

건축물의 낙뢰보호를 위한 HEC(Hybrid ESE-Conductor) 방식에 관한 연구

論 文
57P-2-14

A Study on the HEC(Hybrid ESE-Conductor) Method for Lightning Protection of Buildings

金 東 辰[†] · 金 榮 善* · 李 基 植**
(Dong-Jin Kim · Young-Sun Kim · Ki-Sik Lee)

Abstract - The frequency of lightning is increased due to improbable weather condition and global warming. This phenomenon increases economical damage as well as human damage. Advanced countries like Europe and North America have applied the facility standard of lightning by accumulating a store of quantitative data about lightning research. Lightning facility is composed of the lightning accepting part for induction lightning, ground connected electrode which conducts lightning current. The lightning accepting part is composed of normal rod, horizontal conductor, ESE lightning rod. Moreover, lightning accepting part is taken to use by the method of protection.

This paper suggests HEC(Hybrid ESE-Conductor) method which mixes horizontal conductor and ESE lightning rod. This is also discovered by experiment that the starting point of corona discharge current is low, so it is efficient for lightning protection comparing with other methods. Moreover, distribution of electric field is analyzed qualitatively by finite element method. It also results in the relation of the starting point of corona discharge current.

Corona discharge current makes minute current about some μA between the electrodes by the strength of electric field. Also it occurs insulation destruction of gas, and it is developed to the shape of streamer by increase of the strength of electric field. We can find that the initial occurrence of streamer and contact probability of lightning can have advantage after researching the starting point of corona discharge current and discharge current of lightning striking point. This research demonstrates that the suggested HEC method is economically competitive as a lightning protection facility, and it takes a capably perfect role.

Key Words : Lightning Protection, HEC, Corona Discharge Current, FEM

1. 서 론

낙뢰는 대기 중에서 일어나는 방전현상으로 기상이변 및 온난화 현상과 더불어 그 발생빈도가 증가하고 있다. 이로 인해 인적 피해는 물론 경제적 피해 또한 증가 추세이다. 따라서 낙뢰로 인한 직접적이고 간접적인 피해증가로 안전을 확보한 효과적이고 효율적인 뇌 피해방지설비가 요구되고 있다. 국내에서는 낙뢰의 피해사항의 집계가 효과적으로 이루어지고 있지 않아 피해건수 및 피해액 등이 증가됨에도 불구하고 신뢰성에 의문을 표하는 것이 현실이다.

현재 국내에서의 뇌피방식에는 선단에 침형 금속도체를 설치하여 뇌격전류를 흡수하는 방법인 돌침방식이 가장 보편적이다. 또한, 송전선의 가공지선과 같이 보호하려는 건축물 상부에 수평도체를 가설하여 뇌격을 흡수한 다음 대지로 안전하게 방류하는 수평도체 방식이 있다. 국내 도심의 협소한 여건으로 초고층 건축물이 고도정보화와 산업사회의

발달에 맞춰 급증하는 추세이다.

본 논문에서는 안전도 향상을 위한 보호효율과 설계 및 시공, 관리에 있어 효과적인 보호방식의 적용을 위해 수평도체방식, 메쉬방식, 선행스트리머 방사(ESE: early streamer emission) 방식을 고찰한다.

본 연구에서는 뇌 방전에 있어서 유도 현상에 의한 대지의 전계 강도와 전계에 따라 변화되는 방전전류의 현상을 고찰하고 코로나 효과에 기인하여 발생하는 이온화 과정을 연구하여 낮은 전계에서 코로나 방전전류의 시작점을 이끌어 낙뢰의 유도과정에 중요한 스트리머의 상향 진전에 영향을 미치는 현상을 각 모델의 제시를 통해 방전전류를 확인하고자 한다.

2. 뇌 방전 메커니즘 및 낙뢰 보호 방법

2.1 뇌 방전

낙뢰방전은 뇌운 안에서 전기적으로 충전된 물방울의 축적으로부터 비롯되며, 뇌운과 대지 사이의 공기층에 전기장이 형성될 때 발생한다. 그러면 즉시 구름의 낮은 표면과 그 밑의 대지는 마치 절연체를 중간 대기층으로 하는 거대한 콘덴서판과 같이 동작된다. 따라서 유도작용에 의해 대지의 표면은 양전하를 띠게 된다. 전하는 음전하가 많은 구름의 낮은 부분으로부터 여러 개의 구불구불한 경로를 따라,

[†] 교신저자, 正會員 : 檀國大學校 電氣工學科 博士課程
E-mail: isk0910@daum.net

* 正會員 : 成均館大學校 情報通信工學部 研究教授 · 工博

** 正會員 : 檀國大學校 工大 電氣工學科 教授 · 工博
接受日字 : 2007年 11月 26日
最終完了 : 2008年 3月 20日

때로는 한 번에 여러 개의 경로를 따라 이동하기 시작한다. 이 과정은 조용하고 희미한 빛을 띠며, 이 경로의 끝부분이 대지에 접근할 때, 이것들은 거대한 양전하의 집중을 유도한다. 또한 대지로부터 발생되어 강하게 집중된 방전은 이 경로의 끝부분을 향하게 된다. 이런 대지의 양전하와 구름의 음전하의 결합은 약 100[m] 높이에서 발생하고, 이 방전은 강하게 빛을 띠어 번개를 발생시킨다. 이 순간이 전류의 흐름이 가장 크며 이것을 리턴스트로크(return stroke)라 한다.

2.2 코로나 방전 및 방전전류

대기 중에 설치된 침전극과 평판전극 간에 직류전압을 가해 그 값을 점차 상승시키면 침전극의 첨단부분 공기가 절연 파괴를 일으키고 미약한 빛을 발한다. 이때 전극 간에 작은 전류가 흐르는데 이것을 코로나방전(corona discharge)이라 한다. 또한, 양과 음의 하전입자 군을 포함한 전체가 전기적으로 거의 중성인 하전입자의 집단을 플라스마라고 한다[1,2,3,4].

