

송전선로 고장실적과 날씨와의 통계적 상관관계 분석

신동석*·김진오*·차승태**·전동훈**·추진부**
*한양대학교 전기공학과 ·**전력연구원

Statistical Correlation Analysis between Transmission Line Outage Data and Weather Effect in KEPCO Systems

Dong-Suk Shin* · Jin-O Kim* · Seung-Tae Cha** · Dong-Hoon Jeon** · Jin-bu Choo**
*Dept. of EE, Hanyang University · **KEPRI

Abstract - Transmission line outage is influenced by several weather factors: wind, rain snow, temperature, cloud and humidity. So, in this paper try to see how much each weather factors have effect on the transmission line outage and it is analyzed that which weather variables have close relation with transmission line historical outage data in KEPCO systems. These statistic correlation analysis may provide system operators useful information about system operation and planing.

를 관리하기 위한 데이터베이스인 ezCas(Easy Contingency Analysis System)를 이용하였다. ezCas DB는 Microsoft 사의 SQL을 기반으로 Delphi 7.0으로 구현하였다.

1. 서 론

우리나라는 4계절별로 날씨의 변화가 뚜렷한 특징을 가지고 있다. 이런 변화에 전력시스템 역시 이러한 날씨의 영향에 따라 많은 영향을 받게 된다. 전력시스템은 내부설비 보다는 외부설비가 많이 분포 되어있고 그 중에서도 송전선로는 대부분이 외부에 가설되어 있다. 뿐만 아니라, 광역에 설치되어 있기 때문에 송전선로는 날씨의 영향을 가장 영향을 많이 받는다고 할 수 있다. 예를 들면, 태풍 또는 강풍처럼 날씨가 악화되었을 때 외물접촉이나 단선과 같은 고장의 원인들이 증가하게 되어 송전선로의 사고가 증가되는 것으로 미루어 알 수 있다. 따라서 전력시스템 중에서 날씨에 따른 송전선로 고장율을 다룰 필요가 있다.

현재 전력시스템은 갑작스런 사고에 대하여 시스템 운영을 위해 일정량의 신뢰도 여유 및 기준을 가지고 운영되고 있다. 그러나 이러한 신뢰도 기준에서 날씨의 영향은 거의 반영되고 있지 않은 실정이다. 그러므로 운영자는 날씨가 얼마나 사고에 영향을 미치는지를 알고 이를 운영에 반영해야만 더욱 더 경제적으로 시스템을 운영할 수 있게 된다. 즉, 평범한 날씨에서는 전력시스템 운영기준에 대해 시스템 여유를 좀더 낮게 책정하고, 반대로 악천후 시에는 여유를 더 높임으로써 평범한 날씨 상황에서 더 많은 전력을 보내고 악천후 상황에서 시스템을 더 안정적으로 유지하는 것을 도모하기 위함이다.

날씨 효과를 반영하기 위해서는 날씨를 표현할 수 있는 지표가 필요하다. 이러한 지표에는 풍속, 운량, 강수량, 적설량, 기온과 상대습도 등이 있다. 이러한 요소들은 날씨에 따라 임의의 시각의 날씨를 정확히 설명하는 것이 가능한 요소들이다. 그러므로 본 논문에서는 이러한 날씨요소들에 대해 송전선로 고장과의 상관관계 분석을 실시하였다. 이는 송전선로 고장통계자료와 기상청 자료를 바탕으로 행하였다.

2. ezCas DB를 이용한 고장실적 데이터 취득

2.1 구축된 고장실적 데이터베이스 ezCas

전력계통의 상정사고 해석을 위해서는 방대한 자료를 효율적으로 관리하는 데이터베이스가 반드시 필요하다. 따라서 그림 1과 같이 PSS/E 데이터를 기반으로 한 10년(1994~2003)간 전력설비 고장실적데이터와 기상데이터

The screenshot shows a window titled 'ezCas' with a menu bar and a data table. The table has columns for '연도(Year)', '월(Month)', '일(Day)', '고장률(Fault Rate)', '고장률(Fault Rate)', '고장률(Fault Rate)', '고장률(Fault Rate)', '고장률(Fault Rate)', '고장률(Fault Rate)', '고장률(Fault Rate)', '고장률(Fault Rate)', '고장률(Fault Rate)'. The rows contain numerical data for each year and month.

그림 1. ezCas의 사고데이터 출력화면

2.2 ezCas의 기상데이터 연동

이 프로그램에서는 기상데이터와 고장데이터가 서로 연동되어서 최종적인 출력데이터를 만들고 있다. 고장데이터에 있는 자료를 바탕으로 기상데이터를 불러오는 형식이다. 우리나라는 76개의 기상관측지점이 있으며, 그 데이터를 기상데이터로 이용하였다. 그림 2는 관측소 지점도이다.

