 등의 모델링 방법을 통해 기상현상에 의한 외력 패턴을 구축할 수 있고, 구축된 패턴을 통해 편향요인을 제거할 수 있다. 이에 따라 본 논문에서는 외력 모델링의 사전단계로 기상현상 분산 분석(ANOVA)를 수행했다. 분산 분석(ANOVA)은 기상 현상의 영향을 보다 정밀하게 파악하기 위해 고속 푸리에 변환(FFT) 전과 후로 나누어 수행했다. 기상현상 분석에 온도, 습도, 강수량, 풍속, 풍향, 증기압, 대기압, 노점온도, 일조시간, 일사량, 운량 등을 이용했다. 고속 푸리에 변환(FFT) 전의 분산분석(ANOVA) 결과는 온도, 풍속, 증기압, 대기압, 노점온도, 일조시간, 일사량 변수가 유의했다. 수집된 데이터는 고속 푸리에 변환(FFT)을 통해 3개 주파수(저주파, 중주파, 고주파) 범위로 분리했다. 저주파 범위에서는 일조시간, 일사량이 유의했다. 중주파에서는 온도, 습도, 강수량, 풍향, 증기압, 대기압이 유의했다. 고주파 범위에서는 온도, 풍속, 대기압, 일조시간, 일사량이 유의했다.

본 논문의 결과로 분산 분석(ANOVA)의 결과에 의존도가 높은 선형 모델, 일반화 선형 모델, 일반화 가법 모형 등의 모델링 방법을 통해 기상요인에 의한 패턴을 구성/예측할 수 있으며, 기상 영향요인을 제외한 잔차(Residuals) 혹은 잔차의 적산(Cumulative) 데이터를 이용하여 이상상황을 판단하기 위한 임계치를 설정하는데 도움이 될 것이다. 이에 따라 본 논문에서 구성된 유의 변수들로 26%의 설명력(Explained)을 갖는 선형 모델을 구축했으며, 설명력을 높일 수 있는 모델을 구축하는 향후 연구가 필요하다.

References

[1] 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.

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

[3] 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*, No.4, pp.185-187, 2008.

[4] 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, October, 2007.

[5] 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, July, 2016.

[6] 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, July, 2014.

[7] H. G. Kim, C. Y. Park, C. S. Shin, Y. Y. Cho, and J. W. Park, "Time Series Analysis for Traffic Flow Using Dynamic Linear Model," *The KIPS Transactions on Computer and Communication Systems*, Vol.6, No.4, pp.179-188, 2017.

[8] 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.

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

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

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

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

[13] 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.

[14] 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)*, Singapore, 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



조용윤

e-mail : yycho@sunchon.ac.kr
 1995년 인천대학교 전산학과(학사)
 1998년 숭실대학교 컴퓨터학과(공학석사)
 2006년 숭실대학교 컴퓨터학과(공학박사)
 2009년~현 재 순천대학교 정보통신공학과
 부교수

관심분야: 시스템 소프트웨어, 유비쿼터스 컴퓨팅, 기계학습



김영현

e-mail : younghyun.kim@kepco.co.kr
 2002년 한국항공대학교 통신정보공학(학사)
 2004년 광주과학기술원 정보통신공학(석사)
 2004년~현 재 한전 전력연구원
 선임연구원

관심분야: 유·무선 통신망 설계, 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