

# 뇌운경보장치 개발에 관한 연구

길경석 · 송재용 · 김일권 · 문승보 · 차명수

한국해양대학교 전기전자공학부

## A Study on Development of the Lightning Warning System

Gyung-suk Kil · Jae-yong Song · Il-kwon Kim · Seung-bo Moon · Myung-soo Cha

Division of electrical and electronic engineering, Korea Maritime University

E-mail : kilgs@hhu.ac.kr

### ABSTRACT

This paper describes a lightning warning system (LWS) which consists of a corona needle electrode, a low noise differential amplifier, an A/D converter, an one-chip microprocessor, a LCD and alarm devices. The corona needle electrode is used to measure electric field intensity caused by thunderclouds on the ground level.

To evaluate the sensitivity of the LWS, calibration experiment was carried out using a round-shape parallel plate electrode system. The theoretical and experimental results show that the LWS can measure electric field intensity over 2 [kV/m].

### 키워드

lightning, electric field, thunderclouds, lightning warning system, needle electrode, corona

## I. 서 론

낙뢰는 인명과 육해상의 시설물에 치명적인 위협요소로 지난 수 십년간 낙뢰에 의한 피해를 방지하기 위한 연구 활동이 여러 분야에서 진행되어 왔다. 대표적인 방법으로는 낙뢰를 미리 정해 놓은 안전한 곳으로 유도시켜 대지로 방출시키는 피뢰침과 미리 낙뢰의 발생을 예지하여 대피하거나 기기를 일시적으로 접지시키는 2가지 기술로 구분할 수 있다. 피뢰침은 일정 시설물에 반드시 설치하도록 법제화되어 있으며, 낙뢰 발생을 예지하는 뇌운경보장치는 자위상 설치하고 있다.

현재 낙뢰로 인한 인명피해와 육·해상에서 통신용 안테나의 손상이 급증하고 있어 뇌운 경보 시스템에 대한 적용이 광범위하게 이루어지고 있다. 낙뢰의 예지는 뇌운의 발생에 따른 지상에서 전계 변화를 분석하는 것으로 전계형 필드밀(electric field mill)과 코로나 전극(corona electrode)에 의한 측정이 가능하다<sup>[1]-[3]</sup>.

본 논문에서는 구조가 간단하고 유지·관리가 쉬운 코로나 전극을 이용한 뇌운경보시스템을 구현하였다. 검출 가능한 최소전계강도는 2 [kV/m]이며, 이는 전극의 코로나 방전개시전압에 상응하는 것으로 낙뢰발생을 감지하는데 충분한 감도로 기상, 전력, 항공 및 선박 등 여러 분야에 광범위하게 활용될 것으로 기대한다.

## II. 뇌운에 의한 대지전계의 변화 측정

뇌운 중의 전하가 가진 에너지는 지상에서의 전계를 변화시키며 맑은 날 대지전계는 100 [V/m] 정도이다. 낙뢰 발생 이전의 전계는 2 [kV/m] 이상이며, 일반적으로 4~5 [kV/m]에서 경계상황, 10 [kV/m] 이상에서는 위험상황으로 설정하고 있다<sup>[4]</sup>.

### 2.1 뇌운에 의한 대지전계 변화

뇌방전은 일반적으로 뇌운에 의해서 발생하는 데, 뇌운 중에서도 특히 상층의 대기와 하층의 대기가 불안정한 층으로 구성된 적란운(積亂雲)에 의한 것이 대부분이다. 뇌운의 크기는 작게는 수 [km]에서 크게는 약 20 [km]에 이르기도 한다<sup>[20]</sup>. 또한 뇌방전은 눈보라, 모래폭풍, 화산 폭발시 구름 위에서도 발생하며, 맑은 날씨에서도 발생하는 경우가 있다. 그림 1은 뇌운의 전형적인 모델을 보여준다. 뇌운과 대지사이의 방전은 뇌운의 정(+)전하와 부(-)전하가 중성으로 되려는 일련의 과정으로써 플래쉬(Flash)라고 하며, 지속 시간은 대체로 0.01 ~ 2 [sec] 정도이다. 플래쉬는 여러 가지 방전 성분으로 구성되는데, 그 가운데 스트로크(Strokes)라고 불리는 3~4개 정도의 펄스 형태로 나타나는 높은 피크 전류가 포함되어 있다<sup>[5]</sup>.

