

# Crowbar 장치를 이용한 최초 단시간뇌격전류 발생기술 및 뇌격전류발생기 개발

(Development of Lightning Current Generator and Technology for Generating the First Short Stroke Lightning Current Using a Crowbar Device)

엄주홍\* · 이태형 · 권기량 · 조성철\*\*

(Ju-Hong Eom · Tae-Hyung Lee · Ki-Ryang Kwon · Sung-Chul Cho)

## Abstract

This paper presents a technical study for the first short stroke lightning current generator using a crowbar device. The so-called crowbar-technology is most common to make 10/350[ $\mu$ s] impulse currents with high amplitude, and the lightning current generator with crowbar device has an economic advantage than the nominal RLC current generator. But both the operating efficiency and the operating reliability of crowbar spark gap are very important to design the current generator. So, the peaking circuit which consists of small capacitors and a spark gap is applied. And the multi-step coil for controlling the circuit constant at the different test conditions is used. The presented test facility is designed to perform impulse tests with amplitudes up to 50[kA] of 10/350[ $\mu$ s].

Key Words : Crowbar, Peaking Circuit, First Short Stroke Current, Lightning

## 1. 서 론

최근 들어 전 세계적으로 낙뢰의 피해가 증가하면서 지구의 온난화와 낙뢰의 상관관계에 대한 연구가 많이 진행되어 오고 있다. 낙뢰와 온도와의 관계를 살펴보면, 대지 표면이 1[ $^{\circ}$ C] 증가할 때 낙뢰는 10~100[%] 증가하는 것으로 나타났다[1]. 지구 온난화의 영향으

로 낙뢰의 발생빈도가 증가함에 따라 낙뢰에 의한 피해가 증가하고 있다. 특히 직격뢰에 의해서 건축물 외형의 파괴뿐만 아니라 건축물 내부의 전자·전기기기 피해까지 발생하여 경제적인 손실도 지속적으로 증가하고 있는 추세이다.

피뢰시스템에 대한 IEC 62305 표준에서는 직격뢰의 피해를 줄이기 위한 피뢰시스템의 일반적인 사항을 기술하고 있다[2]. 피뢰시스템에는 수뢰부시스템, 인하도선시스템, 접지시스템 그리고 내부피뢰의 서지보호장치(SPD)등을 포함한 다양한 요소들로 구성되어 있다. 각각의 피뢰시스템 요소들은 직격뢰에 대한 적합한 성능을 갖추고 있어야 피뢰시스템으로 적용이 가능하다. 따라서 피뢰시스템의 요소들은 IEC 62305

\* 주저자 : 기초전력연구원 책임연구원  
\*\* 교신저자 : 기초전력연구원 선임연구원  
Tel : 02-885-9443, Fax : 02-883-0827  
E-mail : canfeel@snu.ac.kr  
접수일자 : 2010년 10월 27일  
1차심사 : 2010년 10월 29일  
심사완료 : 2010년 11월 17일

표준에서 언급되는 최초 뇌격전류 크기 혹은 뇌격전류의 분류율이 적용된 전류 크기에 대한 기계적·전기적 성능을 확보해야할 필요가 있다.

피뢰시스템 요소들에 대한 신뢰성을 확보하기 위해서는 실제 최초 뇌격전류를 모의할 수 있는 발생기가 필요하다. 일반적으로 임펄스전류발생기는 RLC 회로를 기반으로 하여 제작되지만, 10/350[μs]의 최초 뇌격전류를 발생시키기 위해서는 매우 큰 용량의 콘덴서와 저항이 필요하게 된다. IEC 62305에서는 이러한 경제적 측면을 고려하여 작은 용량의 RLC 회로에서도 크로바(crowbar) 장치를 적용하여 최초 뇌격전류를 발생시킬 수 있는 방법을 기술하고 있다. 이미 해외의 임펄스발생기 제작 회사들은 200[kA] 이상의 최초 뇌격전류 발생기 제작 기술을 보유하고 있어, 피뢰시스템의 요소들에 대한 성능 테스트를 진행하고 있는 실정이다[3-5]. 반면에 국내에서는 IEC 62305 표준을 국내 표준으로 도입하는 근래에 들어서야 최초 뇌격전류발생기의 필요성을 인식하고 있다. 국내에서는 크로바 장치를 이용한 뇌격전류 발생기에 대한 기술이 전무하여 전적으로 장비를 수입하고 있는 실정이다. 따라서 피뢰시스템의 세계 시장에 뛰어들기 위해서는 독자적인 발생기술 확보를 위한 연구가 선행되어야 한다.

