

뇌격전류 측정의 정확도에 영향을 미치는 요인

이복희*, 장근철*, 강성만*, 임주홍*, 정길조**, 심응보**, 우정욱**
 *인하대 차세대 고전압전력기술연구센터, **한국전력연구원

Factors Affected the Accuracy of Lightning Current Measuring System

B.H. Lee*, K.C. Chang*, S.M. Kang*, J.H. Eom*, K.J. Jeong**, E.B. Sim**, J.W. Woo**
 *Inha Uni. Research Center for Next-generation High voltage and Power technology, **KEPRI

Abstract - The factors affecting the accuracy of lightning current measuring system are figured out the materials and length of down-conductor, and impedance matching between grounding resistance and characteristic impedance of cable. The cable with the low characteristic impedance used to transfer the lightning current from the top of the tower is too long to measure the waveform of lightning current, exactly. Especially, the height of the tower can cause the change of front time and magnitude of lightning stroke current. Basically, in this experiment, it was found that the magnitude and rise time of the lightning current are extremely dependant in the length of down-conductor in lightning current measuring system.

변환기를 거치게 된다. 모든 설비는 기본적으로 GPS 수신기와 광센서를 이용한 트리거 모드를 가지고 있어서 동일한 조건에서 동작하여 동일 시각대의 자료를 기록할 수 있도록 설계하였다. 설비자체의 보호를 위하여 전원부 앞단에는 NCT(Noise Cut Transformer)를 기본적으로 설치하였으며, 정전시에도 측정시스템의 동작을 유지시키기 위해 무전원 장치도 설치하였다.

1. 서 론

우리나라에서 발생하는 낙뢰의 특성은 기후와 지형적 요인으로 인하여 외국에서 발생하는 낙뢰의 성질과는 다르므로 일본이나 미국 등 해외의 낙뢰자료의 차용이 아닌 국내에서 직접측정에 의한 낙뢰 파라미터에 대한 데이터의 확보와 이를 활용한 최적의 절연설계가 급선무다. 현재 운용중인 낙뢰위치표정시스템은 송전 및 변전 설비의 낙뢰에 의한 사고원인 분석과 계통운용 목적에 지속적으로 사용중에 있으나, 낙뢰자료의 연간 편차가 심하여 국내 낙뢰자료에 대한 DB의 신뢰도 확보차원에서 뇌격전류의 직접측정방식의 낙뢰데이터에 의한 전체적인 보정 작업이 필요하다. 본 논문은 유뢰철탑을 이용한 뇌격전류를 측정하는 시스템에서 동축분류기를 통해 측정된 뇌격전류의 크기와 파형에 영향을 미치는 요인에 대해 알아보았으며, 자체 제작한 조합형 임펄스 발생기를 이용하여 인하도선의 재료, 길이 그리고 특성 임피던스와 접지저항 사이에 발생하는 정·부반사 현상 및 동축분류기의 설치위치에 따라 뇌격전류 특성이 달라질 수 있는지에 대해 알아보았다.

2. 뇌격 측정장치의 개요

뇌격전류 파형의 측정은 동축분류기와 로고우스키 코일을 이용하여 측정하며, 낙뢰의 침입각을 관측하기 위하여 정지형 카메라와 CCD 카메라의 관측장비를 설치하였다. 고장 765[kV] 실증시험장에 설치되는 뇌격전류 측정시스템은 유뢰철탑 상부에 전류측정용 동축분류기와 로고우스키 코일을 장착하고 E/O 변환기를 통하여 측정된 전기적 신호를 광신호로 변환하여 광케이블로 전송한다. 광케이블은 외부로부터 침입하는 노이즈에 대하여 영향을 거의 받지 않아 뇌격전류의 측정신호를 왜곡 없이 전송하는데 효과적이다. 광케이블로 받은 신호는 O/E변환기를 거쳐 디지털 신호로 변환할 수 있는 A/D

