

뇌격의 특성과 피뢰보호 공간의 평가

강인권 대우엔지니어링 차장(전기기술사)
박호석 (주)세민 E & S 대표이사
김종연 (주)세민 E & S 기술과장

1. 서언

자연현상인 직격뢰에 의하여 많은 1, 2차적 재해가 유발되고 고층건물, 고지대 또는 옥외 개방지역의 시설은 낙뢰의 위험도가 높아서 더욱 완전한 피뢰보호가 필요하다.

이러한 직격뢰에 대한 가장 보편적인 피뢰보호 방식으로 뇌격전류를 흡인하여 대지로 방류하는 피뢰침 설비가 다양한 연구와 더불어 개량되어 왔으며 현재 적용되고 있는 피뢰침 설비의 보호공간(보호각) 개념은 실제적인 뇌격의 양상을 고려하여 완전한 피뢰보호를 수행하도록 국제적으로 재정립되어 가고 있다.

이에 뇌격의 특성과 피뢰 보호공간의 평가에 대하여 전기기하학적 견지에서 서술한다.

2. 뇌방전의 종류와 발생

가. 뇌방전의 특성

뇌 재해를 유발하는 낙뢰는 뇌운과 대지 사이의 전기적 방전현상으로 여기서는 이의 기본적 특성인 뇌운의 형성, 뇌격의 발생 및 진행과정, 그리고 그 영향에 대해 서술하기로 한다.

(1) 뇌운의 형성

불안정하고 온난, 다습한 기류는 적란운의 생성을 촉진하는데 이 적란운은 매우 광범위하며 수평거리는 약 10km 반경, 수직거리는 약 15km까지 걸쳐 발생된다. 적란운의 특징적인 형상은 가끔 뼈의 단면에 비교되는데 즉, 상하부에 평면 형태가 보이는 것이다.

적란운의 고온 변화경도(Gradient: 온도는 최상부에서 -65°C 까지 하강)는 급속한 상승 기류를 생성시키며, 이는 물 입자의 전하 대전현상을 야기시킨다.

표준적인 뇌운에서 얼음결정체로 구성되어 있는 상부는 일반적으로 정(+)-전하로 대전되고, 물입자로 된 하부는 부(-)-전하로 대전된다. 유도작용에 의해 뇌운의 최하부는 반대극성의 전하가 생성된다.

이렇게 하여 적란운은 거대한 평면구름과 대지로 된 일종의 커패시터(Capacitor)를 구성하게 되고 이의 중심거리는 12km에 이르기기도 한다.

지면에서 대기중의 전계는 청명한 기후에서는 100V/m 이지만 대지방전시(뇌격시)에는 대전전하의 극성이 반대로 변하고 절대값으로 $15\sim 20\text{kV/m}$ 에 도달한다.

(2) 뇌격의 발생

전기방전의 발달방향(상승 또는 하강)과 대전되는 전하의 극성(정극성 또는 부극성)에 의거하여 구름과 대지간 뇌격은 4종류로 구분되는데 실제로 하강 및 부극성(-)의 뇌격이 훨씬 빈번하게 발생한다. 우리나라와 같은 온도지역 및 평지에서는 이런 경우가 전체구름과 대지간 방전의 90% 정도라고 간주된다.

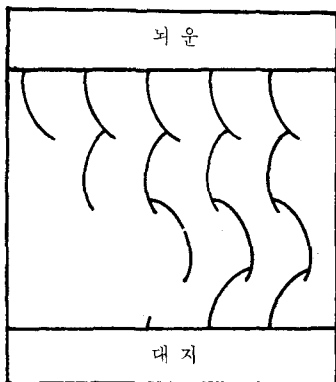
(3) 낙뢰의 진행 과정

단순한 육안관찰로는 뇌격의 서로 다른 각종 형태를 구분할 수 없으며, 이를 관찰하는데는 고성능의 영상촬영 장치가 필요하다.

대부분의 뇌격은 다음과 같은 과정으로 진행된다(그림 1 참조).

첫번째의 하강리더(Leader)가 뇌운의 한 지점을 출발하여 약 50,000km/s의 속도로 약 50m 거리를 급속히 전진하고는 소멸한다.