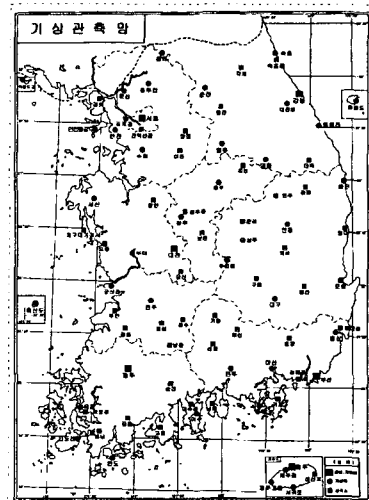


그림 2. 전국 기상 관측지점

Line Data (기상위치)

모선번호 (from)	오선번호 (to)	선로이름	기상위치 [%]
1400	1500	양주 #1	80

Bus Data (기상위치)

모선번호	오선이름	기상위치
1400	양주 345	108
1500	의정부 3	95

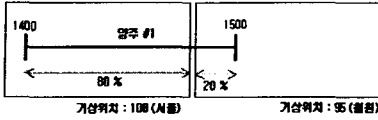


그림 3. 모선과 선로데이터의 기상위치 데이터

그림 3은 기상데이터가 어떻게 고장데이터와 연동되는지 보여주는 그림이다. 만약 '양주 #1' 선로의 총 길이가 50 [km]이고 고장이 20 [km]에서 났다면, 고장지점은 $(20/50) \cdot 100 = 40\%$ 지점이다. 따라서 이 고장은 From 모선으로부터 80 [%] 이내에 속하므로 기상데이터는 '108 (서울 관측소)' 지점이 된다. 그리고 사고지점이 없는 데이터는 [%]가 높은 지점의 기상데이터를 이용하게 되어 있다.

3. 사례 연구

3.1 송전선로 사고데이터

송전선로는 154 [kV], 345 [kV]와 765 [kV]가 있으며, 지중 및 가공선로가 있는데, 지중선로는 날씨에 영향을 받지 않음으로 본 논문에서는 고려하지 않았다. 또한, 사고데이터 중에서 지장시간이 1분미만인 고장실적도 제외하였다. 이런 경우는 계전기가 정상적으로 작동한 순간 고장으로 전력시스템 신뢰도 평가에는 영향을 미치지 않기 때문이다. 본 논문에서 사용하는 사고데이터는 실제 한전시스템의 1994년부터 2003년까지 10년간의 고장실적 데이터이다. 전체적인 경향은 다음 그림 4와 같다.

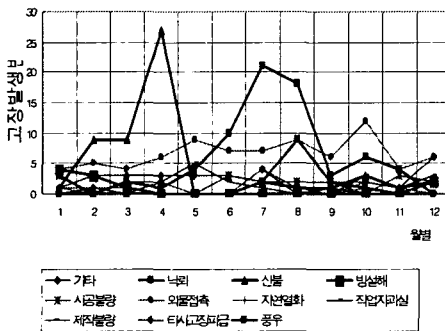


그림 4. 가공선로의 사고원인별 고장발생 빈도

그림 4에서와 같이 고장을 원인별로 분석했을 경우, 4월의 산불과 7월과 8월의 낙뢰에 의한 사고가 가장 많은 것을 알 수 있다. 이러한 사고원인들은 날씨에 의해서 발생하는 것으로써, 날씨가 얼마나 사고에 영향을 많이 미치는가를 설명해 주고 있다. 월별로 사고원인별 고장건수에 차이가 많이 나는 것은 우리나라가 사계절별로 날씨의 변화가 아주 심하기 때문이다.

봄철은 매우 건조하기 때문에 산불사고가 많이 발생하며, 여름에는 폭우 및 태풍으로 인한 사고가 많았다는 것을 그림 4를 통해 알 수 있다. 그러므로 다른 원인에 비해 날씨로 인한 사고가 가장 많다고 볼 수 있으며, 그에 따른 영향도 크다는 것을 알 수 있다.

3.2 기상데이터 분석

전국의 날씨를 분석하려면, 우선 각 기상요소에 따라서 그 요소의 크기와 주어진 시간동안에 기상현상이 어

느 정도 발생했는지에 대한 정보가 필요하다. 우리나라에는 총 76개소의 기상관측소가 있으며, 그 중에서 각 9개 한전 관리처에 대한 대표적인 8개 기상관측소를 정하여 전국의 날씨 특성을 알아보았다. 측정시간은 1994년부터 2003년까지의 데이터를 바탕으로 누적하여 나타내었다. 각 기상요소별로 그림을 그려보면 그림 5와 같다.

