

충격전류발생기 개발

A Study on the Development of Impulse Current Generator

최영욱, 조연옥, 변승봉

한국전기연구소

▲ 충격전류발생기

최고발생전류 : 150kA (4/10 μ s)

발생파형 : 1/20, 8/20, 4/10 μ s

총 에너지 : 66.5KJ

1. 서 론

전력계통에서 이상전압으로부터 전력기기를 보호하는 장치로서 피뢰기는 절연협조에서 절대 필요한 요소이며 이 피뢰기는 비 직선형 저항과 직렬 간극으로 구성된 것과 (Gap type), 직렬 간극을 사용하지 않은 비직선형 금속 산화물로 된 (Gapless type) 두 종류가 있다.

Gap type 피뢰기는 종래부터 국내 송배전 계통에 쓰여 왔으며 Gapless type 피뢰기는 국내에서 2년전부터 일부의 배전계통을 채택하여 설치하기 시작했다. Gapless type 피뢰기는 이상전압에 대하여 계통을 보호할 수 있는 능력이 Gap type보다 우수하여 현재 가격이 20~30% 높음에도 불구하고 실 계통에 설치되고 있는 것이 세계적인 추세이다. 이에 따라 국내에서도 Gapless type 피뢰기의 관심이 높아져 가고 있으나 현재 피뢰기 핵심소자인 ZnO를 해외에서 도입하는 실정이고 이 소자의 성능을 시험할 수 있는 시험설비도 없으므로 국내에서 Gapless type 피뢰기를 설치하여 계통운용 능력을 확보

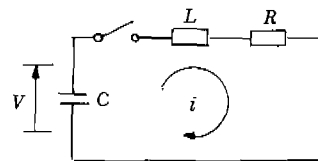
하는 데 한계성이 있는 것이 현실이다.

그러므로 전기연구소에서는 충격전류발생기 (피뢰기 시험설비)를 개발하게 되었고 개발의 완료에 따라 피뢰기의 시험능력 확보와 피뢰기의 소자개발의 중요한 여건을 갖추었다. 또한 국내의 고전압분야 시험설비의 개발기술을 축적하였다는 데 그 의의를 찾을 수 있다 하겠다.

2. 충격 및 구형파 전류발생회로

가. 충격전류발생 기본회로

충격전류발생 기본회로는 R, L, C 직렬회로이며 그림 1과 같다.



〈그림 1〉 충격전류발생 기본회로

그림 1에서 식 1을 구할 수 있고 충격전류파형의 형성은 R, L, C의 조절, 즉 임피던스의 조절로서 됨을 알 수 있다.

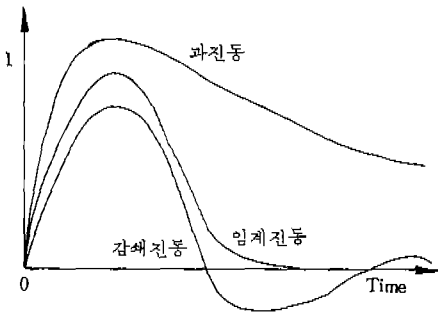
$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt = 0 \quad (1)$$

식 1은 3가지 진동조건에 따라 각각 해가 구해지며 표 1에 그 해를, 그림 2에 각각 진동조건에 해당하는 파형을 도시하였다.

