

송전선로 고장실적과 날씨의 통계분석을 통한 날씨기준 설정

이승혁\* · 신동석\* · 김진오\* · 전동훈\*\* · 추진부\*  
 \*한양대학교 전기공학과 · \*\*전력연구원

A Criterion using Statistical Analysis for Transmission Line outages and Weather

Seung-Hyuk Lee\* · Dong-Suk Shin\* · Jin-O Kim\* · 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. And most power system reliability studies assume a failure rate. It can be calculated by transmission line outage data and weather data. Also weather is divided into normal weather and adverse weather by failure rate analysis. The effect of failure rate is discussed with both normal weather and adverse weather. It can be used in effective information about system operation and planing.

였다. 이 프로그램은 Microsoft사의 SQL을 기반으로 Delphi로 구현되어 있다. 그림 1은 프로그램의 실행화면이다.

1. 서 론

오늘날 전력 시스템은 아마 가장 복잡하고 큰 산업일 것이다. 거의 대부분의 에너지원으로 가정이나 공장에서 전기를 쓰기 때문이다. 이렇게 거대해진 시스템을 정확하게 예측한다는 것은 대단히 어려운 일이다. 따라서 이런 문제들을 확률적인 이론으로 접근하려 한다.

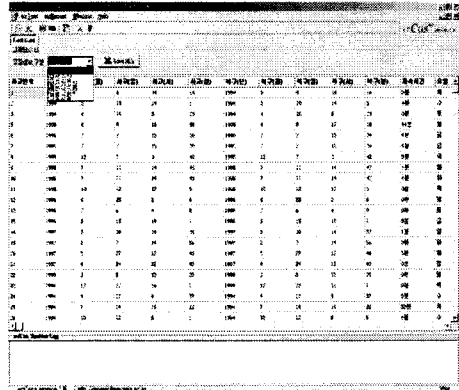


그림 1. ezCas의 사고데이터 출력화면

우리나라는 계절별로 날씨의 변화가 뚜렷한 특징을 가지고 있다. 이런 외부적인 변화는 시스템에 많은 영향을 준다. 왜냐면 전력계통은 내부설비 보다는 외부설비가 많다. 그중에서 송전선로는 외부뿐만 아니라 넓은 지역에 걸쳐있기 때문에 그 영향도 많을 것이다. 따라서 송전선로에 대한 날씨의 영향을 분석하고자 한다. 날씨의 영향을 비교 평가하기 위해서는 날씨에 대한 적절한 지표가 필요하다. 이러한 지표로 본 논문에서는 기상청 관측요소인 풍속, 운량, 강수량, 적설량, 기온 및 상대습도를 이용하였다. 이 기상데이터와 송전선로 고장데이터로 기상요소별 크기에 따른 고장률을 계산할 수 있을 것이다. 현재 전력시스템은 갑작스런 사고에 대해 일정량의 신뢰도 여유 및 기준을 가지고 운영되고 있다. 그러나 이러한 신뢰도 기준에서 날씨의 영향은 거의 반영되고 있지 않는 것이 현실이다. 그러므로 운영자들이 날씨가 얼마나 사고에 영향을 미치는지를 알고 이를 운영에 반영한다면 더욱 경제적으로 전력시스템을 운영할 수 있게 될 것이다. 즉, 평범한 날씨에서는 운영기준을 낮추어 더 많은 전력송전을 하고, 반대로 악천후 시에는 운영기준을 높여 갑작스런 사고에 대비할 수 있을 것이다.

2.2 송전선로 사고데이터 분석

송전선로는 154 kV, 345 kV와 765 kV가 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 순간고장으로 전력시스템 신뢰도에 평가에는 영향을 미치지 않기 때문이다. 본 논문에서 사용하는 사고데이터는 실제 한전시스템의 1994년부터 2003년까지 10년간의 고장실적 데이터이다. 전체적인 경향은 다음 그림 2와 같다.

따라서 날씨요소에 따라 송전선로 고장률이 어떻게 변하는지를 알아보고, 이것을 이용해 고장률이 낮은 평상날씨(Normal Weather)와 높은 가혹날씨(Adverse Weather) 두 상태로 나누는 기준을 제시할 것이다.

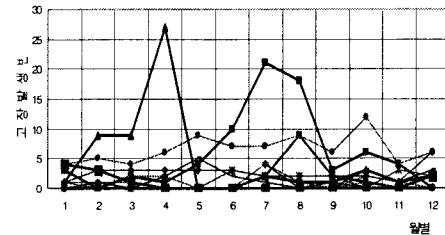


그림 2. 가공선로의 사고원인별 고장발생 빈도

2. ezCas DB를 이용한 고장실적 데이터 취득

2.1 구축된 고장실적 데이터베이스 ezCas

전력계통의 상정사고 해석을 위해서는 방대한 자료를 효율적으로 관리하는 데이터베이스가 반드시 필요하다. 본 논문에서는 PSS/E 데이터를 기반으로 전력설비 데이터와 기상데이터를 관리하기 위해 개발한 데이터베이스 ezCas (Easy Contingency Analysis System)을 이용하

고장을 원인별로 분석했을 경우, 4월에 산불과 7월과 8월에 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.

