

Lightning 관측시스템의 현황과 한반도내의 Lightning 발생 현황

우정욱 (한전 전력연구원 송배전연구소 선임연구원)

1 서 론

낙뢰로 인한 인적·물적 피해가 과거에 비해서 현재의 생활이 윤택해지고 삶의 질이 높아짐에 따라, 상대적으로 빈도도 증가하고, 그에 따른 피해와 관심이 증가하는 추세이다. 특히 낙뢰로 인한 인명 사고의 경우는 야외활동이 많아짐으로 빈도도 증가하고, 사망 사고로 이어지는 경우가 많아지고 있다. 또한, 낙뢰로 인하여 설비나 건축물 등에는 직·간접적으로 피해를 입고 있으며, 낙뢰가 직접 장비에 직격을 하게 되면 과전류가 설비를 통해 흘러 열적인 손상과 물리적인 손상을 입게 된다. 또한, 최근에는 디지털화된 장비가 늘어남에 따라 직접 낙뢰는 맞지 않았더라도 낙뢰에 의해 인근 장비들이 전자기적으로 피해를 입는 사례가 늘어나고 있다.

국내에서는 여러 기관에서 각각의 목적에 따라 개별적으로 Lightning을 관측하고 있다. 특히 기상청에서는 예보와 통계의 목적으로 VAISALA 제품의 Lightning 관측 장비를 운용하고 있으며, 한전에서는 전력설비의 피해예방과 적절한 절연설계를 목적으로 관측시스템을 운영하고 있다. 또한, 한국항공우주연구원에서는 우주발사체의 안정적인 발사를 위해 고 흥 지역의 Lightning을 관측하기 위한 장비를 운용

하고 있다. 각 기관에서 운용하는 시스템은 설치시기와 방법, 목적이 각각 다르기 때문에 Lightning 데이터 역시 각각의 특징을 가지고 있다.

본 논문에서는 Lightning에 대한 일반적인 정의에 설명하고, Lightning을 관측하기 위한 장비와 방법에 대해 설명하고자 한다. 또한 한반도내에서 운용되고 있는 관측시스템에 대해 알아보고, 그중에서 한전의 관측시스템에 의해 관측된 Lightning 데이터를 이용하여 발생추이와 향후 한반도내에서 Lightning의 효과적인 관측과 그 데이터의 이용을 위해 진행되었으면 하는 방향에 대해 설명하고자 한다.

2. Lightning이란?

Lightning을 유발하는 구름을 적란운이라 하며, 이의 생성과정은 여러 가지 이론이 제시되고 있지만 어떠한 이론이든지 Lightning을 유발하기 위해서는 구름내에는 음전하와 양전하가 분리된 구조로 이루어져 있다고 설명하고 있다. Lightning이라 함은 이렇게 대전된 전하들에 의한 전계파괴를 통한 방전현상을 통칭하는 말이다.

Lightning에는 구름내에서 발생하는 운내 뇌방전 (Intra-Cloud Lightning Discharge), 구름과 구

름사이에서 발생하는 운간 뇌방전(Inter-Cloud Lightning Discharge), 구름의 전하로부터 주위의 대기로 발생하는 대기 뇌방전(Air Lightning Discharge), 구름과 대지사이에서 발생하는 대지 뇌방전(Cloud-To-Ground Lightning Discharge) 등이 있다. 여기서 대지 뇌방전을 우리는 일반적으로 낙뢰라 칭한다. 전체 Lightning의 대부분은 운간 또는 운내 뇌방전이다. 대부분의 Lightning이 구름내 또는 구름간에서 이루어지지만, 대지로의 뇌방전이 인적·물적인 피해의 주원인이 되기 때문에 주요 관심사가 되며, 특별히 낙뢰라고 부른다. 낙뢰는 하나 또는 그 이상의 간헐적인 부분방전으로 이루어져 있다. 한번의 방전요소 즉 부분방전 요소를 Stroke이라 하며, 단일 조건에서 여러 개의 Stroke이 발생할 수 있으며 이 전체 과정을 Flash라 하며 이의 지속 시간은 0.2~0.5초 정도이다.

