

EPRI-FLASH 및 CRIEPI-LORP를 이용한 송전선로의 뇌사고율 예측계산 비교

강연욱, 곽주식, 우정욱, 권동진, 심응보, 정길조  
한전전력연구원

The Comparison of the Calculations for the Lightning Outage Rate of Transmission Line Using the EPRI-Flash program and CRIEPI-LORP Program

Y.W.Kang, J.S.Kwak, J.W.Woo, D.J.Kweon, E.B.Shim, G.J.Jung  
KEPRI

**Abstract** - 송전선의 뇌사고율은 뇌방전 현상, 송전선의 썩지 전달 현상, 아킹흔 사이의 섬락 현상 등 다양한 현상이 관련된다. 송전선의 내뢰설계 목표는 이러한 자연현상 및 물리적인 현상이 편차를 포함하고 있다는 것을 인식하고, 가능한 한 정확도가 높은 뇌사고율을 예측을 수행하고 허용 가능한 뇌사고율을 산정하여 송전선로 설계시 반영하는 것이다. 이러한 예측 계산을 위해 한전에서는 EPRI에서 개발한 FLASH 프로그램을 기본으로 사용해 왔으며, 이 예측계산법의 타당성은 예측 사고율과 사고 실적과의 비교에 의해 검토되어야 한다. 한전에서는 과거 10년간의 뇌사고 실적과 FLASH 프로그램으로 계산한 예측 사고율이 차이가 많이 나타나고 있어, FLASH 프로그램의 예측 계산법의 타당성에 의문을 제기하고 있는 상황이다. 일본 전력회사들은 뇌사고율을 예측 계산하기 위하여 1988년에 전력중앙연구소에서 개발한 프로그램을 사용하여 왔으며, 최근에 사고 실적과의 비교 및 관련 연구를 수행하여 예측 계산 프로그램에 사용되는 파라메타를 수정 보완한 LORP2000-1을 완성하였다. 본 논문에서는 지리, 기후적으로 한국과 유사한 일본의 자연현상을 반영한 LORP 프로그램의 예측계산법이 한전 송전선로의 뇌사고율 예측 계산에 적용 가능성을 사고 실적과의 비교를 통해 검토하였다.

1. 서 론

뇌사고율 예측을 위하여 현재까지 한전에서는 EPRI의 FLASH 프로그램 이용을 기본으로 하여 계산하여 왔다. 최근 10년간 뇌사고율 실적을 보면, 154 kV 송전선로의 경우 약 1.28[건/100km·년]으로 FLASH 프로그램으로 예측 계산한 값 2.0[건/100km·년]의 약 65% 이다. 또한 345 kV 송전선로의 경우 사고 실적은 0.52[건/100km·년]으로 예측 계산 값 1.1[건/100km·년]의 47%이며 전압 계급별 송전철탑의 뇌사고율 목표값은 표 1과 같다.

표 1. 전압계급별 송전철탑의 뇌사고율 목표값  
단위 : [건/100km·년]

전압계급	설계기준		계산값	사고실적
	현행	변경		
345 kV	1.0	1.0	1.1	0.52
154 kV	1.0	2.0	2.0	1.28

이상 살펴본 것과 같이 FLASH 프로그램의 예측 계산법을 이용하여 한국에서의 뇌사고율을 예측 계산하는 것의 타당성이 의문시 된다.

따라서 본 논문에서는 우리나라와 지리적으로 가깝고 기후 또한 유사한 일본의 자연환경을 반영하여 일본 전력중앙연구소에서 개발한 송전선 뇌사고율 예측 계산 프로그램 (LORP : Lightning Outage Rate Prediction)을 이용하여 345 kV 송전선로의 뇌사고율을 계산하였고, 사고 실적과 비교 검토하였다.

2. 본 론

2.1 LORP 프로그램의 소개

본 논문에서 미국 EPRI의 FLASH 프로그램보다 일본 전력중앙연구소에서 최근 개발한 LORP 프로그램이 정확한 송전선로의 뇌사고율 예측 계산이 가능한지를 검토하고 있으며, 본 논문에서 사용한 LORP 프로그램의 특징을 간략하게 소개하면 다음과 같다.