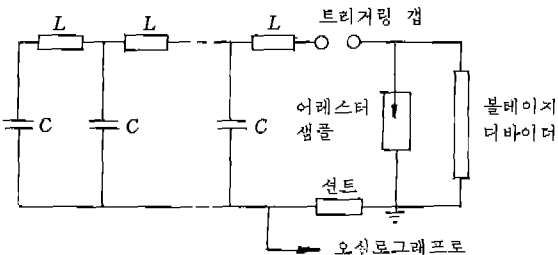
〈표 1〉 진동조건에 따른 전류파형

	과진동	감쇄진동	임계진동
진동조건	$\frac{1}{LC} < \frac{R^2}{4L^2}$	$\frac{1}{LC} > \frac{R^2}{4L^2}$	$\frac{1}{LC} = \frac{R^2}{4L^2}$
전류 $i(t)$	$\frac{V}{\omega L} e^{-t} \sin \omega t$	$\frac{V}{\omega L} e^{-\alpha t} \sin \omega t$	$\frac{V}{L} t e^{-\alpha t}$
$t(\max)$ 최대치의 시간	$\frac{1}{\omega} (\ell n \sqrt{1 + \frac{\omega}{\alpha}} - \ell n \sqrt{1 - \frac{\omega}{\alpha}})$	$\frac{1}{\omega} \tan^{-1} \frac{\omega}{\alpha}$	$\frac{1}{\alpha}$

위 식에서 $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$, $\alpha = \frac{R}{2L}$



〈그림 2〉 진동조건에 따른 3가지 파형



〈그림 3〉 구형파발생 기본회로

나. 구형파 전류발생장치의 기본회로

구형파 전류의 발생은 펄스 형성회로 혹은 미리 충전된 동축 케이블을 이용하여 할 수 있지만 보통은 펄스 형성회로를 이용하여 구형파 발생장치로 사용하며 그 회로는 그림 3과 같다.

식 2는 그림 3에 대한 구형파의 파고 지속시간을 나타내고 L, C는 각 단에 인덕턴스 커패시턴스 값이며 n은 단수이다.

$$t = 2(n-1)\sqrt{LC} \quad (2)$$

3. 설계기준

본 개발연구에 적용한 피뢰기 시험규격은 IEC TC 37(1986. 4)이며 그 내용은 표 2, 3, 4와 같다.

가. 충격전류파형

〈표 2〉 충격전류파형 설계기준

피뢰기등급	파형 (μs)	전류, kA
2,500A	1 / 20	2.5
	8 / 20	5.0
	4 / 10	25.0
5,000A	1 / 20	5.0
	8 / 20	10.0
	4 / 10	40.0
10,000A	1 / 20	10.0
	8 / 20	20.0
	4 / 10	65.0

나. 구형파 전류파형

(1) 2,400 μs 구형파

표 3에서 서지 임피던스는 식 3과 같이 나타낸다.

$$Z = \frac{\text{충전전압}}{\text{단락전류}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3)$$

본 설계시 정격전압은 6kV로 되고 따라서 서지 임피던스는 7.8 Ω 이 되며 단락전류는 2,153A로 된다.

〈표 3〉 2,400 μ s 구형파 설계기준

피뢰기 등급	선로방전 등급	서지임피던스 (Z)	파고지속 시간	충전 전압
10,000	3	1.3UR	2400 μ s	2.8UR

UR : 정격전압

(2) 1,000 μ s, 500 μ s 구형파

〈표 4〉 1,000, 500 μ s 구형파 설계기준

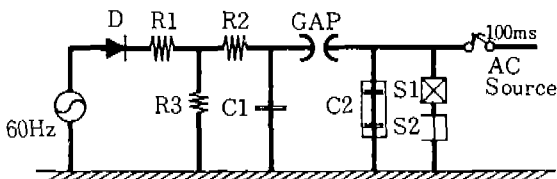
피뢰기등급 (A)	전류파고치 (A)	파고지속시간 (μ s)
5,000	75	1,000
2,500	50	500

4. 충격전류 발생기 시스템의 구성

충격전류 발생기 (피뢰기 시험설비)의 구성은 기본요소라 할 수 있는 저항, 커패시터, 인덕턴스 성분과 직류전원 (충전장치), 전압측정장치 (분압기), 전류측정장치 (Shunt), 구조물, 방전갭 (Spark Gap), Trigmatron, 교류전원장치 등으로 이루어진다.