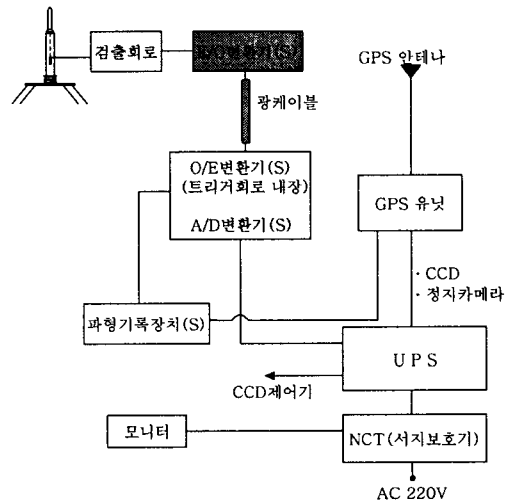


그림 1 뇌격측정 장비의 구성 및 데이터 취득 시스템의 개념도

Fig. 1 Schematic diagram of the lightning experimental set-up

2. 실험계 구성

2.1 실험장치 및 실험방법

유뢰철탑에 설치된 인하도선을 통해 측정되는 뇌격전류 측정계를 모의하기 아래 그림 1과 같이 실험계를 구성하였다. 동축 인하도선과 접지저항에 임펄스 전류를 인가하여 동축분류기를 통해 측정되는 전류는 오실로스코프로 전송된다. 사용된 장비로는 500(MHz), 2.5(GS/s) 오실로스코프와 RLC 조합형 임펄스발생기, 저항값이 1.97[mΩ]인 뇌격전류 측정용 동축분류기와 5[Hz]~100[kHz]의 동작주파수를 갖는 전류프루브를 사용하였다. 동축인하도선의 설치방법으로는 케이블의 심선과 금속시스(metal sheath)는 상단에서 본딩하지 않았고, 하단만 본딩하여 접지저항과 연결하였으며, 접지저항은 유뢰철탑의 실측된 접지저항 값으로 대지저항 분포 곡선을 이용하여 산정한 값으로 실험계에서는 인덕턴스의 영향이 없는 무유도 저항을 사용하였다.

본 연구에서 사용된 인하도선의 재료는 특성임피던스가 수[Ω]인 인하도선용 케이블과 단면적이 38[mm²]인 GV

전선, 그리고 특성임피던스가 $50[\Omega]$ 인 동축케이블을 사용하였다. 특성임피던스가 $50[\Omega]$ 인 신호전송용 동축케이블은 인하도선의 재료로는 적합하지는 않지만 인하도선의 길이에 대한 영향을 검토하기 위해 사용하였으며, 실제 설치된 케이블과 동일조건이 되도록 펼쳐서 실험하였다. 임펄스발생기의 출력전류 상승시간은 $3[\mu\text{s}] \sim 12[\mu\text{s}]$ 뇌격전류의 특성을 갖도록 하였다.

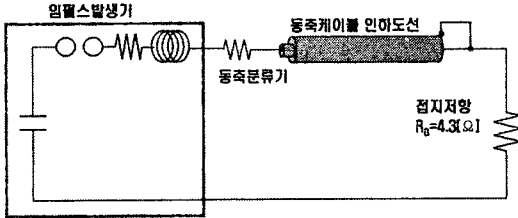


그림 2 실험회로의 개략도
Fig. 2 Schematic diagram of the experimental circuit

2.2 동축분류기의 구성

동축분류기는 전류측정용 저항으로 큰 뇌격전류를 측정하기 위해서는 작은 저항값을 가지는 금속저항을 이용하며, 보통 수 $[m\Omega]$ 정도의 저항값을 가지는 분류기를 사용하여 뇌격전류가 통과할 때 나타나는 전위차를 측정하여 뇌격전류를 산출한다. 분류기의 임피던스가 순수한 저항값으로 이루어져 있을 경우 분류기 양단에 나타나는 전위차는 뇌격전류의 파형과 동일한 위상을 가지게 되며 측정된 전위차를 저항값으로 나누어준 값이 뇌격전류가 되는 것이다. 따라서 분류기는 여러장의 도전성 금속판으로 구성되어 내부인덕턴스를 최소화하는 구조로 되어 있다. 그림 3은 저항이 $1.97[m\Omega]$ 인 뇌격전류 측정용 동축분류기의 사진과 분류기 내부회로도이다.

