

건축물의 낙뢰보호를 위한 광역피뢰침(ESE) 설계-시공 고찰

문병주, 장영후, 이현화, 김동진

한국 건축전기설비 기술사회장, 건축전기설비 기술사, 수원과학대학겸임교수, 선광엔지니어링대표

THE CONSIDERATION ABOUT DESIGN & CONSTRUCTION FOR LIGHTNING PROTECTION OF STRUCTURE

Byong-Ju Moon / Young-Hoo Jang / Hyun-Hwa Lee / Dong-Jin Kim

Abstract - IEC에 의하면 낙뢰의 보호효율은 1등급(최대 98%), 2등급(최대95%), 3등급(최대90%), 4등급(최대 80%)으로 나타내고 있으며, 광역피뢰침은 다수설치해야 하는 돌침형 피뢰침의 수량을 기술적으로 최소화 하여 건축물의 안전성과 경제성 등을 향상시키는 역할을 담당하고 있다. 그러나 이런 보호 능력은 설계 및 시공시 세심한 배려가 필요하다. 프랑스에서는 뇌격거리 60M를 한계로 하며 미국에서는 안전성을 좀더 신경 써 뇌격거리 45M를 한계로 가능한 보호효율을 높이고 있는 실정이다. 광역피뢰침의 선정시 보호범위의 최대치 적용은 지양하고 보호 효율을 높여 적용함이 바람직하다. 또한 초고층 빌딩 및 APT단지의 경우 가급적 보호등급을 1등급으로 적용하는 세심한 배려가 필요하다. 시공시 광역피뢰침은 수평면 최고 돌출물(예:옥탑 및 안테나 등)의 설치 높이의 차는 2M이상이 필요하며 이격거리 또한 가급적 최대로 하는 것이 바람직하다.

1. 서 론

시간이 흘러감에 따라 우리의 산업기술과 건축물의 시대적 배경이 첨단화, 초고층화, 복합 대형화의 추세에 따라 모든 제반구조의 변화가 빨라지고 있다.

산업의 발달로 도심은 더욱 밀집화 되며 낙뢰의 빈도 수도 점차 증가되고 있다. 이에따라 낙뢰로부터의 건축물 및 산업시설의 보호를 위한 제반연건 또한 빠르게 변화되고 있는 실정이다.

보다 경제적이고 효율성이 높은 신기술에 대한 열망은 자연스러운 것인지도 모른다.

ESE(Early Streamer Emission)피뢰침의 명칭은 고전압펄스식, 이온방사식, 유도광역형, 단속펄스 코로나 방전식 등으로 사용되고 있으며 국제적으로는 ESE Air Terminal, ESE Lightning Rod, ESE Lightning conductor 등으로 불리고 유럽에서는 PDA 등으로도 명명되고 있다.

ESE는 스트리머를 조기에 방사한다는 용어의 약어로 결과적으로 보호범위가 넓다고 하여 광역보호형 피뢰침이라 표현한다.

최근 국내외에서 높은 관심을 갖고있는 ESE(Early Streamer Emission) 피뢰침의 건축물 적용시 조금은 세심한 배려로 낙뢰로부터의 보호효율을 증대시킴이 바람직 할 것이라 사료된다.

이는 재산의 손실과 인명의 안전을 확보하는데 직결되기 때문이다. 따라서 본문에서는 ESE의 개념과 보호효율을 증대시키기 위한 배려 등을 설명하도록 한다.

2. 본 론

2.1 낙뢰의 메카니즘

2.1.1 일반사항

뇌운이 형성되어 낙뢰가 되기위한 분위기가 고조되면 뇌운과 대지사이에서 5 ~ 30 KV/m 이상의 대기전계강도가 형성되며, 정전유도 현상이 발생된다. 이때 돌침(Air Terminal, Sharp point) 부분에는 전계가 밀집되고 높은 대기전계강도에 의해 공기 입자의 충돌현상이 빈번해 지면서 전리현상(Ionization)이 발생된다.

Sharp point 부분에 모인 이온들은 점점 그 밀도가 높아지면서 부분적으로 코로나 효과가 발생 되어진다.

뇌운의 극성(양극성, 음극성)에 따라 양극성 뇌운이면 돌침에 음이온화가 발생되고 음극성 뇌운은 돌침에 양이온화가 뇌운에서 내려오는 하향리더를 향해 방사된다.

이러한 현상을 스트리머, 상향리더, Wave Train 등으로 표현하며 이런 스트리머가 하향리더와 접촉되어 하나의 도전로를 만들면서 뇌격전류가 대지로 방류되는 것이다.