이에 본 논문에서는 IEC 62305 표준에서 제시하고 있는 크로바 장치를 이용한 최초 뇌격전류발생기를 구현하기 위한 기초 기술을 제시하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 최초 뇌격전류발생기의 동작 원리

일반적인 RLC 회로를 이용한 임펄스발생장치는 8/20[μs]의 표준 뇌임펄스 전류파형과 같은 작은 에너지양을 갖는 파형을 발생하기에 많이 사용된다. 직격뢰 전류파형에서 최초 뇌격전류파형인 10/350[μs] 파형은 단순히 RLC 회로로만 구현하기에는 공간적으로나 경제적으로 많은 제약이 따른다. IEC 62305에서는 크로바 장치를 이용한 최초 뇌격전류발생기를 제시하고 있는데[2], 이 때 사용된 크로바 스파크갭이

뇌격전류발생 기술의 핵심 요소이다. 크로바 스파크갭은 3개의 전극으로 구성되는데, 2개의 주 전극과 주 전극을 동작시키기 위한 보조 전극이 있다. 크로바 스파크갭의 역할은 각각의 전류 파두부 형성 회로와 파미부 형성 회로를 일시적으로 전기적 도통 상태로 만들어준다[6].

크로바 장치를 이용한 임펄스전류발생기 회로도도 그림 1에 나타내었다. PART 1의 회로에 의해서 전류의 파두시간을 결정하는 진동성 전류파형이 발생하며, 전류 피크값에서 크로바 스파크갭을 동작시켜 PART 2 회로에 의한 파미부의 전류파형이 발생된다.

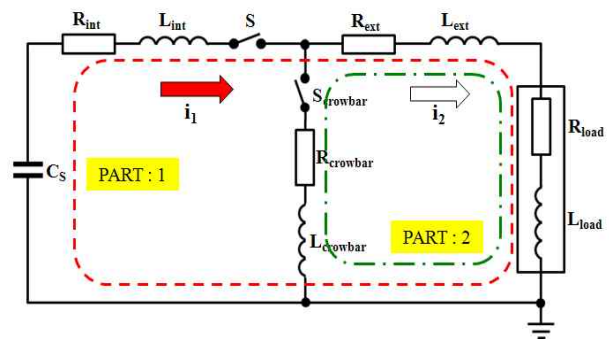


그림 1. 크로바 장치를 이용한 임펄스전류발생기 회로도  
Fig. 1. Schematic of impulse current using a crowbar device

그림 1의 PART1에서 스위치 S가 닫혔을 때, RLC 회로의 전류  $i_1$ 은

$$i_1 = \frac{U_{ch}}{wL} \cdot \sin(wt) \cdot e^{-\frac{R}{2L}t} \quad (1)$$

이며, 여기에서  $R = R_{int} + R_{ext} + R_{load}$ ,  $L = L_{int} + L_{ext} + L_{load}$ 이다. 식 (1)은  $R < 2\sqrt{L/C_s}$ 의 조건일 때 만족하는 수식으로 진동하는 과제동(over damped) 전류이다. 과제동 전류를 만족하는 회로를 구현하는 이유는 상승시간이 10[μs] 내외이며, 높은 전류 피크값을 갖는 전류파형을 발생시킬 수 있기 때문이다. 첫 번째 전류 피크값이 나타나는 시간에 크로바 스파크갭 S\_crowbar가 닫히면, PART 2의 회로가 만들어지면서  $L_{ext}$ 에 축적된 역기전력이 소스가 되어 전류가 흐르게

된다. 이 때 흐르는 전류  $i_2$ 는

$$i_2 = U_{ch} \sqrt{\frac{C_s}{L}} e^{-\frac{R_c}{2L_{ext}}(t-T_0)} \quad (2)$$

이며,  $R_c = R_{ext} + R_{load} + R_{crowbar}$ ,  $T_0$ 는 크로바 스파크갭이 동작하는 시간이다.

식 (1)의  $i_1$ 과 크로바 스파크갭이 동작하였을 때의 식 (2)의  $i_2$ , 두 전류를 합치면 그림 2의 전류파형이 된다.  $T_0$ 일 때 진동성 전류파형은 피크값을 가지며, 이 때 크로바 스파크갭이 동작한 것을 알 수 있다.

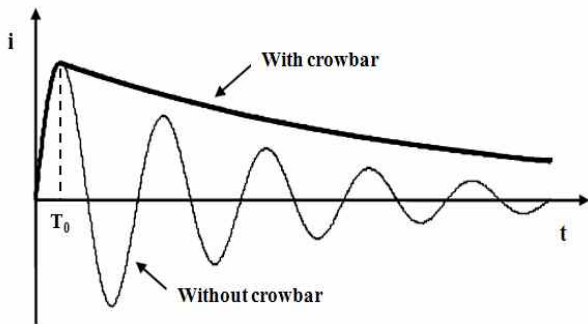


그림 2. 크로바 장치 유무에 따른 전류 파형  
Fig. 2. Current waveforms with and without a crowbar device