강한 전계에 영향을 받는 전극 위의 공기에 자유전자가 있을 경우 중성분자로부터 빠져나온 전자들은 침 전극의 위 방향으로 자유전자가 가속되어 생성된다. 또한 이때 전리를 시작하기 위해 필요한 자유전자는 우주선 등으로부터 발생될 수 있다. 전리의 시작은 전리를 계속 유지하기 위해 필요한 것보다 강한 전계를 요구하며, 계속되는 전리는 전리 시작의 초기 전위충전과 전리가 멈출 때 침 전극에 남겨진 것들 사이에 차이가 같을 때까지 이온반발력의 결과로 서로를 밀어낸다. 이때 상대 전계의 세기(E/p)는 90 [V/cm/torr] 이상으로 다시 올라가며 새로운 전리가 일어나면서부터 발생된 양이온에 대한 새로운 파괴가 증가된다. 이 상태의 강한 전계에서 파괴침은 전리가 개시된 후 많은 자유전자가 이동 가능해진다. 침 전극 주위의 주변 전계가 빠르게 증가하면 전리는 공기 중으로 진전되며, 이런 진전은 주변 전계의 영향 아래 전자의 전리를 증식시킬 수 있는 양(+)극 스트리머 형성의 결과이다[5].

건축물을 뇌격으로부터 보호하기 위해 파괴보호설비는 뇌운과 대지 사이의 전위를 감소시킬 수 있어야 한다. 또한 파괴보호설비는 뇌격이 발생할 장소에 유도된 전하가 반드시 방출되어야 한다. 뇌운에 의한 전계로 자연발생 형태 또는 인위의 침 형태 등에 의해 이온화과정이 발생하는 "자연방사"라 불리는 현상을 통해 대부분의 뇌 에너지는 대기 중으로 방출된다. 그러므로 낙뢰보호는 뇌운에 의해 대지면 또는 보호대상물에 유도되는 전하를 지속적으로 방출시켜 뇌격의 임의의 점을 계획하여 그 피해를 예상하고 줄이는데 중점을 두고 있다. 즉, 뇌보호를 위해서는 보호대상구역에 유도되는 전하를 지속적으로 방출시켜 뇌운의 전하에 의해 유도되는 전계가 0에서 100[kV/m]까지 증가할 때 전계의 세기와 첨단부를 통하여 흐르는 코로나 방전전류의 차이가 나타난다.

정상상태는 10[kV/m] 이하 전계의 세기를 가지는 상태에서 첨단부를 통해 흐르는 코로나 방전전류가 거의 없다. 그러나 전계의 세기를 점점 높여 10[kV/m] 이상 전계의 세기에서는 방전이 시작되는 상태로 첨단부 주변 중성입자들로부터 전자가 분리되는 전리작용이 발생하며 다른 중성입자가 빈자리를 채워 전리작용이 반복된다. 전리작용으로 발생

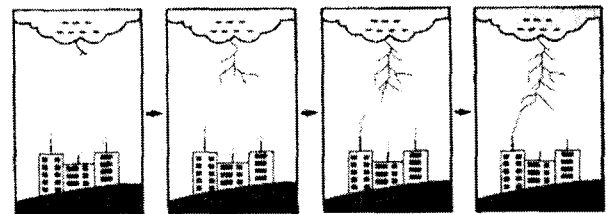
하는 코로나 방전전류는 첨단부 전위가 상승함에 따라 지수함수로 증가하며, 낮은 전계에서 전리작용이 발생할수록 발생하는 코로나 방전전류는 더욱 증가한다.

전계강도를 더욱 높여 스트리머발생 상태가 되면 특정 지점에서 이온화 전류가 증가하여 바람이나 전계에 의해 첨단부 주위에 생성된 이온들이 빠르게 분산되거나 재결합 등에 의해 소멸되는 한도를 벗어날 때 시작된다. 이러한 스트리머는 선상으로 진행되며 뇌 방전을 유도하기도 한다[6,7]. 스트리머방전 이전에 코로나 방전전류에서의 활발한 반응을 낮은 전계의 세기에서부터 시작할 수 있도록 하여, 코로나 방전전류를 자연계에서 시작되는 전계의 세기보다 일찍 시작함으로써 코로나방전 영역에서 많은 양의 전하를 방출한다. 하이브리드방식은 지속적으로 대기 중으로 분산되는 스트리머의 진전이 방전으로 일찍 유도되도록 하는 뇌 보호개념에 근거를 두고 있다.

2.3 낙뢰보호이론 및 방법

2.3.1 낙뢰 보호이론

뇌격시 뇌운과 피뢰도체 또는 지상의 다른 구조물 또는 돌출물 사이의 현상은 그림 1와 같이 진행된다.



(a)스트리머발생 (b)진행 (c)성장 (d) 낙뢰발생

그림 1 낙뢰 현상에 대한 개념도
Fig. 1 Concept of lightning phenomena

뇌운이 형성되거나 근접하면 구름과 대지 사이에 전기장이 형성된다. 이 전기장은 대지에서 5[kV/m]가 넘으며, 그것으로 인해 피뢰시설이나 금속 부분으로부터 코로나방전이 시작된다. 낙뢰 스트로크는 대지로 점차 전파되는 뇌운 안의 하향리더의 형성으로부터 시작된다. 이 하향리더는 대지에 자기장을 유발하는 전하를 이동시킨다. 구조물이나 대지에 연결된 물체로부터 상향리더가 발생한다. 상향리더는 하향리더와 합쳐질 때까지 계속 퍼져나가고 뇌격전류는 합쳐진 통로를 통해 흐른다. 다른 상향리더가 대지의 여러 구조물에서 발생할 수 있으나 처음으로 하향리더와 합쳐진 상향리더가 뇌격 점을 결정한다. 선행방전의 최종 진전거리를 뇌격거리라 하며 선행방전 선단 부근의 전하량과 대전전위에 따라 달라진다. 이 뇌격거리는 피뢰설비 보호범위 결정에 가장 중요한 요소이며 다음과 같다.

$$r_s = k \times I^n \tag{1}$$

여기서, r_s 는 뇌격거리이고 I [kA]는 뇌격전류이다. 또한 k 와 n 은 뇌격 상수와 지수로서 학자마다 조금씩 차이가 있다.