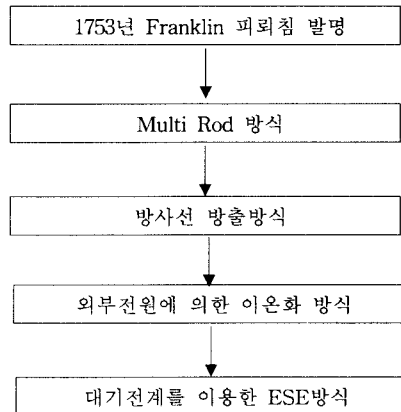
따라서 자연 상태에서 모든 물체에서는 스트리머가 방사 될 수 있으며 이를 효율적으로 사용하기 위해 피뢰침이 필요한 것이다..

2.1.2 ESE의 개념

유럽 등 선진국에서는 낙뢰보호 기술에 대한 역사가 200여년이나 되고 있으며 이런 스트리머의 방사능력을 효율적으로 집대성한 ESE 피뢰침이 실현된 것이다.

과거 Franklin이 돌침식 피뢰침을 발명한 이후 지금까지 낙뢰에 대한 보호 기술이 많이 연구 발전되었다.

이것은 건축물에 낙뢰조건이 형성되는 시점에서 효율적인 상향 스트리머의 발생으로 하향 스트리머와 접촉하여 보호효율을 증대하기 위해 발전되었다.



[도표1] 피뢰침의 발전과정

ESE피뢰침은 뇌운 형성시 스트리머의 발생을 극대화, 고효율화하는 과정에서 발명되었다.

뇌운 발생시 대지와와 정전유도 현상과 대지전계강도가 발생되고 이로 인한 정전용량(C)의 발생을 에너지 원으로 동작한다.(※ 다른 경우 바람 등에 의한 발진원리도 존재함)

이런 에너지를 기본으로 내부적으로 물성적 소자 특성 또는 전기적 회로를 이용하여 고전압을 발진함으로써 그 부분의 이온화 현상을 극대화 하여 효율적인 스트리머의 상향 진전을 발생시키는 것이다.

따라서 ESE피뢰침은 뇌운 초기의 대지 전계에 의한 에너지를 바탕으로 고전압을 발생시켜 이온 방사를 고효율적으로 하여 낙뢰를 계획된 장소(피뢰침)로 유도하여 피해를 극소화 하는 것이다.

2.2 보호의 개념

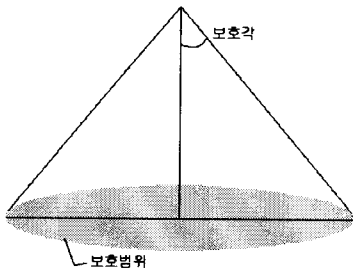
피뢰방식은 건축물의 낙뢰 피해를 방지하기 위해 계획된 돌침등을 세우는 보호방식이며 피뢰침의 명칭은 낙뢰를 유도한다는 의미에서 유뢰침, 건축물을 보호한다고 해서 방뢰침 등으로 불리기도 한다.

2.2.1 보호설비

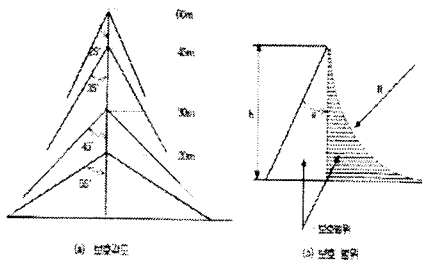
피뢰 보호설비에는 수직돌침식, 수평도체식, Faraday cage방식 등이 있으며 수직돌침식은 가장 일반적인 형태의 피뢰방식으로 원뿔 형태 내부를 보호공간으로 하며 보호각도에 따라 보호범위가 변한다. IEC 61024에 의하면 건축물의 높이에 따라 보호각이 변화된다.

수평도체식은 용마루에 수평도체를 이격 설치하여 돌침이 보호하지 못하는 건축물 측면 모서리 등을 보호하는 방식이다.

Faraday Cage 방식은 건축물 외부를 새장형태처럼 둘러싸아서 그 내부를 보호공간으로 하며 Mesh Cage방식으로도 표현된다.



[그림1] 보호각에 따른 보호범위



[그림2] IEC 60364에 의한 높이별 보호각

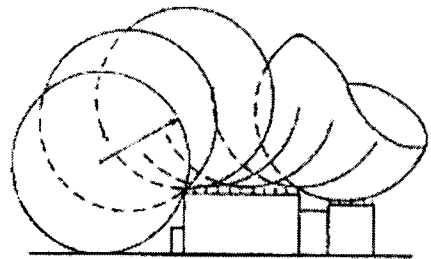
2.2.2 보호이론

현재 적용되고 있는 보호이론에는 회전구체법, 포집공간법, 방산배치법 등이 있으며 이 중에서 회전구체법(Rolling Sphere Method)이 국제적으로 가장 널리 이용되는 보호이론이다.

회전구체법은 전기 기하학적 모델에 입각하여 보호평면별 유효 보호반경을 설정하여 보호공간을 확보하는 방식이다.