얇은 선으로 표시된 파형은 크로바 스파크갭이 동작하지 않았을 때 발생된 진동성 전류파형이며, 굵은 선으로 표시된 파형은 크로바 장치가 동작하여 발생된 지수함수적으로 감소하는 전류파형이다. 크로바 장치에 의해 그림 2의 굵은 선으로 표시된 최초 뇌격전류 파형이 만들어질 때, 크로바 스파크갭의 동작시간  $T_0$ 가 뇌격전류파형의 파라미터를 결정하는 중요한 요소가 된다.  $T_0$ 는 콘덴서  $C_s$ 의 전압이 영이 되는 시간 즉, 전류의 피크값이 나타나는 시간을 의미하며, 식 (3)과 같다.

$$T_0 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{C_s}{L}} \quad (3)$$

크로바 스파크갭의 동작시간  $T_0$ 의 변화에 따른 뇌

격전류 파라미터의 영향을 그림 3에 나타내었다. 크로바 스파크갭이  $T_0$ 에서 동작하면 파미시간(time to half value)은  $T_2$ 가 되어 길게 나타나지만,  $T_0$  이후의  $T_0'$ 에서 동작했을 때 파미시간이  $T_2'$ 로 급격히 줄어든다. 따라서 크로바 스파크갭이  $T_0$ 에서 정확히 동작하는 것이 뇌격전류 발생기의 중요 기술이 된다.

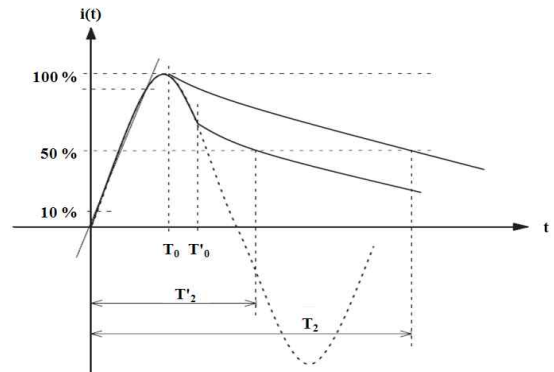


그림 3. 크로바 스파크갭의 동작 시간  $T_0$ 에 따른 전류 파미시간  
Fig. 3. Time to half value of current according to the time  $T_0$  of firing the crowbar sparkgap

## 2.2 크로바 스파크갭의 동작 회로

크로바 스파크갭을 동작시키기 위해서는 주 갭 사이에서 절연파괴가 일어날 수 있는 임펄스전압을 외부에서 인가해 주어야 한다. 보통 150[kV] 이상의 1.2/50[ $\mu$ s] 뇌임펄스전압파형을 사용하는데, 크로바 스파크갭을 원하는 시간에 정확히 동작시키는데 한계가 있다. 동작 성공률을 높이기 위해서 회로에 포함되어 있는 인덕턴스를 줄여 전류 상승시간을 증가시키는 방법이 있지만, 구성된 기본 회로에서 인덕턴스를 줄이는데 많은 제약이 따른다. 이러한 문제점을 보완하면서 크로바 스파크갭을 효과적으로 동작시킬 수 있는 것이 피킹(peaking) 회로이다[7]. 피킹 회로는 임펄스 발생기에서 빠른 상승시간을 가지는 전류 또는 전압을 얻기 위해서 사용되어지는 방법으로 주로 EMP(electromagnetic pulse)발생기에 사용된다. 피킹 회로는 피킹 커패시터  $C_p$ 와 피킹 갭  $S_p$ 를 본래의 회로에 적용하여 구성하며 그림 4와 같다.

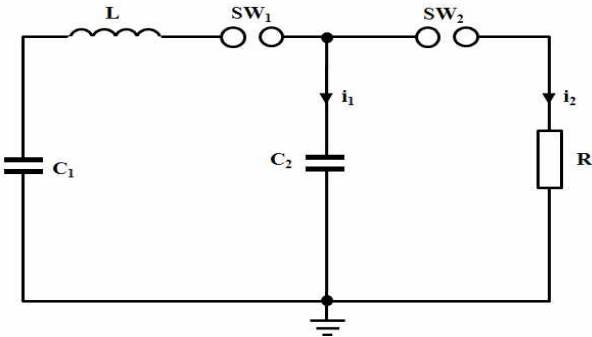


그림 4. 피킹 회로와 임펄스전류발생기  
Fig. 4. Impulse current generator with peaking circuit

피킹 회로는 Marx 발생기의 끝단에 용량이 작은 커패시터  $C_p$ 와 부하 앞단에 스파크 갭  $S_p$ 를 설치함으로써 완성된다. 일반적으로 피킹 콘덴서  $C_p$ 는 임펄스전류발생기의 콘덴서  $C_1$ 보다 매우 작은 값( $C_p \ll C_1$ )을 갖는다[8]. 작은 인덕턴스값을 갖는 피킹 커패시터  $C_p$ 는 시작 스위치  $S$ 가 닫힌 이후 메인 커패시터 뱅크  $C_1$ 이 방전될 때 급속히 충전된다. 이 때 시작스위치가 닫힌 이후의 오실레이션 때문에  $C_p$ 는  $C_1$ 의 충전전압보다 더 높은 전압까지 충전된다.  $C_p$ 는 피킹 갭  $S_p$ 가 동작하면서 부하를 통해 방전되고, 빠른 상승시간과 높은 피크값을 갖는 전류파형이 발생하게 된다.

