

# 낙뢰의 특성과 뇌보호에 대한 현안 문제

이 복 익<인하대 차세대고전압전력기술연구센터 교수/소장>  
이 승 질<공학박사/기술사, 주식회사 한진중공업 전무이사>

## 1 서론

낙뢰의 위협으로부터 사람을 비롯하여 정보통신설비, 전기설비 등 재산과 생명을 보호하기 위한 공학적인 관점에서의 뇌보호기술의 향상은 중요한 사명으로 대두되었다. 최근의 지능형 건축물에는 수변전설비, 전력선로, 통신선로와 관련기기, TV안테나, 비디오 폰, 엘리베이터 등 전자기기로 운전되는 설비의 보급이 급증하였으나 내뢰성능의 향상과 뇌해대책기술은 아직 미흡한 실정이다. 컴퓨터, 전자정보 및 제어기기는 건축물의 피뢰침이나 그 주변의 낙뢰에 기인하여 발생하는 뇌유도서지나 전자파 임펄스(Electromagnetic impulse)의 장애를 받기 쉬우며, 이들에 대한 보호대책이 새로운 문제로 제기되어 연구되어 왔다[1-5].

특히 건물 내부의 뇌보호설비의 역할은 고도의 정보화시대가 시작되면서 건물에 여러 가지 컴퓨터, 전자, 통신 기기가 도입되었고 건물이 인텔리전트화 되었으며 이들 기기가 건물의 중추신경 역할을 하고 있을 뿐만 아니라 건물의 기능을 컨트롤하고 있는 현 시점에서는 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 낙뢰에 의한 뇌격전류 특유의 성질에 의하여 도체 부근에 전자장이 발생하며, 이 전자장은 주위의 금속체와 상호 유도작용으로 고전압을 유도시키게 된다. 전자기기는

과전압 내성이 낮고 VLSI나 마이크로컴퓨터소자의 동작전압 및 전류가 작기 때문에 기기의 파괴, 오동작, 잡음발생 등의 장애가 일어나게 된다. 집적회로의 사용과 고밀도 메모리소자의 사용으로 정보화기기의 파손은 기기 자체의 소손에 의한 손실보다 부수적으로 나타나는 막대한 경제적 손실을 가져오게 되었다.

정보통신설비의 뇌서지에 대한 보호대책은 21세기의 고도정보화 사회를 지탱하는 중요한 기술과제이며, 새로운 문제점이기도 하다. 따라서 근래의 뇌보호 시스템은 인명 피해나 화재발생의 방지를 주 보호대상으로 하였으나 최근에는 컴퓨터를 비롯한 전자기기의 파손과 오동작 방지도 뇌보호의 대상으로 하고 있다. 특히 컴퓨터를 비롯한 초고속 정보통신설비의 뇌서지에 기인하는 사고의 비중이 늘어나고 있으며, 정보화 사회시스템의 일시적 기능정지나 고장의 파급효과가 대단히 크고 경제적 손실도 막대하므로 안정된 시스템의 유지·운용을 위한 뇌서지 사고의 저감이 중요한 사회적 관심사로 대두되었다. 독일의 모 보험 회사에서는 컴퓨터를 비롯한 통신시스템, 의료기기 등 전자장비에 대한 베팅 또는 개폐작용 등 과전압에 의한 고장의 비율이 30%를 상회하는 수준이 이르렀으며, 피해보상의 비율도 최근 10년 동안에 4배정도 증가되었음을 보고한 바 있다[6].

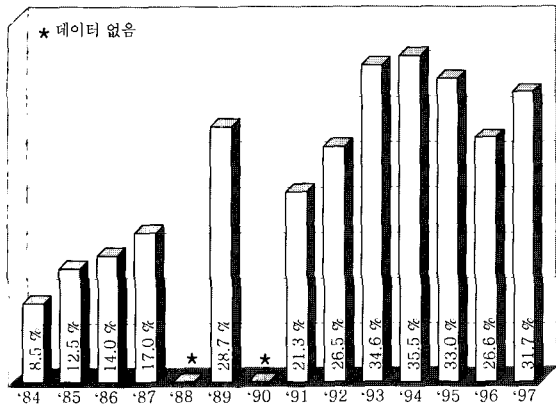


그림 1. 서지에 의한 피해비율의 추이

(출처 : Wurttembergische Feuerversicherung AG, Stuttgart)

낙뢰에 의한 정보통신설비의 오동작과 파손은 고도 정보화 사회의 아킬레스건으로 대두되었다. 현대의 네트워크화되어 있는 전기전자설비에서는 정보화 기기, 통신 기기 등의 신호선로에서 뿐만이 아니라 전원선으로부터 침입하는 뇌서지에 심각하게 노출되어 있으므로 전원선 및 접지도선을 따라 역으로 유입되는 서지에 대한 보호대책도 중요한 과제이다. 본 고에서는 뇌서지 피해의 근본 원인인 낙뢰의 발생과 특성에 대해서 살펴보고, 뇌보호기법에 대한 현안 문제점에 대하여 검토해 본다.

## 2. 낙뢰의 특성

### 2.1 뇌운의 생성

뇌방전의 뇌운으로부터 기인되며, 뇌운은 대단히 높은 습도의 따뜻한 공기가 매우 높은 지표고의 상공으로 운반되는 과정 동안에 생성된다. 공기의 수직속도가 30(m/sec) 이상의 상승기류가 형성되면 고도 5~10(km)의 높이에 직경 5~10(km)의 적란운이

발생한다(7). 정전기적인 전하분리과정 예를 들면 마찰 및 비산에 의해서 뇌운 중의 물방울과 얼음알갱이가 대전되며, 정(+)으로 대전된 부분은 부(-)로 대전된 부분보다는 비교적 가볍다. 다시 말하면 정으로 대전된 부분은 상승기류에 대하여 접촉면적이 비교적 크며 가볍다. 따라서 그림 2에 나타낸 바와 같이 수직방향의 기류가 전하분리작용을 일으키며, 즉, 뇌운의 상부에는 정전하 입자가 그리고 하부에는 부전하 입자가 모이게 된다. 뇌운의 최하단에는 소규모의 정전하운이 나타난다. 이것은 뇌운 아래의 지상의 전장의 세기에 의해서 수목이나 시설물 등의 뾰족한 부분에서 발생한 정코로나에 의해서 생성된 정전하가 바람을 타고 운반되어 형성된 것으로 볼 수 있다.