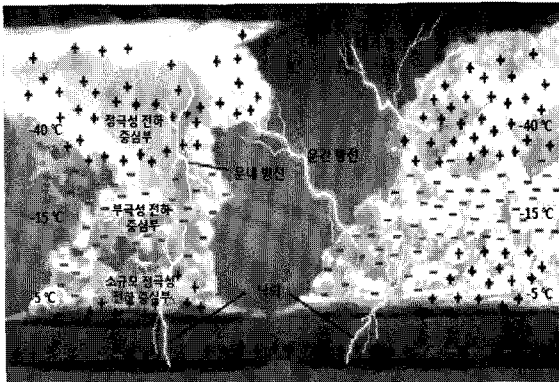


그림 1. Lightning의 종류

낙뢰는 먼저 구름내 전하의 분리로 인해 지표면에 반대 극성의 전하가 유도되고, 구름의 전하가 지표면을 향하는 Stepped Leader가 생성되고 지표면의 전하가 Stepped Leader를 향하여 Streamer가 생성되면 그 구름과 지표면 사이에 이온화된 통로가 생성되어 이 통로 즉, 도전로를 통하여 그 전하의 이동이 생기게 된다.

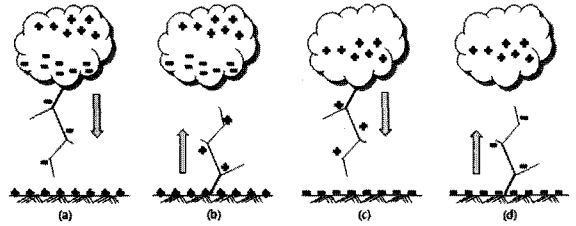


그림 2. 방전진전과 극성에 따른 낙뢰분류

대지 방전 즉, 낙뢰는 그림과 같이 4개의 종류로 구분할 수 있다. 그림에서 (a)의 부극성 하향리더에 의한 낙뢰는 구름의 부전하에서 대지를 향해 리더가 하향으로 진전한 후 지면으로부터 귀환뇌격이 발생하는 형태로 가장 일반적인 대지 뇌방전이다. (b)의 정극성 상향리더에 의한 낙뢰는 대지의 정전하의 리더가 뇌운을 향해 상향으로 진전하여 발생한다. 이런 형태의 낙뢰는 높은 철탑이나 산정상 등에서 발생할 수 있다. 같은 원리로 (c)와 (d)는 정극성 하향리더에 의한 낙뢰와 부극성 상향리더에 의한 낙뢰이다.

낙뢰인 경우를 전하의 이동여부에 따라 그 종류를 분류하였다. 이는 다시 말하면 이동되는 전하의 양을 크기로 표현할 수 있어 낙뢰를 관측한 결과를 전류의 크기값과 극성으로 표현하여 해당 낙뢰의 성격을 분류할 수 있다.

3. Lightning 관측방법 및 관측시스템

3.1 Lightning 관측방법

Lightning을 관측하는 방법은 낙뢰를 직접 측정하는 방법과 간접으로 측정하는 방법으로 나눌 수 있다. 먼저 낙뢰를 직접 측정하기 위해서는 로고스키 코일이나 분로저항을 사용하여 해당 설비에 직접 흐르는 낙뢰전류를 직접 측정한다. 이는 연구용이나 타 시스템의 개발을 위한 기초용으로 사용되고 있으나 많은 예산과 시간이 필요하다. 또 다른 하나의 방법인 간접 측정방법은, 낙뢰뿐만 아니라 구름에서의

Lightning까지 모두 관측하기 위함으로, Lightning에 의해 발생한 전자파를 관측하여 발생위치와 크기를 역으로 계산하여 추정한다. 일반적으로 광대역의 Lightning을 관측하는 시스템은 전부 이 방법을 사용하고 있다.

Lightning 관측시스템은 기본적으로 VHF와 LF를 감지하는 안테나로 구성되어 있으며, VHF 간섭계는 안테나 배열이 서로 다른 안테나로부터 받은 전자파의 Phase Difference를 기반으로 하여 파의 도착 방향을 탐지하게 된다. LF의 감지원리는 도달시간차(TOA: Time of Arrival) 방식과 방향탐지(MDF: Magnetic Direction Finding) 방식으로 대지로의 뇌방전을 측정한다.

