1999년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 1999. 7.19-21

다중 낙뢰에 의하여 발생하는 전계와 자계의 통계적 특성

이복희, 안창환*U, 성준환*, 전덕규**
인하대, 한국전력*, 서울산업대**

Statistical Characteristics of Electric and Magnetic Fields Produced by Multiple-Lightning Return Strokes

Bok-H. Lee, Chang-H. Ahn*U, Jun-H. Sung*, Duk-kyu Jeon**
Inha University, KEPCO*, Seoul polytechnic University**

Abstract - In order to obtain the detailed informations about the lightning electromagnetic fields, the electric and magnetic fields radiated by lightning return strokes were observed with the electric field sensor of hemi-sphere type and the magnetic field sensor of loop type and their physical characteristics were statistically analyzed. The multiple stroke occurrence numbers was 2.6. In multiple lightning strokes the amplitude of peak and the time interval between the subsequent strokes were decreased as the number of the subsequent strokes increases.

1. 서 론

송배전 전력계통 사고의 주된 원인으로 낙뢰가 지배적이라는 사실은 이미 잘 알려진 사실이다. 따라서 송배전 선로를 포함한 모든 전력계통의 설계시 뇌사고율을 고려하는 것은 이미 일반화 되어 있으며, 그의 기초자료가 되는 뇌방전 현상의 물리적, 전기적 특성을 파악하는 것이 필요하다[1]. 대기중에서의 전기적 방전현상인 뇌방전 현상의 관측은 뇌방전에 의하여 방사되는 전계와 자계의 측정으로 이루어져 왔으며, 뇌방전에 의해서 발생하는 전계와 자계 파형에는 뇌격전류의 전하량, 극성, 뇌격위치, 뇌격의 진전프로세스 등 뇌방전 특성의 해석을 위한 각종 파라미터에 대한 정보를 포함하고 있으므로 뇌방전의 물리적 특성을 해석할 수 있는 중요한 자료를 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다중 낙뢰에 의하여 발생하는 대기중의 전계와 자계 변화 파형을 계측하고, 측정된 파형의 통계적 특성에 대한 분석결과를 기술하였다.

2. 측정장치 및 방법

반구형 전계센서의 전극에 의해서 검출된 전계신호는 시간에 대해서 미분된량 즉, 시도함수로 나타나기 때문에 실신호로 출력시키기 위하여 수동성 적분기 및 증폭회로와 임피던스 정합용 전압버퍼회로를 구성하였다. 신호전송에 사용한 동축케이블의 정전용량에 의해서 신호의 왜곡이 생기게 되므로 증폭기 후단에 주파수대역이 DC에서 100㎒에 이르는 전압버퍼LH0033을 사용해 임피던스 정합이 정확하게 이루어진 회로를 구성하여 신호가 전송되도록 하였다[2]. 뇌방전에 의해서 발생되는 자계를 측정하기 위하여 루프형 자계센서를 설계·제작하였다. 또한 루프형 자계센서는 미지의 신호를 자속밀도의 시도함수로 검출하게 되므로 동상모드 노이즈를 제거하고 원래의 자계신호로 복원시키기 위해 차동증폭기를 이용한 능동성 적분회로를 적용하였다[3]. 뇌방전에 의하여 발생하는 전계와 자계를 동시에 측정기 위하여 반구형 전계센서와 루프형 자계센서를 과도신호해석기(Nicolet Pro.30)와 조합하여 자동계측시스템을 구성하였으며, 뇌방전에 의하여 발생한 자계신호에 의하여 트리거 된다. 검출된 신호는 12 bit의 해상도로 500ns의 시간 간격으로 샘플링되고, 기록시간 길이가 500㎲가 되도록 설정하여 저장하였다.

3. 결과 및 고찰

낙뢰에 의하여 발생된 전자계 파형의 대부분이 다중파형의 형태로 나타났으며, 낙뢰에 의하여 발생하는 전자계 파형중에서 다중도가 2회 이상인 펄스에 대하여 그림 1과 같이 다중펄스의 특성을 나타내는 파라미터를 선정하여 전자계 파형의 통계적인 특성을 분석하였다.