Armstrong과 Whitehead는 송전선에서 가공지선의 뇌격차폐 범위는 뇌격전류에 따라 변한다고 생각하고 뇌격전류

를 근거로 하여 뇌격거리를 산정하고 이것을 사용한 작도에 의하여 가공지선의 뇌격차폐 범위를 구할 수 있다는 것을 제안하였다. 이것은 뇌격차폐 범위평가에 뇌격거리 개념을 도입한 것으로 인정받고 있다[8].

최근에 보편적으로 적용되고 있는 회전구체법은 NFPA 780(미국 방화협회), KS C IEC 61024-1(한국산업규격), BS 6651(영국산업규격) 및 NF C 17-102(프랑스산업규격) 등에 적용되어 있으며, 국제적으로 인정된 피뢰 이론이다. 이 이론은 보호평면별 유효보호반경을 설정하여 보호공간을 확보하는 것으로 뇌격거리를 반경으로 하는 회전구체를 대지 또는 대지상의 건축구조물 등에 접근시켜서 전 방향으로 회전시킨다. 이 회전구체가 피뢰설비 또는 대지상의 건축구조물 등에 접촉하는 경우 접촉지점을 포함하는 수직선과 회전구체의 원주 및 접촉지점 높이만큼의 하부 수평선으로 포위되는 공간이 뇌격으로부터 유효한 보호공간이 되는 것이다[9,11].

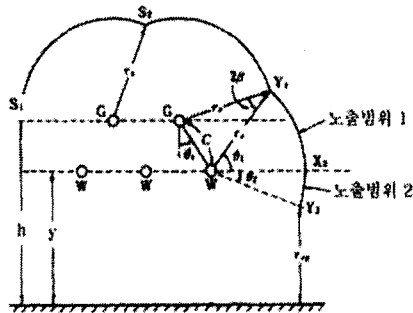


그림 2 암스트롱-와이트헤드의 차폐범위 설명도
Fig. 2 Theory of Armstrong-Whitehead's shielding area

그림 3과 같이 피뢰보호범위는 피뢰침이 높을수록 단순한 보호각에 근거한 종래의 개념에 의한 보호범위가 좁게 되며, 고층건물인 경우 건축물의 옥상에 피뢰침을 설치해도 옥상 가까이 건축물 측면에서는 뇌격을 받을 가능성이 높다는 것을 보여준다[11]. 그 외 이론으로 포집공간법(collection volume method) 및 방산배치법(dissipation array system) 등이 연구되고 있다.

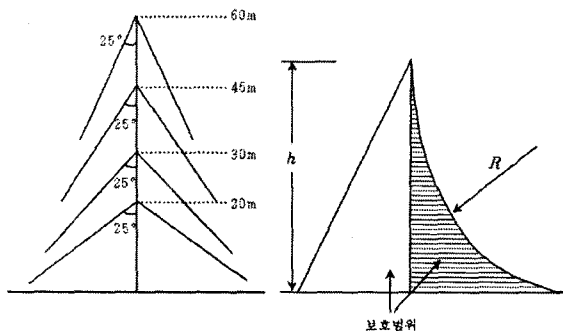


그림 3 보호범위와 보호각도
Fig. 3 Protection areas and angles

2.3.2 낙뢰 보호방법

프랭클린 돌침방식은 선단에 첨형(尖形) 금속도체를 설치하여 뇌격전류를 흡인하는 방식으로 가장 보편적인 방식이다. 뇌는 끝이 날카로운 금속도체 부분에 떨어지기 쉽다는 사실에서 건축물의 근방에 접근하는 뇌격을 그 선단으로 흡인하고 선단과 대지와의 사이를 연결한 도체를 통하여 뇌격

전류를 안전하게 대지로 방류하려고 하는 것이다.

구름에서 출발한 스텝리더 선단이 건축물에 접근한 경우 건축물의 어느 부분보다도 돌침의 선단전계(불평등 전계 형성)가 강화되어 그곳에서 리더선단으로 향하여 상향의 스트리머가 발생하고 그것이 리더와 결합하여 방전로를 형성하기 위하여 뇌격이 그곳에 흡인되는 것이다.

수평도체방식은 보호하려고 하는 건축물 상부에 수평도체를 가설하고 이것에 뇌격을 흡인하여 이것과 대지 간을 연결하는 도체를 통하여 뇌격전류를 안전하게 대지로 방류하는 것이다. 이 원리가 널리 이용되고 있는 것은 송전선의 가공지선이다. 수평도체 보호각은 돌침 보호각과 본질적으로 동일하다. 건축물에 직접 설치한 수평도체를 용마루 위도체로 명명한다. 건축물 옥상에 수직거리를 두고 설치하거나 건축물에 밀접하게 설치하기도 한다[9,13,14].