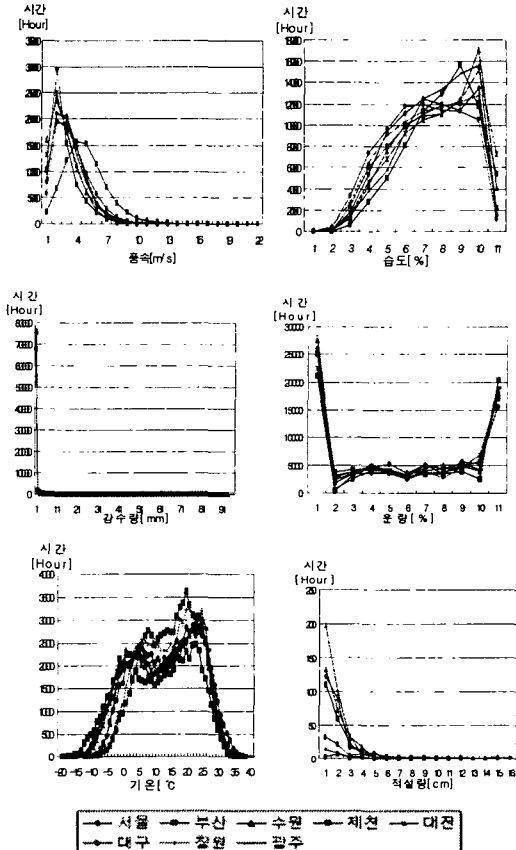


그림 5. 각 관측소 기상요소별 시간 (1994~2003년)

그림 5를 살펴보면 각 날씨요소가 얼마만큼의 기간동안 어느 정도의 크기로 송전선로 고장에 영향을 미쳤는가를 알 수 있다. 또한, 지역간의 차이가 얼마나 큰지도 알 수 있다. 즉, 분포함수가 분산되지 않고 집중되어 있다면, 그만큼 지역 차이가 없다는 것을 의미한다. 그러므로 그림 5를 통해 각 지역마다 얼마만큼의 날씨 차이가 있으며, 각 날씨요소마다 어떤 경향을 나타내고 있는지를 알 수가 있는 것이다.

3.3 송전선로 고장과 날씨와의 관계

날씨와 송전선로 고장과의 상관관계를 알아보기 위해서는 고장이 발생한 날씨의 기상데이터에서 풍속, 강수량, 적설량, 기온과 상대습도 측정값들이 필요하고 그에 따라 이미 구축된 고장실적 데이터베이스(ezCas DB)를 이용하여 이를 조사하였다. 그리고 이러한 고장실적 데이터를 이용하여 시간당 사고가 발생되는가를 표현하면 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다 [2,4].

$$Failure Rate = \frac{Number\ of\ Failures}{T} \quad (1)$$

여기서, T는 전체 관측기간 중 각 날씨요인이 영향을 미친 시간 [hour]

사고발생 날씨요소에 따른 사고건수와 그림 5에서 나온 데이터를 식 (1)에 입력하면 고장률을 추정할 수 있다. 지면상 각 관리처별에 대한 날씨요소에 따른 추정결과는 생략하였다 [1].