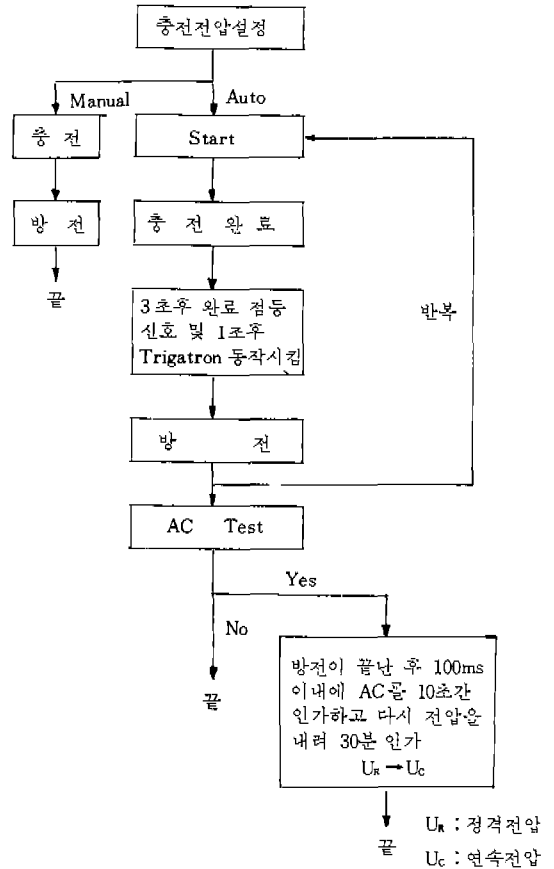
그리고 이들을 피뢰기 시험순서에 따라 순차적으로 동작시키는 제어반이 필요하게 된다. 그림 4는 충격전류 발생기의 전체 구성도를 나타내고 그림 5는 제어흐름도를 나타내며 충전방식은 SCR 제어로 하였다.

본 개발연구에서는 커패시터 및 분압기를 제외한 설비를 국내기술로 설계 제작을 했다는 데 큰 의의가 있다 하겠다. 충격전류 발생기 시스템



- D : Diode
- R1 : 1st Current Meas
- R2 : Charging Resistor
- S1 : Test Specimen
- R3 : Charging Volt. Divider
- C1 : Charging Capacitor
- C2 : Voltage Divider
- S2 : Shunt

〈그림 4〉 충격전류 발생기 계통도



〈그림 5〉 제어 흐름도

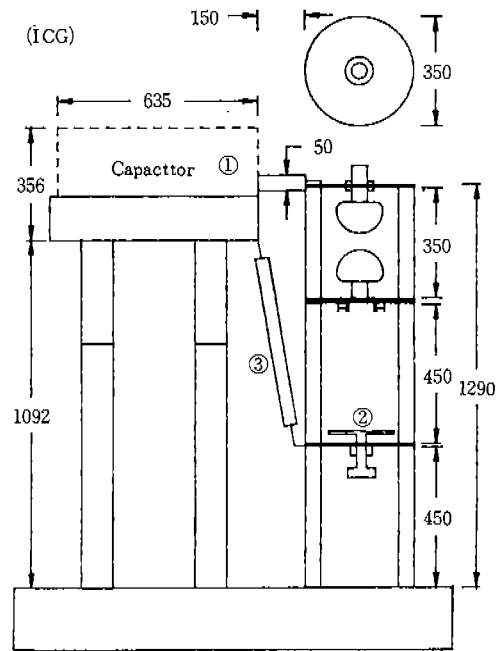
를 구성하는 요소를 표 5에 나타냈으며 개발품 및 구입품을 명시하였다.

표 5의 내용중 개발품의 하나인 방전 갭을 그림 6에 나타내었다. 이 방전 갭은 시험시 3 Coulomb의 막대한 전하량이 흐르기 때문에 이에 내구력이 있는 재료인 동-텅스텐 합금으로 제작하였다.