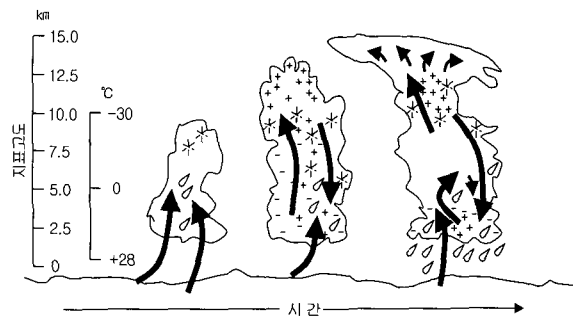


그림 2. 뇌운의 생성과정

정전하 및 부전하의 공간전하밀도는 수~수십 nC/m<sup>3</sup>정도이다. 1.5(nC/m<sup>3</sup>)의 전하밀도를 가지는 이상적인 구형상의 뇌운에 의해서 지표면에서의 전장의 세기를 그림 3에 나타내었으며, 최대전장의 세기는 약 50(kV/m)이다. 지표면에서의 전장의 세기가 수 kV/m이 되면 특히 지상의 풀이나 나뭇잎의 끝단에서 정코로나가 발생하며, 전장의 세기가 급속히 증가하는 경우 표면전류밀도는 10(nA/m<sup>2</sup>) 정도로 된다. 약 1(nC/m<sup>3</sup>)의 전하밀도의 정코로나방전은 자기균형과정에 의해서 지표면에서의 전장의 세기를 약

10[kV/m]로 저감시킨다. 바다나 강의 수면에서는 파도의 움직임에 의해서 수면상의 전장의 세기는 수십 kV/m로 상승한다. 수면상의 전장의 세기는 지표면에서보다 높기 때문에 파도의 끝단에서 코로나방전이 쉽게 발생한다[8].

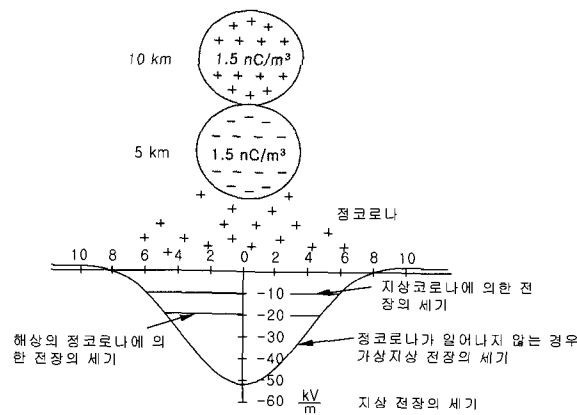


그림 3. 뇌운에 의해서 형성되는 지표상의 전장의 세기

## 2.2 뇌방전의 종류

뇌방전은 방전의 진전형태와 대상에 따라 다음과 같이 4가지 형태로 분류하며[9,10], 이에 대한 뇌방전의 사진을 그림 4에 나타내었다.

- (a) 운내방전(intra-cloud or cloud discharge) : 동일 뇌운 내의 (+)와 (-)전하사이에서 발생하는 방전
- (b) 운간방전(cloud-to-cloud discharge) : (+) 뇌운과 (-)뇌운 사이에서 발생하는 방전
- (c) 대기방전(air discharge) : 뇌운과 대기 사이에서 발생하는 방전
- (d) 대지방전(낙뢰: 落雷)(cloud-to-ground discharge): 뇌운과 대지에 일어나는 방전

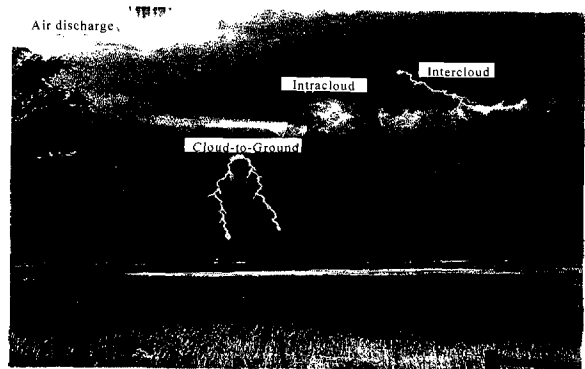
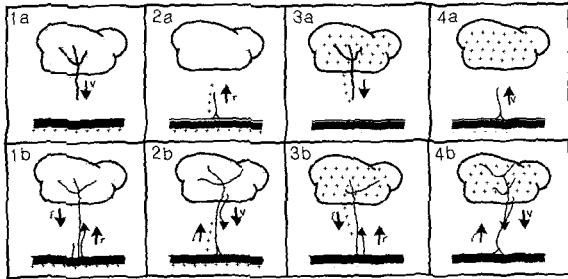


그림 4. 뇌방전의 4가지 형태

운내방전이 가장 흔히 발생하지만 인간에게 직접적으로 영향을 미치는 뇌방전의 형태는 뇌운과 대지사이에서 일어나는 낙뢰이므로 이에 대한 연구가 많이 이루어져 왔으며, 본 고에서도 이에 대하여 중점적으로 기술한다. 낙뢰는 뇌운과 대지사이에서 간헐적으로 진전하는 리더방전으로 진전한다. 낙뢰는 진전형태에 따라 다음의 4개의 양상으로 분류할 수 있다.

