



# 낙뢰와 피뢰설비

## ○ 모듈의 목적

본 모듈형 교재는 교육생에게 낙뢰로 인한 재해를 예방하고 낙뢰안전을 확보하기 위한 정보를 제공한다. 논의될 주제는 낙뢰 및 서지의 특성, 피뢰설비(보호 시스템), IEC 규정 등이다.

## ○ 학습목표

1. 낙뢰의 생성 및 특성을 이해함으로써 낙뢰로부터 안전한 환경구축의 필요성을 인식할 수 있다.
2. 낙뢰의 위험성을 정량적으로 해석하고 낙뢰로부터 재해를 예방할 수 있는 피뢰대책을 수립 할 수 있다.
3. 피뢰설비의 원리를 이해하고 설치관련 규정 및 기술을 인지하여 낙뢰 피해를 최소화하는 합리적인 방법을 이해할 수 있다.

자료 \_ 한국산업안전공단

## 1. 낙뢰와 서지

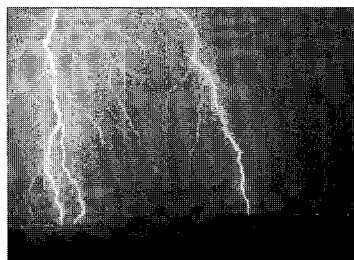
### 1. 낙뢰

낙뢰의 생성 및 특성을 이해함으로써 낙뢰로부터 안전한 환경구축의 필요성을 인식한다.

#### (1) 낙뢰의 정의

격심한 상승기류가 있는 곳에서 발생하는 뇌구름은 구름 내부의 거친 소용돌이로 인해 양(+전하)과 음(-전하)이 분리되어 대기의 전리 파괴를 일으키면서 중화되는 하나의 커다란 불꽃방전이다.

대기 중의 공기는 어느 정도의 절연내력을 가지고 있으나, 인가되는 전압의 크기가 어느 일정값(임계값) 이상이 되면



대기의 절연이 파괴되어 빛과 소리를 내면서 순간적으로 막대한 전류가 흐른다.

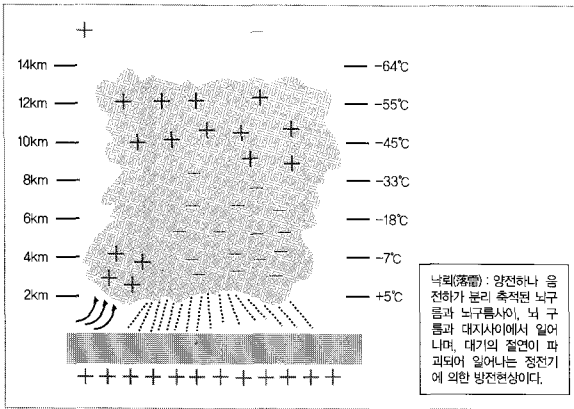
이러한 대기 중에서 발생하는 불꽃방전의 자연적인 현상을 뇌(雷)라고 하며, 소리를 천둥, 빛을 번개라고 한다. 이 때 발생하는 번개 즉, 불꽃이 하강되어 지 표면의 어느지점에 홀러드는 (Termination) 현상을 낙뢰라고 하며, 특성은 다음과 같다.

- ① 자연에 의해 발생하는 뇌격의 특이성
- ② 발생예측의 곤란성
- ③ 관측치의 불균일성
- ④ 발생지역 범위의 방대함
- ⑤ 막대한 전기에너지의 순간 방전현상

#### (2) 낙뢰의 발생이론

낙뢰(落雷) 발생의 근원이 되는 뇌구름이 발생하려면 큰 규모의 강력한 상승기류가 필요한데 이 상승기류에 의해 구름이 발생할 때 그 속에서 전하 분리가 일어나며, 특정한 조건에

의해 그 규모가 대기의 절연을 파괴할 수 있는 양에 도달하면 뇌방전이 일어난다.



【그림 1-1】 뇌구름의 발생

### (3) 낙뢰의 발생조건

낙뢰는 태풍과 같은 증규모 기층이 상승하거나, 대규모의 안정된 기층이 상승할 때는 발생하지 않고 다음과 같은 경우에 발생한다.