선행스트리머 방사형 피뢰침(ESE)은 낙뢰가 접근 시 주위의 보호대상물보다 가장 먼저 상향리더를 방사하여 뇌격을 흡수하고 대지로 방류시키는 방식으로 보호범위가 기존 돌침방식에 비해 광범위하고 능동적인 보호방식이다. 이 방식은 현재 프랑스, 스페인, 유고, 슬로바키아 등의 선진국에서 국가규격으로 규정되어 사용되고 있다. 뇌운 아래에 있는 피뢰침의 선단에, 뇌운의 전하와 반대 극성의 전하가 밀집되어 강하게 전리된 플라즈마(Plasma)가 존재하면 근처에 접근하는 낙뢰를 유도하여 안전하게 방류시킬 수 있다. ESE방식의 피뢰침은 다가오는 뇌운의 전하에 의해 유기되는 전계강도에 따라 고전압발생장치가 작동하여 내부에서 고전압을 형성시켜 단속적인 코로나방전을 발생하고 상향스트리머를 발생시킨다. 이렇게 조기 방사된 상향스트리머(Upward Streamer)의 거리는 일반 피뢰침보다 길어지고, 뇌운으로부터 대지를 향해 진행되는 하향리더(Downward Leader)와의 접촉시간을 단축시켜 일반 피뢰침보다 보호범위를 넓게 한다[15,16].

3. HEC 방식의 제안

3.1 기존 방법의 검토

국내는 물론 여러 나라에서는 자국에 알맞은 국가규격의 제정으로 뇌 보호시스템의 적용과 방법에 대하여 기술하고 있으나 적용시의 성능과 효과 등에 관련하여 명시되어 있지 않다. 국내의 경우 안전도 측면의 보호효율적인 접근방식 또한 배제되고 있으며 현실적으로 뇌 보호설비 중 피뢰설비의 수리부는 건축물의 기능적, 효과적 부분과 더불어 미관적 지향에 반하는 것이 실정이다. 뇌 보호를 위한 설계에서 유지보수까지의 일관된 시스템을 보면 설계 후 적용에서 기존 개념이 퇴색되어 변경, 소실되는 경우가 많다. 이는 국내의 지리적, 문화적 특성과 현실에서의 적용 등 여러 가지 불합리한 요소들에 의해 외면되기 때문이라 사료(思料)된다. 이에 대하여 앞에서 서술한 내용과 같이 산업현장 및 건축물 등의 적용에 적정성을 다하고자 안전성을 확보한 효율적인 뇌 보호설비를 확보하고자 HEC방식을 제안한다.

수평도체의 내·외부 공간에 대한 보호각은 그림 4와 같이 건축물 외부로 향하는 수평도체의 보호각(α_1)에 의한 선정은 건축물의 높이에 따라 그 각도가 축소되어 사용되고 있다. 그러나 건축물 내부로 향하는 보호각(α_2)의 선정은 설

계 시 공간의 활용, 시공성, 기술의 이해부족 등 현실적 적용에 많은 어려움으로 지양되고 있으며, 보호효율에 관련된 안전성이 무시되고 있는 실정이며 그 각각의 요소는 다음의 세 가지로 기술할 수 있다.

첫째, 공간 활용상의 제약이다. 건축물 옥상(용마루)의 뇌 보호를 위한 수뢰부의 적절한 설계를 위해서는 건물모서리 외측은 물론 내부공간에 많은 피뢰침 또는 수평도체를 설치하여야 한다. 많은 수뢰부를 옥상 내부 공간부분에 설치하기 위해서는 그곳에 시설되는 환기설비 및 옥상용 조정시설 등 바닥공간의 활용에 제약을 받아 무용(無用)의 공간이 되기 쉬우므로 회피되고 있다. 둘째, 건축물 마감 재료에 의한 수뢰부의 시공의 불합리성이다.

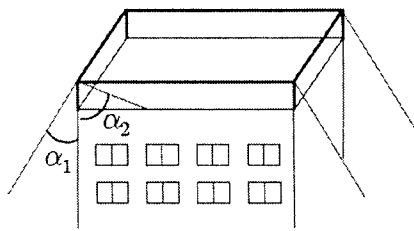


그림 4 수평도체의 보호범위
Fig. 4 Protection area of roof conductor

건축물의 옥상 등의 마감 재료에 있어서 천창, 외 측창 및 유리 관련 재료와 범랑 등이 적용될 경우 옥상 내부공간의 수뢰부 설치에 많은 어려움이 발생한다. 마지막으로 설계 적용에 대한 이해부족으로 보호각 적용의 경우 건축물 옥상 부 설계 시 필요한 요소는 옥상부의 최종 평면도와 차기층 평면도 및 측면 등의 입면도가 필요하며 건축마감재에 대한 이해가 필요하다.

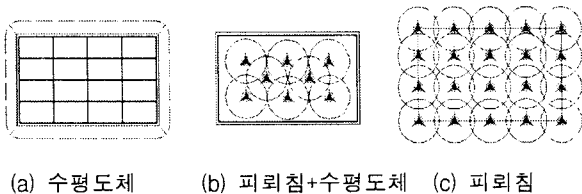


그림 5 건축 평면도상 수뢰부 설계
Fig. 5 Design of lightning conductor on floor plan

그림 5와 같이 평면도상 수뢰부에 의한 보호범위를 산정할 때 간편한 보호각 기준에 의한 설계 시에는 피뢰침 기준 또는 수평도체의 입의 점을 기준으로 보호반경을 도식하여 보호범위를 설정하여야 올바른 보호효율에 의한 보호범위가 산정될 수 있으며 이에 따라 보호등급을 확립할 수 있다. 그러나 현실적으로 이런 부분은 형식적 그림과 설계자의 이해부족으로 외면되는 실정이다.

그림 6처럼 입면도상 피뢰침 또는 수평도체 적용 시 입의 점에서 보호각을 설정하여 측각의 보호범위를 산정할 수 있다. 쉽게 놓칠 수 있는 부분은 평면도와 입면도 상에서 동시에 비교 평가하여야 올바른 수뢰부의 설계 및 보호범위를 확보할 수 있다는 점이며, 건축물의 뇌보호를 위해 회전구체법 적용 시 주의하여야 하는데 다음에 설명하는 두 가지 요소를 고려하여야 한다.