- (a) 부(-)극성 하향리더에 의한 낙뢰 : 그림 5의 1(a), 1(b)의 경우로 뇌운의 부(-)전하의 부분이 대지를 향해 리더방전이 하향으로 진전한 후 지면으로부터 귀환뇌격이 발생하는 형태로 가장 많이 발생하는 형태의 낙뢰이다.
- (b) 정(+ )극성 상향리더에 의한 낙뢰 : 그림 5의 2(a), 2(b)의 경우로 대지의 정(+ )전하의 리더가 뇌운을 향해 상향으로 진전하여 발생하는 낙뢰이며, 높은 첩탑이나 산정상 등에서 발생한다.
- (c) 정(+ )극성 하향리더에 의한 낙뢰 : 그림 5의 3(a), 3(b)의 경우로 정(+ )극성의 리더가 대지를 향하여 진전하여 낙뢰이다.
- (d) 부(-)극성 상향리더에 의한 낙뢰 : 그림 5의 4(a), 4(b)의 경우로 대지에서 부(-)극성의 리더가 뇌운을 향하여 진전하는 낙뢰이다.



l:리더, r:귀환뇌격, v:진행방향

그림 5. 뇌운 극성, 리더와 주 방전 진행 방향에 따른 낙뢰의 분류

가장 발생빈도가 많은 부극성 낙뢰의 진전형태와 특성에 대하여 보다 자세하게 설명한다. 낙뢰의 전구 방전인 리더는 그림 6에 나타낸 바와 같이 부극성 전하로 이루어진 뇌운의 하단에서 직경 2~30(m)의 뇌운전하로 충전된 원주형의 도전통로와 직경 약 1(cm)의 가늘고 강하게 이온화된 플라즈마핵이 간헐적으로 300(km/sec)의 속도로 대지를 향하여 진전한다. 이러한 리더는 간헐적으로 수십 m의 계단상으로 진전하며, 간헐적 단계사이의 휴지시간은 수십  $\mu$ s 정도이다.

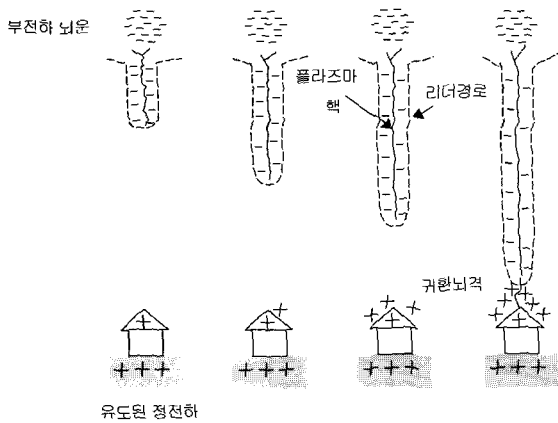


그림 6. 부극성 낙뢰에서 리더의 진전과 귀환뇌격

리더가 지상에서 수십 m 정도의 거리에 도달하

면 지상의 돌기물 끝단의 전장의 세기가 높아지며, 이것이 공기의 절연내력을 넘어서면 귀환뇌격이 리더를 향하여 진전하여 리더와 부착되어 리더는 대지에 접촉된다. 귀환뇌격의 진전속도는 광속의 약 1/3정도이며, 그림 7에 나타낸 바와 같이 수십 ~ 수백( $\mu$ s) 동안에 리더도전통로에 축적되어 있던 전하를 대지로 방출시킨다. 이 과정동안에 대단히 밝은 불빛이 발생하며, 이것이 번개불이다. 리더의 진전에 의해서 형성된 도전통로의 임펄스상의 방전을 주 방전이라 하며, 주 방전에 의해서 낙뢰 대상물에 대단히 많은 에너지가 전달되며, 단시간의 임펄스전류가 흐르게 된다. 또한 주 방전과정동안 불꽃채널의 폭발에 의해서 발생하는 높은 압력으로 천둥소리가 울리게 된다[8].

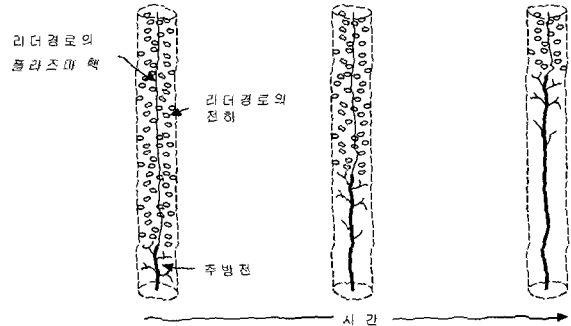


그림 7. 주 방전에 의한 리더도전통로의 방전

### 3. 뇌서지의 발생과 피해

건축물에는 전력선, 통신/제어선 등의 이른바 금속도체가 인입되며, 전기·전자설비는 접지가 되어 있다. 이들 전기·전자기기에는 낙뢰와 유도뢰에 의해서 발생하는 뇌서지의 침입은 대개 전도와 방사의 형태로 이루어진다. 뇌서지에 대한 근본적인 대책인 뇌서지의 침입을 억제하는 것은 매우 어려우며, 뇌서지의 크기를 제한하여 전자장비를 보호하는 방법이 기본적인 대책이다.

### 3.1 뇌서지의 형태

뇌방전에 의해서 전원선 또는 통신·신호선에 유도되거나 전자장비에 침입하는 뇌서지전압의 발생메카니즘을 그림 8에 나타내었다. 낙뢰는 지상에 존재하는 구조물, 전자장비의 안테나, 가스관 또는 급수관 등에 직접 떨어지는 현상으로서 대단히 큰 임펄스성의 뇌격전류에 의한 막대한 에너지가 대지로 유입되기 때문에 국지적인 대지전위상승을 일으켜 극심한 파괴력을 동반한다. 일반적으로 뇌격전류의 진행경로 주변의 전기기기나 전자장비 등은 유도서지전압에 의해 손상을 입게 되며, 화재발생의 위험성도 매우 높

다. 유도되는 건축물로부터 멀리 떨어진 곳에서 발생하는 뇌방전에 의해서 전원선이나 통신·신호선 등에 유도된 서지전압이 전자장비로 침입하는 경우로서 낙뢰에 비해 뇌서지의 에너지는 적은 편이나 발생빈도는 많아 전기기기전도나 오동작 등의 피해를 입히는 뇌서지의 대부분을 차지하고 있다. 다시 말하면 낙뢰가 지상의 건축물, 수목 또는 철탑과 같은 전력시설물에 떨어지거나 근거리에서 운내방전 또는 운간방전에 의한 전자유도작용 또는 정전유도작용으로 전원선 또는 통신·신호선로에 발생한 유도서지가 침입하는 형태로 나타난다[11].

