

# 최신형 피뢰침 설비



글/기술사  
(주)대우엔지니어링 부장 강인권

## ● 목 차

1. 서 언
2. 피뢰침의 기본원리
3. 선행스트리머 방사방식  
(Early Streamer Emission Type)
4. 선행스트리머 방사형 피뢰침(예)  
(ESE Lightning Conductor)
5. 결 언

## 1. 서 언

직격뢰에 대한 피뢰보호방식으로 일반의 피뢰침 설비가 널리 설치되어 있으나 완전한 피뢰보호공간이 확보되지 않기 때문에 보호공간내에서도 실제적인 낙뢰사고가 다수 발생하고 있으며, 이에 대비하여 광범위한 보호공간을 확보하고 더욱 완벽한 능동적 보호성능을 가지는 피뢰침설비가 요구되고 있는 실정이다.

최근, 기존의 수동형 및 협소보호범위의 피뢰침 설비와는 다른 광역보호범위의 능동형 및 뇌격흡인방식의 피뢰침설비가 개발, 설치되어 완벽한 피뢰보호를 수행함으로써 광역의 완전한 피뢰보호공간이 확보되고 있는 추세이며 다양한 장소에 많이 설치되고 있다.

이에, 피뢰침의 기본원리를 기준으로 최신의 광역, 능동형, 선행스트리머 방사형(Early Streamer Emission Type) 피뢰침의 기본동작원리, 보호특성 등에 대하여 서술한다.

## 2. 피뢰침의 기본원리

먼저, 뇌격시에 뇌운과 피뢰도체 또는 지상의 다른 구조물/돌출물과의 사이의 발생현상에 대해 알아본다(그림 1 참조).

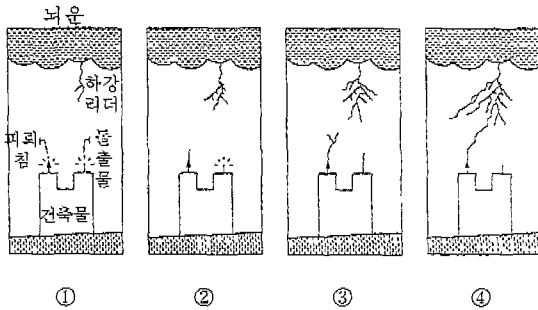
뇌운이 형성되면 지상의 대기중 전계는 10[kV/m] 이상으로 상승한다. 그리고, 지상의 어떤 구조물 또는 돌출물에 코로나(Corona)효과가 나타난다.

뇌격은 뇌운내에 리더(Leader)를 형성하기 시작하고 이것은 대지를 향해 단계적으로 전진한다.

리더가 뇌운으로부터 대지로 전진하는 동안에 코로나효과에 기인한 이온화(Ionization)가 지상의 어떤 구조물이나 돌출물의 상부에서 상승리더로 성장하기 시작한다.

이것이 피뢰도체의 선단에서 일어나는 현상이다. 이 상승리더는 뇌운을 향해 전진하면서 하강리더의 경로를 변경시킬 수 있는 충분한 전계를 생성한다.

이후, 곧 상승리더는 하강리더와 접촉하게 되고 이어서 뇌격이 발생하며 뇌격전류가 지상으로 흐르게 된다. 즉, 하강리더와 접촉하게 되는 최초의 상승리더에 의해 뇌격지점이 지정된다. 다수의 상승리더가 지상의 구조물 또는 돌출물로부터 생성될 수 있다.



<그림 1> 피뢰침의 기본동작 원리도

### 3. 선행스트리머 방사방식 (Early Streamer Emission Type)

#### (1) 기본 동작원리

선행스트리머 방사형(ESE: Early Streamer Emission) 피뢰침에서는 내부장치에 의해서 다량의 이온(Ions)을 대기중으로 방사한다. 실제로, 뇌운중에 전계의 전파조건이 충족되면 내부장치는 초기에 먼저 상승리더(Leader)를 발생시키고 이것이 접근하는 하강리더에 최초로 접촉하게 된다.

#### (2) 선행방사거리 이득

선행방사거리(시간) 이득은 ESE 피뢰침의 특성이며 이것은 고전압 시험에 의해서 직접 결정된다.

효과적인 ESE 피뢰침은 정극성(+)의 선행방사시간(+ $\Delta T$ )을 나타낸다. 동일한 순간에 프랭클린 돌침에 의해 생성된 상승리더는 돌침선단의 상부로부터 거리(D)만큼 되는 곳에 도달하고 ESE 피뢰침에 의한 상승리더는 ESE 피뢰침의 선단상부로부터 거리( $\Delta L + D$ )만큼 되는 곳에 도달한다 (그림 2, 그림 3 참조).