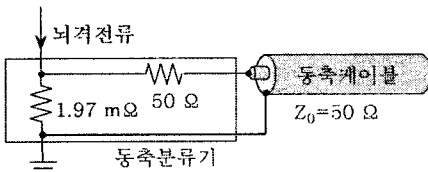
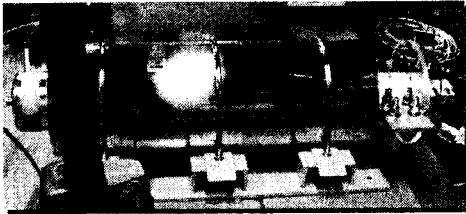


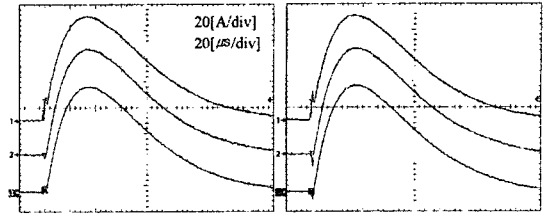
그림 3 분류기의 외관 및 내부회로
Fig. 3 Appearance and internal circuit of shunt resistor

3. 결과 및 검토

3.1 동축분류기의 위치에 따른 전류파형의 변화

분류기의 설치위치는 임펄스전류 파형에는 커다란 영향을 주지 못하기 때문에 설치 위치는 상·하단 모두 가능할 것으로 보인다. 그림 4에는 동일한 임펄스전류를 $150[m]$ 길이의 동축 인하도선에 인가시 동축분류기를 상단과 하단에 설치한 경우와 전류프루브로 측정된 파형

을 비교한 그림이다.

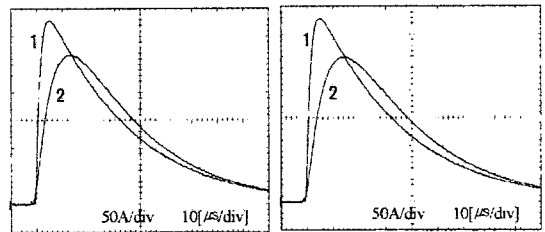


1: 동축분류기 전류
2: 전류프루브(상단)
3: 전류프루브(하단)
(a) 동축분류기 상단설치시 (b) 동축분류기 하단설치시

그림 4 동축분류기의 위치에 따른 전류파형
Fig. 4 Current waveform according to the position of coaxial shunt resistor

3.2 동축 인하도선과 GV전선 비교

그림 5에는 동축 인하도선과 GV전선을 인하도선으로 사용시 인하도선을 설치하지 않았을 때와 비교한 파형이다. 유리철탑에 설치된 동축 인하도선의 특성임피던스 효과는 GV전선과 비교시 큰 차이가 없다. 그림 5의 파형은 동축 인하도선이 GV전선과 같이 특성임피던스를 갖는 케이블이 아닌 인덕턴스와 저항을 갖는 인하도선으로 사용된 것으로 생각할 수 있다. 동축 인하도선의 경우 전류의 상승시간이 GV전선의 경우 $8.5[\mu\text{s}]$ 인 반면에 $7.8[\mu\text{s}]$ 로 보다 빠르게 나타났으며, 크기 감소폭도 작은 것을 알 수 있다.



(a) 동축피뢰도선 (b) GV전선 38[mm]

그림 5 인하도선의 재료에 따른 임펄스전류 파형
Fig. 5 Waveforms of impulse current according to the type of down-conductor