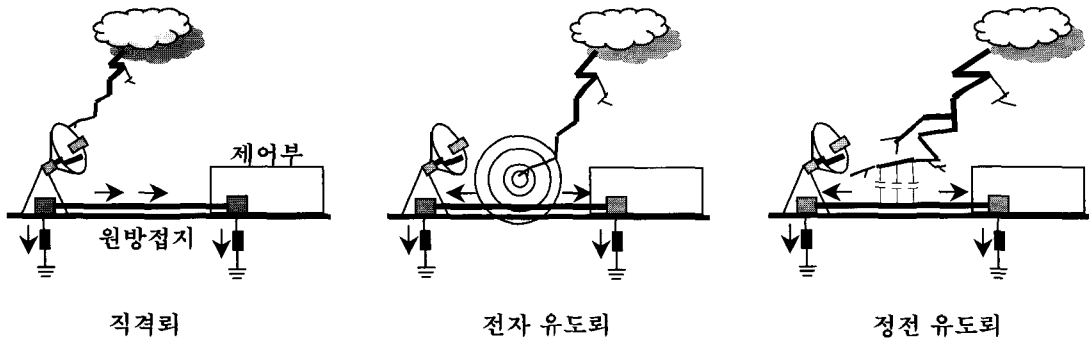


그림 8. 뇌서지의 발생메카니즘

### 3.2 뇌서지의 침입경로

건축물에는 전원선, 통신·신호선 등 이른바 금속제의 전선이 설치되어 있으며, 건물 내의 전자장비는 접지가 되어 있다. 이와 같은 상황에 대해서 뇌서지의 침입은 전원선, 통신선, 접지시스템으로부터의 전도에 의한 침입과 건물 공간으로부터의 방사에 의한 침입의 형태로 이루어진다. 이와 같이 뇌서지는 전도 또는 방사의 형태로 전달되지만 단독이 아니라 전파의 도중에 복잡하게 뒤얽혀지는 복합적인 경로를 통하여

침입하는 경우도 있다. 또한 인하도선을 통하여 흐른 뇌격전류가 접지전극을 매개로 하여 대지로 방류되는 과정에서 여러 가지 결합에 의한 과도과전압이 발생하는 경우도 있다.

뇌서지의 전도는 외부와 연계되어 있는 전원선, 통신·제어선, 접지선 및 안테나류를 경유하는 형태로 이루어진다. 또한 뇌서지는 뇌격전류가 흐르는 경로 근방에 설치되어 있는 전기기기나 배선에 유도되는

형태로 침입하기도 한다. 뇌서지의 침입은 그림 9에 나타난 바와 같이 전원선, 통신·제어선, 접지계로부터의 전도와 지상 공간이나 건물 공간에서의 방사에 의한 형태로 이루어진다.

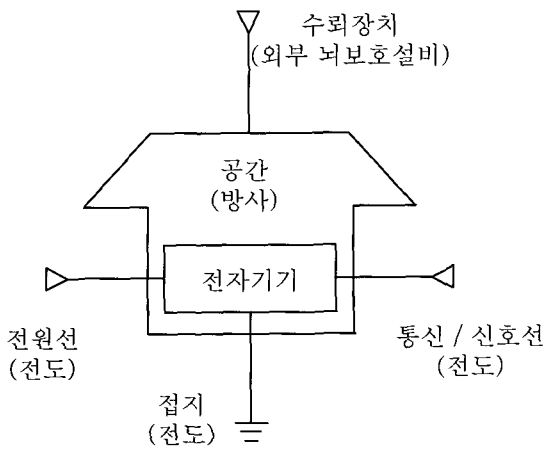


그림 9. 뇌서지의 침입경로

운내방전이나 운간방전에 의해서 방사되는 전자장의 변화에 의해 직접 유도되어 전자기기 내에 뇌서지가 발생하는 경우가 있다[12]. 그림 10에는 저압 교류회로의 비보호영역에 대한 과전압의 발생빈도를 최대 과도전압의 함수로 나타낸 것이다. 통상의 저압회로에 사용되는 부품의 절연강도는 2[kV] 정도이며, 저압회로의 공기절연강도가 6[kV] 이하인 점을 고려하면 이 이상의 전압은 절연물간 혹은 공기간의 절연 파괴로 인해 발생되기 어렵다. 이와 같은 현상을 고려하면 건물 내부로 갈수록 발생하는 과전압의 크기는 앞단의 절연파괴현상으로 인해 보다 낮은 과전압이 발생하게 된다. 즉, 뇌서지에 노출되는 정도에 따라 과전압의 크기는 다르게 나타난다. 건물 외부의 낙뢰에 심하게 노출된 지역에서는 최대 20[kV]의 뇌서지

전압이 발생할 수도 있다.

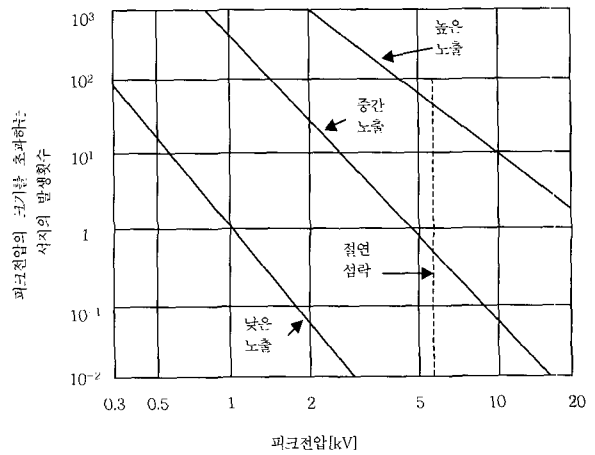


그림 10. 뇌서지전압의 크기에 따른 발생빈도

건축물에 설치한 외부 뇌보호시스템에 입사한 낙뢰에 의해서 흐르는 뇌격전류는 건축물이나 인하도록을 통하여 대지로 방류됨과 동시에 저항결합, 전자결합 및 정전결합으로 전기설비나 전자기기에 뇌서지를 발생시키게 된다. 낙뢰에 의해서 그림 11에 나타난 타와 같은 3종류의 뇌격전류가 흐르며, 이들은 전기설비나 전자기기의 장애원으로 작용한다[13].