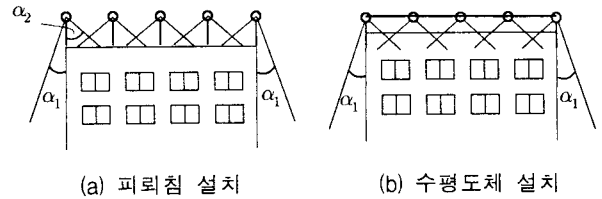


그림 6 건축물의 입면도 상 피뢰 보호각(α_1 :외측, α_2 :내측)
Fig. 6 Design lightning protection angles vertical plan

첫째, 보호효율계산서는 건축물의 특성과 그 지역의 낙뢰빈도수, 건축물이 허용하는 낙뢰의 내량이 중요한 요소로 작용된다. 건축물의 특성에는 중요도, 마감재료, 높이, 주위여건 및 화재 위험성 등이 있다. 낙뢰빈도수는 기상청 자료에서 쉽게 적용 이해할 수 있으며 그것을 정하는 기간별 평균치로 정할 수 있다. 가장 어려운 요소는 건축물의 낙뢰 허용빈도수이다. 즉, 건축물이 허용할 수 있는 낙뢰의 내량을 말하며 이 요소는 많은 기간 동안 연구 집계되는 요소이므로 국내에는 결정된 것이 현재는 없다. 다만 프랑스, 미국 등 기술선진국의 요소를 참조할 수밖에 없는 실정이다. 즉, 보호효율을 계산할 수 있는 요소는 건축물의 특성, 지역의 낙뢰빈도수와 건축물의 낙뢰한계내량이라 할 수 있다[9,15]. 둘째, 회전구체 적용 시 뇌격거리는 낙뢰전류에 비례한다. 낙뢰전류가 크면 뇌격거리가 크고, 낙뢰전류가 작으면 뇌격거리가 작아진다. 이는 뇌격거리의 크기에 따라 보호범위의 크기가 결정될 수 있음을 말한다. 이런 뇌격거리는 보호등급 즉 보호효율 계산서에 의한 보호등급이 결정되면 자연적으로 뇌격거리의 적용이 가능하다. 그림 7 및 8과 같이 뇌격거리의 적용에 따라 수뢰부의 위치 및 수량의 차이가 나타남을 확인할 수 있다.

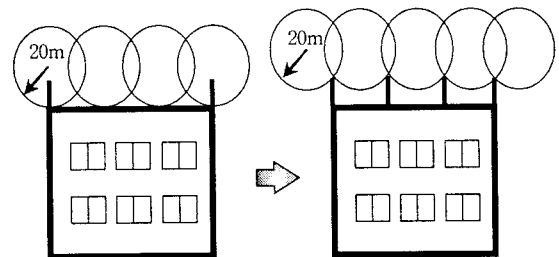


그림 7 회전구체(뇌격거리: 20[m]) 설계 예시도
Fig. 7 Design of lightning distance 20[m]

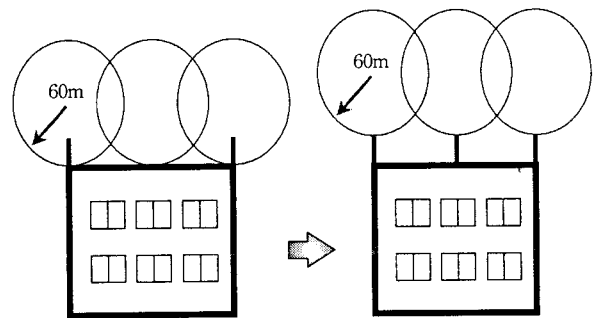


그림 8 회전구체(뇌격거리: 60[m]) 설계 예시도
Fig. 8 Design of lightning distance 60[m]

3.2 HEC 방식

3.2.1 피뢰성능 고찰

HEC 방식이란 수평도체와 선형스트리머 방식의 피뢰침을 병용하는 방식이다. 즉, 건축물의 용마루 부분을 수평도체로 시설하고 각 부분의 꼭지점 부분을 중심으로 대지로 향하는 수직도선을 설치하여 방전로의 형성을 짧게 유도한다. 이것은 신속하게 뇌 전류의 방류를 돕고 수평도체의 임의 점에서 보호각을 형성하여 측뇌 피해의 우려를 저감하고자 하는 것이다.

피뢰침의 역할은 뇌격 점을 계획하여 그곳에 낙뢰의 위치가 되도록 형성하므로 건축물의 낙뢰피해를 방지하고자 한다. 피뢰침의 성능의 평가는 뇌격 점의 유도확률로 파악할 수 있으며, 그것은 뇌운에서 발달되어 대지로 향하는 하향스트리머와 대지에서 뇌운으로 향하는 상향스트리머의 접촉능력에 좌우된다. 즉, 낙뢰 포집능력이라 할 수 있다. 뇌운에 의해 유도되는 대지의 전계강도로 스트리머가 발전되고 이것의 진전거리가 뇌격 점으로 향하는 하향스트리머를 포집, 유도하여 뇌격의 위치가 결정된다.

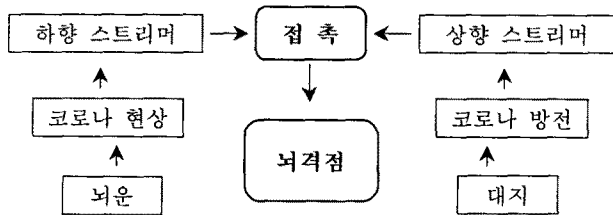


그림 9 스트리머의 뇌격 과정
Fig. 9 Lightning strike process of streamer

그림 9처럼 피뢰침의 성능은 상향스트리머가 대지로 향해 방사되며, 이때 능력은 그 주위에 중성이온에 의한 플라즈마 형성에 따르며 그 전제에는 코로나방전의 효과에 기인한다. 이때 코로나효과에 의한 방전전류가 많을수록 유리하다.

