

송전선로 고장과 LPATS 낙뢰자료 DB와의 비교분석에 관한 연구

우정욱*, 심응보*, 김정부*, 이건웅**, 민병욱**
 한전 전력연구원*, 한국전력공사**

A study on the comparison/analysis between the fault of transmission line and the LPATS lightning data

J.W.Woo*, E.B.Shim*, J.B.Kim*, G.W.Lee**, B.W.Min**
 KEPRI*, KEPCO**

Abstract - To study the basic research of the lightning parameter for power system operation, LPATS(Lightning Position and Tracking System) has been introduced since 1995 in KEPCO. We have developed the lightning parameter analysis program. We obtained the various statistical distribution of lightning current parameters from 1995 by this program.

In this paper, we describe the results on the comparison/analysis between the fault of transmission line and the LPATS lightning data.

겨진다. 98년에는 지역별로 보면 경기도와 충청지역에 많은 낙뢰가 발생하였으나, 3년동안의 자료에 의하면 해마다 태풍의 경로, 뇌우와 지형적인 영향으로 많은 차이가 나고 있었다.

LPATS에서 감지된 98년도 낙뢰 총횟수는 307,237건이었으며, 그 중에서 내륙에 떨어진 가장 큰 뇌격은 부극성의 경우에는 98년 8월 8일 20시 45분에 위도 37.1169/경도 126.9810 지역(충남, 논산부근)에 -138.6 kA의 뇌격이 발생하였으며, 정극성의 경우에는 98년 4월 17일 21시 32분에 위도 35.0618/경도 126.9906 지역(전남 화순)에 170.9 kA의 뇌격이 발생하였다.

전류 크기별 분포는 대개가 50 kA 이하로 20 kA 전후의 값이 대부분을 차지하고 있었다. 뇌격전류의 평균크기는 96년 19.29 kA, 97년 23.28 kA, 98년 23.22 kA이었으며, 평균은 22.34 kA이었다.

실제 낙뢰데이터를 이용하여 기존에 절연설계에 이용하고 있는 Anderson-Erikson식과 Popolansky식과 같은 형태로 한반도 고유의 누적빈도분포곡선 수식을 유도할 수 있다. 통계 계산결과, 96~98년의 경우 $M=18.83$ kA, $m=3.50$, σ (표준편차)=14.25 이었다. Anderson-Erikson식 및 Popolansky식과 비교하면 다음과 같다.

1. 서 론

한전에서 운용중인 송변전설비는 여러 요인들로 인하여 각종 사고들을 경험하고 있다. 그 중에서 자연재해에 의한 사고중의 하나로 낙뢰에 의한 사고 점유율이 많은 부분을 점유하고 있다. 따라서, 낙뢰 사고의 원인분석 및 통계 DB를 구축함으로써 낙뢰사고의 방지 및 전력설비의 원활한 운용이 절실하게 요구되고 있다.

이 논문에서는 한전 송변전처에 보고된 낙뢰사고 자료와 LPATS(낙뢰위치 표정시스템)에 의해 얻어진 낙뢰 자료를 비교 및 분석함으로써 향후 낙뢰로 인한 피해를 최소화하기 위한 기초자료를 확보하였다.

특히 보고된 낙뢰사고(순간정전 포함)중에서 LPATS에서 얻어진 낙뢰자료와 시간/위치가 정확히 일치하는 자료에 대해서 통계 처리하였으며, 그 결과 지역적으로 특정지역에서, 계절별 역시 특정달에 편중되고 있는 경향이 있었다.

$$(1) \text{Anderson-Erikson} \dots P = \frac{1}{1 + (I/31)^{2.6}}$$

$$(2) \text{Popolansky} \dots P = \frac{1}{1 + (I/25)^2}$$

$$(3) \text{KEPRI 96-98} \dots P = \frac{1}{1 + (I/18.83)^{3.50}}$$

2. 본 론

2.1 해석조건

현재 운용중인 LPATS에 저장되고 있는 낙뢰자료와 송변전처에 보고된 낙뢰사고를 기준으로 비교/분석하였다. LPATS의 낙뢰 인식 설정범위는 위도 33~39도, 경도 124~131도 범위 내(남한 전역)에서 분석하였으며, 낙뢰의 정의에서는 10 km 이내, 500 msec 이내의 낙뢰는 동일낙뢰로 정의하였다.