### 2.3 기상데이터 분석

전국의 날씨를 분석하려면, 우선 각 기상요소에 따라서 그 요소의 크기와 주어진 시간동안에 기상현상이 어느 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. 각 기상요소별로 그림을 그려보면 그림 3과 같다.

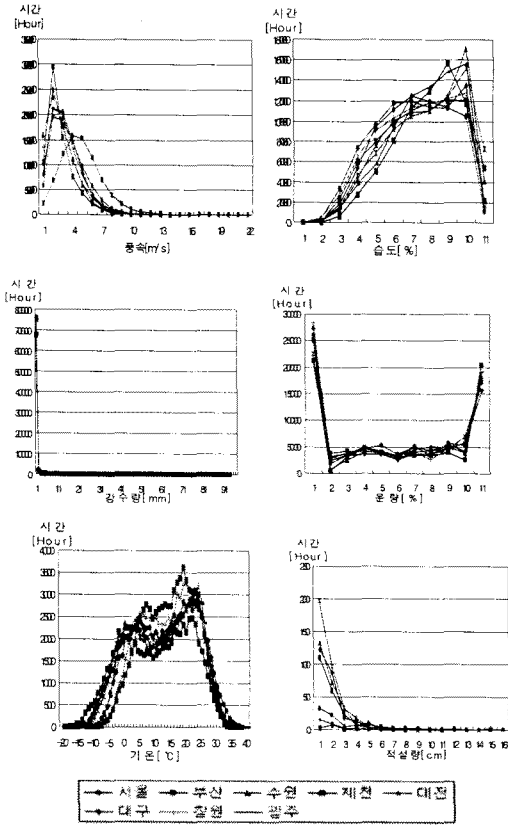


그림 3. 각 관측소 기상요소별 시간 (1994~2003년)

그림 3을 살펴보면 각 날씨요소가 얼마만큼의 기간동안 어느 정도의 크기로 송전선로 고장에 영향을 미쳤는가를 알 수 있다. 또한, 지역간의 차이가 얼마나 큰지도 알 수 있다.

### 3. 사례 연구

#### 3.1 송전선로 고장과 날씨와의 관계

앞에서의 고장데이터와 기상데이터를 이용하여 시간당 고장률을 계산할 수 있으며, 식 (1)과 같이 표현된다.

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

여기서, Total Time : 날씨요인이 영향을 미친 총 시간  
Number of Failures : 총 시간 동안의 고장횟수

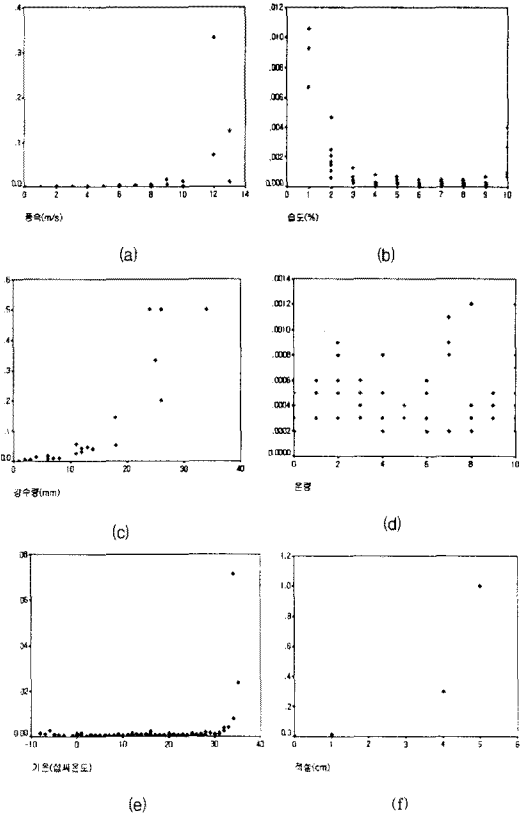


그림 4. 각 날씨요소들과 고장률

그림 4는 각 날씨요소들과 고장률을 나타낸 그래프이다. 각 날씨요소와 고장률의 상관관계 분석 결과는 다음 절의 표 1에 나타내었다.

#### 3.2 송전선로 고장률과 날씨요소의 상관관계 분석

상관관계 분석은 두 변수 사이의 상관관계가 존재하는지를 파악하고 상관관계의 정도를 측정하는 것이다. 보편적으로 자주 이용되는 척도는 피어슨 상관계수 (Pearson correlation Coefficient : r)이며, 식 (2)와 같이 표현된다.

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

여기서,  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  : (n은 표본의 수)

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

검정 통계량 t값(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 (n은 표본의 수)

따라서 유의수준  $\alpha$ 에서 만약  $|t_0| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$  이라면 '유의적'이라고 할 수 있다. 즉 귀무가설인 '상관관계가 있다'를 만족한다는 의미가 된다. 식 (2)와 (3)을 이용하여 송전선로 고장률과 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

상관계수는 적설량, 강수량, 풍속, 습도, 기온 및 운량의 순서로 많이 나온다. 그러나 운량은 0.07로 거의 상관관계가 없다는 것을 알 수 있다.