두번째의 하강리더가 동일 지점을 떠나서 이전 것과 동일속도, 동일경로를 따르고 첫번째 하강리더의 최종 도달지점을 넘어서 동일거리만큼 전진하여 차례로 소멸한다. 이 과정은 최종 하강리더의 선구가 대지로부터 수십m 또는 수m의 지점에 도착될 때까지 반복된다.



<그림 1> 뇌격형성의 각종 형태

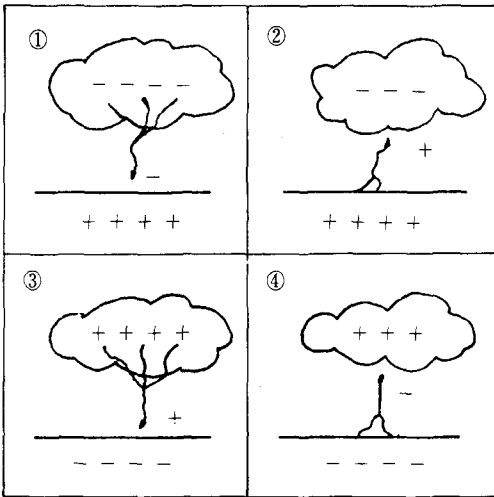
그런후에 상승리더(Leader)와의 접촉이 이루어지고, 대지로부터 뇌운을 향한 회귀성 뇌격이 발생된다. 이것이 주방전이며 주방전에 의해 이온화된 채널(Channel)을 통해 파괴되지 않고 통과하는 2차 전하군이 뒤따르게 된다.

평균적인 부극성(-)의 뇌격에서는 최대전류가 25,000A에 근접한다.

(4) 뇌 방전의 영향

먼저 유체매질(대기)속으로 전파하고 이어서 대지와 도전되어 있는 고체매질 속으로 전파하는 고강도의 충격파(Impulse)전류의 영향, 즉 뇌방전의 영향은 다음과 같다.

- 가시적 영향(섬광) : Townsend Avalanche 메커니즘에 기인한다.
- 청각 영향 : 방전 채널에서 압력 상승에 의해 생성되는 고압파(Shock Wave)의 전파에 기인하며, 이 효과의 지각(인식)은 약 10km로 제한된다.
- 열적 영향 : 줄(Joule)효과에 의해 생성된 열에 기인한다.
- 열 역학적 영향 : 다른 도체에 의해 생성된 자장에 놓여진 도체에 적용되는 기계적인 힘이다.
- 전기 화학적 영향 : 상대적으로 미세한 효과이며, 패러데이 법칙(Faraday's Law)의 적용에 의한 전기 분해작용에 의해 나타나는 효과이다.
- 유도 영향 : 다양한 전자계 속에서 모든 도체는 유도전류의 장이 되는 것에 기인한다.
- 생명체에의 영향(인간 또는 동물) : 어떤 강도에서 순시전류의 통과는 심장박동의 정지 또는 호흡정지에 의한 감전사의 위험을 초래하기에 충분하다. 이외에도 화상의 위험이 있다.



① 부(-)극성의 하강 방전 ③ 정(+)극성의 하강 방전
 ② 정(+)극성의 상승 방전 ④ 부(-)극성의 상승 방전

〈그림 2〉 뇌 방전의 형태

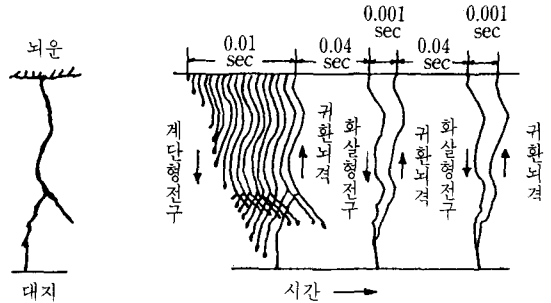
나. 뇌방전의 종류

뇌방전은 뇌운과 대지간의 최초 리더(Leader)의 방향과 극성에 의해서 분류된다. 부(-)극성의 하강 리더는 전체 뇌 방전의 약 90%이고, 정(+)극성의 방전은 산악지대에서 자주 발생한다(그림 2 참조).

뇌방전은 각종 전류의 조합으로 구성되고, 그 크기는 시간과 더불어 변화한다. 많은 관측결과를 집약해 보면, 뇌방전의 발생확률에 의거 표 1 과 같이 요약된다. 평균적인 뇌방전은 파고치가 약 25kA, 입상시간 2 μ s, 전하량 10C이다.