또한 충격전류 발생기 시스템의 구조물은 3개로 이루어져 있는데, 그 중 1/20, 4/10, 8/20 μ s의 3가지 파형을 발생시키는 장치의 구조물은 각각 제작하지 않고 하나의 구조물로 설계하여 각각의 파형에 해당되도록 5개의 커패시터 (1.3 μ F 1개, 3 μ F 4개)를 병렬 조합하여 사용할 수 있도록 경제적으로 설계하였다. 그림 7에서 이 구조물의 커패시터 1개에 대한 정면도

〈표 5〉 충격전류 발생기 구성요소

시 스템	내 용
측정장치	1. Shunt 100kA, 20MHz 제작 (개발품) 2. 분압기 400kV 구입 (HAEFELY) 3. 50Ω 측정 케이블 구입 (금성전선)
Trigatron	1. 방전 갭 100kV, 150kA 제작 (개발품) 2. Pulse 전압 발생장치 제작 (개발품) 3. Surge Protector 제작 (개발품)
충전장치	100kV, 50kVA, 1, 2A 제작 (개발품)
인덕턴스	1. 5~0.2mH, 20kV, 2500A 제작 (개발품) 2. 2~0.3mH, 50kV, 1000A 제작 (개발품)
구조물	1. 충격전류파형 구조물, 제작 (개발품) 2. 구형파 전류파형 구조물 2조 제작 (개발품)
제어반	SCR 자동제어 시스템 제작 (개발품)
AC Power	40kV, 1kVA 제작 (개발품)
커패시터	3μF, 1.3μF, 11μF 구입 (MAXWELL)
파형조정용 저항	1, 2, 3, 4, 5Ω 무유도성 제작 (개발품)



- ① 커패시터가 좌우로 이동되어 갭쪽에 탄착하도록 되어 있음
- ② 피뢰기 설치장소
- ③ 파형조정저항

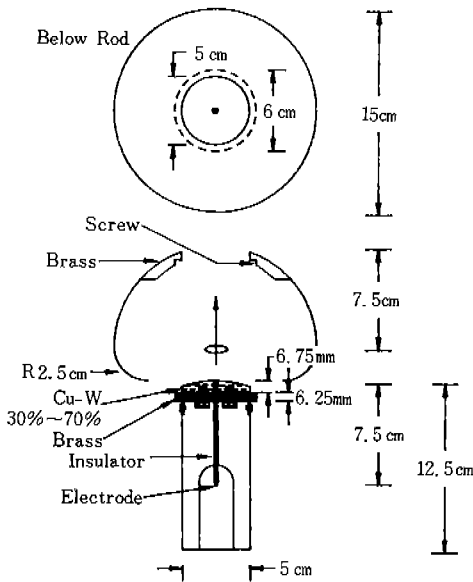
〈그림 7〉 구조물 도면 (정면도)

5. EMTP에 의한 모의 결과

본 연구에서는 파형 설계시 EMTP 프로그램을 이용하였다. 표 2, 3, 4의 설계 기준에 대

〈표 6〉 구형파 설계에 대한 인덕턴스 값 (mH)

단 수	인덕턴스 값		
	2,400μs	1,000μs	500μs
1	1.4	3.4	1.3
2~5	0.862	2.0	0.5
6	0.743	1.9	0.5
7	0.743	1.8	0.5
8	0.743	1.8	0.5
9	0.743	1.7	0.5
10	0.652	1.7	0.4
11	0.652	1.6	0.4
12	0.652	1.6	0.4
13	0.652	-	-
14	0.375	-	-
15	0.2	-	-



〈그림 6〉 방전 갭

를 나타내었고, 커패시터는 좌우로 레일 위에서 움직이게 되어서 방전 갭쪽으로 탈부착하게 되어 있다 (완성 사진 참조). 나머지 2개의 구조물은 2400μs용, 그리고 1000, 500μs용이다.

하여 각각 모의하여 적절한 결과를 얻을 수 있었다. 2,500A와 10,000A 피뢰기 소자에 대하여 EMTP로 도출한 결과는 그림 8~16과 같다. 각 그림에서의 회로정수 및 충전전압은 그림 상단에 명시하였다(편집자 주: 그림 8~16은 지면판 제작 생략).

