

# 뇌방전은 어떠한 자연현상인가

■ 이승철 · 이동문 / (주) 한진중공업  
 ■ 엄주홍 / 인하대학교 전기공학과

## 서 론

최근 컴퓨터의 보급과 정보통신망의 구축으로 전자데이터를 매체로 하는 정보기술의 의존도가 점점 증가하고 있으며, 전자데이터처리시스템이나 계측제어 시스템은 현대사회의 행정·금융·산업·공공시설 등 모든 분야의 중추적 핵심요소가 되었다. 고도정보화 사회로 발전을 거듭하고 있는 오늘날 자연현상의 하나인 낙뢰에 의한 피해는 매우 크며, 컴퓨터 등 전자통신 기기가 급속하게 보급되고 있는 현대에 있어서는 순간 정전으로 사회에 크나 큰 영향을 미치고 있어 보다 고품질의 전력 공급이 요구되고 있다. 전자회로의 뇌서지 장해는 단지 전자기구나 장치의 손상만이 아니고 뇌서지에 기인하는 불요신

호에 의한 오동작의 문제도 야기되고 있다. 독일의 모 보험회사에서는 컴퓨터를 비롯한 통신시스템, 의료기기 등 전자장비에 대한 낙뢰, 개폐작용 등 과전압에 의한 피해보상의 비율이 그림 1에 나타난 바와 같이 급격하게 증가하고 있음을 지적하고 있다.

전자기기에 대한 최적의 뇌서지보호대책은 21세기의 고도정보화 사회를 지탱하는 중요한 기술과제이고, 새로운 문제점이기도 하며 적합한 뇌서지 보호대책 기술의 개념정리와 확보가 필요한 시기이다. 따라서 초소형 전자기기를 뇌서지로부터 효과적으로 보호할 수 있는 대응책을 적용할 수 있도록 뇌방전 현상의 기초에 대하여 살펴본다.

## 뇌운의 생성과 구조

지표 부근에 습도가 높은 공기가 있고 상층에 건조한 저온의 공기가 있을 때에는 지표 부근의 대기와 상층의 대기가 불안정한 층을 형성한다. 즉, 하층의 공기가 너무 가볍거나 상층의 공기가 너무 무거운 경우 그 수직 불안정도를 해소하기 위해 강한 상승기류가 발생한다. 상승기류에 동반하여 단열 팽창된 공기는 온도가 하강하고, 함유된 수증기의 응결 및 결빙이 일어나기 때문에 다량의 잠열이 방출되고, 상층에 따른 온도 저하율이 적게 되며 대류권 상층 가까운 곳까지 도달하게 된다.

뇌운은 고온 다습한 수증기가 단열 팽창하여 상

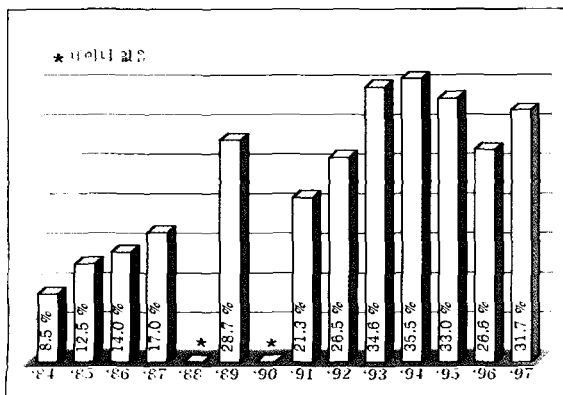


그림 1 뇌서지전압에 의한 피해 비율의 변동추이  
 (출처: Wurttembergische Feuerversicherung AG, Stuttgart)

부에 차갑고 하부에 따뜻하며 습한 공기를 포함하는 대기중에 형성된다. 뇌운의 상부는 정(+)이온, 하부는 부(-)이온으로 대전되며, 그림 2에 전형적인 뇌운의 모형을 나타내었다. 이러한 일반적인 형태의 뇌운 내부에는 P영역과 N영역의 정(+), 부(-) 전하들이 분포되어 있고, 대지에서 유도되어 생성된 p 영역의 정(+) 전하들이 분포되어 있다[2].