그림 1. LORP 프로그램 초기화면

표 2. LORP 프로그램의 주요 특징

항목	주요특징
입력조건 설정	· 입력화면에 의해 입력가능, 이해하기 쉬움 · 변경이 필요한 데이터만 재설정
추천 파라메타 취급	· 뇌성상의 편차를 고려 · 지역적인 특징에 대응하여 대부분의 파라메타 변경 가능
동계뢰에 대한 취급	· 전국을 대상 · 추천 파라메타의 수정에 의해 신뢰성 향상
대지뇌격밀도의 추정방법	· 낙뢰위치 표정시스템의 플래시 수를 기본 · 표고 보정, 천탑높이 보정을 도입
뇌격전류 분포의 취급	· 대수 정규형 분포를 추천, 변경가능 · 관측개소는 공간 또는 철탑내 선택가능 · 하계뢰, 동계뢰에 따라서 파두장을 2개로 구분
뇌격 수직진입각 분포	· 대지 경사면에 의한 중심축 이동의 고려 가능 · 임의의 분포로 계산 가능
답각 접지저항	· 10Ω 이상의 값으로 평가 가능
송전용 피뢰장치의 적용	· 적용 가능

그림 1은 LORP 프로그램의 초기화면이고, 프로그램의 주요 특징은 표 2와 같다. LORP 프로그램에서는 FLASH 프로그램에서는 전혀 계산할 수 없었던 송전용 피뢰기에 의한 뇌 사고율 예측계산 알고리즘이 포함되어 있어, 향후 송전용 피뢰기 설치 효과 분석에 적절한 프로그램이라고 판단된다.

또한 한전에서 기존에 사용했던 FLASH 프로그램은 도스에서 운용되는 프로그램으로서 데이터의 입력이 불편하여, 입력 데이터의 이해가 어려운 단점이 있었는데, LORP 프로그램은 윈도우 환경의 프로그램으로서 데이터 입력시 시각적으로 이해가 쉽다.

## 2.2 입력 데이터

뇌사고율 예측 계산을 위해 사용된 주요 데이터는 다음과 같다.

### 2.2.1 철탑 데이터

345 kV 송전철탑의 대표적인 모델은 A형과 B형이 있지만, 본 논문에서는 LORP 프로그램 예측 계산법의 한국에서의 적용 타당성 검토를 위해 345 kV 2회선 철탑(Type B)를 기준으로 뇌사고율을 계산하였다. 계산에 사용된 철탑 모델은 그림 2와 같다.

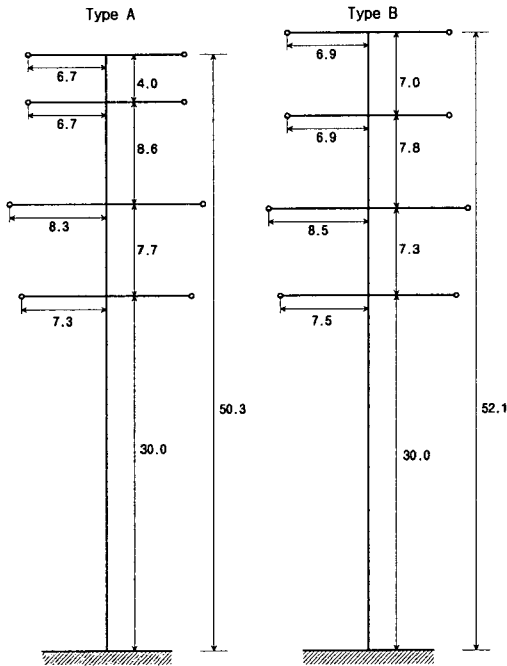


그림 2. 계산에 사용된 345 kV 2회선 철탑 모델

### 2.2.2 대지뇌격밀도

FLASH 프로그램에서는 대지뇌격밀도를 계산하기 위하여 연간뇌우일수 20을 대표값으로 뇌사고율을 예측 계산하였지만, LORP 프로그램에서는 플래시(FLASH) 수로부터 대지 뇌격밀도를 계산하는 것이 추천 되므로 하계뢰의 경우 252[회/1000km<sup>2</sup>·년]의 플래시 수를 입력 데이터로 사용하였고 동계뢰의 경우는 168[회/1000km<sup>2</sup>·년]의 플래시 수를 입력 데이터로 사용하였다. 또한 LORP 프로그램에서 추천하는 포착률은 하계뢰의 경우 0.9, 동계뢰의 경우 0.6이다.

동계뢰 및 하계뢰의 플래시 수를 계산하기 위해서 한전에서 운영중인 LPATS 시스템(낙뢰위치 표정시스템)에서 축적한 데이터 중 1996, 1997, 2002년 데이터를 참

조하였다. 참조한 데이터는 아래의 표 3과 같다.

표 3. '96, '97, '02년 지역별 플래시 수 평균값

지역	부극성	정극성	플래시 수	면적(km <sup>2</sup> )
강원	4,487	1,073	5,559	16,896
경기	7,040	896	7,936	11,723
경남	3,020	645	3,665	12,310
경북	4,805	836	5,641	19,907
전남	4,411	536	4,947	12,353
전북	3,669	740	4,409	8,058
충남	4,299	568	4,867	8,911
충북	3,781	688	4,469	7,438
제주	126	39	165	1,826
전체	35,638	6,021	41,659	99,395

단위 면적당 플래시 수는 약 420[회/1000km<sup>2</sup>·년]으로서, 이 중 동계뢰가 약 40%, 하계뢰가 약 60%로 추정되므로 동계뢰의 플래시 수를 168[회/1000km<sup>2</sup>·년], 하계뢰의 플래시 수를 252[회/1000km<sup>2</sup>·년]으로 산정하였다.