코로나 방전전류는 뇌운이 대지로 근접하는 초기에 시작하는 것이 유리하며, 이 때 대지의 전계강도가 낮으므로 코로나 방전전류의 조기 발생이 뇌격 형성 때 발생하는 코로나 방전전류보다 유리하다. 보통 낙뢰로 결정되는 뇌격 점은 지상으로부터 대략 100~500[m] 대기 상공에서 결정되며, 이 때 뇌격 점까지는 100~2,500[μs]정도 시간이 소요되므로 초기에 발생하는 코로나 방전전류의 역할은 뇌격 점을 결정짓는 하향스트리머의 포집에 많은 영향을 미친다. 낮은 전계강도에서 시작되는 코로나 방전전류는 전계가 상승되면서 안정적으로 증가하여 코로나방전에 의한 플라즈마 상태까지 지속적이고 단속적으로 발전되어 상향스트리머 진전거리를 결정한다.

3.2.2 전계 해석

수뢰방식에 따른 전계분포의 해석은 유한요소법에 의해 정성적인 분석만을 위해 해석모델을 2차원으로 설정하여 각 시료의 모델 별로 10[kV]를 인가하여 유한요소법에 의해 해석하였다. 그림 10의 각 수뢰방식의 유한요소법에 의한 전계해석에서 수평도체 방식은 전계세기 19[kV/m]이며 전계분포는 건물양측에서 강하고 내부는 상대적으로 약하다. 돌침방식은 38.5[kV/m] 전계세기와 돌침부는 매우 강하고 외측

은 매우 낮은 전계분포를 나타냈으며 HEC방식은 돌침부와 외측 모두 강한 전계분포를 나타내었고 전계세기는 23.5 [kV/m]임을 알 수 있었다.

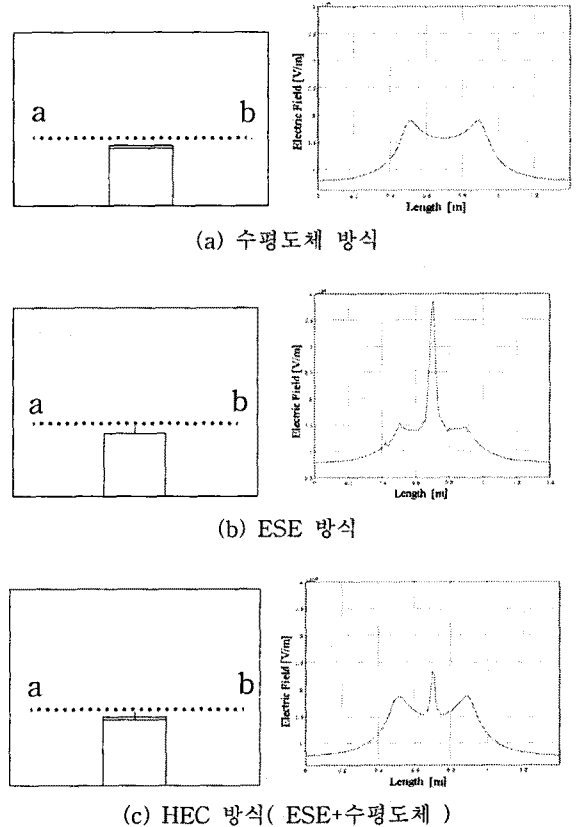


그림 10 각 수뢰방식의 유한요소법에 의한 전계 해석
Fig. 10 Electric field analysis by Finite Element Method for various lightning system

4. 실험 및 검토

4.1 시료 및 실험방법

건축물의 낙뢰보호를 위한 수뢰부의 HEC방식의 평가를 위하여 모형을 제작하였다. 모형은 건축물의 크기를 60m×50m×30m의 크기를 1/60로 축소하였으며 건축마감은 일반적인 콘크리트 형태 대신 비전도성 페인트로 도포하여 전도성을 차단하였다. 수뢰부는 크게 수평도체 및 돌침형 피뢰침으로 구분하였으며 수평도체는 단면적 95[mm²]의 나동선을 대신하여 지름 2[mm]로 사용하였으며 돌침형 피뢰침은 선형스트리머 방식의 피뢰침을 사용하였다.

낙뢰보호를 위한 HEC방식의 연구를 위해 상부 원형평판에 (-)직류전압을 인가하였으며, 하부전극에 해당하는 건축물의 수뢰부에는 0전위가 되도록 접지하였다. 코로나 방전전류의 측정은 전극간 거리 80[cm]로 하였다. 가변 전압조정장치로 직류 고전압을 서서히 증가시켜 최대전압 400[kV]까지 인가하였으며 이 때 사용된 전압측정용 분압비는 1:2000이며, 전류측정 저항은 100[kΩ]으로 하였다. 직류 고전압 발생은 정류기와 커패시터를 다단으로 배치한 방식을 적용하였고 상부 평판은 (-)직류전압을 인가하여 뇌운을 모의하였으며 평판의 직경은 3[m]로 하였다. 수뢰부 대 평판

전극은 그림 11와 같이 그 형태를 달리하여 평면상에 표시하였다.

뇌운의 접근을 모의함에 있어서 전계세기의 증가는 직류 고전압 전원장치의 전압을 상승시키는 방법으로 적용하였다. 시료의 적용은 각각의 형태별로 직류 고전압 전원장치의 전압을 가변시켜 상승하면서 발생하는 코로나 방전전류를 측정하였다.