상승리더는 평균속도로 하강리더를 향해 전파, 전진한다.

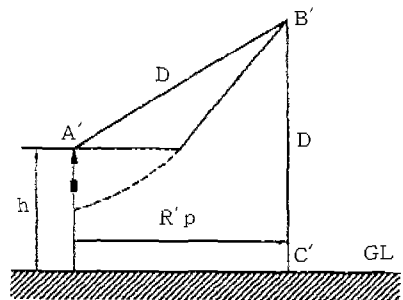
선행전진시간 및 거리이득 사이의 관계는 다음 식과 같다.

$$\Delta L = V \cdot \Delta T$$

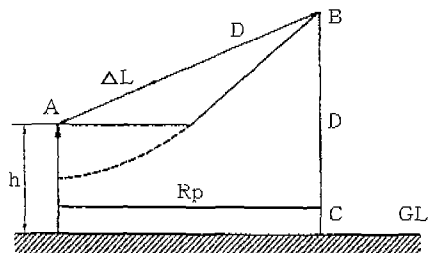
여기서,  $\Delta L$ : 선행전진거리 이득[m]

$V$ : 상승리더의 평균속도[m/s]

$\Delta T$ : 선행방사시간 이득[s]



<그림 2> 프랭클린돌침 방식의 전기기하학적 모델



<그림 3> ESE 피뢰침 방식의 전기기하학적 모델

(3) 보호특성

여기에서는 ESE 피뢰침 방식의 보호특성 즉, 보호반경에 대해 서술한다.

동일조건하에 설치된 프랭클린돌침과 비교하여 극성을 가지는 피뢰침의 보호반경을 검토한다(그림 4 참조).

ESE 피뢰침의 여기전진은 피뢰침도체의 가상높이 증가분(h')과 동일하다. 유효 선행방사거리(ΔL) 또는 가상높이 증가분(h')은 다음 공식으로 구해진다.

$$h' = \Delta L = V \cdot \Delta T$$

여기서, V : 평균뇌격속도 [m/s]

ΔT : 선행방사시간의 유효한 정극성(+)의 이득[s]

보호반경(Rp)은 전기기하학적 모델에서 구해지는 높이(h+h')를 적용하여 구해진다. 보호반경을 구하는 공식은 다음과 같다.

$$R_p = (h + h') \cdot \tan \alpha$$

여기서, Rp : 피뢰침의 수직높이(h)에 대한 ESE 피뢰침의 보호반경[m]

h' : 피보호 지역위 ESE 피뢰침 선단의 가상증가높이(피뢰침의 출력에 의거하여 변환) [h' = V · ΔT][m]

h : 피뢰침의 수직높이[m]

α : 보호각[°]

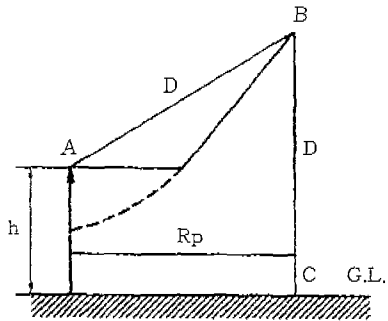
그러나, 상기의 보호반경은 일반적인 기본 이론적 수치이며 ESE 피뢰침의 보호반경은 실험 결과치 및 회전구체법을 적용하여 최종적으로 결정된다.

즉, ESE 피뢰침의 최종보호반경은 상기의 일위

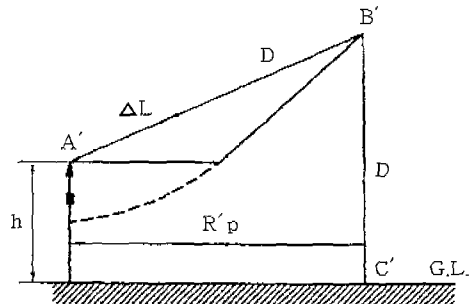
적 계산치가 아니며 설치 높이가 높아질수록 실제적인 보호반경이 감소된다.

다음으로, 일반 프랭클린돌침 방식과 ESE 피뢰침 방식의 보호반경의 기본원리를 비교하면 다음과 같다.