### 2.2.3 탐각 접지저항

FLASH 프로그램에서는 탐각 접지저항값으로 20Ω을 입력하였고, LORP 프로그램에서는 표준 저항치 10Ω과 고 저항치 40Ω의 구성비율을 표고의 함수로 표시되는데, 계산에 사용된 선로의 평균높이는 300m로 가정하였다.

### 2.2.4 뇌격전류 발생 확률 분포

뇌격전류 발생 확률 분포는 EPRI, AIEE, Anderson식 등 여러 분포가 보고 되고 있지만, LORP 프로그램에서 추천하는 분포는 전공간의 분포식(일본의 낙뢰위치표정 시스템에서 구한 분포), 본 계산에서도 전공간의 분포식을 사용하였다.

### 2.2.5 뇌격거리 보정계수

FLASH 프로그램에서 추천하는 뇌격전류에 따른 뇌격거리의 관계는 식 (1)과 같다.

$$S = 10 \times I^{0.65} \quad (1)$$

여기서  $S$ 는 뇌격거리,  $I$ 는 뇌격전류 파고치이다.

LORP 프로그램에서 사용하는 뇌격전류에 따른 뇌격거리의 관계는 식 (2)과 같다.

$$R_g = 7 \times I^{0.65} \quad (2)$$

여기서  $R_g$ 는 뇌격거리,  $I$ 는 뇌격전류 파고치이다.

FLASH 프로그램에서는 가공지선, 전력선, 대지의 뇌격거리가 같은 것으로 계산하지만, LORP 프로그램에서는 가공지선, 전력선, 대지의 뇌격거리가 다르다고 가정하고 뇌격거리 보정계수를 사용하고 있으며, 보정 계수가 큰 곳은 뇌격이 발생하기 쉬운 것을 의미하며 추천하는 뇌격거리 보정계수 추천값은 표 4와 같다.

표 4. 뇌격거리 보정계수 추천값

위 치	하계뢰	동계뢰
가공지선	1.00	1.40
전 력 선	0.93	1.30
대 지	0.70	1.00

2.3 LOPR 프로그램 계산 결과

일본 전력중앙연구소에서 개발한 LORP 프로그램에 측 계산법의 한국에서의 적용 타당성 검토를 위해 345kV 2회선 철타(Type B)를 기준으로 LORP 프로그램에 필요한 입력 데이터는 한전에서 운용중인 LPATS 시스템(낙뢰위치 표정 시스템)에서 측정한 낙뢰 발생 통계 자료를 참조하였다. 계산결과는 그림 3 및 그림 4와 같다.

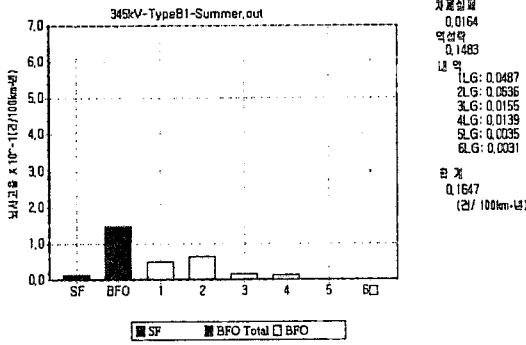


그림 3. 하계뢰에 의한 뇌사고율 계산 결과

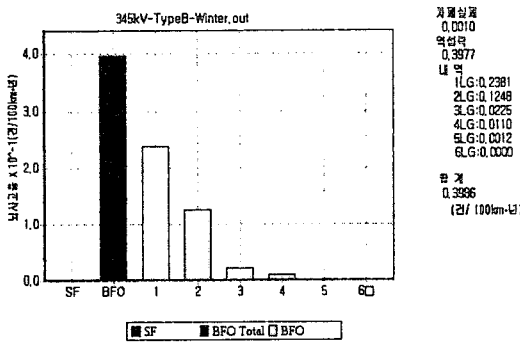


그림 4. 동계뢰에 의한 뇌사고율 계산 결과

LORP 프로그램에서는 하계뢰에 의한 뇌사고율 및 동계뢰에 의한 뇌사고율을 각각 계산하여 총 사고율을 계산한다. 계산 결과를 요약하면 아래의 표 5와 같다.