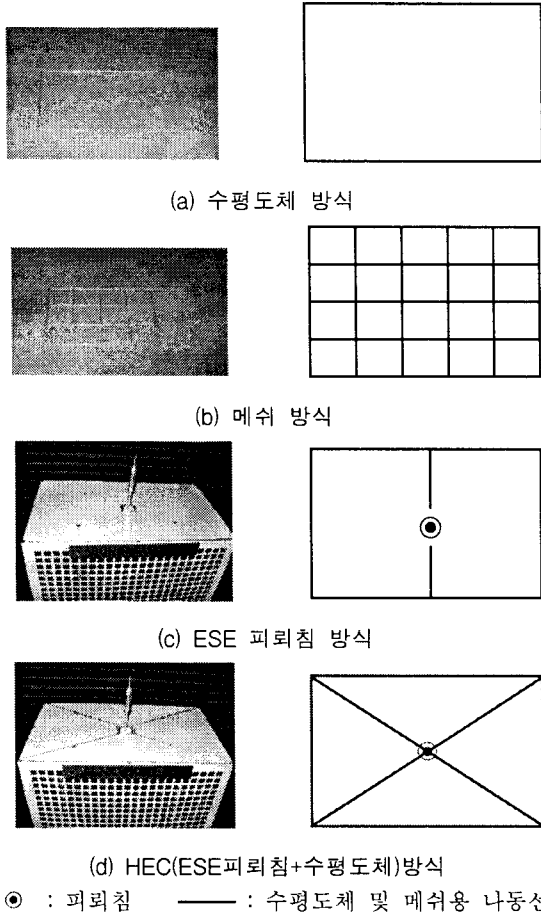


그림 11 수뢰부의 형태도
Fig. 11 Various forms of air termination

4.2 결과 및 검토

건축물의 낙뢰보호를 위한 HEC방식은 크게 건축물의 보호를 위한 보호효율에 중점을 두고 있으며, 실험장치와 실험 방법 및 시료에 대한 각각의 실험에서 시료에 따른 코로나 방전전류에 관심을 두었다. 시료의 대상은 뇌운의 접근 시 수뢰부의 수평도체에서 발생하는 코로나 방전전류의 상태가 200[kV/m]에서 시작됨을 알 수 있다. 코로나 방전전류 증가는 뇌운에 따라 변화되는 전계강도의 증가에 대해 수평도체에서 발생하는 이온화를 의미하며, 이는 뇌운에서 대지로 하향하는 스트리머의 진전과, 수평도체에서 발생하는 코로나 방전전류가 뇌운을 향하는 상향 스트리머로 발전되어 낙뢰되는 일련의 과정의 하나로서 이온화의 안정적인 증가는 낙뢰의 유도를 용이하게 하여 계획된 피뢰설비의 역할을 수행하게 된다. 이때 건축물의 보호효율은 80[%]이상이 되며, 건축물 옥상부의 내부공간은 보호범위에서 제외되어 낙뢰의 우려가 발생된다.

표 1 각 방식별 방전전류의 증가시점 비교
Table 1 Electric field intensity and corona discharge currents

방법	전계시작 (kV/m)	방전 전류 폭 (μA, 270kV/m까지)
메쉬	210	3~55
수평도체	200	10~50
ESE	140	10~45
HEC	150	10~60

메쉬 방법의 경우, 시료대상의 건축물의 낙뢰보호를 위한 보호효율 98[%]의 보호등급 1등급의 피뢰설비를 위해서는 그림 11와 같이 설계되어 설치되어야 한다. 이때, 뇌운에 의한 수뢰부의 코로나 방전전류의 측정은 210[kV/m]에서부터 방전전류의 증가를 볼 수 있다. 이 때 건축물의 옥상부의 측부 및 내부공간의 보호에 있어서 안전도는 상승되며 피뢰설비의 수뢰부 시설에 소요되는 비용이 많아진다. 그러나 옥상부의 공간의 활용성 및 관리인의 부분에는 매우 불합리함을 알 수 있으며 코로나 방전전류의 비교 시 차이가 미소함을 알 수 있다.

건축물의 피뢰침을 ESE 피뢰침으로 적용하면 보호효율은 약98[%]라고 산정되며 이때의 코로나 방전전류는 불평등전계의 형성으로 기존시료보다 많이 증가됨을 알 수 있다. 전계강도가 140[kV/m]에서부터 코로나 방전전류의 증가를 볼 수 있으며 이는 뇌운을 향해 진전되는 상향스트리머의 효과가 활성화됨을 알 수 있다. 보호효율 98[%] 유지되면서 발생하는 피뢰설비 소요비용은 적어진다.

HEC 방식의 경우, 각각의 시료의 실험에서 나타난 것과 같이 건축물의 낙뢰보호를 위한 피뢰설비에서의 수뢰부의 역할은 뇌운에서 대지로 내려오는 하향 스트리머의 유도를 위한 수뢰부의 상향 스트리머의 시작으로 코로나 방전전류는 전계강도 150[kV/m]에서 증가됨을 알 수 있으며 이때의 보호효율은 98[%]에 부가적 효과를 확보할 수 있으며 경제적 효과 및 안전성을 확보 할 수 있다.

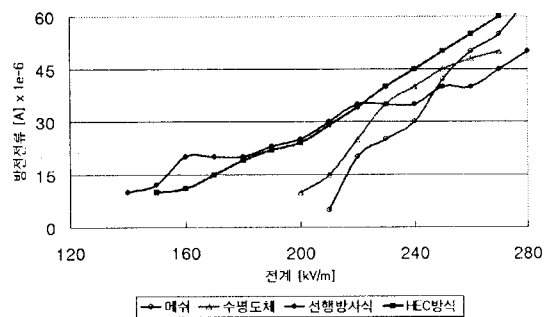


그림 12 각 방식별 코로나 방전전류의 증가시점 확대도
Fig. 12 Magnification about various forms of corona discharge currents increasing point

연구에서 제안하는 HEC방식을 수평도체방식, 메쉬 방식, ESE 방식과 비교하여 나타내었다. 그림 12는 전계의 변화가 서서히 시작되면서 코로나 방전전류의 증가 시점을 기준으로 확대하여 표시한 것으로 HEC방식은 낮은 전계의 세기에서 코로나 방전전류가 안정적으로 증가됨을 확인할 수 있다. 표 1에는 각 피뢰방식에 대하여 코로나 방전전류가 개시할 때의 전계의 세기와 일정 전계까지의 방전전류의 변화

량을 나타내었다. 여기서 HEC방식이 방전 전류의 개시시점이 비교적 낮고 방전전류의 양도 안정적으로 증가하였다. 그러므로 HEC방식은 타 방법에 비교하여 성능면에서 뒤지지 않고 경제적 이점을 가져올 수 있는 설비방식이다.