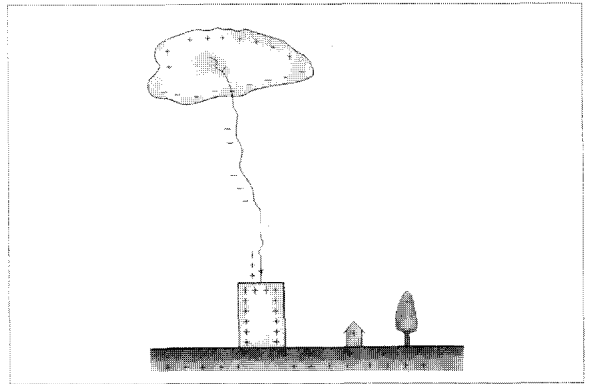
- ① 주로 공기밀도가 큰 한기가 공기밀도가 작은 난기를 급격히 파고들 때
- ② 여름철 태양에너지가 풍부한 날 오후에 국지적으로 지면에 접한 대기가 가열되어 빠른 속도로 상승하면서 뇌우(Thunderstorm)가 발달할 때
- ③ 한랭전선 부근, 장마전선 부근, 대류성 뇌우구역 등에서 주로 발생하지만, 실제로 눈보라, 모래폭풍, 분출하는 화산 위의 구름, 맑은 하늘 등에서 발생하기도 한다.

### (4) 낙뢰의 발생과정

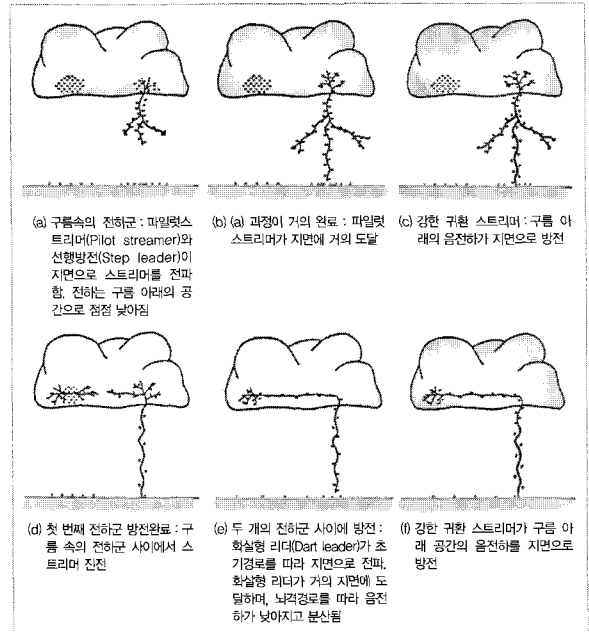
뇌운 가운데 전하가 축적되고 지표면에는 구름 하부의 전하와 역극성의 전하가 유기된다. 낙뢰 모양은 한 가닥의 뇌광이 달리는 것처럼 보이나, 자세히 보면 뇌운에서 공기의 절연을 파괴하고 선행방전(Step leader)하고 진행·정지를 반복하면서 스텝리더의 선단이 대지면이나 지상 물체에 가까이 왔을 때 대지로부터 상향하는 스트리머(Streamer)가 발생하고, 이 양자가 결합할 때 뇌운과 대지에 이르는 도전로가 형성되며 이 도전로에 대지로부터 다량의 전하가 주입되어 주방전이 발생한다. 이 상태가 낙뢰의 순간으로 뇌광을 관찰할 수 있으며, 【그림 1-2】는 그 상태를 나타낸다.

낙뢰가 흐르는 통로의 공기는 20,000~30,000°C 정도의

온도까지 가열되므로 공기가 급팽창하면서 충격파가 발생되는데, 이 때 동반되는 소리가 천둥(Thunder)이다.