보고된 자료중에서, 98년도 전체 송전설비 사고중에서 순간 정전을 포함하여 낙뢰로 인한 총 정전을 기준으로 하였으며, 그 중에서 실제 LPATS의 낙뢰자료와 시간상, 위치상으로 정확히 일치하는 건수에 대해 검토하였다.

2.2 LPATS에 의한 뇌격누적확률분포

LPATS에 의해 감지된 낙뢰수를 3년간 비교하면 96년, 97년에 비해 98년의 낙뢰발생수가 월등히 많아졌다. 이러한 이유는 실제적으로 98년이 낙뢰가 빈번하였으며, 또한 LPATS 시스템의 운용경험 축적으로 인한 데이터 취득 및 유지 보수가 잘 이루어졌기 때문으로 여

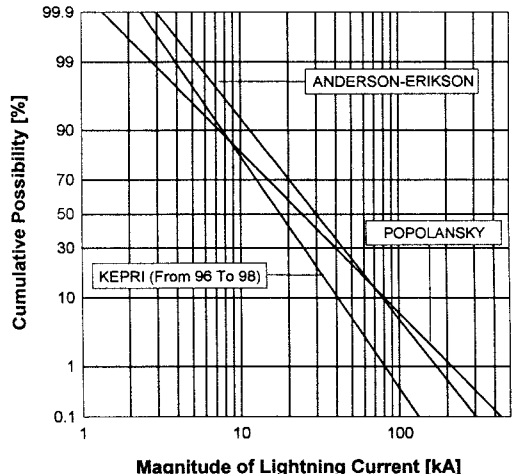


그림 1. 뇌격전류 누적확률분포(98년)
 Fig. 1 Cumulative Possibility of Lightning Current

그림 1은 위의 수식을 Log-normal Approximation 시킨 그래프 형태로 나타낸 것이다. 위 식과 그림에서 보듯이 중간값은 Anderson-Erikson식 및 Popolan sky식과 비교하면 다소 낮은 값으로 지역별 특성이나 측정방법이 다르므로 나타나는 차이로 이해할 수 있으며, 전체적으로 우리 나라 뇌격전류의 크기가 다른 나라에 비해 적음을 알 수 있고, 상대적으로 그래프의 기울기는 커서 뇌격크기의 편차는 심함을 알 수 있다.

이는 한반도 데이터의 경우, 3년간의 자료만으로 분석된 내용이어서 외국과 비교하여 오차가 다소 클 수 있으며, 뇌격크기 자체의 편차도 심함을 알 수 있다.