3.3 인하도선의 길이에 따른 영향

그림 6에는 동축 인하도선의 길이에 따라 전류파형이 변화하는 양상을 보여주고 것으로 사용된 도선의 재료로는 특성임피던스가 $50[\Omega]$ 인 신호전송용 케이블로 대체하여 실험을 수행하였다. 케이블 길이가 $50[m]$ 의 경우 케이블을 설치하지 않은 경우보다 크기가 반으로 줄어듦고, 상승시간 역시 $2.7[\mu\text{s}]$ 의 상승시간을 갖는 전류가 인입시 $13[\mu\text{s}]$ 로 상승시간이 변하는 것을 보여준다. 이것은 케이블이 자체 특성임피던스를 갖는 선로로 작용한 것이 아니라 저항성분과 임피던스 성분을 갖는 도체임을 보여주는 것으로 생각된다. 인하도선의 길이가 $100[m]$ 와 $150[m]$ 인 경우 인덕턴스와 저항성분이 커져 전류의 크기 감소폭 및 전류의 파두부분이 확연히 늘어지는 것을 알 수 있다.

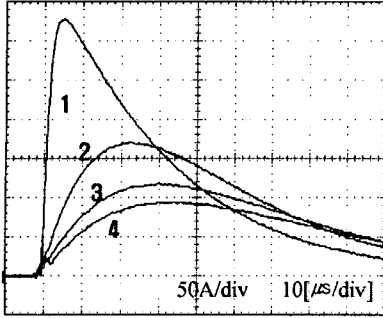
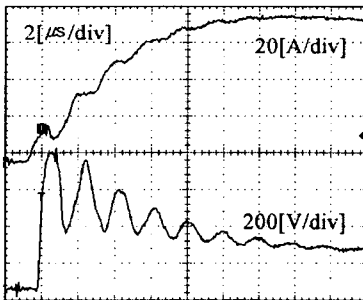


그림 6 인하도선의 길이에 따른 전류파형
Fig. 6 Current waveform according to the length of coaxial down-conductor

실제 유뢰철탑의 높이가 140(m)임을 감안하면 인하도선의 길이의 영향으로 측정된 뇌격전류 고유특성이 변하게 된다. 이에 인하도선의 영향으로 왜곡된 전류는 IEC가 제시하는 방법에 의해 보정될 수 있을 것으로 생각된다.⁽¹⁾⁽²⁾

3.4 인하도선의 접속방법에 따른 영향

유뢰철탑에 설치된 인하도선은 특성임피던스 수(Ω)을 가지는 동축케이블 인하도선으로 상단은 심선과 금속실드선이 분리되어 있고, 끝단은 심선과 금속실드선을 본딩하여 접지저항에 연결되었다. 하지만, 동축케이블의 하단을 접지전극과 본딩하지 않으면 케이블의 캐패시터에 의해 그림 7에 나타난 바와 같이 전류파형은 대단히 변형된다. 따라서, 뇌격전류 측정회로의 구성은 파형의 측정에 대단히 중요한 요소이다.



(상) 측정전류
(하) 종단저항 양단에 나타난 전압

그림 7 동축 인하도선을 접지전극에서 본딩하지 않은 경우 전류와 접지전위파형
Fig. 7 Waveforms of the impulse current and ground potential rise with not bonding at the ground electrode

3. 결 론

뇌격전류의 측정시 뇌격전류의 전류파형에 영향을 미치는 요인을 평가하기 위해 임펄스 전류발생장치와 대전류 측정용 동축분류기를 이용해 측정된 결과를 분석한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 동축분류기를 통해 측정된 파형은 동축분류기의 위치와는 무관하였다.

(2) 인하도선으로 사용된 동축케이블 인하도선은 자체 특성임피던스를 가지고 있지만 수 μ s의 상승시간을 가지는 임펄스전류에 대해서는 특성임피던스를 갖는 케이블로 작용한다고 볼 수 없었다.

(3) 뇌격전류의 파형과 크기는 측정계의 인하도선의 길이 영향이 대단히 크기 때문에 정확한 뇌격전류 파형의 측정을 위해서는 인하도선의 복원 특성에 대한 검토가 이루어져야만 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] E. Pan and Ah Choy Liew, "Effect of Resistance on Lightning Return Stroke Current", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.15, No.1, 2000
- [2] "High-voltage test techniques", Part 4, IEC, pp3 9~44
- [3] 백용현, 이복희, "전력전송공학", 보성문화사, pp.208~218, 1996