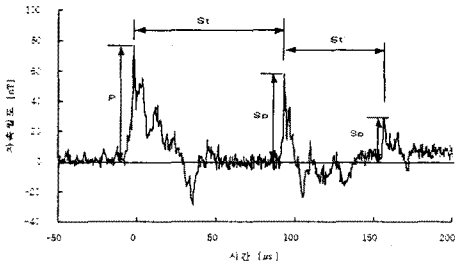


그림 1 다중 낙뢰에 의한 전자계 파형의 파라미터
Fig. 1 Parameters of the electromagnetic fields waveform produced by multiple lightning return strokes

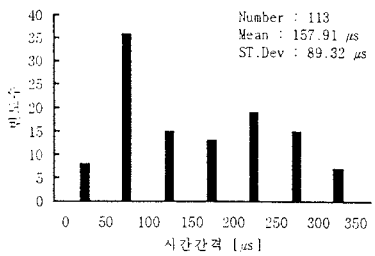
그림 1은 다중 낙뢰에 의한 전자계 파형의 예로 제1귀환뇌격에 이어 후속뇌격이 발생된 경우라고 볼 수 있다. 제1귀환뇌격후에 발생하는 후속귀환뇌격에 의하여 방사되는 전자계 파형도 제1귀환뇌격의 경우와 거의 동일한 양상으로 진전되는 특성을 나타내고 있으며, 전계와 자계의 강도는 제1귀환뇌격에 비하여 현저하게 감쇠된 낮은 값을 보이고 있으며, 뇌격의 지속시간도 짧게 나타났다. 이것은 제1귀환뇌격이 주방전 채널의 분기점에 도달하였을 때 후진스트리머에 의하여 분기채널에 존재하고 있던 일부의 전하가 제1귀환뇌격에 흡수되어 후속뇌격으로 작용한 채널내의 잔류전하가 상대적으로 줄어들었기 때문인 것으로 생각된다. 제1귀환뇌격이 발생된 후 제2 또는 그 이후의 후속뇌격이 발생하기 위한 예비 단계로서 다트리더(dart leader)가 발생한다. 다트 리더는 계단상의 리더보다 10배정도 빠른 속도로 최초의 계단상의 리더채널(leader channel)을 따라 지상으로 내려온다. 이와 같이 뇌운속에 남아있던 잔류전하가 주방전 채널을 통하여 다트리더로 진전되어 상승리더와 접촉하여 다중 귀환뇌격으로 진전된다. 귀환뇌격에

이어 여러 번의 뇌격이 뒤따르게 되며, 이 때의 뇌격은 가지가 없고 밝게 빛난다. 다중 낙뢰에 의하여 발생한 전계와 자계 파형의 특성을 해석하기 위하여 다중 뇌격의 물리적 특성을 나타내는 대표적인 파라미터로 주방전 이후에 나타나는 후속뇌격의 다중도와 주방전 파형의 피크치(P)에 대한 후속 뇌격의 피크치의 비(S_p/P), 주방전 이후의 후속 뇌격과 후속 뇌격간사이의 시간간격(S_t)을 선정하여 통계적인 분석을 수행하였다.

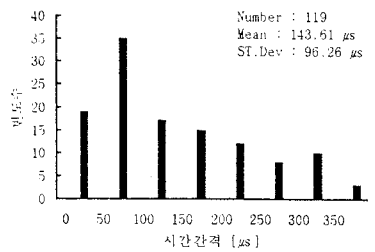
표 1 본 연구에서 분석한 다중 낙뢰의 분포
Table 1 Distributions of multiple lightning return strokes analyzed in this work

극 성	다 중 도							합계
	2	3	4	5	6	7	평균	
정극성	76	22	9	4	2		2.53	113
부극성	75	25	9	8		2	2.65	119

다중 낙뢰에 의한 전계와 자계 파형 중에서 분석의 대상으로한 데이터는 정극성 113개, 부극성 119개, 총 232개 이었으며, 이 숫자는 정·부극성의 다중낙뢰 발생빈도와는 무관하고 단지 분석 대상으로한 데이터의 수이다. 표 1에 다중으로 발생한 낙뢰의 다중도에 대한 스트로크의 분포를 나타냈으며, 정극성이나 부극성 낙뢰시에 모두 뇌격의 대부분이 다중도 2에 집중적으로 분포되어 있어 정극성의 경우 평균 다중도가 2.53이며, 부극성의 경우는 2.65로서 부극성의 다중도가 약간 높게 나타났다. 본 연구에서 적용한 기록장치의 제한도 있으므로 실제로는 다중도가 더 클 수도 있다.