뇌격거리를 반경으로 하는 회전구체를 대지 또는 대지상의 건축구조물 등에 접근시켜서 전방향으로 회전하도록 상정한다.

회전구체가 피뢰설비 또는 대지상의 건축구조물 등에 접촉하는 경우에 이 접촉지점을 포함하는 수직선과 회전구체의 원주 및 접촉지점 높이 만큼의 하부 수평선으로 포위되는 공간이 뇌격에서 유효한 보호 공간이 된다.



[그림3] 회전구체법(Rolling Sphere Method)

회전구체법에 의한 보호범위를 일반돌침에 의한 보호범위와 비교하여 설명하면 다음과 같다.

ESE 피뢰침의 진전거리는 피뢰침 도체의 가상높이 증가분(h')과 동일하다.

유효 선행방사거리(ΔL), 또는 가상높이 증가분(h')

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

보호반경(Rp)은 전기기하학적 모델에서 구해지는 높이(h+h')를 적용하여 구해진다.

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

Rp: 피뢰침의 수직높이(h)에 대한 ESE 피뢰침의 보호반경[m]

h': 피보호 지역의 ESE 피뢰침 선단의 가상높이 (피뢰침의 출력에 의해 변함)

h : 피뢰침의 수직높이[m]

α : 보호각[°]

일반돌침의 보호범위

$$R_p = h \sqrt{\frac{(2D-h)}{h} - 1}$$

ESE 피뢰침의 보호범위

$$R_p = \sqrt{\{h(2D-h) + \Delta L(2D+\Delta L)\}}$$

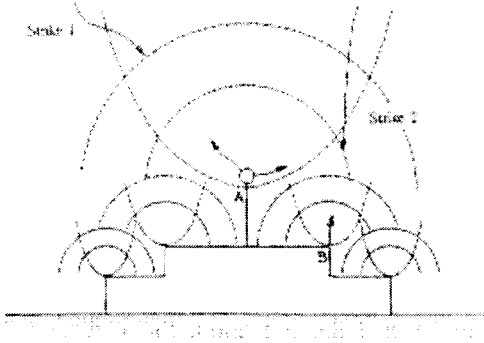
회전구체 보호이론을 일반 돌침 방식에 적용할 경우 매우 많은 수량의 피뢰침이 설치되어야 한다.

포집공간법(Collection Volume Method)은 호주 및 뉴질랜드 등의 영연방 지역에서 적용되는 보호이론(NZS

/AS1768) 으로 해당지역의 뇌격관련 제반자료 (건축물, 뇌운위치, 전하밀도, 환경, 기후, 대지조건 등)에 기초하여 Simulation으로 표현한다.

하강리더와 상승리더에 대해 각각의 전진속도를 설정하고 Simulation 하여 하강리더가 상승리더와 먼저 접촉하는 지점을 모두 연결하여 형성되는 건축물 상부의 포물선 내부공간이 피뢰침에 의해 보호된다고 가정한다.

이 방식은 가상 설정된 자료에 의해 수행되고 넓은 대평원 지역에서 실험한 근거를 바탕으로 하고 있어 도심지 적용시 많은 Data가 필요하며 현재 연구가 진행되고 있는 방식이다.



[그림4] 포집공간법(Collection Volume Method)

방산배치법(Dissipation Array System)은 해당지역의 뇌격관련 제반자료(건축물, 뇌운의 전하밀도, 전계밀도, 대지조건 등)를 입력하여 Simulation한다.

전하방산장치(미세침, 도전성 띠 형태)를 전기기하학적 으로 배치하고 집적하여 주변의 코로나 방전으로 뇌운의 전하를 방산, 소멸 시킨다.

강전계 속에서 미세침 형태의 침단부는 주변의 공기분자를 이온화하여 전자를 방산한다.

침단부의 전위는 주변 전위보다 약 10KV 정도 상승하고, 이 경우 자연방전에 의해 미세침 주변의 전하가 소거되며 공기분자로 전이된다.

이 방식은 낙뢰예방시스템(CTS) 방식에 적용되고 있으나 아직 많은 연구가 진행되고 있다.

2.3 낙뢰 보호효율의 고찰

2.3.1 설계시 적용

건축물의 낙뢰보호를 위한 설계시 ESE피뢰침을 사용할 경우 적용방법에 대한 신중한 배려가 필요하다.

그것은 IEC 61024 의 내용과 NF C 17-102 의 내용에 의하면 피뢰설비의 보호등급과 보호확률(효율)의 비교검토가 요구된다.