2.3 LPATS에 의한 연간뇌우일수분포

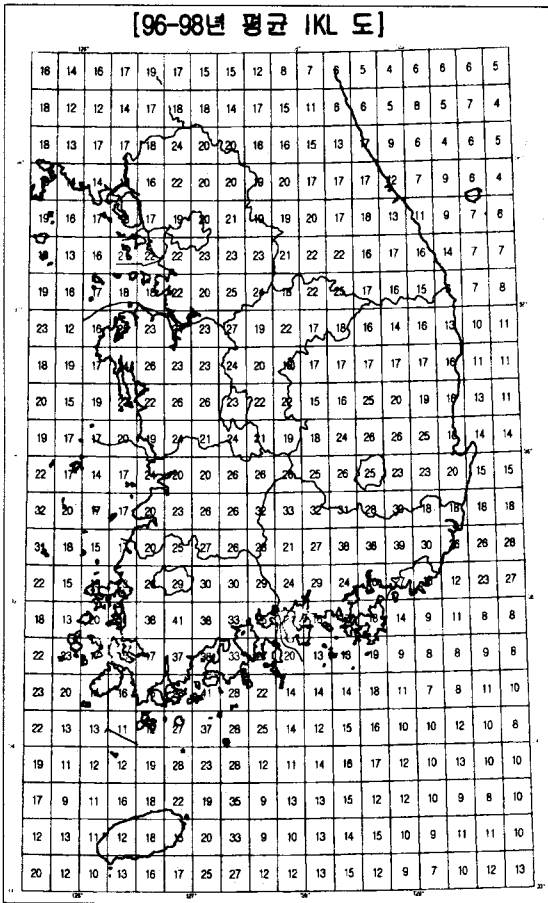


그림 2. 96~98년 IKL 도
Fig. 2 IKL Map (96~98)

그림 2는 96~98년의 자료를 근거로 하여 위·경도 1도를 4등분하였을 때의 한반도 연간뇌우일수 map이다. 이 map에서 기준면적당 연간뇌우일수 각각의 빈도에 대한 누적확률분포곡선을 구한 것이 그림 3이다.

그림 2와 3은 송변전설비의 절연설계시에 이용되는 기본자료이다.

연간뇌우일수는 주로 16일에서 20일 범위에서 많은 빈도를 보여주고 있으며, 최대 연간뇌우일수는 41일이 된다. 96년, 97년 데이터에 의한 뇌격일수보다 다소 3년 동안의 평균이 높아진 것은 98년의 낙뢰일수가 상당히 많아졌기 때문이다.

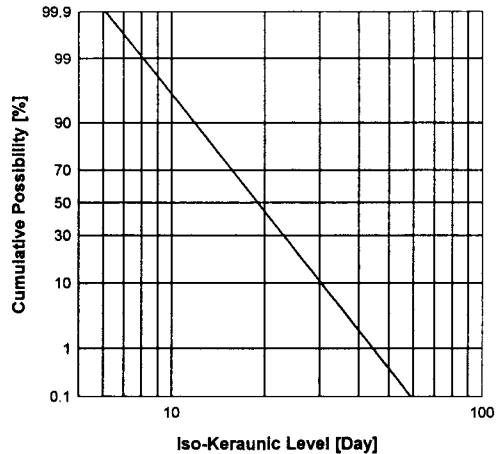


그림 3. 연간뇌우일수 누적확률분포
Fig. 3 IKL cumulative distribution

2.4 송전설비 사고자료와 낙뢰자료의 비교분석결과 순간고장을 포함한 98년도 원인별 고장통계 자료에 의하면, 전체 고장수에 대비하여 낙뢰에 의한 고장이 약 73 %로 가장 많은 사고율을 보여주고 있었다. 또한, 낙뢰로 인한 사고 중에서 실제 LPATS의 낙뢰자료와 시간상, 위치상으로 정확히 일치하는 건수는 약 53 %에 해당하는 85건이었다.

사고 기록과 낙뢰 기록이 일치한 건수가 96년도 22건에 비하면 98년도의 분석결과가 4배 가까이 많아졌다. 이러한 결과는 일본의 하계 낙뢰에 대해 동일한 방법으로 LLP와 사고자료를 비교한 결과가 발표된 자료에 의하면 약 61 %의 감지율을 나타냈다. 이와 비교하면 한반도에서도 거의 유사한 감지율을 알 수 있다.

또한, 개개의 낙뢰자료와 사고자료가 일치하는 정확도 측면에서도 이전보다 98년의 기록들이 더욱 작은 오차 범위를 가지고 일치하였다.

사고자료와 낙뢰자료가 정확히 일치하는 자료중에서, 계절별로는 7, 8월에 집중적으로 사고가 났으며, 특히, 8월에 59건이 집중되어 있다.