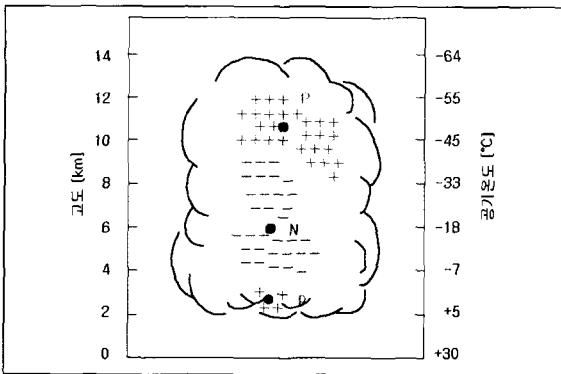


그림 2 전형적인 뇌운의 모형

### 뇌방전의 종류

뇌운에 의해서 형성되는 주위의 전장의 세기가 대기의 절연과괴강도를 넘어서게 되면 전기적 방전이 일어나게 되며, 이를 뇌방전(lightning discharges)이라 한다. 즉, 뇌방전 현상은 대기중에서 일어나는 과도적인 고전압과 대전류를 수반하는 전기방전으로 여러 가지 형태로 나타나게 된다. 그림 3에는 뇌운의 형성과 뇌방전의 종류에 대하여 개략적으로 나타내었다.

- ① 운내방전(intra-cloud or cloud discharge) : 동일 뇌운 내의 (+)와 (-)전하사이에서 발생하는 방전
- ② 운간방전(cloud-to-cloud discharge) : 다른 뇌운 간의 (+), (-)전하 사이에서 발생하는 방전
- ③ 대기방전(air discharge) : 뇌운전하와 인근 대기간에 발생하는 방전
- ④ 대지방전(cloud-to-ground discharge, 낙뢰): 뇌

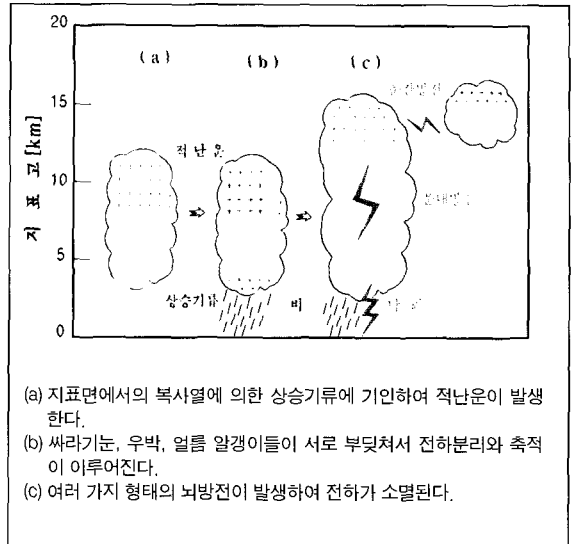


그림 3 뇌방전의 종류

운의 전하와 대지에 유도된 전하 사이에서 발생하는 방전.

뇌방전 현상 중에서 가장 빈번하게 발생하는 형태는 운방전이지만, 사람과 가축의 생명 또는 시설물에 직접적으로 영향을 미치는 요인으로 뇌방전의 진전기구와 특성에 대해서 가장 많이 연구되어진 분야는 뇌운과 대지간의 방전 즉, 낙뢰현상이며, 이의 발생과 진전 형태는 다음의 4가지로 분류할 수 있다 [3,4].

(a) 정(+)극성 하향리더에 의한 뇌격: 그림 4의 (a) 경우로 정(+)극성의 리더가 대지쪽으로 진전하여 일어나는 뇌격이다.

(b) 부(-)극성 상향리더에 의한 뇌격: 그림 4의 (b)의 경우로 대지로부터 부(-)극성의 리더가 뇌운쪽으로 진전하여 발생한다.

(c) 부(-)극성 하향리더에 의한 뇌격: 그림 4의 (c)의 경우로 뇌운의 부(-)전하의 부분이 대지를 향해 리더방전이 하향으로 한 후 지면으로부터 귀환뇌격이 발생하는 형태로 가장 일반적인 대지 방전이다.

(d) 정(+)극성 상향리더에 의한 뇌격: 그림 4의 (d)의 경우로 대지의 정(+)전하의 리더가 뇌운을 향해 상향으로

진전하여 발생하는 뇌격이다. 이런 형태의 뇌격은 높은 철탑이나 산정상등의 낙뢰에서 볼 수 있다.