〈표 1〉 뇌방전의 정수(Parameter)
 (부(-)극성의 하강 방전)

발생확률 P(%)	전류파고치 I(kA)	전하량 Q(C)	전 방전시간 t(s)	방전횟수 n
50	26	9	0.09	1.8
10	73	69	0.56	5
1	180	330	2.7	12



○정지 카메라 영상 ○보이스 카메라(Boys Camera)에 의한 분석 영상

〈그림 3〉 보이스 카메라에 의한 하강 뇌방전의 시간적 과정

다. 뇌방전의 메커니즘(Mechanism)

뇌운과 대지간 방전의 제 1 단계는 구름으로부터 대지로 향한 약 100m의 계단(Step)형으로 전파되는 계단형 선구(Stepped Leader)이다. 계속되는 2개의 계단(Step) 사이에 10~100 μ s의 휴지시간이 있고 분기형태가 발생한다.

리더(Leader), 채널(Channel)의 선단이 대지에 접근하게 되면 일반적으로 대지의 돌출부분(수목, 피뢰침 등)으로부터 상승리더가 발생하고, 하강리더가 상승리더의 하나에 도달하게 되면 구름과 대지간에 전리된 채널이 가능하게 된다. 이것이 대전류를 흘리는 단락통로가 된다. 여기서 우리는 대지와 구름과의 사이에 귀환뇌격이라 부르는 강렬한 뇌섬광을 볼 수가 있다. 뇌방전은 일반적으로 동일한 채널을 통한 수회의 귀환뇌격에 의거하여 발생한다. 전체 뇌방전은 0.2~1초간이고 평균 1회의 귀환뇌격이 계속 발생한다(그림 3 참조).

3. 피뢰 보호방식

낙뢰에 의한 대표적인 사고 및 보호대책은 다음

의 두 가지로 대별될 수 있다.

첫째, 뇌격이 주택, 건물 또는 특정한 지역을 강타했을 때 직격뢰에 의해 야기되는 사고의 경우 막대한 피해가 생긴다.

이런 위험에 대한 보호는 피뢰 돌침방식과 케이지(Meshed Cage) 방식에 의해 가능하다.

일반적으로는 직격뢰에 대해 구조물을 보호하기 위하여 특별한 뇌격 흡인용 돌침이 설치되며, 이는 구조물의 나머지 부분을 보호하고 뇌격 통로의 임피던스(Impedance)를 최소화하면서 대지로 뇌격 전류를 방류하는 것이다.

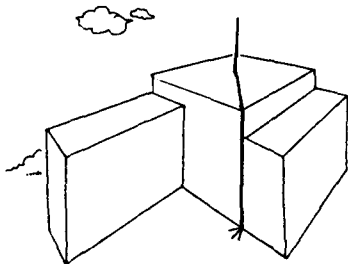
특별히 낙뢰위험이 큰 장소에서는 매설 가공지선(Strained Wire) 방식이 고려될 수 있다.

둘째, 전력 케이블 또는 정보 전송망 등에 낙뢰했을 때와 같이 간접적으로 야기되는 사고시에 이의 영향을 받기 쉬운 장비는 생성된 서지 전압과 유도전류에 대해 보호되도록 해야 한다.

상기한 두가지 방식에서, 직격뢰에 대한 피뢰대책으로 가장 보편적인 피뢰돌침 방식과 완전보호용 케이지 방식의 구성에 대해 서술한다.

(1) 피뢰 돌침방식

피뢰돌침 방식에서 돌출된 외형의 피뢰돌침은 상승 스트리머(Streamers)의 생성을 촉진하며 따라서 돌침선단은 주변에서 발생하는 뇌격의 뇌격지점으로 된다.



<그림 4> 피뢰돌침 방식에 의한 건물의 보호

돌침형 피뢰설비는 돌침형 피뢰도체, 인하도선, 접지저항 측정함 및 접지봉 등으로 구성된다(그림 4 참조).

(2) 케이지(Meshed Cage)방식

케이지는 도체망에 의해 뇌격전류의 배분 및 대지로의 전도를 유효하게 한 것으로 돌침, 수평도체, 인하도선 및 접지봉 등으로 구성된다(그림 5 참조).