- ① 정극성 또는 부극성의 제1뇌격전류
- ② 부극성의 후속뇌격전류
- ③ 정극성 또는 부극성의 지속시간이 긴 뇌격전류

이들 장애원으로서의 뇌격 중에서는 제1뇌격이 가장 많은 에너지를 가지고 있으므로 영향도 가장 크며, 이들 뇌격전류에 대한 파라미터를 표 1~3에 나타내었다.

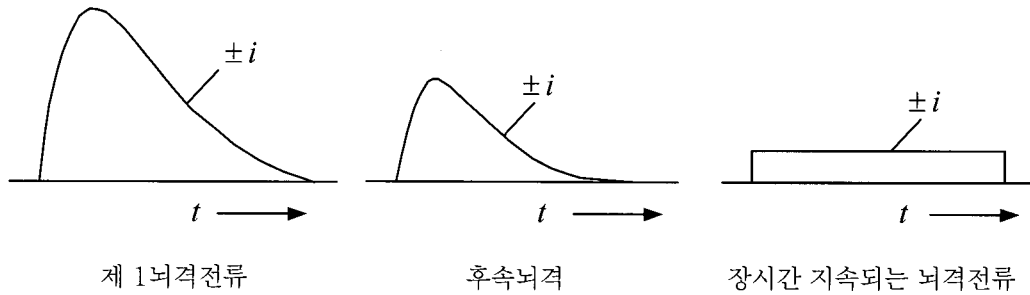


그림 11. 뇌격전류의 양상

표 1. 제1뇌격전류의 파라미터

전류 파라미터		보호 등급		
		I	II	III~IV
전류 피크 값	$I$ [kA]	200	150	100
파두 시간	$T_1$ [ $\mu$ s]	10	10	10
파미 시간	$T_2$ [ $\mu$ s]	350	350	350
단시간 뇌격 전하량	$Q_{total}$ [C]	100	75	50
고유 에너지	$W/R$ [MJ/ $\Omega$ ]	10	5.6	2.5

표 2. 후속뇌격전류의 파라미터

전류 파라미터		보호 등급		
		I	II	III~IV
전류 피크 값	$I$ [kA]	50	37.5	25
파두 시간	$T_1$ [ $\mu$ s]	0.25	0.25	0.25
파미 시간	$T_2$ [ $\mu$ s]	100	100	100
평균 전류 상승율	$I/T_1$ [kA/ $\mu$ s]	200	150	100

표 3. 장시간 지속되는 뇌격전류의 파라미터

전류 파라미터		보호 등급		
		I	II	III~IV
전하량 $Q$ [C]		200	150	100
지속시간 $T$ [s]		0.5	0.5	0.5

#### 4. 뇌보호기법과 연안문제

IEC/TC81에서는 건축물의 뇌보호(제1부 일반원칙, IEC 61024-1: "Protection of structures against lightning, Part 1: General principles", 1990)에 관련된 규격을 처음으로 작성하였다[14]. 2002년 산업자원부 기술표준원에서는 이들을 번역하여 KSC IEC 61024-1 건축물 등의 뇌보호시스템에 대한 규격을 제정하였다. 지침 A 「뇌보호시스템의 보호등급의 선정」(IEC-61024-1-1(1993); Guide A - Selection of protection levels for lightning protection systems)와 지침 B 「뇌보호시스템의 설계, 시공, 유지관리 및 검사」(IEC-61024-1-2(1998); Guide B - Design, installation, maintenance and inspection of lightning protection systems)를 발행하였다.

뇌전자장임펄스에 대한 보호(제1부 일반원칙, IEC 61312-1: "Protection against lightning electromagnetic impulse(LEMP), Part 1: General principles", 1995)에 관한 규격이 발행되었다. LEMP로부터 건물 내부의 보호방법에 관한 기술규격(Technical specification: TS)으로 제2부 건물의 차폐, 건물 내부의 본딩과 접지(IEC TS61312-2(1999), Part 2: Shielding of structures, bonding inside structures and earthing), 제3부 서지보호장치의 요건(IEC TS61312-3(2000), Part 3: Requirements of surge protective devices(SPDs))에 대한 기술적 사항에 대한 규격이 제정되었다.

최신의 건축물에서는 전기설비 이외에 통신설비의 중요성이 한층 고조되고 있으며, 뇌서지에 대한 통신설비의 보호를 별도로 고려할 수가 없다. 따라서 IEC TC81에서도 통신설비의 뇌보호에 대한 규격(IEC 61663-1)을 검토하고 있으며, 앞으로는 뇌서지보호

에 관한 규격으로 추가될 것이다. 따라서 한국산업규격 KS C 9609 "피뢰침"에 대한 규격은 2004년 7월까지만 유효하며, 그 이후에는 KS C IEC 61024-1의 규격에 따라 뇌보호설비를 설계하고 시공하여야 한다. 또한 KS C IEC 61024-1에는 KS C 9609에서 규정하고 있던 외부 뇌보호시스템에 대하여 많은 핵심사항들이 바뀌었으며, 특히 내부 뇌보호시스템이 추가되어 있다. 그러나 아직까지 이에 대한 기술보급이 미흡한 실정이며, 특히 KS C 9609의 규정에 따라 설치된 기존의 시설의 교체, 유지, 관리 등의 복잡한 문제가 발생할 수도 있다.

#### 4.1 보호등급의 선정[15]

자연현상인 뇌방전에 대한 뇌보호시스템의 보호효율은 시설 상태에 따라서 확률적으로 검토하는 것이 바람직하다. 따라서 보호등급(protection level)을 I, II, III, IV의 4단계로 설정하며, 보호하고자 하는 대상물의 종류와 중요도 등으로부터 타당성을 고려하여 보호등급을 선정하고, 이에 상응하는 뇌보호시스템을 시설하여야 한다. 뇌보호시스템의 보호등급에 따라 보호효율, 회전구체의 반경, 보호각, 메시의 치수, 뇌임펄스전류의 파라미터, 안전거리, 인화도선의 간격, 접지전극의 최소 크기 등이 결정된다. 보호등급과 보호효율 사이의 관계를 표 4에 나타내었으며, 보호등급의 선정에 있어 고려하여야 할 조건의 예는 다음과 같다.