○ 프랭클린돌침 방식



○ ESE 피뢰침 방식



○ 프랭클린돌침 방식

$$D(m) = 10 \cdot I^{0.3}$$

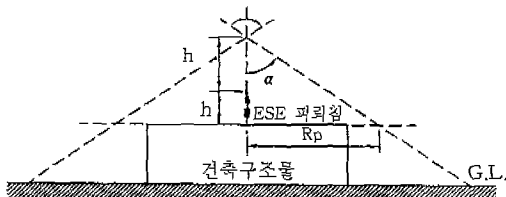
여기서, Rp : 보호반경[m]

D : 뇌격거리[m]

I : 최초의 회귀성 뇌격의 최고치 전류[kA]

○ ESE 피뢰침 방식

$$R'p = \sqrt{h(2D - h) + \Delta L(2D + \Delta L)}$$



<그림 4> ESE 피뢰침 방식의 보호반경 개념도

- 여기서,  $R'p$  : ESE 피뢰침의 보호반경[m]  
 $D$  : 뇌격거리[m]  
 $h$  : 보호평면으로부터 ESE 피뢰침의 최상단 높이[m]  
 $\Delta L$  : 상승리더의 거리이득[m]  
 ( $\Delta L = V \cdot \Delta T$ )  
 $V$  : 평균뇌격속도[m/s]  
 $\Delta T$  : ESE 피뢰침의 선행방사이득[s]

이상의 비교결과에서  $R'p \gg R_p$ , 즉  $R'p$ 가  $R_p$ 보다 매우 크다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 선행스트리머 방사형 피뢰침(예) (ESE Lightning Conductor)

최신의 선행스트리머 방사형 피뢰침의 예로 성-엘모(Saint-Elmo)압전형 ESE 피뢰침의 제반특성을 서술한다.

성-엘모\* 피뢰침은 선행스트리머 방사형(Early Streamer Emission Type) 및 압전여기방식(Piezoelectric Exciter System)의 뇌격흡인식 최신피뢰침이다.

이 피뢰침은 프랑스표준 NF C 17102의 기준에 일치하는 고효율, 자급형, 단순구조 형태의 피뢰침 방식이다.

\* [참 고]

성-엘모현상(Saint Elmo's Fire)  
 : 폭풍우 및 뇌우시의 밤에 선박의 마스트(Mast) 또는 비행기의 날개 등에 나타나는 불꽃방전 현상을 말한다.

##### (1) 기본원리

이 피뢰침은 피보호 건축물에 일치하여 생성된 등전위면을 변경하여 동작되며 피뢰침의 설치위치는 뇌격시 전계증가에 중요한 요소로 작용한다.

성-엘모 압전형 ESE 피뢰침의 기본원리는 다음의 주요 요소에 기초하고 있다.

- 뇌격시 전계의 강화
- 코로나(Corona)효과의 여기 및 생성
- 코로나방전의 발달에 양호한 조건생성

##### (2) 구조 및 구성

성-엘모 압전형 ESE 피뢰침은 다음의 주요부으로 구성된다.

###### ① 포착부(Sensors) (그림 5)

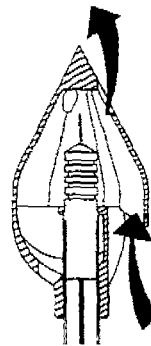
포착부는 상부의 돌침첨단부와 이의 연장부로 공기의 강제순환이 양호하게 발생하는 종단면 구조형태와 양질의 도체로 구성되어 있으며 공기순환 구조는 벤추리(Venturi)시스템으로 공기흡입 및 방출구조로 되어 있어 공기의 강제순환을 매우 용이하게 하는 구조로 되어 있다.

###### ② 변환기(Transducer : 압전여기 장치)(그림 6)

변환기는 지지주의 하부에 내장되고 간단하고 안전한 신뢰도의 자극(여기)장치와 절연함속에 설치된 응력이 가해진 압전형 세라믹의 조합으로 구성되며 이 압전여기장치와 방출첨단부(Points)는 지지주 내부에서 고압 케이블로 접속된다.

###### ③ 지지주(Supports)

지지주에는 절연슬리브가 삽입되어 있고 유도전위가 인가되는 한개 또는 그 이상의 스테인리스 스틸(Stainless Steel)제의 이온(Ion)방출첨단부가 최상부에 설치되며 화학처리 동 또는 철제로 되어 있다.

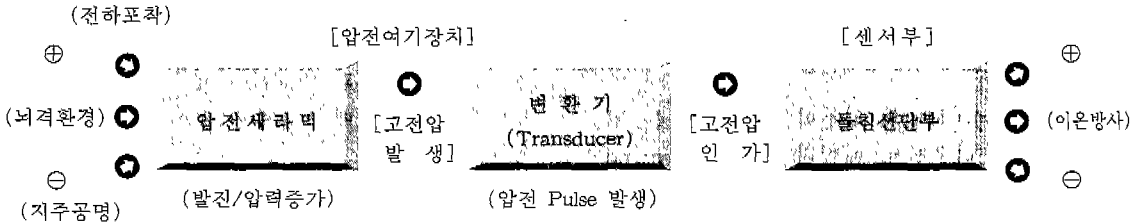


<그림 5> 센서부



<그림 6> 변환기

<표 1> 동작원리도



<그림 7>  
성 엘모 압전형 ESE 피뢰침의 외형도

지주주는 포착부와 함께 대지 전위에 접속되어 뇌격이나 기후에 의한 직접소손으로부터 보호된다.