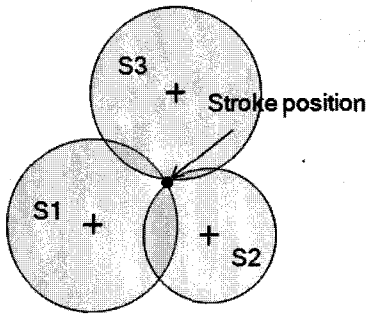


그림 3. TOA 방식(3개 센서)

TOA 방식은 Lightning이 발생함에 따라 생긴 전자파가 각각의 센서에 도달하는 시간을 이용하여 Lightning의 발생위치를 추정하는 방식이다. TOA 방식에서는 정확한 위치 표정을 위하여 그림과 같이 최소한 3개 이상의 센서를 사용하며, 충분한 시간분해능을 가질 수 있도록 센서간에는 적절한 이격거리(Base Line)를 두고 있다.

MDF 방식은 Lightning에 의한 전자파가 관측되는 방향을 이용하여 3개의 안테나로부터 Lightning의 위치를 추정하는 방법이다. 따라서 TOA 방식을 이용한 관측의 경우는 시간측정의 정확도가, MDF 방식의 관측은 진폭을 정확하게 설정하는 정밀도가

중요한 변수로 작용한다. 그림과 같이 Lightning 방향을 나타내는 방향선의 연장이 형성하는 삼각형이 Lightning이 발생한 위치로 진폭의 방향을 정확하게 설정하고 Lightning이 발생한 방향을 높은 정밀도로 관측하게 되면 보다 작은 삼각형을 형성하게 되고 실제의 위치와 추정된 위치 사이의 오차가 줄어들게 된다.

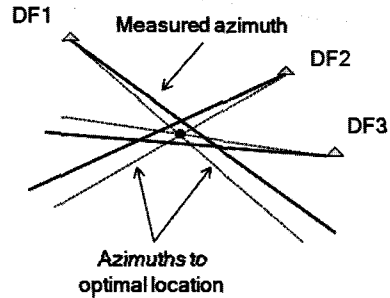


그림 4. MDF 방식(3개 센서)

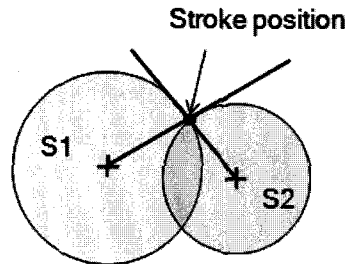


그림 5. TOA+MDF 방식

최근에는 TOA 방식과 MDF 방식을 합성하여 관측 정밀도를 향상시키고 있으며, 원리상 2개 센서로 TOA 방식만을 사용하였을 때 발생하는 위치 결정시 발생할 수 있는 오류를 방지할 수 있으므로 TOA 방식만을 적용하였을 때 보다 정확한 위치표정이 가능하다.

3.2 Lightning 관측시스템의 종류

앞에서 설명된 관측 방식을 이용하여 각 제작사에서는 다음과 같이 개별 시스템을 개발하여 왔다.

MDF 방법을 이용한 LLP 시스템과 TOA 방식을 사용한 LPATS 시스템 및 간접계 방식을 사용한 SAFIR 시스템 등이 있었으며, 그 후에 TOA 방식과 MDF 방식을 혼합한 IMPACT 시스템이 있었다. 이들 관측장비 중 SAFIR 시스템은 낙뢰뿐만 아니라 구름 방전관측도 가능한 시스템이었으며, IMPACT ESP의 경우는 낙뢰를 주로 관측하지만 구름 방전도 관측이 가능한 시스템으로 기능이 향상되어 갔다.

LLP 시스템은 미국의 Uman과 Krider 등이 고안한 것으로 MDF 방식을 사용한다. 즉, 직교 루프 안테나와 전장센서에 의해서 방위를 탐지함과 동시에 전자장 파형을 분석하여 낙뢰를 추출하고 극성 및 뇌격전류의 세기를 측정한다.