표 4. 보호효율과 보호등급의 관계

보호등급	보호효율	뇌전류 파고치[kA]	뇌격거리 [m]
I	0.98	2.9	20
II	0.95	5.4	30
III	0.90	10.1	45
IV	0.80	15.7	60



## 4.2 수뢰시스템[14]

외부 뇌보호시스템은 일반적으로 보호하고자 하는 건축물에 설치하며, 전기적으로 접속된 내부 도전부분에 뇌격전류가 흘러 건축물을 손상시킬 수 있는 때는 격리된 별도의 외부 뇌보호시스템을 시설하는 경우도 있다. 뇌격지점 또는 뇌격전류가 흐르는 도체의 열적 영향이 건축물 또는 보호될 공간의 내용물을 손상시킬 수 있을 때는 뇌보호시스템의 도체와 가연성 물질 사이의 간격은 적어도 0.1 m 이상이어야 한다.

외부 뇌보호시스템에서 수뢰도체의 위치는 뇌보호시스템 설계의 기초가 되며 보호되는 건축물의 형상, 요구되는 보호등급 및 채택한 기하학적 설계방법에 따른다. 수뢰시스템의 설계는 건축물의 보호공간을 결정하며, 일반적으로 인하도록의 설계, 접지시스템과 내부 뇌보호시스템으로 이루어진다.

### 4.2.1 수뢰장치의 종류

낙뢰가 보호하고자 하는 영역 내로 침입할 수 있는 확률은 수뢰시스템을 적절히 설계하면 상당히 감소된다. 수뢰장치로는 돌침(rod), 수평도체(stretched wires), 망상도체(meshed conductors) 등이 있으며, 이들을 개별적으로 또는 조합하여 적절하게 배치하여 보호각법, 회전구체법, 망상도체법으로 보호범위를 결정한다.

### 4.2.2 보호범위

낙뢰의 진전에 있어서 계단상 리더의 최종 섬락거리 즉, 뇌격거리가 뇌격전류에 따라 변화하며 보호범위에 직접적으로 영향을 미친다는 개념을 기초로 하여 뇌보호시스템의 보호범위를 결정하는 것이 일반적이다. 건축물의 높이, 규모나 근방의 건조물, 수목 등의 유무 및 지형 상태가 보호범위에 상당히 영향을 주

며, 수뢰장치의 보호범위의 결정법을 그림 12에 나타내었으며, 보호등급별 보호효율과 보호범위를 표 5에 나타내었다.

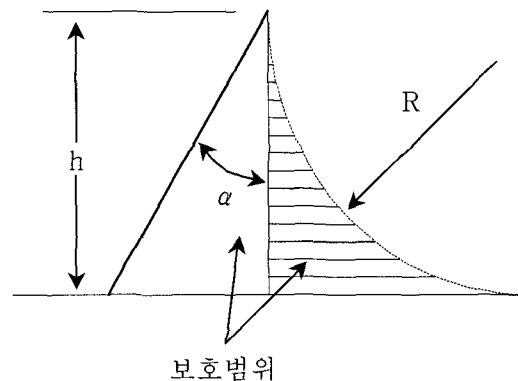


그림 12. 수뢰장치의 보호범위

표 5. 보호등급별 보호효율과 보호범위

보호 등급	보호 효율	h(m)				메시폭 (m)	
		20	30	45	60		
		R(m)	a(°)	a(°)	a(°)	a(°)	
I	0.98	20	25	*	*	*	5
II	0.95	30	35	25	*	*	10
III	0.90	45	45	35	25	*	10
IV	0.80	60	55	45	35	25	20

\* 회전구체법과 망상도체법에만 적용.

a는 보호각, h는 지표면에서 수뢰장치 상단까지의 높이, R은 회전구체의 반경.

## 4.3 인하도록선시스템

뇌격전류의 분류에 의해서 건물 내부에서의 전자과장해나 측면방전이 일어나지 않도록 적당한 인하도록선의 수와 위치를 선정하여야 한다. 가능하다면 인하도록선은 건물 둘레에 대칭이며 균등한 간격이 되도록 배치해야 한다. 인하도록선은 여러 조의 병렬회로로 구성하며, 등전위접속용 환상도체를 시설하여 개선할 수 있다. 인하도록선사이의 간격은 표 6에 제시된 값이하

이어야 한다[15].

표 6. 보호등급별 인하도록선의 간격

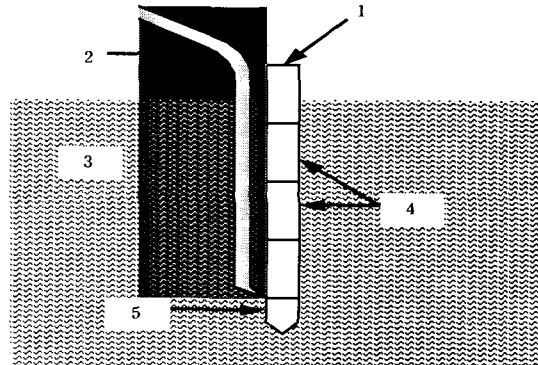
보호등급	평균간격 (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

#### 4.4 접지시스템

접지시스템(earth-termination system)은 위험 요소인 접촉전압과 보폭전압의 제한을 만족시키는 적절한 형상이어야 한다. 위험한 과전압이 생기지 않고 뇌격전류를 안전하게 대지로 방류시키기 위해서는 특정하게 규정된 접지저항보다는 접지시스템의 적절한 형상 및 크기가 더 중요한 요소이다. KS C IEC 61024-1에서는 특정한 값으로 접지저항이 규정되어 있지는 않지만 일반적으로 뇌보호시스템의 접지저항을 낮게 시설할 것을 권장하고 있다.