【그림 1-2】 낙뢰 발생 메커니즘



【그림 1-3】 낙뢰 발생 및 진행과정

### (5) 낙뢰의 종류

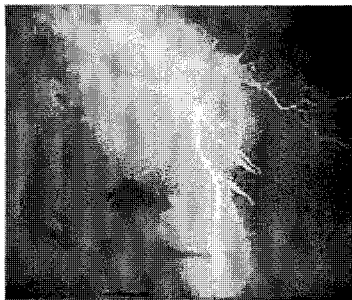
#### ① 열뢰(熱雷)

일사광선이 강한 날 산악지대 등에서 지표부근의 습한 공기가 덥혀져서 상승기류가 형성되고, 이때 상공에 차가운 공기가 있으면 상승기류는 완성되어 뇌구름(적란운)이 발달하여 발생하는 뇌이다.

#### ② 계뢰(界雷)

온난한 기단과 한랭한 기단이 접하는 한랭전선이라고 불리는

구역에서 발생하여 전선과 함께 이동하는 뇌를 말한다.



③ 열계뢰(熱界雷)

열뢰와 계뢰의 양쪽의 원인이 겹쳐서 일어나는 뇌를 말한다.

④ 와뢰(渦雷)

발달한 저기압이나 태풍의 중심부근에 발생하는 것으로 중심부근의 강한 상승기류에 수반하여 발생하는 뇌이다.

(6) 뇌방전

뇌방전이란 뇌구름 상하부에 분리된 전하 분포군이 도중에 공기층의 절연파괴를 매개로 방전을 일으키면서 중화되는 현상을 말하며, 종류는 [표 1-1]과 같이 구분할 수 있다.

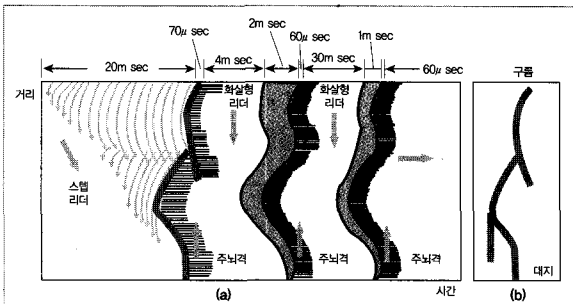
[표 1-1] 뇌방전의 종류

뇌방전	설명
운내방전 (Inter-cloud discharge)	동일 뇌운내의 정(+), 부(-) 전하 간에 발생하는 방전
운간방전 (Cloud-to-cloud discharge)	다른 뇌운간의 정(+), 부(-) 전하 간에 발생하는 방전
대지방전(낙뢰) (Cloud-to-ground discharge)	뇌운 전하와 대지에 유도된 전하 간에 발생하는 방전
대기방전 (Air discharge)	뇌운 전하와 인근 대기 간에 발생하는 방전

대지방전(Cloud-to-ground discharge)은 뇌구름 하부의 전하와 대지면에 유기된 전하사이에서 발생하며 뇌구름 중의 정전하를 중화하는데 따라 정(+), 극성 낙뢰와 부(-), 극성 낙뢰로 구분되며, 뇌구름으로부터 출발하는 자연낙뢰와 뇌구름을 향하는 트리저드 낙뢰로 나눌 수 있다.

가. 자연낙뢰

뇌구름은 상층에 정(+), 하층에 부(-)의 전하가 축적되며 하층의 부의 전하는 정전유도에 의해서 지표에 정(+)의 전하를



[그림 1-4] 뇌방전의 진전과정 시간

발생시키므로 이 정·부 전하사이의 공간에 강한 전계를 발생시킨다. 이 전계 때문에 뇌구름의 하층으로부터 뿔어 나온 방전로는 지상으로 향하게 된다. [그림 1-4]는 낙뢰 방전의 시간적 추리를 표시한 것이며, 세로 방향은 뇌구름과 대지간의 거리, 가로축은 시간이다.