루프안테나를 동서(E-W)와 남북(N-S)으로 배치하고 각각의 안테나에서 측정된 자장의 피크값을 사용하여 다음의 식에 의해서 방위각을 결정하게 된다.

$$\text{방위각 } \theta = \tan^{-1} \frac{N-S \text{ 피크값}}{E-W \text{ 피크값}} \quad (1)$$

LPATS 시스템은 복수의 관측점에서 전자파가 도달한 시간의 차를 분석하여 낙뢰위치를 결정하는 TOA 방법을 사용한 것으로, GPS 기술을 채용하고 있기 때문에 정확도 높은 낙뢰위치를 결정할 수 있다는 장점이 있다. LPATS 시스템은 LLP 시스템의 단점을 보완하기 위하여 개발되었다.

SAFIR 시스템은 1990년대 초 프랑스의 ONERA (국립우주공학연구소)에서 개발되었으며 Dimensions사에서 생산되었다. 간접계 방식을 이용하여 방전의 위치를 결정함으로써 구름 방전을 포함한 낙뢰 전체를 관측할 수 있는 시스템이다. Diemnsions사는 이후 VAISALA사에 흡수되었다. IMPACT-ESP 시스템은 기존의 MDF 방식에 TOA 방식을 추가한 시스템이다.


최근에는 VHF 대역과 LF 대역을 이중으로 관측

하여 운간·운내 뇌방전과 낙뢰까지 모두 관측이 가능한 시스템으로 바뀌어 가고 있다. 현재 광대역 Lightning 관측시스템을 제작 가능한 회사는 VAISALA, TOA, WeatherBug 등 몇 개의 회사가 있다.

4. 한반도 내에서의 관측시스템

IMPACTS(기상청)

- 관측범위 : 90~500km(7개)
- 관측방식 : TOA + MDF(~500 kHz)
- 관측대상 : 구름-대지 방전
- 장점 : 전류크기 측정 우수



LDAR(기상청)

- 관측범위 : 20~30km(17개)
- 관측방식 : TOA (~66 kHz)
- 관측대상 : 구름-구름, 구름-대지방전
- 장점 : 3차원 관측가능




그림 6. 기상청 관측설비의 개요

기상청에서는 낙뢰를 관측하기 위한 IMPACT (TOA+MDF) 센서 7개와 운간 뇌방전을 관측하기 위한 LDAR 센서 17개를 조합하여 운영하고 있다. 관측범위는 IMPACT에 의해 최대 500[km] 이상의 낙뢰를 관측함과 아울러, LDAR를 이용하여 30[km] 이내의 구름 뇌방전을 3차원적으로 관측하고 있다.

Mixed(한국항공우주연구원)

- 관측범위 : 100km(5개)
- 관측방식 : TOA+MDF, 간접계(VHF)
- 관측대상 : 구름-대지방전, 구름방전
- 장점 : 좁은 영역 정밀관측




그림 7. 한국항공우주연구원 관측설비의 개요

한국항공우주연구원에서는 우주발사체의 안정적인 발사를 위해 고흥 지역의 Lightning을 관측하기 위한 장비를 운영하고 있다. 가장 최신의 장비로 상대적으로 좁은 영역에서 모든 Lightning을 상세히 관측함과 아울러 기상레이더 정보도 같이 이용하고 있어

실시간 낙뢰화면 표시프로그램(RTLIS)은 실시간 낙뢰정보서비스를 위한 프로그램으로써, 한전의 송변전 지리정보시스템(TGIS)과 연계하여 전력설비 정보를 지닌 GIS Map을 사용하고 있다. RTLIS로 웹 서버에 접근하게 되면, 웹 서버에서는 모든 접속 컴퓨터의 정보를 보유하고 있어 낙뢰정보가 발생하게 되면 자동으로 접속 컴퓨터로 낙뢰정보를 전송하여 준다. RTLIS에서는 과거데이터 검색을 통한 재현 기능이나 각종 알람 설정, 선택적 도시, 특정조건 검색 및 분석 기능이 갖추어져 있다.