뇌보호의 관점에서 건축물의 구조체를 사용한 통합 단일의 접지시스템이 바람직하며, 이것은 뇌보호시스템, 저압 전원계통, 통신계통과 같은 모든 접지목적에 대하여도 적합하다. 부득이한 이유로 분리되어야 할 경우 접지시스템은 등전위도전접속에 의해서 통합한 1점에 접속되어야 한다. 대지표면에 대하여 수직으로 지중에 매설하는 봉상 접지전극과 수평방향으로 매설하는 선상 접지전극의 방사상 배치 또는 봉상과 선상 접지전극을 조합하는 배치를 A형 배치 접지시스템이라 한다. 봉상 접지전극의 시설방법을 그림 13에 나타내었다[16]. 정상상태의 전류를 대상으로 하는 일반적인 접지전극과는 형태가 다르게 접지전극의 하단부에 접지도선을 접속한다. A형 배치의 접지전극시스템의 접지전극의 최소길이와 대지저항률과의 관계를 그림 14에 나타내었다. 이것은 보호등급에 따른

접지전극의 최소 길이를 규정한 것이며, 접지전극의 수는 2이상이어야 한다[14].



- 1 : 최상부 접지전극 세그먼트는 제거해도 된다.
- 2 : 접지도선(최상부는 절연자켓으로 한다).
- 3 : 대지.
- 4 : 접지전극 세그먼트.
- 5 : 굴착용 강철제 화살

그림 13. 뇌보호용 봉상 접지전극의 시설방법

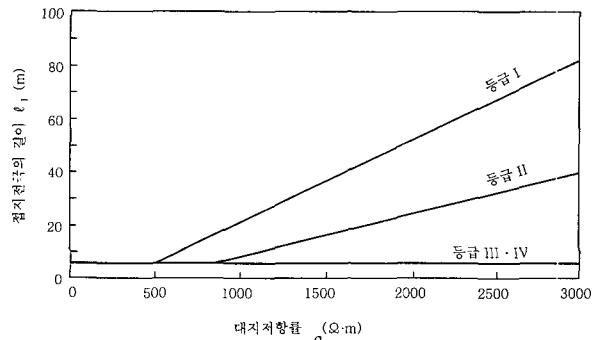


그림 14. 보호등급별 접지전극의 최소길이

#### 4.5 내부 뇌보호시스템

낙뢰가 입사한 때 건축물 내부의 전위를 균등화시키며, 전력용 및 정보통신용 설비의 전자회로, 컴퓨터를 비롯한 감시제어장비, 자동화 기기 등을 낙뢰에 기인하는 2차 재해로부터 보호하는 것이 내부 뇌보호시

시스템의 역할이다. 최근 고층의 대형 건축물과 지능형 건축물의 자동화 설비와 정보통신설비의 사용이 일반화되면서 뇌서지보호의 중요성이 한층 고조되었다. 등전위 도전접속(equipotential bonding)은 피보호 범위에 있어서 화재 및 폭발, 인명을 앗아갈 수 있는 위험을 저감시킬 수 있는 매우 중요한 방법이며, 특히 인명의 위험에 대해서는 가장 중요한 보호대책이다.

건축물 내의 금속계 구조물(철골, 철근 등)에 뇌격전류가 흐르면, 그 주위에는 전자유도에 의해 과전압이 발생한다. 이 뇌과전압은 과전압 내량이 작은 전자 기기에 여러 가지 장애를 일으킨다. 따라서 뇌과전압의 크기 및 전기·전자기기의 종류를 고려하여 건축물 내외에 뇌보호영역을 설정하고, 전자환경을 구별하여 내부 뇌보호시스템을 평가하면 효과적이다.

뇌전자장임펄스(lightning electromagnetic impulses: LEMPs)의 위협으로부터 전기설비 및 전자장치를 보호하기 위하여 보호공간을 경계점에서 매우 다른 전자조건(electromagnetic condition)을 가지는 뇌보호영역(lightning protection zone: LPZ)으로 나누어 평가한다. 뇌보호영역의 분할에 대한 기본원리를 그림 15에 나타내었으며, 각 뇌보호영역의 정의는 다음과 같다[13].

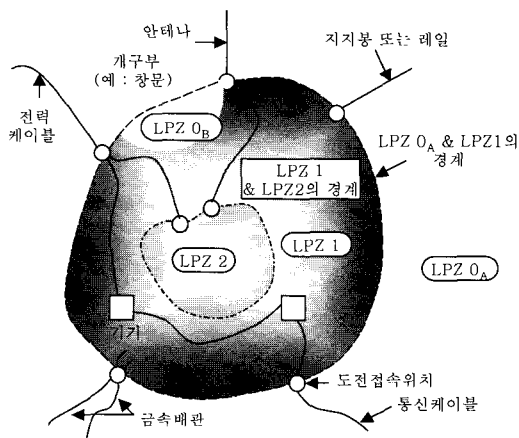


그림 15. 뇌보호영역 분할의 기본원리

- ① LPZ0A : 직격뢰에 노출된 영역으로 뇌격전류 전체가 흐를 수도 있으며, 낙뢰에 의한 전자장의 세기가 감쇠하지 않는 영역.
- ② LPZ0B : 직격뢰에 노출되어 있지 않지만 낙뢰에 의한 전자장의 세기가 감쇠하지 않는 영역.
- ③ LPZ1 : 직격뢰에 노출되어 있지 않으며, 이 영역 내의 모든 도전성 물체에 흐르는 전류는 LPZ0B 영역에 비하여 매우 감쇠되는 영역. 이 영역에서 낙뢰에 의한 전자장의 세기는 차폐장치를 시설하면 저감된다.
- ④ LPZ2 : 전류 및 전자장의 세기를 더욱 저감시킬 필요가 있는 경우에 특별히 지정한 영역. 이 영역의 요건은 피보호시스템에 요구되는 환경적 조건에 따라 선정한다.

보호영역의 숫자가 커질수록 전자장 환경파라미터는 낮아지며, 각 뇌보호영역의 경계점에서는 도전접속(bonding)과 차폐대책이 이루어져야 한다.