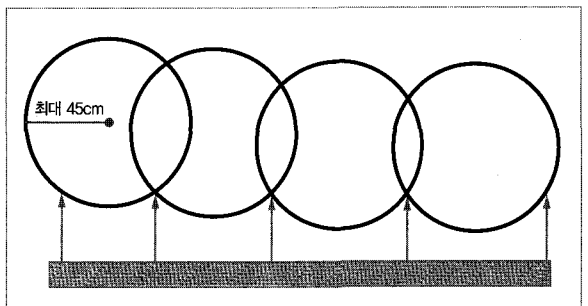
나. 트리저드 낙뢰

부로 대전한 뇌구름이 머리 위에 있을 때 철탑 등 높은 구조물에서 상향 정(+), 극성 리더가 발생하고 이어서 자연낙뢰와 같이 하향 부(-), 극성 리더와 상향 귀환뇌격이 발생하는 경우와 상향 정(+), 극성 리더로 끝나는 두 종류의 트리저드 낙뢰가 있다.

(7) 낙뢰보호

① 원리

구조물의 낙뢰보호의 원리는 뇌방전을 저(低)저항 회로를 통하여 대지로 유도하는 것이다. 접지된 철 구조물은 이러한 조건을 일반적으로 만족시키지만 기타 구조물에서는 돌침(Air terminal), 인하도선(Down conductor) 및 접지 시스템으로 구성되는 낙뢰 보호 설비를 한다. 최근에 적용하는 기준(IEC 61024/NFPA 780)에서는 [그림 1-5]와 같이 가상적인 공을 두 개의 돌침에 얹었을 때 공의 하부에 위치하는 구조물만 보호되는 것으로 생각하여 돌침의 설치 위치 및 수효를 결정한다(Rolling sphere 법). 가상적인 공의 반경은 최대 45m로 적용하며 보호를 완벽하게 하려면 가상적인 공의 반경을 줄여서 적용한다.



[그림 1-5] 돌침에 의한 낙뢰보호 범위

② 돌침

돌침의 길이는 최소 0.25m에서 6.1m 정도이나 0.61m 이상 되는 돌침을 설치하는 경우는 돌침 지지대를 설치한다. 구조물 가장자리에 설치하는 돌침의 설치간격은 0.25m 돌침인 경우는 6.1m 이하로, 0.61m 돌침인 경우는 7.6m 이하로 한다. 구조물 상부 표면 내부에 설치하는 돌침의 간격은 15.2m 정도를 적용

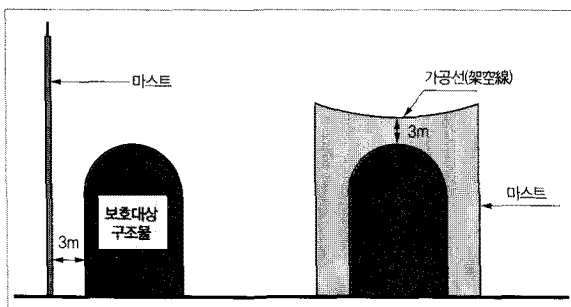
한다. 모든 돌침은 인하도선에 연결 되어야 하고 인하도선은 최소한 2개 이상을 설치하여 접지봉에 연결한다.

③ 인하도선

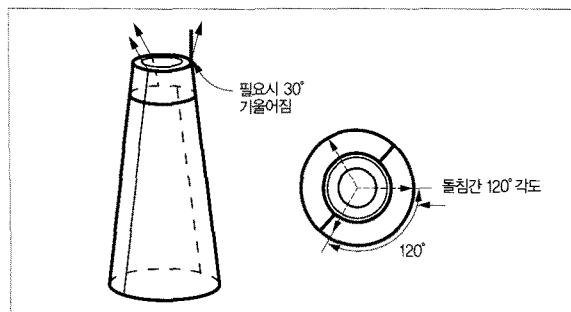
구조물의 철주(Metallic column)를 인하도선으로 사용할 수 있으며 돌침은 모두 여기에 견고하게 연결되도록 조치하면 된다. 인하도선의 최대 간격은 30m 이며 모든 인하 도선은 구조물 기초 부위에서 모두 연결하고 접지봉에 연결한다. 접지봉은 구조물 기초에서 0.61m 이내에 설치한다. 인하도선 및 접지봉은 낙뢰전류에 견딜 수 있는 충분한 전류용량을 가져야 한다. 콘크리트 내부의 철근, 비상용 계단, 구조물 상부의 공조설비등은 인하도체에 연결한다.

