

근거리 낙뢰관측을 위한 간섭계방식의 측정시스템 구축

곽주식, 우정욱, 권동진, 심응보, 문재덕**
 한전 전력연구원, 경북대학교**

Introduction to Interferometer-based local lightning detection system

J. S. Kwak,, J. W. Woo, D. J. Kweon, E. B. Shim, J. D. Moon**
 Korea Electric Power Research Institute, Kyungpook National Univ**.

Abstract - 본 논문에서는 낙뢰에서 발생하는 VHF 대역의 신호를 광대역 간섭계를 통하여 낙뢰의 방전경로를 측정하는 근거리 낙뢰관측 시스템을 소개하고자 한다. 측정시스템은 3개의 광대역 전계센서와 LF/VLF 대역의 전계센서로 구성된다. 측정된 신호는 잡음 제거를 위한 필터를 거쳐 디지털 신호로 변환되어 메모리에 저장되어진다. 각각의 센서로부터 측정된 신호는 FFT분석을 거쳐 신호원인 낙뢰의 방위각과 고도각이 계산되어진다. 이 시스템은 30 km 내외의 뇌운의 방전 경로의 형성과 진전과정을 세밀하게 관측할 수 있다.

기되는 부분의 방전경로들은 귀환뇌격 이전에 많은 횃수에 걸쳐 발생하게 되는데 이러한 부분에서는 귀환뇌격시 보다 높은 VHF 또는 UHF 대역의 펄스신호를 방출한다.

이러한 신호들을 복수의 지점과 전계나 자계 안테나를 이용하여 측정하여 신호원의 위치를 추적함으로써 낙뢰의 발생위치를 알 수 있게 된다.

1. 서 론

대전된 뇌운의 전하가 대지를 향하여 방전경로를 형성하는 과정에서 VHF대역에서 UHF 대역의 펄스신호를 발생시킨다. 과정이 진전되어 뇌운과 대지 사이에 완전한 전류의 방전경로가 형성되면 LF 및 VLF 대역의 전자기 펄스 신호가 방사되게 되는데 이러한 신호를 복수개의 서로 다른 지점에서 수신하여 낙뢰의 발생위치와 시간을 인수 있다. 각 수신기사이의 전파도달 시간차로부터 낙뢰의 위치를 추정하는 시간 도달차(Time of Arrival) 방식과 간섭계(Interferometer)에 의한 방식이 있다.

본 논문에서는 낙뢰에서 발생하는 VHF 및 UHF 대역의 신호를 광대역 간섭계를 통하여 낙뢰의 방전경로를 측정하는 근거리 낙뢰관측 시스템을 소개하고자 한다. 측정시스템은 3개의 VHF/UHF 광대역 전계센서와 LF/VLF 대역의 전계센서로 구성된다. 측정된 신호는 센서 주변의 방송신호등의 잡음 제거를 위한 필터를 거쳐 디지털 신호로 변환되어 메모리에 저장되어진다. 각각의 센서로부터 측정된 신호는 FFT분석을 거쳐 신호원인 낙뢰의 방위각과 고도각이 계산되어진다. 이 시스템은 VHF대역이상의 전자기신호가 거리에 따른 감쇠가 크고 장애물에 쉽게 차단되는 특성으로 인하여 30 km - 50 km 로 측정범위가 제한되지만 뇌운의 방전 경로의 형성과 진전과정을 세밀하게 관측할 수 있다.

2. 본 론

2.1 뇌방전과 전자기파 발생

그림 1과 2의 그림은 뇌방전시 전자기 신호의 방출을 설명하고 있다. 일반적으로 낙뢰라고 지칭하는 현상은 뇌운의 축적된 전기에너지가 대지와 전류통로를 형성하여 급속히 전류를 방전하는 현상이다. 이러한 전류의 급속한 흐름은 주변에 전계와 자계의 빠른 변화를 일으키는데 이는 전자기파의 형태로 전달되게 된다. 귀환뇌격(Return Stroke)이 발생하는 낙뢰의 경우 수십 kHz에서 수백 kHz 대역(VLF/LF 대역)의 전자기 신호를 대기중으로 전파시킨다. 이 대역의 신호는 AM 라디오방송 수신기에서 잡음신호의 형태로 수신되기도 하며 수백 km의 거리까지 전파될 수 있다. 그림 2에 leader라고