### 2.3 크로바 스파크갭의 동작 시뮬레이션

피킹 회로를 제작할 때 제일 중요한 것은 피킹 효과가 높은 회로를 구하는 것이다.  $C_1$ 과  $C_p$ 의 관계, 그리고  $R$ 의 값에 따라 피킹 회로의 효과가 달라지기 때문에 최적의 피킹 효과를 갖는 회로를 찾기 위해서 Pspice로 시뮬레이션하였다. 피킹 회로에서 메인 커패시터( $C_1$ )와 피킹 커패시터( $C_p$ )가 피킹 효과에 직접적인 관계가 있기 때문에  $C_1$ 을 고정한 후  $C_p$ 를 변화시키면서 분석하였다.  $C_1=1.5[\mu\text{F}]$ ,  $R=100[\Omega]$ ,  $L=1[\mu\text{H}]$ , 부하는  $1[\text{m}\Omega]$ 으로 설정하고,  $C_p$ 의 값을  $1[\text{nF}]$ 에서  $4[\text{nF}]$ 까지 변화시켰다. 그림 4의 회로를 이용하여 Pspice로 시뮬레이션 한 결과를 그림 5에 나타내었다.

피킹 커패시터  $C_p$ 가 증가함에 따라 전류의 피크값이 증가하는 것을 확인할 수 있다.  $C_p$ 가  $4[\text{nF}]$ 일 때 피

킹 회로가 없는 경우보다 전류 피크값은 4배 이상이 되었다. 또한 전류파형의 상승시간이  $200[\text{ns}]$  이하로 작기 때문에 크로바 스파크갭의 동작 성공률을 높일 수 있다.

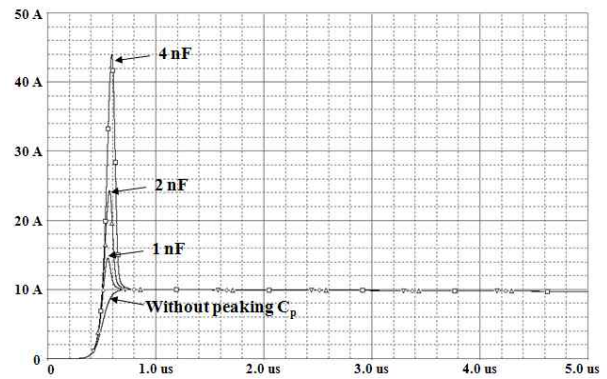


그림 5.  $C_p$ 값의 변화에 따른 전류파형  
Fig. 5. Current waveforms by changing the value of peaking capacitor

다른 분석조건으로  $R$ 의 저항값을 선택하여,  $C_1$ 과  $C_p$ 가 각각  $1.5[\mu\text{F}]$ 과  $2[\text{nF}]$ 으로 고정된 상태에서 시뮬레이션 하였다. 그림 4에서 저항  $R$ 은 최초 임펄스전류파형에 직접적으로 영향을 주는 요소로서 임계값보다 작아지게 되면 피킹 효과가 사라지게 된다. Pspice 시뮬레이션에서는 저항을  $20[\Omega]$ 에서  $1,000[\Omega]$ 까지 변화시키면서 피킹 효과에 대한 전류 파형을 그림 6에 나타내었다.

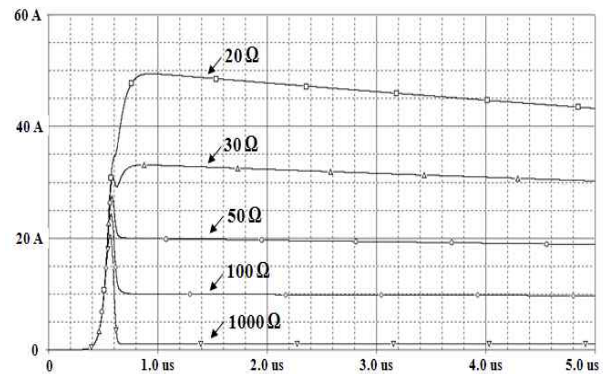


그림 6. 저항값의 변화에 따른 전류파형  
Fig. 6. Current waveforms by changing the value of resistor

시뮬레이션 결과, 저항값이 30[Ω] 이하일 때 피킹 효과에 의한 전류파형이 최초 임펄스전류파형의 피크값보다 작아져 피킹 회로의 효과가 사라지게 된다. 또한 저항값이 1,000[Ω]인 경우 피킹 효과는 높지만 최초 임펄스전류의 크기가 작기 때문에 실제 크로바 스파크갭을 동작시키기 위한 에너지가 작아지게 된다. 따라서 높은 피킹 효과를 얻기 위해서는 적용되는 회로에 따라 저항값을 50[Ω]~수 백 [Ω] 범위 내에서 설정하여 회로를 구현하는 것이 바람직하다.