(8) 낙뢰보호의 구체적인 예시

① 위험물질 보관 탱크의 피뢰설비



② 굴뚝의 피뢰설비



2. 서지

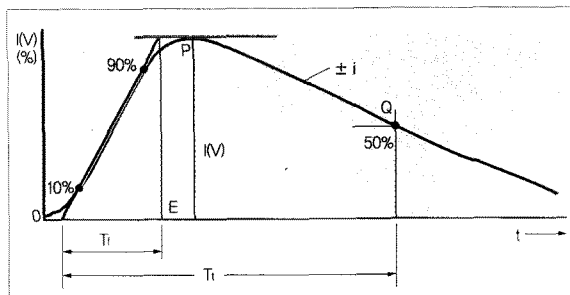
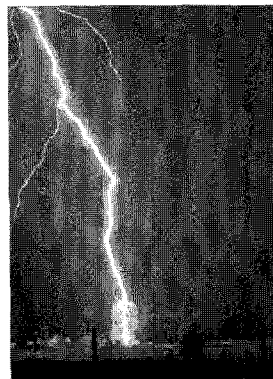
(1) 서지의 정의

서지(Surge)란 전력계통의 전원선, 통신선, 신호선 등의 도체를 통하여 발생, 침입되는 이상 전압 및 전류가 순차적으로 크게 증가하는 충격성이 높은 펄스를 말한다.

낙뢰로 인한 뇌격전류는 전송로나 설비에 서지를 발생시키며 낙뢰 이외에도 과도한 임펄스를 원인으로 하는 서지가 발생하여 전송로 및 전기설비에 피해를 입힌다.

(2) 서지의 파형

뇌격으로 인한 서지는 전압, 전류의 급격한 상승을 초래하며 파고치(Peak value)에 도달한 후, 다시 하강하는 소위 충격파의 형태를 나타낸다. 서지로 인한 충격파는 파고치, 파두시간(Wave front time), 파미시간(Wave tail time)으로 표시하며, [그림 1-6]에서 P점을 파고점, E를 파고치, OP를 파두(Wave front), PQ를 파미(Wave tail)라고 한다.



[그림 1-6] 서지의 파형

① 파고치

충격파형이 최대로 되는 전류 또는 전압의 값을 칭한다.

② 파두시간(Ti)

서지 전압 및 서지 전류의 파두시간을 표시함에 있어서, 실제 파두부분의 파형은 일그러져 있기 때문에 파고치의 10%와 90%의 점을 연결하는 직선이 시간축과 만나는 점을 시간의 기준점으로 잡고, 그 점으로부터 이 직선이 파고치를 통과하는 수평선과 만나는 점까지의 시간을 파두시간이라 하며 통상  $\mu s$  단위로 표현한다.

③ 파미시간(Tt)

서지 전압 및 서지 전류의 파미시간은 기준점으로부터 파미부분에서 파고치의 1/2과 같은 순시치로 떨어지는 점까지의

시간을 말하며 통상  $\mu s$  단위로 표현한다.

④ 파형의 표시( $T_r \times T_v$ )

서지 전압 및 서지 전류의 파형은 통상  $\mu s$  단위로 표시된 파두시간( $T_r$ )과 파미시간( $T_v$ )과의 조합( $T_r \times T_v$ )으로 표시한다. 충격전압시험시의 표준 충격파형에서는  $T_r=1.2\mu s$ ,  $T_v=50\mu s$ , 즉  $1.2 \times 50\mu s$ 를 취하고 있다.

**(3) 서지의 종류**

서지의 충격파는 기기의 절연을 떨어 뜨리고 반도체를 손상시켜 기기의 기능을 약화시키거나 정지시키는 일을 자주 발생시킨다. 서지를 발생원인에 따라 크게 분류하면 다음과 같다.