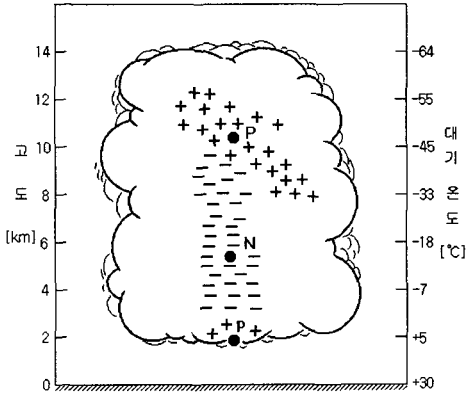


그림 1 전형적인 뇌운 모델  
Fig. 1 Typical thundercloud model

뇌운이 발생함에 따라 지표면에서의 전계는 뇌운이 가진 전하와 전류로 인해 거리에 따른 변화를 일으키게 되므로, 뇌운의 접근에 의해 나타나는 전계의 시간적 변화에 대해서 고려할 필요가 있다. 우선, 정지되어 있거나 서서히 변화하는 뇌운 전하의 분포에 의해 결정되는 전계의 세기는 전기쌍극자 모델을 적용하여 산출하는 것이 가능하다. 대기나 진공 중에서 정(+)의 점전하(point charge)로부터 거리  $r$ 만큼 떨어진 곳에서의 전계의 세기  $E$ 는 다음과 같이 구할 수 있다<sup>[5]</sup>.

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \text{ [V/m]} \quad (1)$$

### 2.2 대지전계 측정장치

코로나 전극에 의한 대지전계의 측정은 강한 전계하에 침단이 있을 경우, 그 침단에 코로나 전류가 발생한다는 것을 이용하는 것이다. 침단이 임의의 임계값을 초과하는 전계에 노출되어 침단과 주변 공간 사이에 전위차가 발생하면, 침단에서는 코로나 방전이 일어나게 된다. 이 때 발생하는 방전 전류는 침단의 곡률 반경과 주변 전계의 세기에 의해 결정되므로, 침단에 흐르는 전류( $I$ )와 전계( $E$ ) 사이의 관계식은 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>[5],[6]</sup>.

$$I = a(E^2 - E_0^2) \text{ [A]} \quad (2)$$

여기서,  $a$ 는 상수로써  $10^{-13} \sim 10^{-16} \text{ [A} \cdot \text{m}^2/\text{V}^2]$  이고,  $E_0$ 는 코로나 개시의 전계세기이므로  $E \geq E_0$  이다.

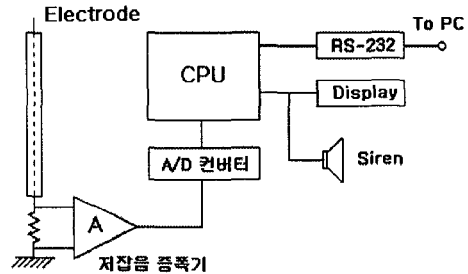
코로나 전극을 이용하여 대지전계를 측정하는 방법은 2 [kV/m] 이하의 전계는 측정할 수 없고, 침단 부식 등의 단점도 있으나 회로구성이 간단하고, 장비 또한 경량이면서 침단의 절연을 높이는

지 않아도 된다는 장점이 있어 육·해상에서 전계의 측정에도 널리 활용되고 있다.

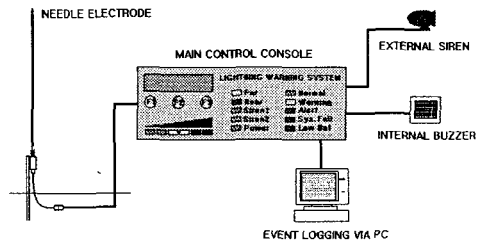
## III. 뇌운경보장치

### 3.1 설계 및 제작

뇌운경보장치는 그림 2와 같이 코로나전극, 저잡음 증폭기 및 마이크로프로세서 기반의 신호처리 회로부로 구성된다. 검출된 대지전계의 세기에 따라 LCD 및 LED 디스플레이에 전계강도 및 상태를 표시할 수 있으며, 일정 레벨 이상에서 경보 동작이 가능하도록 외부 사이렌을 설치하였다. 또한 전계강도 및 낙뢰 발생시 기록을 내장 메모리에 저장하고, RS-232통신을 통해 개인용 PC에 전달되도록 구성하였다.



(a) 개략도



(b) 구성도

그림 2 뇌운경보장치

Fig. 2 The lightning warning system

### 3.2 특성평가 및 분석

코로나 전극의 동작특성은 평등 전계하에서 인가전계의 세기에 대한 증폭회로의 출력전압을 비교함으로써 알 수 있으며, 그림 3과 같이 실험계를 구성하였다.