### 3.3 일차 근사곡선을 이용한 고장률에 따른 날씨기준 선정방법

고장률이 낮은 평상날씨와 높은 가혹날씨의 구분 기준은 오차제곱합(Sum of Squares for Error : SSE)을 이용하여 구하며, 식 (4)와 같이 표현된다.

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4)$$

여기서,  $y_i$  : 관측값,  $\hat{y}_i$  : 추정값

본 논문에서 제안한 방법은 기상요소 데이터를 기준으로 고장률 그래프를 두개의 직선으로 근사화하여 오차제곱을 구하고, 최소인 지점을 찾는 것이다. 따라서 임의의 어떤 지점의 제곱오차가 가장 적게 나온다면, 그 점을 기준으로 두 부분으로 나눌 수 있다. 또한, 날씨와 상관계수가 높은 강수량, 적설량 및 풍속에 대하여 기준을 설정하였다.

표 2. 강수량에 따른 SSE

강수량[mm]	오차제곱합 (SSE)
5	0.1279
6	0.1194
7	0.1154
8	0.1118
9	0.1095
10	0.1078
11	0.1063
12	0.1061
13	0.1055
14	0.1077
15	0.1099

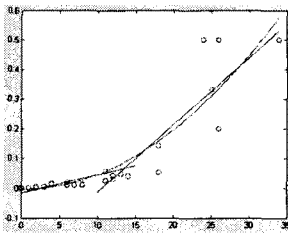


그림 5. 강수량과 고장률

표 3. 적설량에 따른 SSE

적설량[Cm]	오차제곱합 (SSE)
1	0.0470
2	0.0387
3	0.0295
4	0.0221
5	0.0469

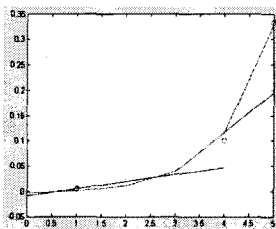


그림 6. 적설량과 고장률

표 4. 풍속에 따른 SSE

풍속[m/s]	오차제곱합 (SSE)
1	0.1007
2	0.0981
3	0.0952
4	0.0922
5	0.0892
6	0.0862
7	0.0834
8	0.0812
9	0.0796
10	0.0787
11	0.0800
12	0.1191

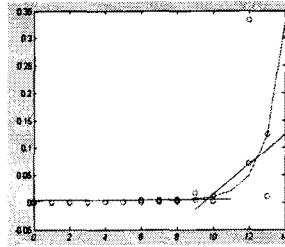


그림 7. 풍속과 고장률

그림 5와 표 2에서 강수량에 따른 SSE는 점차 감소하다가 13[mm]를 기준으로 다시 증가하고 있음을 알 수 있다. 따라서 13[mm]를 기준으로 그 이하를 평상날씨라 하고 이상을 가혹날씨라고 정의 할 수 있다. 또한, 그림 6과 7에서와 같이 적설량은 4[cm]를 기준으로 풍속에서는 10[m/s]를 기준으로 평상날씨와 가혹날씨를 나눌 수 있다.

## 4. 결 론

전력시스템의 송전선로는 날씨의 영향을 많이 받는다. 그러나 지금까지의 전력시스템 운영 및 계획에 거의 반영되지 못하고 있다.

본 논문에서는 날씨요소별 고장데이터와 기상데이터를 이용해서 고장률을 구하였으며, 상관관계분석을 통하여 적설량, 강수량, 풍속, 습도 및 기온 순으로 상관관계가 높았다. 이것으로 적설량, 강수량과 풍속에 대한 오차제곱(SSE)을 이용하여 이 값이 최소인 지점에서 평상날씨(Normal Weather) 상태와 가혹날씨(Adverse Weather) 상태로 나눌 수 있었다. 여기서 강수량 13[mm], 적설량 4[cm]와 풍속 10[m/s]라는 날씨기준을 얻을 수 있었다.

따라서 날씨에 따라 평상날씨에서는 전력시스템 운영 기준을 낮추어 더 많은 전력을 송전하고, 반대로 가혹날씨에서는 여유를 더 높임으로써 정전과 같은 사고를 미연에 방지할 수 있을 것이다. 이렇게 함으로써 전력시스템의 신뢰도를 높이면서도 더 경제적인 송전이 가능할 것으로 사료된다.

### 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] 김상익, 서현손, 안병진, 여성철, 이석구, "통계학의 이해와 응용", 민영사, 1999.
- [4] 배현용, "통계학의 기초와 활용기법", 교우사, 2002
- [5] M.J. Crowder, A.C. Kimber, R.L. Smith and T.J. Sweeting, "Statistical Analysis of Reliability Data", *Chapman & Hall*, 1991.
- [6]Gujarati, Damodar N, "Basic econometrics", *McGraw-Hill*, 2003.
- [7] Beals, Ralph E., "Statistics for Economists", *Rand McNally*, 1972.