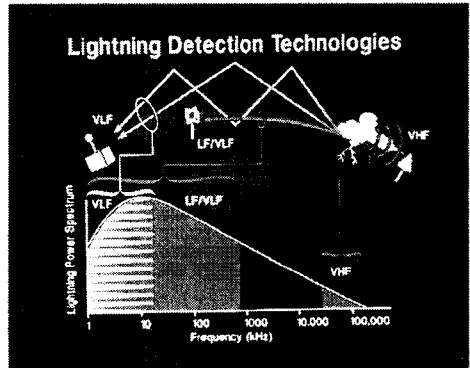


그림 1. 뇌방전과 전자기파의 발생

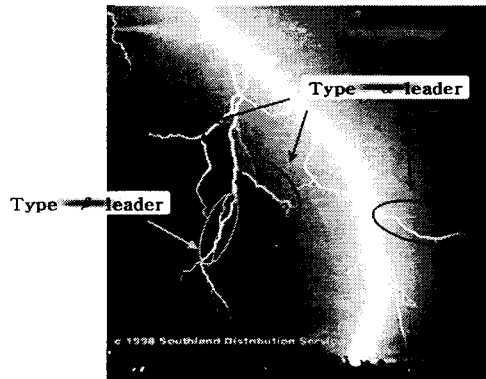


그림 2. 뇌방전시 VHF 대역 전자기 신호발생

2.2 뇌 관측의 원리

2.2.1 도달 시간차 방식

뇌방전 신호원으로부터의 송신으로 부터의 , 이 경우에 있어서는 낙뢰의 방전으로 부터의 시간 도달차차 기술(Time Difference Of Arrival)을 사용한다. 이 방법은 미지의 지점의 하나의 소스로부터의 신호를 알고 있는 지점에 위치하고 있는 세 개의 원격 수신기의 신호 수신 시간 차이에 기반을 두고 있다. 근본적으로 이것은 현재

민간이나 군용에서 널리 보급되어있는 GPS의 위치파악 기술의 반대 개념의 기술이다. 광속으로 전파하는 각각의 신호는 알고 있는 세 개의 지점에 위치하고 있는 수신기들에 의해 GPS 시스템이 제공하는 정밀한 시간정보를 갖고 있다. 시간정보의 차이는 알려지지 않는 신호원 위치를 찾기 위해 복잡한 쌍곡선의 계산에 사용되어진다.

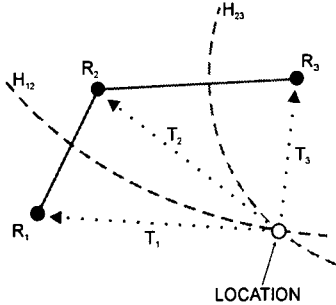


그림 3. 시간 도달차 방식의 원리

일반적으로 이 방법은 알고있는 수신기들(그림 1의 R1, R2, R3)에 대한 그들의 도착시간 차이에 의한 쌍곡선 커브를 정의하고 두개이상의 쌍곡선 커브가 교차하는 지점을 낙뢰의 발생 위치로 추정하게 된다. 뇌발생 신호를 보다 많은 위치의 센서가 측정하면 보다 정밀한 위치를 추져알 수 있다.

2.2.2 방향탐지법(Direction Finding)

루프 안테나를 이용하여 주로 뇌방전시 방사되는 자체 신호를 검출하여 뇌방전의 방향을 탐지하는 방식이다. 루프안테나 2개를 직각으로 배치하고(남-북, 동-서) 각각 2대의 안테나가 감지하는 직각성분의 자체 벡터신호로부터 신호원의 방향을 탐지하는 원리이다. 전계 안테나를 함께 사용하여 뇌의 극성을 측정하는 것이 가능하다.

2.2.3 간섭계 방식(Interferometric Methods)

두개 이상의 안테나를 사용하여 전자기 신호의 위상차를 구하고 이로부터 신호원인 낙뢰의 방위각과 고도각을 측정하는 방식이다. 단일 시스템을 이용하는 방법과 두개 이상의 시스템을 사용하여 뇌방전원 2차원 또는 3차원 형태의 위치 추정이 가능하다. 주로 VHF 대역의 신호를 측정하며 측정주파수 범위에 따라 협대역이 것과 광대역인 방식이 있다. VHF 신호가 멀리전파하지 못하는 특성으로 수십 km 거리내의 측정범위를 갖지만 보다 상세한 뇌방전현상에 대한 정보를 얻을 수 있다.