(a) 정극성



(b) 부극성

그림 2 다중 낙뢰시 제1뇌격과 제2후속뇌격 사이의 시간간격의 분포
Fig. 2 Histograms of the time intervals between the first stroke and the second subsequent stroke in multiple lightning return strokes

그림 2에는 주방전 이후에 다중적으로 발생되는 후속 낙뢰에 의하여 발생하는 후속 전자계 파형의 피크치까지의 시간간격(S_t)의 분포를 나타내었다. 정극성 낙뢰의 경우 주방전시의 피크점에서 제2후속뇌격 피크점 까지의 시간간격이 평균 157.91μs로 나타났지만, 스트로크의 수는 평균치보다 낮은 50~100μs사이의 범위에 가장 많이 분포되어 있다. 또한 부극성인 경우에는 평균치가 143.61μs로서 정극성인 경우보다 낮게 나타났고, 스트로크의 분포는 정극성과 마찬가지로 50~100μs사이에 가장 많이 분포되어 있다. 그림 3에는 후속 귀환뇌격이 발생된 순서대로 시간간격의 평균을 나타냈으며, 주방전 직후에서 제2후속 귀환뇌격까지의 시간간격보다 그 이후에 나타나는 후속뇌격까지의 시간간격이 점점 더 짧아지는 것을 알 수 있다.

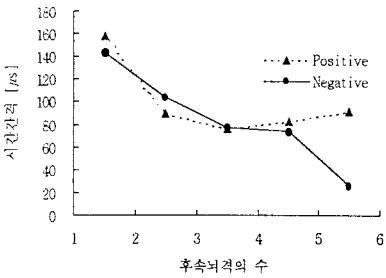
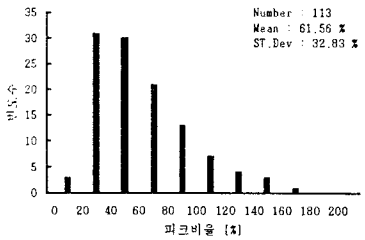
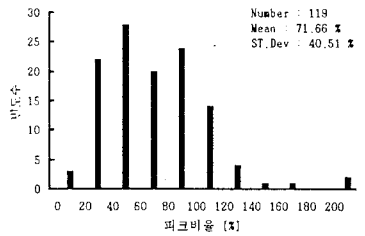


그림 3 다중 낙뢰시 후속뇌격사이의 평균 시간간격
Fig. 3 Mean time intervals between the sequent strokes in multiple lightning return strokes



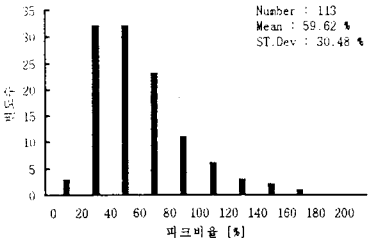
(a) 정극성



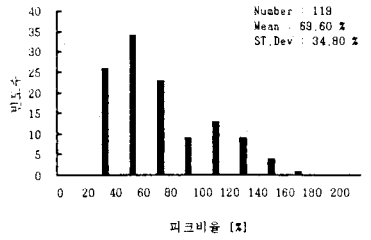
(b) 부극성

그림 4 다중 낙뢰에 의한 전계 파형의 제1뇌격에 대한 제2후속뇌격의 피크비의 분포
Fig. 4 Histograms of the peak ratio of the second subsequent stroke to the first stroke in the electric fields produced by multiple lightning return strokes

제1귀환뇌격 이후에 다중으로 발생되는 후속 귀환뇌격에 의하여 나타나는 전계와 자계 파형 피크치의 제1귀환뇌격에 의한 피크치에 대한 비(S_p/P)를 분석하였다. 제1귀환뇌격 직후에 발생한 제2후속뇌격시의 전계 파형의 피크비에 대한 통계적인 분포를 그림 4에 나타내었다.



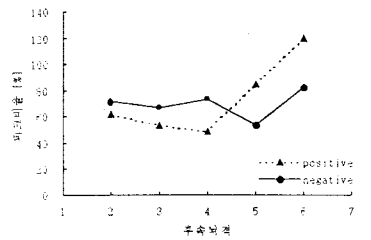
(a) 정극성



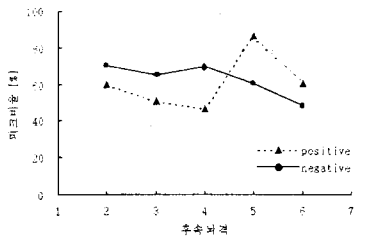
(b) 부극성

그림 5 다중 낙뢰에 의한 자계 파형의 제1뇌격에 대한 제2후속뇌격의 피크비의 분포

Fig. 5 Histograms of the peak ratio of the second subsequent stroke to the first stroke in the magnetic fields produced by multiple lightning return strokes



(a) 전계



(b) 자계

그림 6 다중 낙뢰에 의한 전계와 자계 파형의 제1뇌격에 대한 후속뇌격의 피크비의 평균

Fig. 6 Mean values of the peak ratio of the subsequent strokes to the first strokes in the electric and magnetic fields produced by multiple lightning return strokes