그림 4는 같은 결과를 기준으로 뇌격 크기별 사고 분포를 보여주고 있다. 극성별로는 부극성이 77건, 정극성이 8건으로 나타났으며, 사고뇌격의 크기는 최대 170 kA, 최소 4.4 kA 정도이었으며, 평균 32 kA 정도의 크기였다.

85건의 사고내용을 살펴보면 주로 산악지에서 송전선로의 현수애자 및 아킹혼간의 섬락사고가 대부분이었다. 사고난 선로의 가공지선의 경우에는 1조의 경우가 52건, 2조의 경우가 33건이었다. 전압 등급별 사고 횟수로는 66 kV가 1건, 154 kV가 71건, 345 kV가 13건이었다.

따라서, 154 kV 선로이면 가공지선이 1조인 선로의 경우 뇌격빈도에 따라 가공지선의 보강이 추가로 필요하리라 여겨진다.

또한, 표 1의 전압 등급별 역섬락 가능 발생전류값과

표 1. 철탑역섬락 발생전류
Table 1 Lightning Current for BFOR

공칭전압	BIL	철탑전위 상승임피던스	역섬락 발생전류
345 kV	1,300 kV	32 Ω	84 kA
154 kV	750 kV	29 Ω	55 kA
66 kV	350 kV	28 Ω	25 kA

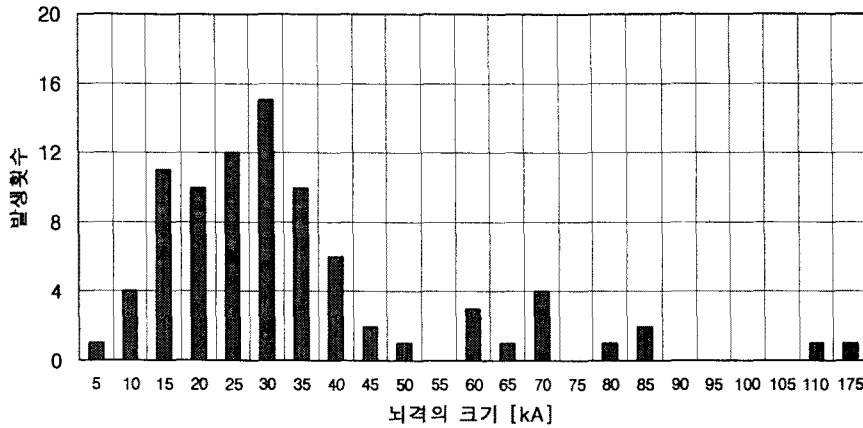


그림 4. 뇌격전류 크기별 사고횟수
Fig. 4 Fault Number per Lightning Current Amplitude

비교하면, 앞에서 사고를 유발한 뇌격크기의 분포가 20 kA에서 30 kA 정도가 주류를 이루고 있는 것으로 보아, 역섬락인 경우보다 직격뇌에 의한 사고가 많았으리라 여겨지며, 따라서 뇌격의 형태가 수직뇌 뿐 만 아니라 수평뇌의 형태일 것으로 여겨짐으로, 지형에 따른 차폐각 설계를 필요에 따라서 재검토할 필요가 있으리라 여겨진다.

2.5 뇌사고율 계산

송전선에의 뇌사고율은 차폐실패사고율(SFFOR: Shielding Failure Flashover Rate)과 역섬락사고율(BFOR: Back Flashover Rate)로 나뉘어진다. 여기서, SFFOR은 가공지선 및 상도체의 배열에 의해 좌우되고, BFOR은 낙뢰파형 및 접지저항 등에 크게 영향을 받는다.