하향으로 진전하는 스텝리더의 선단이 다른 극성의 전하와 결합하는 순간 선단 부근은 실효적으로 대지전위와 같아지며 나머지 선행 방전로는 부(-)로 대전된다. 이때 선행 방전로는 강한 빛을 발하는 귀환뇌격을 통과시키는 전송로로 작용하며, 귀환뇌격의 파도와 대지 사이에 대전류가 흐르고 선행 방전로 위에 분포한 부(-)전하는 귀환뇌격에 의해 급속도로 중성화되며, 귀환뇌격에 의해 정(+)-전하가 뇌운 방향으로 이동한다. 그림 5에 각 종류별 뇌방전 사진을 나타내었다.

또한, 뇌방전의 영향에 따라 직격뢰와 유도뢰로 분류할 수 있다.

(a) 직격뢰(직접적 영향) : 뇌방전이 건축물의 구조체나 전기설비 등 대지에 직접적으로 이루어지면서 그 전압이 침입하는 경우이며, 물리적인 파괴와 이에 따른 화재 등의 피해를 가져온다.

(b) 유도뢰(간접적 영향) : 주변의 낙뢰에 의해서 발생하는 전하의 이동이 소멸작용으로 일어나는 전장의 변화 또는 자장의 변화에 의해 생기며, 귀환뇌격에 의해 뇌운 전하가 중화되는 과정에서 발생되고, 일반적으로 방송/통신장비 및 기타 전자기기 등을 파손하는 고장을 초래한다.

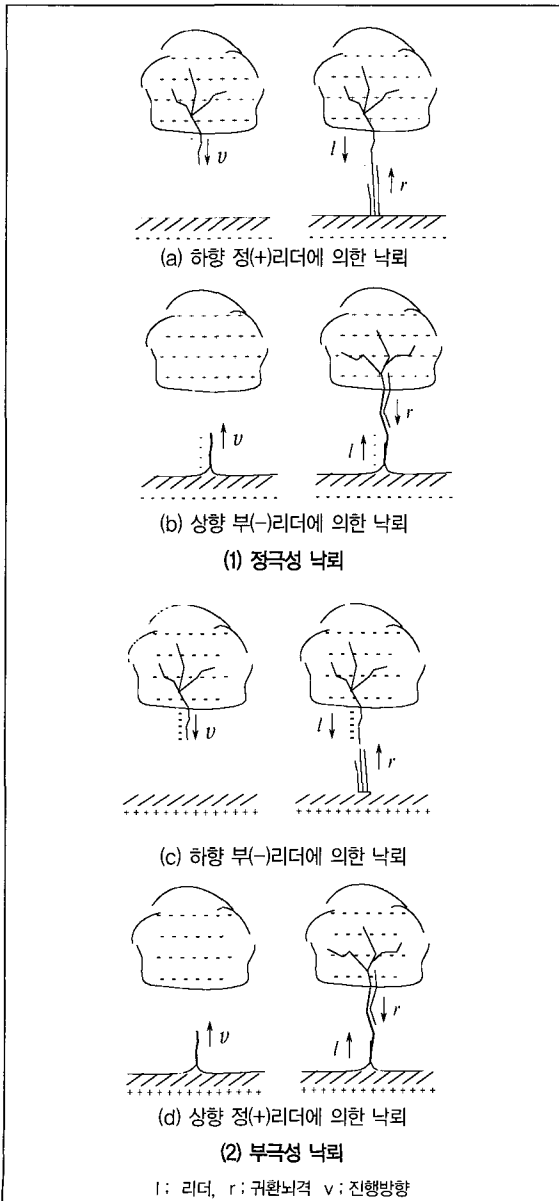


그림 4 뇌운의 극성과 리더의 진행방향에 의해 분류한 귀환뇌격

### 낙뢰의 물리적 특성

뇌방전에 의해서 발생하는 발광특성은 대기중의 섬광처럼 보이며, 대개 운방전은 섬광이 수평방향으로 움직이며 낙뢰는 수직방향으로 이동하는 것으로

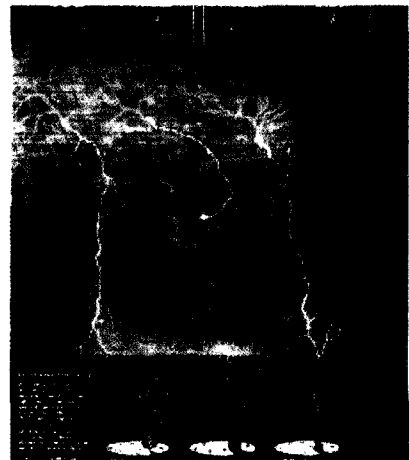


그림 5 뇌운의 극성과 리더의 진행방향에 따라 나타나는 뇌방전 사진

보인다. 뇌운과 대지사이의 대기의 절연과괴로 인하여 도전로가 형성되는 과정인 뇌방전인 낙뢰는 뇌운의 정(+)-전하 또는 부(-)전하가 대지에 방출되어 중성으로 되는 과정으로써 이 일련의 방전과정을 플래쉬(Flash)라고 하며, 지속시간은 대체로 0.01~2 [sec] 정도이다.