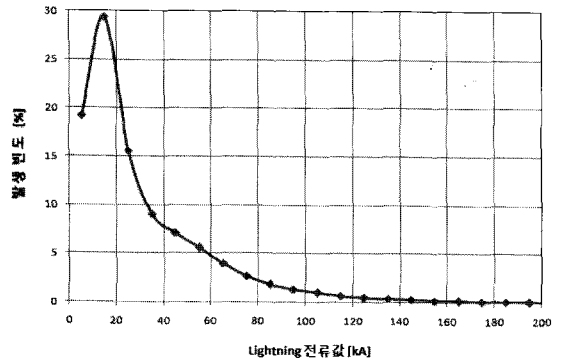


그림 11. 낙뢰 전류 통계

5.2 한반도 낙뢰의 특성

앞에서 설명된 바와 같이 한전의 관측시스템은 1995년부터의 데이터가 확보되어 있으나, 2005년에 신규로 설치된 시스템과의 특성차이로 인하여 과거 데이터와 신규 데이터의 혼합사용은 이해하는데 도움이 되지 않는 것 같아서, 이하의 통계자료는 2006년부터 2009년까지 신규시스템에 의해 관측된 데이터를 이용하여 작성하였다. 또한, 기상청의 시스템이나 좁은 영역에서 정밀한 관측을 시행중인 한국항공우주연구원의 데이터와는 차이가 있을 수 있지만, 관측된 데이터를 그대로 이용하여 통계 처리하였다.

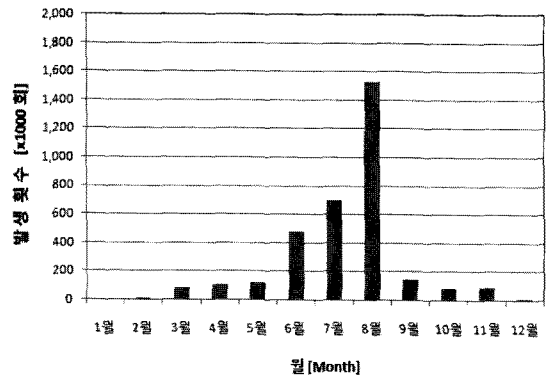


그림 12. 낙뢰 월별 발생분포

그림 11은 발생한 낙뢰의 전류크기값에 대한 데이터이다. 전력회사뿐만 아니라 일반 건축물에 내뢰설비를 시행하고 설계할 때 이 전류값의 분포는 기초자료로 사용되고 있다. 그림에서 보듯이 최대 200[kA] 이상의 것에서부터 적게는 5[kA] 전후의 것도 있으며, 대부분의 40[kA] 이하이다. 단, 시스템 자체가 간접측정방식에 의한 데이터임으로 계속해서 뇌격전류값에 대한 보정 및 관련연구는 지속되어야 한다.

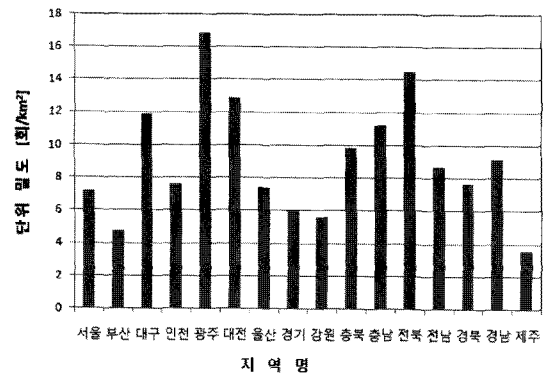


그림 13. 낙뢰 지역별 발생분포

그림 12는 연간 월별 발생빈도이다. 과거에는 8, 9월에 집중되었던 것이 6~8월에 집중되고 있어 계절별로 1~2개월 빨라진 경향이 있다.

지역별로는 전북지역이 단위면적당 낙뢰발생빈도

가 높음을 보여주고 있으며, 대도시로는 광주가 많은 낙뢰가 발생하였다. 과거에는 충남과 서울이 상대적

으로 단위면적당 낙뢰발생빈도가 높았는데 지역적으로 발생빈도의 변화가 심했음을 보여주고 있다. 그림 14는 지역별 낙뢰밀도를 위경도 1도 기준으로 4등분한 분포이다.