### 2.4 회로정수에 따른 전류파형의 파미부 변화

최초 뇌격전류의 파미부는 크로바 스파크갭이 동작한 이후의 회로에 의해서 형성되는 것을 확인했다. 식 (2)에서 전류  $i_2$ 는 커패시터 용량, 커패시터의 충전전압 그리고 감쇠시정수와 밀접한 관계를 지니고 있다. 식 (2)에 의하면 전류  $i_2$ 는 커패시터의 충전전압과 커패시터 용량에는 비례하고, 감쇠시정수와는 지수함수적으로 반비례함을 알 수 있다. 따라서 전류  $i_2$ 의 파미시간은 감쇠시정수에 의해서 가장 크게 영향을 받게 된다. 따라서 크로바 스파크갭이 진동성 전류의 피크값에서 동작 되어도 시정수가 작으면 350[μs]의 파미시간을 만족할 수 없다.

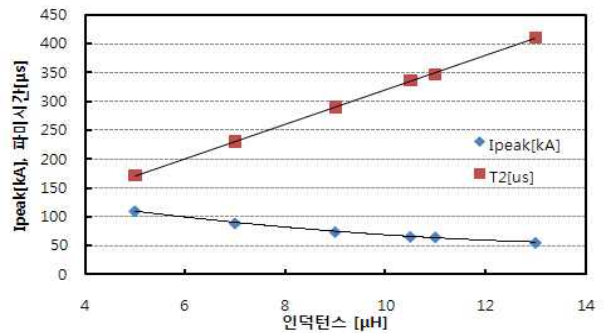
식 (2)에서  $i_2$ 의 감쇠시정수  $\tau$ 는

$$\tau = \frac{L_{ext} + L_{load} + L_{crowbar}}{R_{ext} + R_{load} + R_{crowbar}} \quad (4)$$

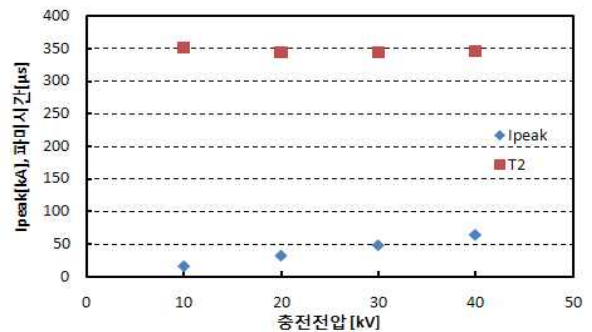
이다. 부하와 크로바 장치의 인덕턴스와 저항은 고정된 값을 갖는다고 가정할 수 있다. 또한 외부 인덕터의 저항값은 인덕턴스값의 변화에 따라 크게 변하지 않는다. 따라서 최초 뇌격전류발생회로 상에서 감쇠시정수와 가장 큰 관계가 있는 것이 외부 인덕턴스  $L_{ext}$ 가 된다.

외부 인덕턴스값과 커패시터의 충전전압 변화에 따른 전류 피크값과 파미시간에 대한 영향을 Pspice로 분석하여 그림 7에 나타내었다. 그림 7 (a)를 보면 수식 (2)와 (4) 같이 인덕턴스 값이 증가할수록 파미시간

도 함께 증가하는 것을 알 수 있다. 하지만 인덕턴스 값이 증가할수록 전류 피크값은 감소하였다. 그 이유는 식 (1)에서 전류  $i_1$ 은 인덕턴스와 반비례의 관계가 있기 때문에 전류 피크값은 감소하게 된다. 따라서 인덕턴스에 따른 파미시간과 전류 피크값의 상관관계를 고려하여 외부 코일의 인덕턴스를 선정해야 한다.