2.3 광대역 간섭계 시스템

간섭계 방식의 시스템은 측정 신호 대역의 폭에 따라 협대역과 광대역으로 구분한다. 본 논문에서 소개하고자 하는 시스템은 일본 오사카대학의 가와사키 연구팀에서 개발한 시스템으로 전력연구원에 2004년 10월부터 측정을 시작하였다. 광대역 간섭계 시스템은 기본 원리는 광대역 센서들 사이의 측정대역내의 주파수 성분들의 위상차들을 추정하는 것이다. 시스템은 그림 4의 구성도에서 처럼 3개의 전계 센서와 250 Mhz 샘플링의 10 bit A/D 변환기가 별도의 전계변화를 감지는 트리거신호 발생용 센서로 구성된다. 디지털로 변환된 펄스 신호는 분속용 컴퓨터에서 처리되어진다. 뇌방전시 특히 뇌운과 대지사이의 낙뢰가 발생할때에는 매우 큰 전계변화가 일어나는데 이를 트리거 신호로 하여 연속적으로 발생하는 펄스 신호들을 수평배열된 3개의 센서가 측정하고 측정범위내의 모든 주파수성분들의 위상차를 계산하여 뇌방전원의 방위각과 고도각을 계산하는 방식이다.

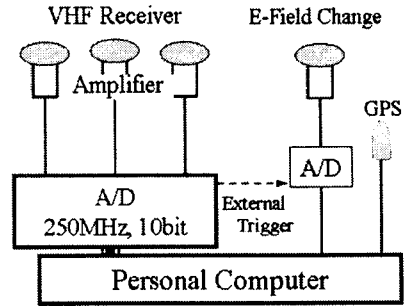


그림 4. 간섭계 방식 측정 시스템 구성

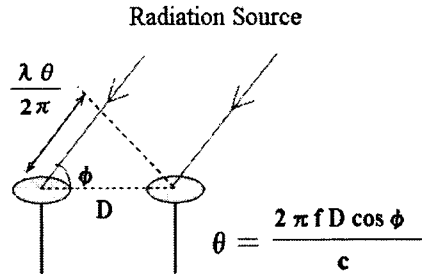


그림 5. 방향탐지 원리

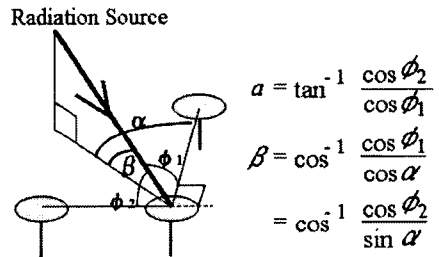


그림 6. 낙뢰 위치 2차원 측정 원리

그림 5에서와 같이 두 개의 안테나가 거리 D 만큼 떨어져 있는 경우, θ 는 두 안테나 사이의 측정신호의 위상차이고 ϕ 는 측정신호의 입사각이 된다. 그림 6에서처럼 세 개의 안테나를 삼각형 배열로 위치시키고 각 안테나 사이의 입사각 ϕ_1 과 ϕ_2 를 계산하면 신호원의 방위각 α 와 고도각 β 를 계산할 수 있다.