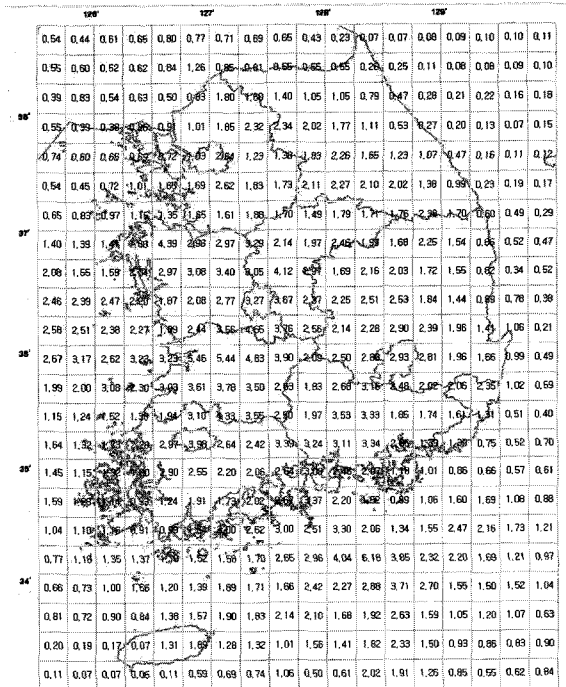


그림 14. 지역별 낙뢰밀도

6. 결론

본 논문에서는 Lightning에 대한 일반적인 정의, 관측하기 위한 장비와 그 방법, 한반도내에서 운용되고 있는 관측시스템 등에 대해 알아보고, 한전에서 운용중인 설비에서 관측된 데이터를 이용하여 발생추이를 살펴보았다.

Lightning으로 인한 설비나 인명 피해에 대한 체감지수가 높아지고 피해규모도 커짐에 따라, 궁극적으로는 좀더 정확한 관측과 아울러, 사전에 예방이 가능하도록 예측할 수 있는 기술과 시스템이 개발되어야 할 것으로 판단된다.

최근의 IT 기술의 발달로 과거에 개별로 개발되어 온 기존의 Lightning 관측 방법을 하나의 시스템에서 구현하여 관측 효율과 정밀도를 향상시켜 나가고 있다. 이러한 기술의 발달을 기반으로 현재 기상청과 한전에서는 한반도내에서 좀더 효율적이고 정확도가 높은 시스템을 구축하고자 노력하고 있고, 장단기적으로 Lightning 발생을 예측하여 여러 산업분야에서 응용 가능한 시스템이 구축되어야 하리라 여겨진다.

참고 문헌

- [1] Martin A. Uman, "Natural Lightning", IEEE Trans. on IA, Vol. 30, No. 3, 1994.
- [2] Malan, "Physics of Lightning", The English Univ. Press Ltd, 1963.
- [3] 심응보 외 "절연설계 신뢰도 향상을 위한 뇌격전류 직접측정 설비 구축에 관한 연구", 2005.11
- [4] 소방방재청, "낙뢰피해 기준정립 및 경감대책 구축방안 연구", 2009.
- [5] 우정욱 외 "낙뢰측정에 대한 기술동향과 LPATS 데이터에 의한 한반도 낙뢰현황", 조명전기설비학회지, 제17권, 제4호, 2003.
- [6] 광주식 외, "새로운 한전 낙뢰감지 네트워크(KLDNet)와 측정된 낙뢰통계('96-'05) 대한전기학회 고전압 및 방전응용 연구회 춘계학술대회 논문집, 2006.
- [7] 광주식 외 "The Site Survey Results for New Lightning Detection System of KEPCO", Korea-Japan Symposium Joint Symposium on electrical Discharge and High Voltage Engineering, 2005.
- [8] 우정욱 외 "The Introduction about New KLDNet and the Statistical Distribution of Lightning Parameters in Korea", International Lightning Detection Conference, 2006.
- [9] Takatoshi Shindo, "Lightning location systems in Japan and a lightning frequency map using the data obtained by them", 10th ISH, 1997. 8.

◇ 저자 소개 ◇



우정욱(禹貞旭)

1968년 9월 19일생. 1992년 경북대학교 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한전 전력연구원 선임연구원.

Tel : (042)865-5892

E-mail : jwwoo@kepri.re.kr