(a) 인덕턴스



(b) 커패시터의 충전전압

그림 7. 실험 조건에 따른 전류피크와 파미시간  
Fig. 7. Current peak value and time to half value by changing the condition of test

그림 7 (b)에서 커패시터의 충전전압이 증가할수록 전류 피크값은 증가하였지만, 전류의 파미시간은 거의 일정하였다. 충전전압이 증가할수록 에너지양이 증가하여 전류 피크값이 증가하게 되었다. 또한 전류 파미시간의 감쇠시정수를 나타내는 식 (4)에서 충전전압과는 상관없이 때문에 충전전압 변화에 따른 전류 파미시간은 일정하다. 시뮬레이션 분석 결과, 인덕턴스 값의 작은 변화에도 전류파형의 파미시간이 크게 영향을 받는 것을 확인하였다. 이 사실로부터 외부 인

덕터는 최초 뇌격전류파형을 만족하는 인덕턴스값을 작은 범위 단위로 선택할 수 있도록 제작되어야 한다는 것을 알 수 있다.

### 2.5 크로바 장치를 이용한 뇌격전류발생기 제작

그림 1의 최초 뇌격전류발생기 회로에서 크로바 장치에 해당하는 크로바 스파크갭과 피킹 회로를 그림 8과 같이 제작하였다.

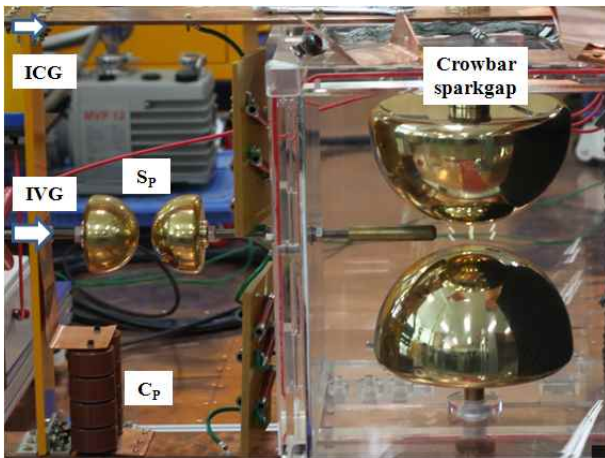


그림 8. 크로바 스파크갭과 피킹 회로  
Fig. 8. Crowbar sparkgap and peaking circuit

임펄스전류발생기의 커패시터  $C_s$ 는 11[uF], 외부 인덕턴스는 약 7[uH], 부하 임피던스는 무부하로 가정하였다. 피킹 커패시터  $C_p$ 는 내압 50[kV]의 2.1[nF] 8개를 직병렬로 연결하여, 전체 200[kV] 내압의 1[nF] 피킹 커패시터를 만들었다. 임펄스전압발생기(IVG)의 출력저항은 100[Ω]으로 선정하였다.

또한 피킹 갭과 3전극으로 구성된 크로바 스파크갭을 각각 제작하였다. 3개의 전극으로 구성되어 있는 크로바 스파크갭의 동작 순서는 상부 전극과 중간전극이 먼저 동작한 이후에 상부전극과 하부전극이 동작하여 전기적으로 연결된다. 따라서 차례로 크로바 스파크갭이 동작하도록 하는 것이 중요하다. 크로바 스파크갭의 동작 순서는 전극 사이의 간격을 조정하여 결정한다. 이 때 상부~중간전극의 이격거리가 하

부~중간전극의 이격거리보다 반드시 짧아야 상부와 중간전극 사이에 절연파괴가 먼저 발생한다. 그리고 전극의 간격은 임펄스전류발생기(ICG)의 충전전압이 증가함에 따라 비례하여 증가시켜야 한다. 충전전압을 증가시키고 전극 간격을 그대로 유지하는 경우, 임펄스전류발생기 자체만의 회로(PART:1)에 의한 진동성 전류파형에 의해서 크로바 스파크갭이 동작하는 경우가 발생할 수 있다.

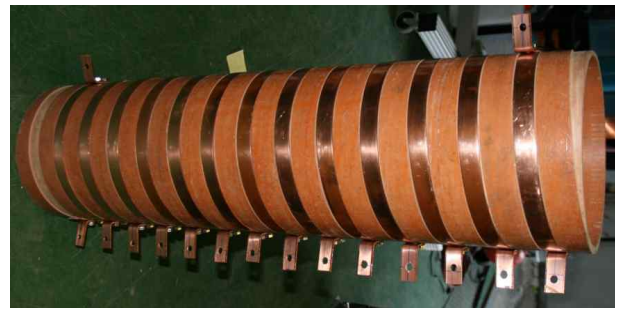


그림 9. 다단 외부 코일  
Fig. 9. Multi-stage external coil

최초 뇌격전류의 파미시간을 실험 조건에 상관없이 쉽게 조절할 수 있도록 외부 코일을 제작하였다. 코일 제작에는 휠러(Wheeler) 공식을 이용하여[9], 보빈의 직경, 도체의 길이, 감김 횟수 등을 고려하여 실린더형 코일을 설계하였다. 발생시키고자 하는 최소 전류 피크값을 10[kA]라고 했을 때, Pspice 시뮬레이션 결과 11[uH]의 인덕턴스가 필요하였다. 따라서 11[uH]의 인덕턴스 값이 되도록 코일의 직경과 감김 횟수를 정하여 코일을 제작하였다. 또한 10[kA] 이상의 최초 뇌격전류파형을 얻기 위해서 다양한 인덕턴스를 얻을 수 있도록 다단으로 설계하여 제작하였으며, 그림 9에 나타내었다. 전체 14턴의 코일은 각 턴 수마다 연결 단자가 있어서 전류 크기 혹은 커패시터의 충전전압에 따른 전류파형 파라미터를 만족할 수 있는 인덕턴스를 선택할 수 있다.