전계를 형성하기 위한 상하부 전극은 가장자리 부분에서 주변 환경에 의한 전계 왜곡이 발생하지 않도록 원형의 파이프를 마무리하고, 코로나 전극부분에서는 가능한 평등전계가 되도록 하였다. 코로나 전극에 가해지는 전계의 세기는 직류전압을 조정하여 변화시켰다.

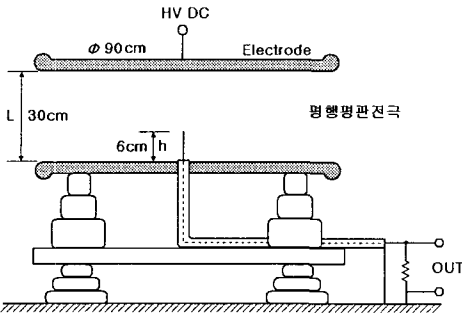
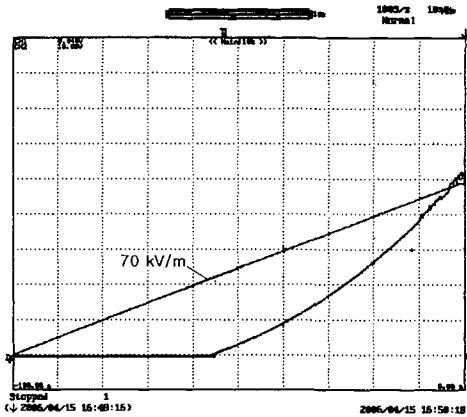


그림 3 실험계의 구성  
Fig. 3 Configuration of the experimental apparatus

그림 4는 평판 전극에 인가한 전압(전계)에 따른 증폭기 출력전압특성을 나타내었다. 코로나 전극에 전류가 흐르기 시작한 점은 계산된 인가전계의 세기 70 [kV/m]이며, 본 논문에서 사용한 전극의 코로나 개시 전계의 세기에 해당한다. 본 결과는 실험실에서 축소규모로 진행한 것이며, 실제 옥외에 설치시 코로나 개시 전계의 세기는 크게 낮아지게 된다.



상 : 인가전계 [33 kV/m/div, 10 s/div]  
하 : 증폭기 출력 [2V/div, 10 s/div]

그림 4 인가전계에 따른 증폭기 특성  
Fig. 4 Characteristic of the amplifier to a applied electric field

그림 5는 코로나 전극의 높이에 따른 코로나 개시 전계의 세기를 나타낸 것이다. 실험에서 얻어진 전계의 세기 70 [kV/m]는 코로나 전극을 지상 3 [m]에 설치시 2 [kV/m]에 해당하므로 실제 운영에 있어서 낙뢰 발생을 예지하기 위해서는 코로나 전극을 최소 3 [m] 이상의 높이에 설치하여야 한다. 코로나 개시 전계값 이상에서 전극에 흐르는 코로나 전류는 그림 6에 나타낸 것과 같으며, 실험

결과로부터 본 측정장치는 0.723 [V/μA]로 평가된다.

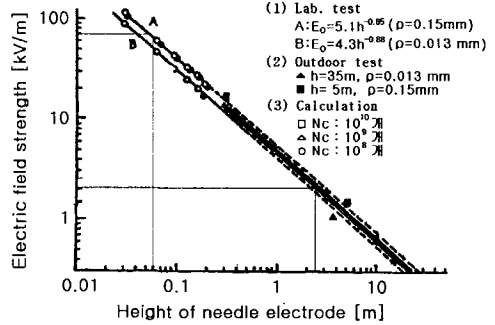
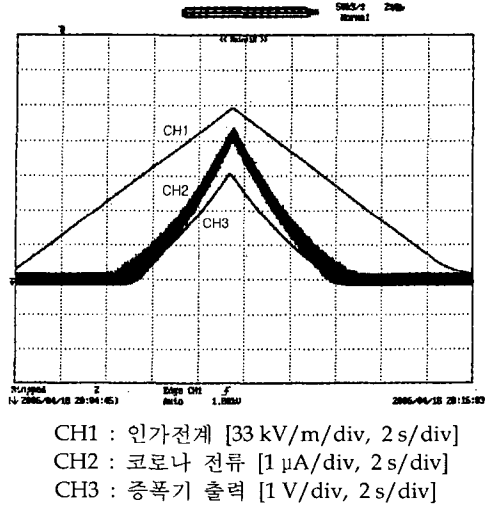


그림 5 전극 높이에 코로나 개시 전계 강도의 관계  
Fig. 5 The relation between the height of needle electrode and the electric field strength at corona inception.