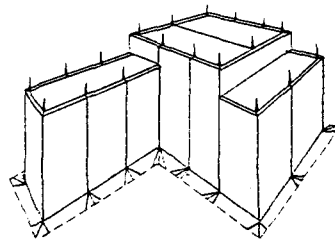
4. 전기 기하학적 모델(Model)

가. 전기 기하학적 모델의 적용

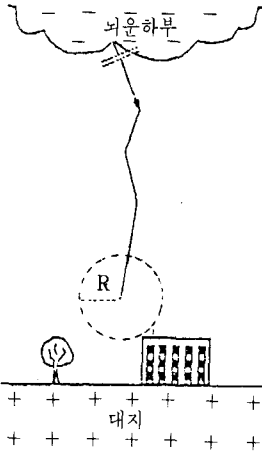
전기 기하학적 모델과 가상 구체법(Rolling Sphere Method)은 피뢰설비를 설계하는데에 사용되는 간단하고 편리한 방법이다(그림 6 참조).

대지로부터 하강리더를 향해서 발생하는 상승리더의 거리가 뇌격거리 R 이다. 이 거리는 뇌전류의 크기에 의해서 결정되고 개략 100m 정도이다.

전기 기하학적 모델에 의하면, 뇌격지점은 가상 대상물이 평탄한 대지로 되어 있어도 하강리더로부터의 거리 R 내의 제 1물체로 결정된다. 따라서 하강리더의 선단은 반경 R 인 구체의 중심이 되고, 이 구체는 하강리더와 더불어 어느 궤도를 따라서 하강하고 대지에 접근하는 것으로 생각된다. 구체가 최초로 도달하는 점이 뇌격지점이 된다.



<그림 5> 케이지(Meshed Cage)방식에 의한 건물의 보호



〈그림 6〉 뇌격의 가상 구체도

이 전기 기하학적 모델 및 가상구체법의 적용에 의한 피뢰보호공간 및 적용시 주의사항에 대해 서술한다.

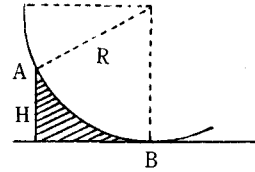
(1) 돌침에 의한 보호공간

가상구체법의 적용에서는 가상구체를 대지 또는 돌출물에 근접시켜서 전 방향으로 회전하도록 설정한다.

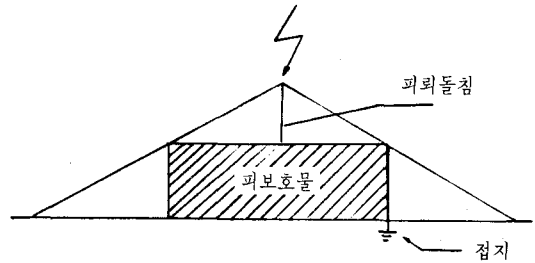
이 가상구체법에 의거하여 그림 7 및 그림 8의 사선부분이 보호공간으로 결정되며, 이 공간은 직격뢰를 받지 않는다. 더욱이 이 가상구체가 보호장치(피뢰침, Meshed Cage 등)에 접촉되고 전체 보호물체에 접촉하지 않으면 이 보호장치는 뇌격에 대해서 유효한 것이다.

반대로 접촉할 경우에는 전체 보호물체에 가상구체가 접촉하지 않도록 보호장치를 변경하여 설치해야 한다.

뇌격에 대한 보호를 하기 위해서는 전체 보호물체를 이 보호 공간내에 들어가게 하든지, 특히 여러개의 피뢰침을 사용하는 경우에는 각각의 보호공간의 합성공간내에 들어가게 해야 한다.



〈그림 7〉 가상 구체법에 의한 보호공간



〈그림 8〉 피뢰돌침에 의한 보호공간

(2) 보호 콘(Cone)

가상구체를 수직돌침의 주변으로 회전시킬 경우에 뇌격으로부터 보호되는 공간이 한정된다. 이 보호공간이 보호 콘(Cone)이 되고 돌침이 여러개일 경우에는 각각의 보호 콘이 합성된다.

(3) 전기 기하학적 모델의 적용시 주의사항

가상구체법 적용시에는 뇌격을 흡인하기 쉬운 물체의 형상, 사용재료(도체 또는 절연체), 주변의 환경조건(습도, 바람, Ion화 등), 지상 구조물의 높이 등 각종 요인을 고려해야 한다.