5. 결 론

본 연구에서는 뇌 방전의 이론과 피뢰설비의 이론적 배경을 통해 상이한 규정 등으로 인해 혼돈되는 문제점을 보완한 HEC방식을 연구하여 효율적인 뇌 보호설비 방식을 제안하였다.

HEC방식은 건축물의 옥상(용마루)의 모서리부분은 수평도체를 설치하여 그 외부로 보호각을 적용시키며 그 내부는 선행스트리머 방식의 피뢰침을 적용한 것이다. HEC 방식은 각 부분의 꼭지점 부분을 중심으로 대지로 향하는 수직도선을 설치하고 방전로의 형성을 짧게 유도하므로 신속하게 뇌 전류의 방류를 돕고 수평도체의 임의 점에서 보호각을 형성하여 낙뢰피해의 우려를 저감시키도록 한다. 내부에 적용된 돌침형 ESE 피뢰침은 보호효율 98[%]로 산정되며 이때의 코로나 방전전류는 불평등 전계의 형성으로 다른 형태의 수평도체, 메쉬 방식 등의 수뢰부보다 낮은 전계강도에서 초기 코로나 방전전류가 개시됨을 실험 모형을 사용하여 확인할 수 있었다. HEC 방식이 다른 피뢰방법에 비하여 전계강도 10 [kV/m]에서 방전전류가 개시되어 비교적 낮은 전류 개시점을 갖고 있었으며, 전계의 증가에 따라 전류의 증가도 안정적이며 큰 변화를 보이고 있다. 이러한 실험적 고찰을 바탕으로 수평도체방식, 메쉬 도체방식, ESE 피뢰방식을 비교하여 볼 때 HEC방식은 보호효율과 경제적 측면 등에서 다른 방식보다 매우 유리할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Izumi Hayashi, 高電壓プラズマ工学, pp. 12-14, 丸善フ
ラネット, 1996.
[2] 전춘생, 放電 高電壓 工学, pp. 87-99, 東明社, 2003.
[3] 이덕출, 황명환, 고전압 플라즈마 공학, pp. 17-52, 東逸
出版社, 1997.
[4] 김정태, 고전압 이론과 응용, pp. 123-126, 교우사, 2002
[5] R. H. Golde, Lightning Protection, pp. 7-8, Chemical
publishing co., inc. 1975.
[6] 정용기, “공간전하 분산형 피뢰침의 전계 해석과 방전
특성”, pp. 22-27, 2003.
[7] R. B. Carpenter Jr and Drabkin. M. M., “Protection
against direct lightning strokes by Charge Transfer
System”, IEEE International Symposium on Electromagnetic
Compatibility. Vol. 2, pp. 1094-1097, 1998
[8] H. R. Armstrong and E. R. Whitehead, “Field and
Analytical Studies of Transmission Line Shielding”,
IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol.
PAS-87, No. 1, Jan., 1968.
[9] IEC 61024-1, “Protection of structures against lightning
Part 1: General principles”, 2003.
[10] NFPA 780, “Standard for the Installation of Lightning
Protection Systems”, 2000.

[11] 광희로, 정용기, 건축물 등의 피뢰설비 가이드 북, pp.
62-93, 의제전기연구원, 1996.
[12] 강인권, 최신 피뢰 시스템과 접지 기술, pp. 12-54, 성
안당, 2005.
[13] IEC 62305-3, “Physical damage to structures and
life hazard”, 2006.
[14] NF C 17-102, “Protection of structures and open areas
against lightning using Early streamer emission air
terminals”, 1995.

저 자 소 개



김 동 진 (金東辰)

1966년 9월 10일생. 2007년 단국대 대학
원 전기공학과 석사. 1987년~1991년 세
창엔지니어링. 1992년~1998년 유원건설
(주). 1999년~2002년 세광기술사사무소.
2008년 단국대 대학원 전자전기공학과
박사과정. 2008년 청운대학교 외래교수.
2003년~현재 선광 L.T.I(주) 대표이사.
건축전기설비기술사. 관심분야 : 건축물
의 뇌 서지 보호, 전력계통 및 정보통신
계통의 서지보호와 주파수 관리, 전자장
해석

Tel : 02-872-1500

E-mail : isk0910@daum.net



김 영 선 (金榮善)

1970년 10월 15일생. 1995년 단국대 과학
교육과 학사. 1997년 동 대학원 전기공학
과 석사. 2006년 동대학원 전기공학과 박
사. 2002년~2005년 한국교육과정평가원
연구원. 2006년~현재 성균관대 정보통신
공학부 연구교수. 관심분야 : 전자장 수
치해석, 전기기기, 다중물리(multi physics)
현상 해석

Tel : 031-290-7177

E-mail : youngsun@skku.edu



이 기 식 (李基植)

1952년 3월 30일생. 1973년 서울대 전기
공학과 학사. 1977년 동 대학원 전기공학과
석사. 1985년 동 대학원 전기공학과 박사.
1978~현재 단국대 공대 교수. 관심분야 :
전자장 해석, 전기설비, 전기기기, 접지 시스템

Tel : 031-8005-3606

E-mail : kisiklee@dankook.ac.kr