보호등급	보호효율	뇌격거리(m)
I	최대 98%	20
II	최대 95%	30
III	최대 90%	45
IV	최대 80%	60

[도표2] IEC 61024 보호등급별 보호확률

보호등급	보호확률(효율)	낙뢰전류(KA)	뇌격거리(m)
I	95~98 %	2.8	20
II	80~95 %	9.5	45
III	0~80 %	14.7	60

[도표3] NFC 17-102(APPENDIX B) 보호효율

상기의 도표를 분석해 보면 ESE피뢰침의 보호확률은 95% 이상으로 적용하는 것이 바람직한 것이다.

이것은 일반 돌침식 피뢰침 설치시 80~90%의 보호효율을 가지기 때문이다. (회전구체법 이론 적용시)

특히 건축물의 높이가 45M를 초과하는 경우에는 보호등급을 상향 조정하는 것이 필요하다.

미국의 NFPA NFC 780 등에서 뇌격거리30M, 45M를 한계로 하고 있으며, 프랑스 NF C 17-102 에서는 ESE 피뢰침이 우수한 성능을 발휘하더라도 방사이득시간(ΔT)을 60us 즉 뇌격거리(D)를 60M로 제한하여 ESE 피뢰침의 상업적 과대홍보에 제약을 둔 것이다.

그러므로 ESE 피뢰침의 뇌격거리 또는 방사 시간이득을 기준으로 보호범위를 산정한다.

$$Rp = \sqrt{h(2D-h) + \Delta T(2D + \Delta T)}$$

위의 공식으로 적용된 보호반경은 보호등급(NP)에 따른 뇌격거리(D)의 적용으로 제품의 모양, 기능에 관계없이 보호범위가 일정하게 되며 이는 NF C 17-102에 나타나 있다.

2.3.2 시공시 적용

ESE 피뢰침의 설치 높이는 건축물의 특성 및 형상에 따라 다르게 적용할 수 있다. 그러나 피뢰침의 설치 위치에서 주위 다른 시설물과의 높이 차이는 최소 2M이상을 확보하여야 ESE 피뢰침의 동작이 원활하게 되며 NF C 17-102 에서도 이 기준을 명시하여 주의를 요하고 있다. 즉 피뢰침과 주위 공칭안테나, 위성안테나 등의 시설물 및 기타 최대 돌출부와의 높이 차이를 2M이상 유지하여야 한다는 것이다.

이는 ESE 피뢰침의 전자기학적 모델에 의해, 대지 전계에 의한 에너지원을 원활하게 이용하고 피뢰침에서 발생되는 이온화현상이 주위 시설물에 의해 방해 받지 않기 위한 것이며 이것은 낙뢰보호를 저해하는 Masking effect를 차단하기 위한 것이다.

3. 결 론

경이로운 자연의 힘은 인위적인 어떠한 피뢰설비로도 완벽하게 막아낼 수는 없을 것이다. 그러나 보다 효과적이고 효율을 증대한 피뢰설비를 구축한다면 낙뢰로 인한 피해에서 인명과 재산을 보호하는데 상당히 효과적일 것이다.

보다 효율적이고 안전한 피뢰설비의 구축을 위해서는 건축물의 설계 단계에서 보호효율을 감안한 세심한 계획과 설치 및 유지보수까지 설계자, 시공자, 수용자가 모두 세심한 주의가 필요하다.

미국의 NFPA780 에서는 뇌격거리 30M(100ft), 45M(150ft)로 보호레벨을 높여 보호효율 95% 이상으로 유지하고 있으며 프랑스에서도 고층건축물(45M이상)에는 보호레벨을 2등급 이상 적용하여 보호효율을 95%이상으로 확보할 것을 권고하고 있다.

현재 국내에서 관심이 고조되고 있는 ESE 피뢰침 설비의 적용시에도 보호레벨(보호등급)을 향상하여 더욱 안전한 보호 성능이 유지되도록 함이 바람직하다고 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] William C. Hart & Edgar W. Malone, "LIGHTNING AND LIGHTNING PROTECTION".
- [2] E M Bazelyan & Yu P Raizer, "LIGHTNING PHYSICS AND LIGHTNING PROTECTION".
- [3] 강인권기술사 "최신 피뢰설비의 선정과 설계".
- [4] R.H.Lee, "Lightning Protection of Buildings", IEEE Trans.on IA, May/June 1979.
- [5] NFPA780-1997, Standard for the Installation of Lightning Protection Systems.
- [6] IEC 61024-1-1985, Protection of Structures against Lightning.
- [7] NF C 17-102 -July 1995, Lightning Protection of Structures and Open Areas against Lightning using ESE Air Terminals.
- [8] NZS/AS1768 (New Zealand Standards / Australia Standards)
- [9] BS 6651-1992, Protection of structures against lightning
- [10] C.B. Moore & G.D.Aulich & William Rison, "Measurements of Lightning Rod Responses to Nearby Strikes"
- [11] Scott D McIvor, Roy B.Carpenter Jr.Mark M.Drabkin, "Evolution of Early Streamer Emission Air Terminals