성 - 엘모 압전형 ESE 피뢰침의 외형도는 그림 7과 같다.

(3) 동작 원리

성 - 엘모 압전형 ESE 피뢰침은 사전에 응력이 가해진 전기쌍극자구조 (분극)의 압전세라믹이 뇌격접근시에 주변전계의 영향을 받아 전하를 포착하고 피뢰침지주의 미세공명진동의 영향을 받아 발진하면 압

력이 증가하여 고전압(20~25[kV])을 발생시킨다.

이 고전압은 변환기(Transducer)를 통과하여 이에 접속된 돌침 선단부를 고전위로 인가시키고 침단부에서 다량의 이온(전하)을 방사하여 동작한다.

동작원리도는 표 1과 같다

(4) 동작특성

성-엘모 압전형 ESE 피뢰침의 주요 동작특성은 다음과 같다.

① 압전세라믹(Piezoelectric Ceramics)

압전세라믹은 수정구조체이며 초기에 강한 분극전계에 일치시켜 일정방향으로 응력이 가해진 전기쌍극자구조이며 매우 견고한 물질인 지르코늄(Zirconium) 산염으로 구성되고 이들의 중간부분은 전극등급 니켈의 세밀층으로 덮여 있다.

이 세라믹은 발진동작으로 간단히 압력을 증가시켜 고전압(20~25[kV])을 생성하며 이 전압레벨은 소오이온을 생성하는데 필요한 것보다 매우 높은 값이 된다.

② 압전여기시스템(Piezoelectric Stimulation System)

피뢰침자체와 최소의 난류, 지주의 공명에 의한 진동효과 및 자극 (여기) 장치에 인가된 사전응력의 조합에 의한 강력한 동작결과로 많은 가역효과 응력이 얻어진다.

방출첨단(Points)은 전기적으로 변환기(Transducer)에 접속되어 있으므로 고전위가 인가되며 다량의 이온을 방사한다(2.5~6.5 [kV]에서 7.651<sup>10</sup>[Ions]).

이 방사효과는 벤츄리효과와 발진, 생성되어

이온화된 포착부 부근의 대기흐름 및 이의 전파에 의해 수행된다. 이 ESE 피뢰침은 압전펄스의 양극성에 기초하며 정극성(+) 및 부극성(-)의 뇌격 모두에 동작 유효하다.

③ 코로나 효과의 여기시간감소

이 ESE 피뢰침의 압전이온화 시스템은 코로나효과, 타운젠트 애벌란시효과(Townsend Avalanche Effect)의 생성시간을 감소시킨다.

최근, Mr. N.L. Allen, Mr. T.E. Allibone 및 Mr. D. Dring은 연구에 의해서 자연 이온화밀도(150~1100[Ions/cm2]~8000[Ions/cm2])를 높임에 의해서 이 시간을 50[%]까지 줄이고 이온밀도가 높아질수록 이 자연은 지속적으로 감소하는 것이 입증되어 있다.

④ 브레이크다운(Breakdown)전위의 감소

전극주변의 대기이온밀도의 인공적인 증가는 브레이크다운 전위의 감소를 촉진한다.

최근, Mr. G. Rumedes는 연구결과로 다음의 요인들에 의한 브레이크다운 전위의 감소축진이 입증되어 있다.

- 지역전계의 증가
- 포획침단부에서 시드(Seed)전자의 존재(Seed 전자 : 대기중에 희소하지만 여기공정에는 필수적인 전자)
- 피뢰침의 연장선내에 증가하는 이온화된 대기채널의 생성

코로나효과와 트리거(Trigger) 초기조건에서 여기시간지연 및 코로나 방전 의 상승속도를 감소시켜 이러한 효과적 동작이 수행된다.

(5) 보호특성

성-엘모 압전형 ESE 피뢰침의 주요 보호특성은 다음과 같다.

① 우선포착

낮은 정전계의 값에서 여기(Exciting)를 증진시키는 성능이 클수록 피뢰침의 우선포착 가

능성이 커지며 이 성능은 피보호 건축물과 다른 지점과를 비교하여 상대적으로 우선포착 효과를 크게 한다.