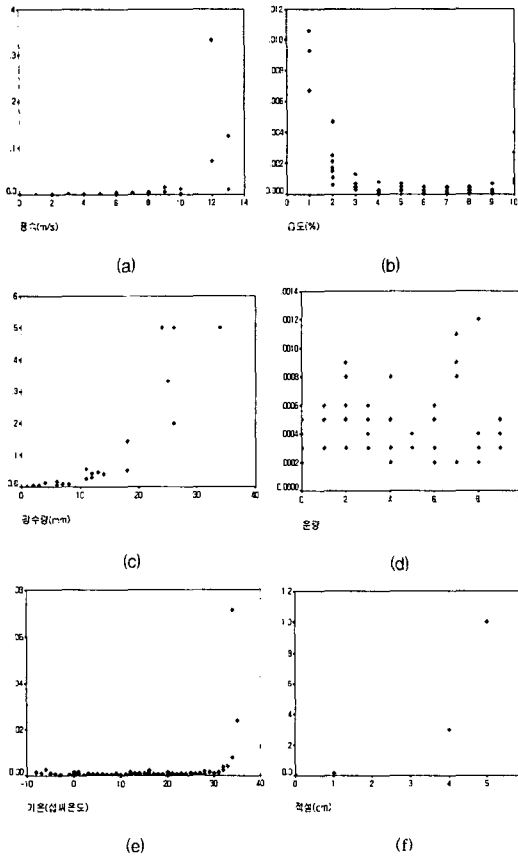


그림 6. 10년간 고장실적을 이용한 각 날씨요소들과 고장률

그림 6의 (a)는 송전선로 고장률과 풍속의 상관관계를 나타내는데 일정수준 이상의 크기에서 지수관계로 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. (b)는 상대습도로 습도가 낮을 때 고장률이 크게 나타난다. 그 이유는 봄철 건조한 시기의 산불에 의한 사고가 많이 발생하기 때문이다. (c)는 강수량으로 이차함수와 같은 형태로 고장률이 점점 급격히 증가하는 형태이다. (d)는 운량으로써 하늘의 구름정도를 나타내며 범위는 0에서 10까지이며, 10은 하늘을 구름이 다 덮고 있는 상태를 말한다. (e)는 온도에 대한 상관관계를 보여주는데 30 °C 이후에 급격히 고장률이 증가한다. (f)는 적설량에 관한 고장률 산포도로 강수량과 비슷한 형태를 가지고 있음을 알 수 있다.

3.4 날씨요소와 상관계수

상관분석은 두 변수 사이에 상관관계가 존재하는지를 파악하고, 상관관계의 정도를 측정하는 것이다. 보편적으로 자주 이용되는 척도는 피어슨 상관계수(Pearson correlation Coefficient : r)이며, 식 (2)와 같이 표현된다 [3].

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

여기서, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ (n 은 표본의 수), $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ 이다.

검정 통계량 t 값(t -value)은 식 (3)에 의해 계산된다.

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (3)$$

여기서, r : 상관계수

$n-2$: 자유도 (n 은 표본의 수)

따라서, 유의수준 α 에서 만약 $|t_0| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$ 이라면 '유의적'이라고 할 수 있다. 즉 귀무가설인 '상관관계가 있다'를 만족한다는 말이다.

식 (2)와 (3)을 이용하여 송전선로 고장과 날씨의 상관관계를 분석한 결과는 표 1과 같다.

표 1. 각 날씨요인별 상관관계 분석 결과

날씨요소	상관계수	유의도
풍속	0.433	0.000
습도	-0.417	0.000
강수량	0.858	0.000
운량	0.07	0.593
기온	0.208	0.012
적설량	0.886	0.046

표 1에서와 같이 사고확률과 날씨요인과의 상관관계는 6개의 요인 중 강수량과 적설량에 대한 상관관계가 가장 크게 나왔다. 결국, 날씨요소 중에서 송전선로 사고와 관계가 가장 큰 것은 강수량과 적설량이라고 할 수 있다. 그 다음으로 풍속, 습도, 기온과 운량 순이다. 날씨요인 중에서 습도는 상관계수가 음으로 반비례의 추세를 갖는 관계라 볼 수 있다. 그 이유는 봄철의 건조한 날씨로 인하여 산불에 의한 사고가 많기 때문이다. 그러나 날씨요소 중에서 운량은 상관분석결과 유의도가 0.593으로 유의수준을 상당히 벗어나기 때문에 운량과 송전선로 사고와는 상관관계가 없다고 보아도 무방할 것이다.

4. 결 론

전력시스템의 송전선로는 날씨의 영향을 많이 받고 있지만, 현재는 이러한 날씨영향을 제대로 운영 및 계획에 반영하지 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 날씨가 송전선로 사고에 얼마나 영향을 미치는가를 상관분석을 통하여 알아보고, 이를 분석함으로써 시스템의 운영 및 계획에 도움을 주고대 목적을 두었다. 본 논문의 결과에서와 같이 상관계수가 적설량, 강수량과 풍속이 높은 것을 알 수 있다. 따라서 날씨가 송전선로 고장실적에 미치는 영향 평가는 상관계수의 고저로써 결정해야 할 것이다. 여기서 날씨가 송전선로 사고에 아무런 영향을 못 미치는 평상날씨 조건(Normal Weather Condition)과 영향을 많이 미칠 수 있는 가혹날씨 조건(Adverse Weather Condition)으로 나누어 생각할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 전력연구원의 연구지원(기금-119J03PJ03)에 의해 수행되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] J. McDaniel, C. Williams and A. Vestal, "Lightning and Distribution Reliability A Comparison of Three Utilities", *IEEE*, 2003.
- [2] C.W. Williams and Jr. PE CPQ, "Weather Normalization of Power System Reliability Indices", *IEEE*, 2003.
- [3] 배현웅, "통계학의 기초와 활용기법", 교우사, 2002
- [4] M.J. Crowder, A.C. Kimber, R.L. Smith and T.J. Sweeting, "Statistical Analysis of Reliability Data", *Chapman & Hall*, 1991.