PART 1의 전류  $i_1$  발생회로(ICG), 크로바 장치 그리고 크로바 장치를 동작시키기 위한 임펄스전압발생기(IVG)를 이용하여 제작한 최초 뇌격전류 발생기는 그림 10과 같다. IVG와 ICG의 커패시터를 충전시키기

위한 각각의 충전장치와 전압을 측정할 수 있는 분압기, 그리고 전류를 측정할 수 있는 분류기로 이루어져 있다. 그리고 발생한 전압과 전류파형을 측정하고 분석할 수 있는 프로그램을 제작하였다.

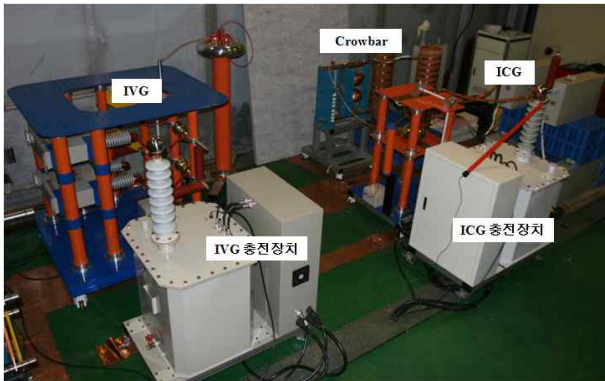


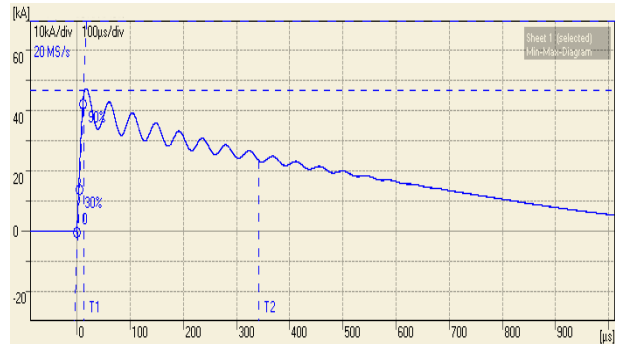
그림 10. 최초 단시간뇌격전류 발생기  
Fig. 10. First short stroke lightning current generator

## 2.6 크로바 장치를 이용한 뇌격전류발생기 제작

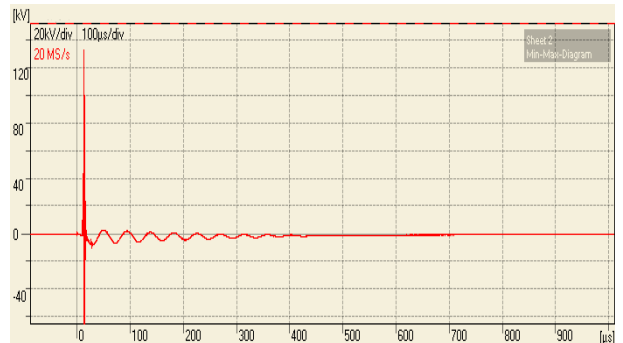
그림 10의 크로바 장치를 적용한 최초 뇌격전류 발생기를 이용하여 실험한 결과, 그림 11과 같은 10/350  $[\mu s]$  전류파형을 얻었다. 그림 11 (a)의 전류파형은 최초 뇌격전류파형이며, (b)의 파형은 크로바 스파크갭이 동작했을 때의 임펄스전압발생기 출력단에서의 전압파형을 나타낸다. 그림 11 (b)의 전압파형에서는 크로바 스파크갭이 동작한 시간을 알 수 있다.  $t=0$ 일 때, 진동성 전류파형의 첫 번째 전류 피크값에서 크로바 스파크갭이 정확히 동작하여 파미시간이 긴 전류파형을 발생시켰다. 발생한 전류 파형의 파미시간은 그림 1에서 외부 인덕턴스( $L_{ext}$ )값과  $C_s$ 의 충전전압 크기를 변화시키면서 조절이 가능하다. 또한 전류 피크값 이후 진동하는 부분은 제동저항( $R_{int}$ )을 통하여 최소화할 수 있다.