주방전시의 피크치에 대한 제2후속뇌격의 피크비가 정극성인 경우 평균 61.56%이고, 30~70% 사이에 가장 많은 스트로크가 분포되어 있다. 부극성인 경우에는 평균치가 71.66%로 정극성의 경우보다 약간 높게 나타났다. 30~110% 사이에 넓게 분포되어 있어 제2후속뇌격에 의한 피크치가 불규칙적으로 나타나는 것을 보여주고 있다. 제1귀환뇌격 이후에 발생되는 후속뇌격에 의하여 나타나는 자계 파형에 대해서도 전계 파형의 경우와 동일한 방법으로 주방전시의 피크치에 대한 제2후속뇌격시의 피크비(S_p/P)를 분석하고, 통계적인 분포를 그림 5에 나타내었다. 정극성인 경우 제1귀환뇌격시의 피크치에 대한 제2후속뇌격의 피크비가 평균 59.62%로서 전계 파형의 경우와 비슷하게 나타났으며, 그 분포에 있어서도 30~90%사이에 주로 분포되어 있다. 또한 부극성인 경우에도 평균치가 69.60%로서 전계 파형의 경우와 비슷한 분포를 나타내었다. 그림 6에는 제1귀환뇌격 이후에 다중으로 발생한 후속뇌격에 의한 전계 및 자계 파형의 제1뇌격에 대한 피크비의 평균값의 변화추이를 후속뇌격이 발생된 순서대로 나타내었다. 그림 6(a)에서 정극성 전계 파형의 경우 제2후속뇌격에 의한 피크비에 비하여 그 이후의 후속뇌격의 피크비가 약간씩 줄어들다가 제5후속뇌격 이후에는 오히려 피크비가 증가하는 양상을 보여 후속뇌격의 불규칙성을 암시하고 있다. 한편으로는 제5후속 귀환뇌격 이후에 발생된 스트로크의 수가 상대적으로 적으므로 절대적인 비교평가는 큰 의미가 없을 것으로 판단된다. 부극성의 경우에도 그 평균치가 약간씩 줄어들다가 제5후속 귀환뇌격 이후에는 오히려 피크비가 증가하는 양상을 보여 정극성과 비슷한 변화추이를 나타내고 있으며, 제1귀환뇌격 이후의 후속뇌격에 의한 전계의 세기가 불규칙적임을 알 수 있다. 그림 6(b)에서와 같이 후속뇌격에 의하여 발생한 정극성 자계 파형의 경우에도 전계에서와 마찬가지로 제1후속뇌격에 의한 피크비보다 그 이후에 점점더 후속뇌격의 피크비가 약간씩 줄어들긴 하였지만 변화정도가 크지는 않았다. 제5후속 귀환뇌격시에는 오히려 피크비가 증가하는 양상으로 나타나 전계 파형에서와 비슷한 경향을 나타내고 있다. 제1뇌격 이후에 발생하는 후속뇌격에 의한 자계의 세기도 불규칙함을 알 수 있다.

4. 결론

낙뢰의 대부분이 다중뇌격의 형태로 발생되었으며, 다중도 2에 가장 많은 스트로크가 분포되어 나타났다. 주방전시의 피크점에서 제2후속뇌격 피크점 까지의 시간간격이 부극성인 경우가 정극성보다 짧게 나타났고, 제2후속 귀환뇌격 이후에 나타나는 후속뇌격사이의 시간간격이 점점 더 짧아지는 것을 알 수 있다. 다중 낙뢰에 의한 정·부극성의 전계와 자계 모두 제2후속뇌격에 의한 피크비에 비하여 그 이후의 후속뇌격의 피크비가 약간씩 감소하였으며, 후속뇌격에 의한 전계와 자계의 세기가 매우 불규칙적임을 알 수 있었다. 본 연구에서 밝혀진 바와 같이 대부분의 낙뢰가 다중으로 발생되므로로 피뢰기를 비롯한 각종 뇌보호설비의 성능 평가에도 다중 임펄스시험을 적용하여야만 효과적일 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

[1] Matin A. Uman, "Lightning Return Stroke Electric and Magnetic Fields", J. Geophys. Res., Vol.90, No. D4, pp.6121~6130, 1985.

[2] 이복희, 안창환, 길경석, "뇌방전에 의하여 발생하는 전계의 자동측정시스템", 센서학회지, Vol.5, No.2, pp.47~54, 1996.

[3] 이복희, 길경석, 박동화, "루우프형 센서를 이용한 자장측정계", 센서학회지, Vol.4, No.2, pp.79~105, 1995.