① 자연에 의한 서지

- 가. 직격뢰: 낙뢰가 구조물, 장비, 전력선 등에 직접 뇌격하는 서지
- 나. 간접뢰: 전원선, 통신선을 통하여 전달되는 서지
- 다. 유도뢰: 매설된 전원선, 통신선을 통하여 유도되는 서지

② 개폐 및 기동에 의한 서지

- 가. 개폐 서지: 유도성 부하, 전기기기의 개폐로 발생하는 서지
- 나. 기동 서지: 인버터(Inverter) 등 전력변환 시 발생하는 서지

**(4) 서지보호기**

① 적용

- 가. 전원 시스템의 서지보호기는 전원 인입선, 전원 배/분전반 회로, 전력 수구회로 및 각 기기 또는 장비의 전단에 적용 설치되어 이하의 회로 또는 기기를 보호한다.
- 나. 통신, 신호 및 정보통신 시스템의 서지보호기는 전화·정보통신 및 신호 시스템의 선로, 컴퓨터 시스템의 선로, LAN 시스템 그리고 화재경보 또는 보안 시스템의 선로에 적용 설치되어 기기를 보호한다.

② 선정

- 가. 전원용 서지보호기: 1단계 - 대용량의 주전원용(병렬접속) 외부로부터 인입되는 전원선의 서지를 억제하여 기기를 보호
- 나. 전원용 서지보호기: 2단계 - 중·대용량의 분전반, 전원장치용(병렬접속)

주 서지보호기를 통과한 잔여 서지와 내부발생 서지를 보호  
 다. 전원용 서지보호기: 3단계 - 소용량 전원기기, 정밀제어 장비용(직렬접속)

분전반, AVR, UPS 등 전원장치에 설치된 서지보호기를 통과한 잔여 서지를 억제하여 기기를 보호

라. 통신/신호용 서지보호기: 선로양단에 설치

통신선, 신호선, 데이터 선으로부터 유입되는 서지를 억제  
 마. 영상용 서지보호기: 개인 휴대통신 시스템 중계기, CCTV용

개인 휴대통신 시스템 중계기, CCTV, 카메라 등의 선로로 유입되는 서지를 억제

**3. 송전계통의 이상전압**

송전계통에 발생하는 이상전압은 내부적인 원인에 의한 것과 외부적인 원인에 의한 것의 두 가지로 대변할 수 있다. 내부적인 것으로서는 충전전류나 고장전류의 차단시 생기는 개폐이상 전압, 지락, 단선 등의 고장에 의한 고장 이상전압 등이 있다. 외부적인 원인으로서는 유도뢰, 직격뢰, 다른 고압선과의 혼촉이나 유도 등이 있으며, 특히 뇌에 의한 이상전압은 파괴치가 대단히 높고 그 경과지에 따라 발생 빈도도 높으므로 송전계통에서의 이상전압 중 가장 가혹한 것으로 안전의 측면에서 대책 및 방호가 요구된다.

낙뢰는 전송로에 다음의 네 가지 형태로 유입되어 서지의 형태로 나타난다.

- ① 전체 낙뢰전류가 전송로에 유입되는 직격뢰
- ② 낙뢰전류의 일부만이 전송로에 유입되는 전송로 주위에서의 뇌격
- ③ 자기유도
- ④ 정전유도

**(1) 가공지선**

송전선의 위쪽에 1~2조의 도선을 가설하여 뇌격을 여기에서 받아 송전선에 대한 직격을 방호하는 것인데 이것을 가공지선이라고 한다. 1조의 보호각은 보통 송전선에서 30~45도의 범위에 있고 보호 효율은 30도에서 95%, 45도에서 85%가 된다. 100%의 효율을 희망하는 발·변전소의 1km 이내에서는 2조의 가공지선을 가설하면 안전하다. 가공지선의 효과를 요약하면 다음과 같다.

- ① 전력선에 대한 뇌격을 막는다.
- ② 철탑이나 가공지선에 뇌격이 있을 경우에도, 뇌전류를 분산시켜서 철탑의 전위 상승을 작게 한다.
- ③ 유도뢰에 대하여 전력선을 정전으로 차폐한다.

**(2) 섬락 방지**

섬락이란 송배전선(送配電線)의 애자(碍子) 등 절연물을 끼워 놓은 두 도체간의 전압이 섬락전압(Flashover voltage) 이상이 되었을 때 절연물 표면에 있는 공기를 통해 아크 방전이 일어나 이것이 지속되는 현상으로 송전선에서의 섬락 방지대책은 다음과 같다.