표 5. LORP 프로그램을 이용한 345kV 송전선로 뇌사고율 예측계산 결과

단위 : [건/100km·년]

	하계뢰	동계뢰
차폐실패 사고율	0.0164	0.0010
역섬락 사고율	0.1483	0.3977
소 계	0.1647	0.3986
합 계	0.5633	

LORP를 이용한 한전 345kV 송전선로 뇌사고율의 예측 계산결과는 하계뢰의 경우 0.1647[건/100km·년]이고, 동계뢰의 경우 0.3986[건/100km·년]으로서 총 뇌사고율은 0.5633[건/100km·년]이다.

이 결과는 과거 10년간의 뇌사고 실적 0.52[건/100km·년]과 유사함을 알 수 있으며, 1.1[건/100km·년]으로 예측 계산한 FLASH 프로그램 보다 정확한 예측이 가능하다고 판단된다.

송전선로의 주요사고 원인 중 낙뢰에 의한 사고가 큰 비중을 차지하며, 허용 가능한 뇌사고율을 예측 계산하기 위하여 기존의 FLASH 프로그램을 사용하였으나, 사고 실적과 비교 검토한 결과 타당성에 의문이 제기되는 상황이다. 따라서 본 논문에서는 일본 전력중앙연구소에서 최근 개발한 송전선로용 뇌사고율 예측계산 프로그램인 LORP를 이용하여 한전의 345kV 송전선로에 관하여 간략 계산을 수행한 결과 사고 실적과 유사한 값이 예측 계산 되었다.

따라서 우리나라의 경우 송전선로의 뇌사고율을 예측 계산하기 위해서는, EPRI에서 개발한 FLASH 프로그램 보다는 일본 전력중앙연구소에서 개발한 LORP 프로그램이 적당하다고 판단된다. 그러나 LORP 프로그램을 한전에서 적용하기에는 여러 가지 문제점이 있으며, 그 내용은 다음과 같다.

- 1) LORP 프로그램은 일본 전력회사에서 사용하는 것을 기본으로 개발하였기 때문에, 운영체제 및 메뉴가 일본어로 되어 있어 국내에서 사용하기에 불편하다.
- 2) 대기낙뢰밀도 계산을 위해 플래시 수를 입력하는데, 한전에서 운용중인 LPATS 시스템은 낙뢰 스트로크(Stroke) 수를 관측하는 것이 기본으로 되는 장비로서 LORP 프로그램을 사용할 경우, 데이터의 변환 작업이 필요하다.
- 3) 일본의 경우 많은 측정 데이터를 기준으로 높이에 따른 탐각 접지저항 데이터를 이용하여 10Ω 및 40Ω 구성비율로서 탐각 접지저항을 계산하고 있지만, 현재 한전에서는 이러한 데이터의 측정이 요구된다. 또한 송전철타의 평균높이에 따라 탐각 접지저항을 계산하므로 한전 송전철타의 높이에 관한 데이터 베이스 작업이 요구된다.
- 4) 낙뢰전류 발생 확률분포의 경우 일본의 낙뢰위치 표정시스템에서 구한 전공간의 분포식을 추천값으로 이용하였으나, 한국의 낙뢰위치 표정시스템을 이용하여 낙뢰전류 발생 확률분포를 적용해야만 보다 정확한 뇌사고율 예측계산이 가능하다.
- 5) 또한, 입력 데이터중 많은 데이터가 일본의 환경을 고려한 추천값이 이용되는데, 각각의 파라메타를 한국에 적용할 경우 타당성의 검증 및 수정 보완작업이 필요하다.

이상으로 간략하게 살펴본 것과 같이 LORP 프로그램이 기존에 사용하던 FLASH 프로그램보다 뇌사고율 예측계산을 위해 한국에 적합하다고 판단되지만, 이 프로그램을 사용하기 위해서는 해결해야할 문제점이 많이 있다. 추후 보다 정확한 데이터를 이용하여 뇌사고율을 계산하고 사고실적과의 비교를 통해 LORP 프로그램의 예측계산법의 타당성을 검증하고, 각종 파라메타에 대한 데이터의 수정 보완 작업이 필요하다고 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 심용보, 우정옥, 박주식, 김현주, "96~'02년 한반도에의 발생낙뢰 통계분석", 한전전력연구원 기술보고서, 2003년
- [2] 심용보, 우정옥, 최종기, "송전 설계기준 제·개정 및 보완 연구(공청회 자료)", 한전전력연구원 연구보고서, 2001년
- [3] Yoshinori Aihara 외 12, "새로운 송전선 뇌사고율 예측계산 프로그램 개발", 일본 전력중앙연구소 연구보고 T01006, 2002년
- [4] Yoshinori Aihara 외 다수, "송전선 뇌사고율 예측계산 수법의 현황과 문제점", 일본 전력중앙연구소 연구보고 T97910, 1999년
- [5] "Transmission Line Reference Book", EPRI, 1982