다시 말하면 낙뢰가 입사할 수 있는 공간으로 모든 뇌격전류가 흐르며 낙뢰에 의한 전자장의 세기가 감쇠되지 않는 외부 뇌보호시스템의 보호범위 내에 있는 영역을 LPZ0A라 하고, 낙뢰를 직접 맞지는 않았지만 낙뢰에 의한 전자장이 감쇠되지 않은 영역을 LPZ0B 영역이라고 한다. 낙뢰를 직접 맞지 않고 영역 내로 흘러 들어온 뇌격전류는 LPZ0B영역 내부보다 적으며, 차폐하면 낙뢰에 의한 전자장이 감소하는 건물 내의 공간을 LPZ1, 전류 및 전자장을 더욱 감소시킬 필요가 있는 건물 내의 공간, 예를 들면 컴퓨터실 등의 차폐실과 같은 공간을 LPZ2라고 정의하며, 뇌서지보호기를 설치하는 방법을 명확하게 할 수 있다.

## 5. 결 론

고도 정보화사회의 진전과 더불어 지능형 건물, 정

보통신용 전자장비, 초소형 반도체로 제조되는 의료 장비 등이 뇌서지에 의해 파손되거나 오동작을 일으켜 사회적 문제와 막대한 경제적 손실을 가져오는 현상이 나타나고 있다. 따라서 컴퓨터를 비롯한 초소형 전자장비를 뇌서지로부터 어떻게 보호하느냐가 기술적 과제로 대두되었으며, 명확한 해결책이 나오지 못한 실정이다. 특히 뇌보호에 관련된 한국산업규격의 변동에 따른 기존의 다른 관련기술의 기준이나 규격과의 부합성이 정확하게 파악되지 않은 상태이며 이에 대한 검토가 이루어져야 한다. 또한 뇌보호에 관련된 새로운 규격과 기술의 보급이 매우 미흡한 실정이며, 기존 설비의 보완, 교체, 보수, 유지관리와 새로운 설비와 부합성 등에 대한 평가가 이루어져야 한다. 따라서 새로운 규격을 적용한 뇌보호설비의 설계에 필요한 기초자료의 제공과 확보, 다른 설비의 운전 특성과 호혜성에 대한 충분한 사전 검토가 요망된다.

참 고 문 헌

[1] A. Orlandi, C. Mazzetti, M. Yarmarkin, Z. Flisowski, B. Kuca. "Shielding Properties of Lightning Protection Systems under LEMP", Proceedings of the 10th International Symposium on High Voltage Engineering, Montreal, Quebec, Canada August 25~29, pp.1351~1361, 1997.

[2] M. O. Durham, R. A. Durham, "Lightning, Grounding and Protection for Control Systems", IEEE Trans. on Industry and General Applications, Vol.31, No.1, pp.45~54, 1995.

[3] D. W. Eipse, "Lightning Protection Systems: Advantages and Disadvantages", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.30, No.5, pp.1351~1361, 1994.

[4] E. Pan and A. C. Liew, "Effect of resistance

on lightning return stroke current", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.15 No.1, pp. 135~141, 2000.

[5] P. C. T. van der Laan, A. P. J. van Deursen, "Reliable Protection of Electronics Against Lightning: Some Practical Applications", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol.40, No.4, pp.513~520, 1998.

[6] P. Hasse, Overvoltage protection of low voltage systems, TUV-Verlag GmbH, 2nd edition, 1998, pp.3~10.

[7] M. A. Uman, All About Lightning, Dover Publications, Inc., pp.1~48, 1986.

[8] P. Hasse and J. Wiesinger, Handbuch fur Blitzschutz und Erdung, 4 ed., Richard Pflaum Verlag GmbH & Co. KG.

[9] 이승철, 이동문, 엄주홍, "뇌방전은 어떠한 현상인가?", 전기의 세계, 제52권4호, 대한전기학회, pp.29-32, 2003.4.

[10] M.A. Uman and E.P. Krider, "A Review of Natural Lightning : Experimental Data and Modelling", IEEE Trans., Vol.EMC-24, No.2, pp.79-105, 1982.

[11] 社團法人 電氣設備學會 雷保護對策檢討委員會, 雷と高度情報化社會, 電氣設備學會, pp.42~89, 1999.

[12] B. H. Lee, S. C. Lee, C. H. Ahn and T. Kawamura, "Physical Properties of Radiation Fields Produced by Multiple In-cloud Lightning Discharges", Japanese Journal of Applied Physics., Vol.40, Part 1, No.1, pp.299~306, 2001.

[13] IEC 61312-1, Protection against Lightning Electromagnetic Impulse, Part 1: General principles, 1995.

[14] IEC 61024-1, Protection of Structures against Lightning, Part 1: General principles, 1990-03.

[15] IEC 61024-1-1, Protection of Structures

against Lightning, Part 1: General principles, Section 1: Guide A - Selection of protection levels for lightning protection systems, 1993-03.  
[16] IEC 61024-1-2, Protection of Structures against Lightning, Part 1: General principles, Section 1: Guide B - Design, installation, maintenance and inspection of lightning protection systems, 1998-05.

◇ 저 자 소 개 ◇



이 복 희(李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사).

1988~89년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 1999년 3월-2000년 2월 신시내티대학 방문교수. 1990년 - 현재 인하대 공대 전자전기공학부 교수, 차세대고전압전력기술연구센터 소장. 본 학회 조사이사, 대한전기학회 C부문 학술이사 <주 관심 분야 : 고전압공학, 방전응용기술, 뇌방전현상, 뇌보호, 접지기술, EMC/EMI > e-mail: bhlee@inha.ac.kr, Tel. : 032-860-7398



이 승 칠(李承七)

1943년 4월 1일생. 1971년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 2월 서울산업대 산업대학원 안전공학과 졸업(석사). 2002년 2월 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사).

현재 한진건설주식회사 전무이사/전기설비기술사. 본 학회 평의원.

<주 관심 분야 : 전기설비의 설계 및 시공, 뇌보호시스템, 접지관련기술>

e-mail : sclee@hjcnst.co.kr Tel. : 02-450-8085