다양한 조건으로 실험한 결과, 커패시터  $C_s$  (11 $[\mu F]$ )에 50[kV]의 충전전압으로 10/350 $[\mu s]$  50[kA]를 발생시킬 수 있었다. 이 때 RLC만의 회로로 구성된 임펄스전류발생기로 최초 뇌격전류 50[kA]를 얻기 위해서

는  $C_s$ 와 동일한 용량의 콘덴서가 약 50개가 필요한 것을 Pspice 시뮬레이션 결과 확인할 수 있었다.



(a) 최초 뇌격전류 파형



(b) 크로바 스파크갭의 트리거 파형

그림 11. 최초 뇌격전류발생기의 측정 파형  
Fig. 11. Measured waveforms of first lightning current generator

## 3. 결 론

본 논문에서는 IEC 62305 표준에서 기술하고 있는 크로바 장치를 이용한 최초 단시간 뇌격전류발생기 개발에 대한 내용을 제시하였다. RLC 회로에 의한 임펄스발생장치와 비교했을 때, 크로바 장치를 이용한 최초 뇌격전류발생기는 경제적으로 큰 이점이 있기 때문에 용량이 큰 뇌격전류 발생에 자주 사용된다. 크로바 장치를 이용한 발생기에서 가장 중요한 것은 크로바 스파크갭 동작의 신뢰성이다. 크로바 스파크갭의 동작의 효율성과 신뢰성을 향상시키기 위한 방법으로 소용량 커패시터와 스파크 갭을 이용한 피킹 회

로가 적용되었다. 외부 임펄스전압발생기회로에 함께 적용되는 피킹 회로의 동작 효과를 높일 수 있는 회로를 제시하였다. 또한 크로바 장치의 성공적인 동작을 위해서 크로바 스파크갭의 동작 순서와 커패시터 충전전압을 고려한 크로바 스파크갭 사이의 간격 조절에 대한 방법을 제시하였다. 또한 발생되는 전류 크기에 따른 회로정수 변화에 쉽게 대처할 수 있도록 다단 코일을 제작하여 전류 발생의 효율성을 높였다. 본 연구에서 제작된 발생기로 최초 단시간 뇌격전류 10/350[ $\mu$ s]를 50[kA]까지 발생시켰다. 또 향후에는 더 큰 전류용량과 전류 피크 이후의 진동성 파형을 최소화 할 수 있는 연구를 수행할 계획이다.

#### 감사의 글

본 연구는 2008년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(과제번호 : 2008T100100164)

#### References

- [1] Colin Price, "Thunderstorms, Lightning and Climated Change", 29th International Conference on Lightning Protection, 2008.
- [2] IEC 62305, "Protection against lightning-Part 1: General principles", International Electrotechnical Commission, 2006.
- [3] Caldwell, M., Martinez, L.E., "The Sandia Lighting Simulator: recommissioning and upgrades", Electromagnetic compatibility, 2005.
- [4] Gamlin, M., "Impulse current testing", Lightning Protection Forum, 2004.
- [5] Wetter M., Scheibe K., "Test Facility for Lightning Current Capability Testing of Surge Protective Devices", 29th International Conference on Lightning Protection, 2008.
- [6] Xueling Y., Jingliang C., Wei S., "Investigation on 10/350 Crowbar Pulse Current Circuit", Plasma Science and Technology, Vol.12, No.4, 2010.
- [7] S.T. Pai, Qi Zhang, "Introduction to High Power Pulse Technology", Advanced Series in Electrical and Computer Engineering, Vol. 10, 2003.
- [8] John L. Harrison, "Solution of peaking equation for finite storage capacitor size", Circuit and Electromagnetic System Design Notes, Note 32, 1973.
- [9] Harold A. Wheeler, "Inductance Formulas for Circular and Square Coils", proceeding of the IEEE, Vol.70, No.12, 1982.

#### ◆ 저자소개 ◆



##### 엄주홍(嚴柱弘)

1972년 9월 5일생. 1998년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 기초 전력연구원 책임연구원.

Tel : (02)885-9443

Fax : (02)883-0827

E-mail : eommas@snu.ac.kr



##### 이태형(趙成哲)

1978년 6월 21일생. 2004년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2006년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 기초 전력연구원 선임연구원.

Tel : (02)885-9443

Fax : (02)883-0827

E-mail : thlee@snu.ac.kr



##### 권기량(權岐亮)

1983년 9월 12일생. 2007년 8월 숭실대 공대 전기공학과 졸업. 2009년 8월 한양대 학원 전기공학과 졸업. 현재 기초전력연구원 연구원.

Tel : (02)885-9443

Fax : (02)883-0827

E-mail : krtwon@snu.ac.kr



##### 조성철(趙成哲)

1977년 12월 16일생. 2003년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2005년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 기초 전력연구원 선임연구원.

Tel : (02)885-9443

Fax : (02)883-0827

E-mail : canfeel@snu.ac.kr