나. 보호 공간의 평가

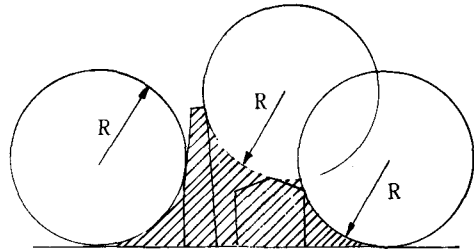
최근, 피뢰침 보호범위의 평가에 회전 구체법(Rolling Sphere Method)이 적용되는 추세이며 국제적 표준인 NFPA 78, IEC/TC 81 및 BS 6651에 이의 적용이 명시되어 있다.

즉, 피뢰침의 높이에 관계없이 일률적인 보호각을 적용하는 것은 합당하지 않으며, 피뢰보호 등

급, 회전구체의 반경 및 피뢰침의 높이에 의거하여 피뢰침의 피뢰보호 범위를 평가, 설정하는 것이다.

다음에 피뢰보호 공간 평가에의 이해를 돕기 위해 참고로 유럽 표준인 CENELEC의 피뢰보호 공간의 평가(안)을 보인다.

- 피뢰보호 등급별 뇌격특성(표 2 참조)
- 피뢰보호 등급별 회전구체 반경 및 보호각(표 3 참조)
- 회전구체법에 의거한 피뢰보호 설비설계 개념(그림 9 참조)



<그림 9> 회전구체법에 의한 피뢰보호 설비 설계 개념
(피뢰도체는 회전구체와 접촉하는 모든 지점에 설치되어야 하고, 회전구체 반경은 선정된 피뢰보호 등급에 일치한 것이어야 한다.)

<표 2> 피뢰 보호등급별 뇌격특성

뇌격 정수	부호	단위	보호 등급		
			I	II	III-IV
최 대전류	I	kA	200	150	100
총 전하	Q_{total}	C	300	225	150
임펄스전하	$Q_{impulse}$	C	100	75	50
고유에너지	SE	$\text{kJ} \cdot \Omega$	10000	5600	2500
평균급준도	di/dt	$\text{kA} / \mu\text{s}$	200	150	100

5. 결론

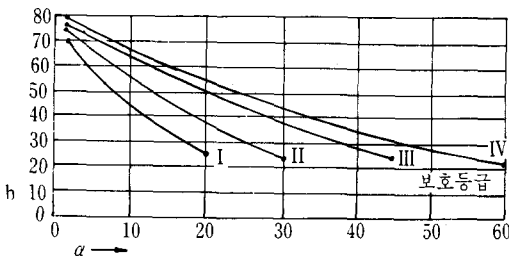
이상 서술한 바와 같이 현재 적용되고 있는 피뢰침의 보호공간 개념은 뇌격 및 낙뢰의 특성면에서 회전구체법이 적용되어 수정, 보완되어야 함이 자명하다.

즉, 일률적인 피뢰침의 보호각(60° , 45° 등)이 아닌 피뢰침의 설치높이에 의거한 보호각 개념이 적용되어야 완벽한 피뢰보호 수행이 가능한 것이다.

피뢰침에 의한 완벽한 피뢰보호를 수행하기 위해서는 기존의 피뢰 보호공간의 개념에서 벗어나 회전구체법이 적용된 피뢰보호 공간 평가(보호각)가 적용되어야 하며 피뢰침 설비 및 관련표준 또한 이 기초하에서 연구, 개량 및 수정, 보완되어야 할 것이다.

<표 3> 피뢰보호 등급별 회전구체반경 및 보호각

보호 등급	보호 방식			보호각, α ($^\circ$)
	회전구체반경, R (m)	메쉬크기, M (m)		
I	20	5×5	아래 그림 참조	
II	30	10×10		
III	45	15×15		
IV	60	20×20		



- 주) 1. 점(·) 표시 값 이상에서는 적용 불가
2. h는 피보호 지역위 피뢰침의 높이

● 참고문헌 ●

- 최신전기 설비(문운당) : 지철근저
- 전기안전 공학(연학사)
- NFPA-78
- IEC/TC 81
- BS 6651
- Lightning Conductor Catalogue & Technical Data(Helita)