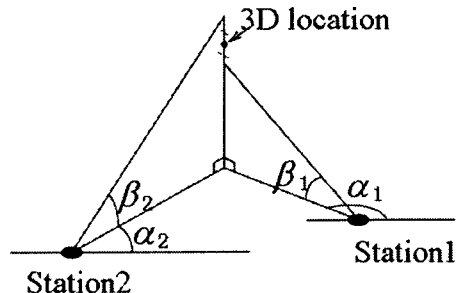


그림 7. 낙뢰 위치 3차원 측정 원리

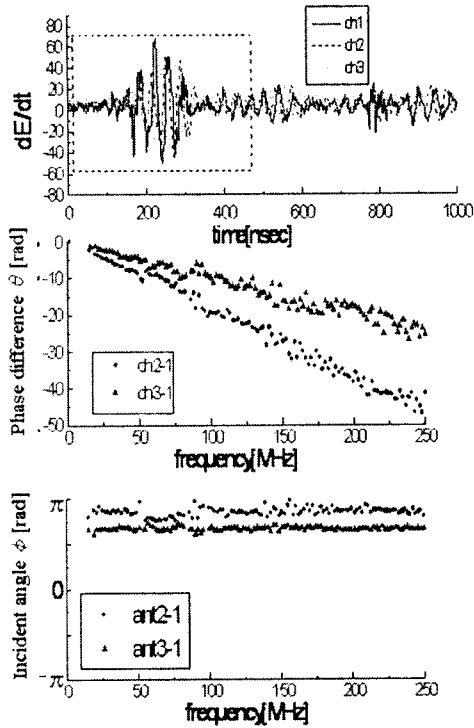


그림 8. 측정 낙뢰 데이터의 처리 결과

그림 7에서처럼 각 세 개의 안테나로 구성된 측정 스테이션을 일정 거리만큼 2개를 배열시킨 경우를 살펴보자. 동일한 낙뢰 신호원에 대하여 방위각 α_1, α_2 고도도 각 β_1, β_2 를 계산하면 일정 낙뢰에 3차원 위치정보를 얻을 수 있다. 그림 8은 위로부터 광대역 간섭계 시스템이 측정된 뇌방전 펄스신호를 보여준다. 그 아래의 그래프는 각 안테나 사이의 주파수별 위상차를 보여주는데 측정범위 내의 주파수에 대하여 선형적인 관계를 얻을 수 있다.

뇌방전시 발생하는 모든 펄스 신호에 대하여 이와 같은 과정을 반복하여 발생시간에 대하여 표시하면 그림 9와 10과 같은 낙뢰의 방전경로와 3차원 정보를 얻을 수 있다. 그림 11은 실시간 모니터링 모니터링 소프트웨어로 측정되고 있는 낙뢰의 방위각과 거리정보를 표시할 수 있다.

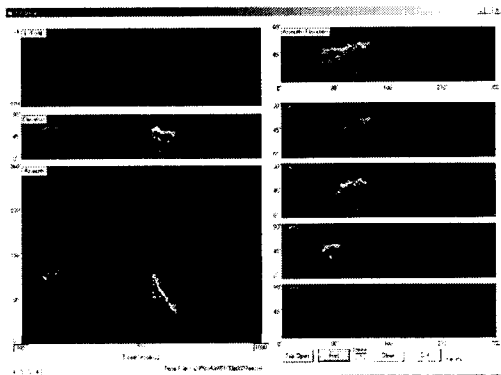


그림 9. 측정된 낙뢰데이터의 위치 측정 결과

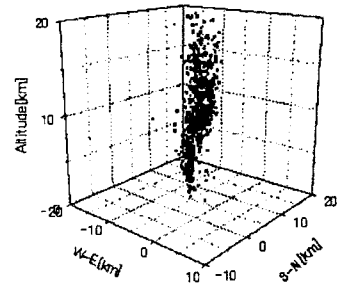


그림 10. 낙뢰의 3차원 정보

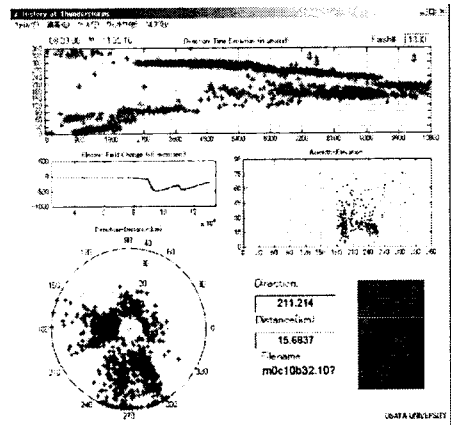


그림 11. 실시간 모니터링 소프트웨어

3. 결 론

전력연구원에 2004년 10월부터 단독 시스템을 설치 운영하고 있으며 2005년 6월중으로 두번째 시스템을 대전지역에 설치하여 3차원 측정을 시도할 계획이다. 본 광대역 시스템은 측정 반경 30 km 내외에 발생하는 낙뢰의 방전경로를 상세히 측정할 수 있으며 낙뢰 현상의 이해를 위한 연구자료의 제공은 물론 전력설비에 피해를 주는 낙뢰의 방전 형태, 침입경로 국부지형과의 관계등에 대한 상세 정보를 제공할 것으로 기대하고 있다. 한편 국부적이지만 상세한 측정 결과를 제공하므로써 운영중인 LPATS와 2005년 신규 도입되는 도달 시간차 광역 낙뢰 측정 시스템과 상호보완적인 운영으로 높은 활용이 예상된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Kenneth L. Cumminsetal, "The U.S. National Lightning Detection Network and Applications of Cloud-to-Ground Lightning Data by Electric Power Utilities," IEEE Trans. on Electrimagnetic compatibility, Vol. 40, No. 4, Nov. 1998
- [2] 절연설계신뢰도 향상을 위한 뇌격전류측정 시스템 구축에 관한 연구 중간보고서, 전력연구원 2004
- [3] R. Mardiana and Z. Kawasaki, "Broadband Radio Interferometer Utilizing a Sequential Triggering Technique for Locating Fast-Moving Electromagnetic Sources Emitted from lightning," IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol.49, No.2, April 2000