- ① 차폐각의 감소
- ② 전력선 하부에 차폐선 설치
- ③ 가공지선의 다조화
- ④ 탑각 접지저항의 저감
- ⑤ Arcing horn 간격의 확대
- ⑥ 불평형 절연의 채용
- ⑦ 선로용 피뢰기의 설치

**4. 인체의 뇌해 방지 대책**

벼락의 직격으로 인한 재해는 치명적이므로 세심한 주의가 요망되며 옥외에서 뇌성을 들은 경우는 다음과 같은 안전행동이 필요하다.

- ① 낮은 곳으로 이동하여 몸을 낮춘다.
- ② 몸에 있는 금속물을 신속하게 몸에서 제거한다.
- ③ 쇠파이프나 나무 밑에 대피할 때는 2m 이상 떨어진다.
- ④ 천둥소리를 들으면 가급적 빨리 피난하여 건물 안으로 들어간다.
- ⑤ 골프장 등에서는 가급적 장시간 대피할 수 있는 곳에 들어간다.

**5. 낙뢰관련 용어**

- ① 번개(Lightning) : 천둥을 동반하는 대기 중의 방전현상으로 상위개념
- ② 벼락(낙뢰, Lightning flash to earth) : 뇌운과 대기 사이의 방전현상으로 1회 이상의 뇌격을 포함한다.
- ③ 뇌격(Lightning stroke) : 낙뢰에 있어서 단일방전
- ④ 선행방전(Leader) : 귀환뇌격에 선행해 뇌운에서 대지를 향해 진전하는 방전

- ⑤ 계단형 선행방전(Stepped leader) : 휴지시간을 동반하는 계단형 선행방전으로 첫 번째 뇌격시 이 형태를 취한다.
- ⑥ 화살형 선행방전(Dart leader) : 첫 번째 뇌격후 계단형이 되지 않고 연속적으로 리더가 앞의 방전로를 통과하는 선행 방전
- ⑦ 뇌격거리(Striking distance, Final jump distance) : 선행방전이 대지에 접근해 최종적으로 방전하는 거리. 이 거리(m)는  $k \times I \times n$ 으로 주어진다. I는 뇌전류(kA), k와 n은 상수이다. 이 값은 각 연구자에 따라 여러 종류가 있다.
- ⑧ 귀환뇌격(Return stroke) : 선행방전이 대지와 결합한 후 형성된 고도전성 방전로를 통해 대지에서 뇌운방향으로 흐르는 대규모 전류 방전
- ⑨ 다중뇌(Multiple stroke) : 맨 처음 형성된 방전로를 따라 2회 이상의 뇌격을 반복하는 뇌방전
- ⑩ 뇌격점(Stroke point, Point of strike) : 낙뢰가 대지와 구조물 또는 피뢰설비와 접촉하는 점
- ⑪ 뇌전류(Lightning current) : 뇌격점에 흐르는 전류
- ⑫ 뇌전류 피크값(Peak value of lightning current) : 낙뢰에서 최대 전류값
- ⑬ 낙뢰계속시간(Flash duration) : 뇌전류 시작부터 끝까지의 시간
- ⑭ 뇌방전 전하(Electric charge of lightning discharge) : 뇌전류 시간적분
- ⑮ 연간뇌우일수(IKL, Isokeraunic level) : 일정한 지역에서 천둥소리를 듣거나 뇌광을 눈으로 확인한 일수를 1년간 합계한 일수
- ⑯ 뇌차폐(Shielding) : 보호해야 할 건축물과 전력선로에 대한 뇌격을 피하기 위해 차폐선과 돌침을 이용해 보호하는 것을 뇌차폐라고 한다.
- ⑰ 직격뇌(Direct strokes) : 직접 상도체로 뇌격함으로써 발생하는 과전압. 배전선인 경우에는 가공지선과 콘크리트기둥에 뇌격할 경우도 포함한다.
- ⑱ 역섬락(Back flashover) : 송전선 철탑과 가공지선으로 뇌격한 경우 접지저항과 철탑 서지 임피던스에 의해 철탑과 가공지선의 전위상승이 커져 반대로 상도체로 방전하는 현상