부극성 낙뢰의 진전과정에서의 발생하는 발광을 정지카메라와 스트리크카메라(streak-camera)로 촬영한 사진의 특성을 개략적으로 도식화시킨 것을 그림 6에 나타내었다.

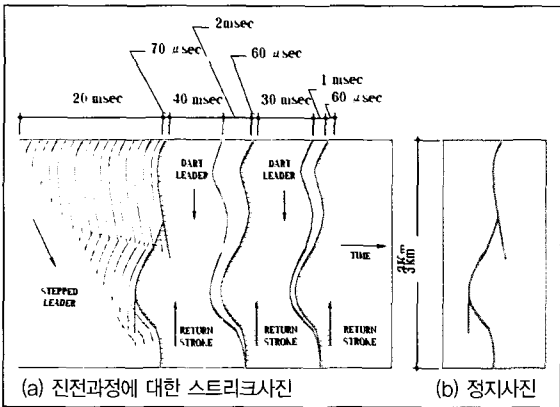


그림 6 낙뢰에 의해서 발생한 발광특성의 개략도

부(-)극성 하향 리더에 의해서 발생하는 낙뢰는 예비절연과괴에 의해서 뇌운의 하단에서 계단상 리더가 생성되어 진전과 중지를 반복하면서 대지를 향하여 이동하게 된다. 계단상의 리더가 대지가 가까이 접근하였을 때 대지로부터 상향의 스트리머방전이 발생하게 되어 하향 리더와 만나는 순간 대지로부터 다량의 전하가 계단상 리더의 도전통로의 전하를 중화시키기 위해서 주입되도록 귀환뇌격(return stroke)이 뇌운을 향하여 진행하게 된다.

낙뢰의 진행은 육안으로는 하나로 보이지만 뇌운에서 계단상의 방전로가 평균속도  $1.5 \times 10^8$  [m/sec]로 약 50 [m] 진전한 후 구름내의 전하를 얻어 약 50 [μsec] 후 재차 계단식으로 50 [m] 정도로의 진행이 반복된다. 부극성 낙뢰의 경우는 대지면으로부터

약 3 [km]의 높이에서 출발해서 계단상으로 진전하여 20 [msec] 정도의 짧은 시간에 이루어지며 계단상 리더가 대지에 도달함과 동시에 대지에서 구름을 향하여 진전된다. 이것을 주 뇌격(main stroke) 또는 귀환뇌격(return stroke)이라 하고, 그 속도는 상단에서  $3 \times 10^8$  [m/sec], 대지부근에서는 약 10 [m/sec]에 달하며, 뇌격전류는 수 [μsec]의 시간에 최대값에 도달한다.

### 결론

산업경제분야에서는 컴퓨터통합생산, 컴퓨터통합기업, 컴퓨터 통합비즈니스 등 컴퓨터를 기초로 하는 사회시스템으로 급속히 변천되고 있다. 저압전원계통과 정보통신망, 신호/제어회로망을 이루는 선로 및 정보/통신기기의 절연강도가 낮아 직격되뿐만이 아니라 유도뢰가 정보통신설비 고장의 주요 원인으로 되고 있다. 정보이용의 증대와 더불어 사회시스템의 일시적 기능정지나 고장은 파급효과가 대단히 크며 경제적 손실도 막대하므로 안정된 시스템의 유지·운용과 뇌서지 사고의 저감을 위해서는 뇌방전현상을 고려한 합리적인 보호대책기술의 개발이 이루어져야 하겠다.

### [참고문헌]

- [1] P. Hasse, Overvoltage protection of low voltage systems, TUV-Verlag GmbH, 2nd edition, pp.3~10, 1998.
- [2] M. A. Uman, Lightning, Dover Publications, Inc., pp.1~30, 1984.
- [3] Brook, M. and N. Kitagawa, "Some Aspects of Lightning Activity and Related Meteorological Conditions", J. Geophys. Res., 65, pp.1203-1210 1960.
- [4] Robert F. Wolff, "CIGRE sums up lightning research", Lightning Impulse Electrical World, Vol.2 pp. 72-75, 1980.