절연설계시 적용하는 BFOR(n)과 SFFOR(P(n)) 확률수식은 아래와 같이 표현된다.

$$n = N \int_{I_{0min}}^{I_{0max}} P(I_0) \gamma_{ss} \cdot \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\sin(\theta - \alpha)}{\cos \alpha} \cdot f(\alpha) \cdot d\alpha \cdot d\theta \cdot dI_0$$

$$P(n) = \frac{N}{10} \int_0^\infty \int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}} P(I_0) \cdot \delta P(I_0) \cdot P(\theta, m) dI_0 \cdot d\theta$$

위 수식에 표현된 것처럼 뇌사고율에 영향을 미치는 요소로는, BFOR과 SFFOR이 각각 약간의 차이는 있지만 대지뇌격밀도, 연간뇌우일수, 뇌격전류의 크기, 뇌격의 입사각 등에 영향을 받는다.

위 수식에 근거하여 IKL 20을 기준으로 간략 계산하면 154 kV 송전선로의 경우는 약 1.42[건/100km.년], 345 kV 송전선로의 경우는 약 0.9[건/100km.년]의 뇌사고율이 예측 가능하다.

그러나, 실제 전체 송전선로 공장에 대해서 앞에서 얻어진 결과에 의해 뇌사고율을 계산하여 보면, 98년 한 해만을 볼 때, 66 kV의 경우 0.30[건/100km.년], 154 kV의 경우 0.79[건/100km.년], 345 kV의 경우 0.40[건/100km.년]으로, 전체 평균은 0.64[건/100km.년]이었다.

계산에 의한 뇌사고율보다 실제의 뇌사고율이 1/2 정도로 나타나고 있어서, 이에 대한 자세한 검토는 추후 필요하리라 여겨진다.

3. 결 론

이상으로 98년도의 낙뢰자료와 사고자료를 기준으로 비교 검토한 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 98년의 경우 경기, 충남지역의 낙뢰빈도수가 상대적으로 많았으며, 태풍이나 뇌우가 많은 하절기에 낙뢰가 집중되고 있다.
- 98년 내륙에 떨어진 가장 큰 뇌격은 부극성이 -138.6 kA, 정극성이 170.9 kA이었으며, 뇌격전류의 평균크기는 98년이 23.22 kA, 3년 평균은 22.34 kA이었다.
- 한반도 누적빈도분포곡선 수식은 다음과 같다.

$$KEPRI\ 96\sim98 \dots P = \frac{1}{1 + (I/18.83)^{3.50}}$$

- 3년동안의 최대 연간뇌우일수는 41일이었다.
- 98년도 전체 송전설비 사고중에서 낙뢰로 인한 사고 건수는 160건으로, 이중에서 실제 LPATS의 낙뢰자료와 시간상, 위치상으로 정확히 일치하는 건수는 85건이었다.
- 극성별로는 부극성이 77건, 정극성이 8건이었으며, 사고뇌격의 크기는 최대 170 kA, 최소 4.4 kA 정도이었으며, 평균 32 kA 정도의 뇌격에서 사고가 났다.
- 사고난 선로의 가공지선은 1조의 경우가 52건, 2조의 경우가 33건이었다.
- 전압 등급별로는 66 kV가 1건, 154 kV가 71건, 345 kV가 13건이다.
- 전체 송전선로 공장에 따른 뇌사고율은 전체 평균 0.64[건/100km.년]이었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Takahashi Shindo, "Lightning location systems in Japan and a lightning frequency map using the data obtained by them", 10th ISH, 1997. 8
- [2] 우정욱, 심응보, "98년도 LPATS 낙뢰데이터의 DB구축 및 통계분석", 1999. 3
- [3] 박주식, 심응보 외, "보조접지선 시공에 의한 송전선로의 내뢰성 향상효과 모의", 대한전기학회 98 하계학술대회, 1998. 7
- [4] 한전 계통운용처, "전력계통 낙뢰감지 및 진로예측시스템 개발에 관한 연구", 최종보고서, pp. 55~90, 1995. 6
- [5] CRIEPI, "발변전소 및 지중송전선의 내뢰설계 가이드북", 종합보고T40, pp. 31~53, 1995. 7
- [6] 서정윤 외, "뇌격전류 파라미터 측정을 위한 조사연구",