그러므로, 성-엘모 피뢰침은 단지 단거리( $D = 10 \cdot I^{2/3} : D[m], I[kA]$ )만 간섭포착할 수 있는 기존의 일반피뢰침과 비교하여 낮은 방전강도(2~5[kA])중에서도 매우 우수한 우선포착 성능을 수행한다.

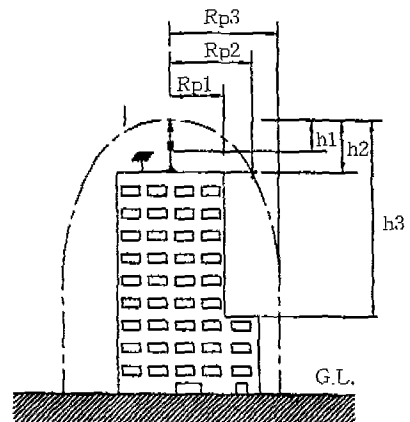
② 광역보호공간

피뢰침의 보호공간은 전기기하학적 모델에 의해 이론적으로 구해진다.

이것은 실제적으로 높이가 낮은 경우에는 최고정점이 피뢰침의 최침단이 되는 원추에 해당된다.

프랑스 표준, NF C 17102에서는 선행스트리머 방사형(ESE : Early Streamer Emission) 피뢰침에 대하여 다양한 가혹도인 보호레벨, Np(Level I ~ III)를 설정하도록 하고 있다. 이것은 각각의 경우에 있어서 사전 뇌격위험도의 평가에 의하여 결정된다.

이 보호 레벨은 가혹도의 정도에 따라서 선정되는 피뢰침의 평균 선행여기거리( $\Delta L[m]$ ) 및 여기거리( $D[m]$ )의 함수로 보호반경( $Rp[m]$ ) 및 설치기준을 결정하게 한다(그림 8 참조).



<그림 8> ESE피뢰침의 보호반경 개념도

보호레벨에 의거한 여기거리(D[m])는 다음과 같다.

$$D(I) = 20[m]$$

$$D(II) = 45[m]$$

$$D(III) = 60[m]$$

이 ESE 피뢰침에 대해서 각 보호평면의 경우에 피뢰침의 실제높이(h[m])에 따른 3종류의 보호레벨(Np)에 따른 보호반경(Rp[m])의 값은 NF C 17102에 의거한다.

## 5. 결론

지금까지 최신형 피뢰침설비의 기술특성에 대하여 기술하였으며 피뢰보호 공간의 평가 및 피뢰침설비의 선정기준을 요약하면 다음과 같다.

단, 이 기준도 피보호구조물의 특성과 해당지역의 뇌격환경, 대지, 지형 및 기타 환경조건이 감안되어야 함은 두말할 필요도 없다.

### ① 피뢰보호이론

먼저, 적용할 피뢰보호이론을 정립, 선정하여야 하며 일반적인 일률적 보호각개념의 이

론이 아닌 최신의 피뢰이론이 적용되어야 한다.

현재, 실제적 입증이 되고 있는 회전구체법이 가장 합리적인 것으로 판단된다.

### ② 피뢰보호공간

피뢰보호 공간의 평가에 있어서는 일률적 보호각개념을 벗어나 전기기하학적 모델의 개념 및 피뢰보호등급에 입각한 실증적 회전구체법에 의거한 보호공간의 평가가 적용되어야 한다.

### ③ 피뢰침 설비

선정 적용된 피뢰보호이론 및 피뢰보호공간의 평가를 감안하여 중형, 대형 및 고층 건축구조물의 경우에는 기술특성(피뢰이론, 적용기준, 내외부 구조, 동작원리, 보호공간/반경 등)을 고려하여 피뢰성능, 동작신뢰도 및 피뢰효율이 가장 우수하고 구조가 간단한 최신형 선행스트리머 방사형(ESE Type) 피뢰침을 선정, 설치하여 완벽한 피뢰보호를 수행함이 합당하다.

## 「전력기술관리법 질의회신집」 발간



전력기술관리법에 의거 설계·감리업무를 수행하는 회원님들이 현장에서 발생하는 법률적 문제 등 애로사항을 해소하고, 관련업무를 효율적으로 수행할 수 있도록 도움을 드리기 위하여 소량을 발간하여 해당지부에 배포하였습니다.

설계 및 감리업체 대표자분들께서는 소속 지부에 문의하여 수령할 수 있도록 하여 주시면 감사하겠습니다.

기술교육실 연구개발과  
☎ 02)888-4224(513~511)