CH1 : 인가전계 [33 kV/m/div, 2 s/div]  
CH2 : 코로나 전류 [1 μA/div, 2 s/div]  
CH3 : 증폭기 출력 [1 V/div, 2 s/div]

그림 6 코로나 전류와 출력전압의 관계  
Fig. 6 The relation between the corona current and the output voltage of the circuit

### 3.3 모니터링 프로그램

제안한 뇌운경보장치는 대기전계 강도와 낙뢰 발생 유무 등의 상태를 내장 메모리에 기록하도록 구성하였다. 전계강도의 경우에는 3 [kV/m] 이상의 상태에서 주의(Warning), 7 [kV/m] 이상이 되면 경보(Alert)로 표시하고, 뇌운경보장치에 내장된 메모리에 자동으로 저장된다. 낙뢰 발생시에는 거리에 따른 감쇄 특성을 고려하여 원거리(Far) 낙뢰와 근거리 낙뢰(Near)로 구분하여 저장하게 된다.

뇌운경보장치에서는 LCD 및 LED 디스플레이를 통해 전계강도와 낙뢰발생에 대해 표시하고, 내장 메

모리에 이벤트로 기록된다. 이렇게 저장된 데이터는 그림 7에 나타낸 것과 같이 모니터링 프로그램을 이용하여 PC로 전송할 수 있다. 모니터링 프로그램에서는 이벤트 발생 기록을 시간대별로 나타내며, 최대 32 kbyte의 데이터를 저장 및 표현할 수 있다. 모니터링 프로그램에서 얻어진 데이터는 텍스트 형태로 저장이 가능하기 때문에 저장된 데이터 분석을 통하여 뇌운의 이동경로, 낙뢰 발생횟수 등의 분석이 가능하다.

Date	E-Field	Stroke
2006:02:10:11:50:54	Warning	
2006:02:11:17:50:12	Alert	Near
2006:02:14:07:22:34	Warning	Far
2006:02:19:23:55:51	Warning	
2006:02:25:20:09:04	Warning	
2006:03:03:01:09:00	Warning	Far
2006:03:11:12:14:10	Alert	
2006:03:20:15:33:33	Warning	
2006:03:30:18:56:59	Warning	
2006:03:30:19:05:45	Alert	

그림 7 모니터링 프로그램  
Fig. 7 The monitoring program

### 참고문헌

- [1] M. A. Uman, E. P. Krider, "A Review of Natural Lightning : Experimental Data and Modeling", IEEE Trans., Vol. EMC-24, No. 2, pp.79~105, 1982.
- [2] J. N. Chubb, "Two New Designs of 'Field mill' type Fieldmeter not Requiring Earthing of Rotating Chopper", IEEE Trans. Ins. Appl., Vol. 26, No. 6, pp. 1178~1181, 1990.
- [3] J. N. Chubb, "The Calibration of Electrostatic Field meters and the Interpretation of their Observations", Electrostatics '87, Inst. Phys. Conf. Series, No. 85, pp. 261~266, 1987.
- [4] T. Ogawa, "Analyses of Measurement Techniques of Electric Fields and Currents in the Atmosphere", Contributions, Geophysical Institute, Kyoto University, No. 13, pp. 111~122, 1973.
- [5] M. A. Uman, "Natural Lightning", IEEE Trans. Ins. Appl., Vol. 30, No. 3, pp. 785~790, 1994.
- [6] 北條 準一 外, "大氣電界の計測法", 昭和59年電氣四學會連合大會, pp.25~28, 1984.

### IV. 결 론

본 논문에서는 칩단코로나 전극을 이용한 뇌운경보장치의 설계 및 제작에 관하여 연구하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

뇌운경보장치는 칩단코로나 전극, 저잡음 증폭기, A/D컨버터, 원칩 마이크로프로세서, 표시장치 및 경보장치로 구성된다.

평행 평판 전극계를 구성하여 외부 전계변화에 따른 특성을 평가한 결과, 코로나 전극을 지상에서 3 [m] 이상의 높이에 설치하면 2 [kV/m]의 전계강도에서 코로나 전류가 발생하는 것으로 확인되었다.

모니터링 프로그램에서는 대지전계 변화에 대해 일정 레벨 이상이 되면 이벤트 발생으로 기록하며, 낙뢰에 의해 발생하는 전장의 거리에 따른 주파수 변화를 검지하여 원거리 및 근거리의 낙뢰로 구분하여 저장된다.

결론적으로 본 연구에서 제안한 뇌운경보장치는 뇌운 접근에 따라 낙뢰 발생 여부에 대한 경보동작이 가능하다. 이와 더불어 모니터링 프로그램을 활용하면, 낙뢰 발생 및 뇌운의 이동경로에 대한 분석도 가능할 것으로 기대된다.