그림 8~16의 내용은 IEC TC 37 파형 규정에 적합하고 그림 14~16의 구형파의 각 단계에 대한 인덕턴스 값은 표 6에 나타내었다.

2,400 μ s 구형파는 11 μ F 커패시터 15단으로 설계하였고 1,000, 500 μ s 구형파는 1.3 μ F 커패시터 12단으로 설계하였다.

6. 설계 제작에 따른 충격전류의 실제 출력파형

설계 및 제작의 완료로 실제 제작된 충격전류 발생기에서 발생한 각각의 전류파형을 그림 17~25에 나타내었다. 시험은 2,500A와 10,000A 피뢰기 소자에 대하여 하였으며 EMTP 모의 결과와 거의 같았다.

7. 제작된 충격전류 발생기의 모습

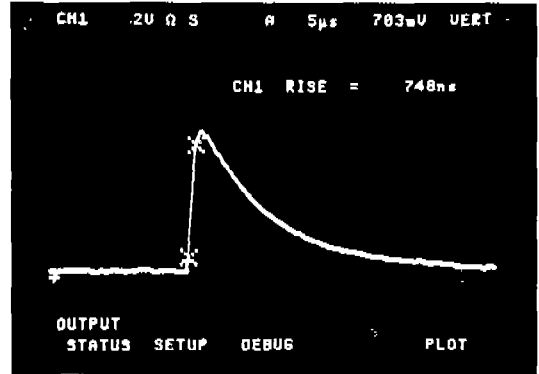
표제사진과 그림 26~28에 제작 완료된 충격전류 발생기를 나타내었다. 표제사진은 충격전류 파형 발생기이고, 그림 26은 2,400 μ s 구형파 전류 발생기, 그림 27은 1,000, 500 μ s 구형파 전류 발생기, 그림 28은 제어반이다.

8. 결론

본 연구는 충격전류 발생기 개발을 목표로 하여 1988. 8~1989. 9 기간동안 진행하였고 최종 결과로서 다음의 사항들은 국내의 고전압기술 발전에 크게 기여하였다고 믿는다.

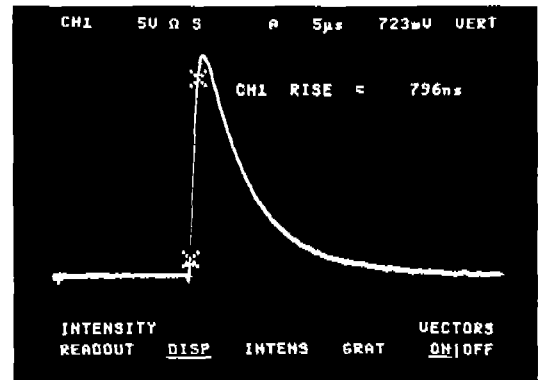
- (1) 충격전류 발생기 설계 제작기술을 확립하였다.
- (2) 충격전류 발생기의 개발로 국내에서도 피

가. 1/20 μ s, 2.5kA



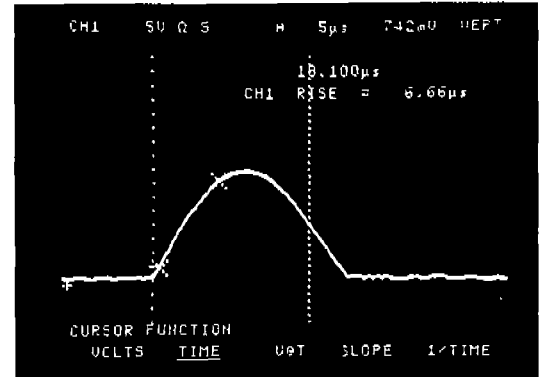
〈그림 17〉 발생된 1/20 μ s, 2.5kA 충격전류
5 μ s/div
800A/div

나. 1/20 μ s, 10kA



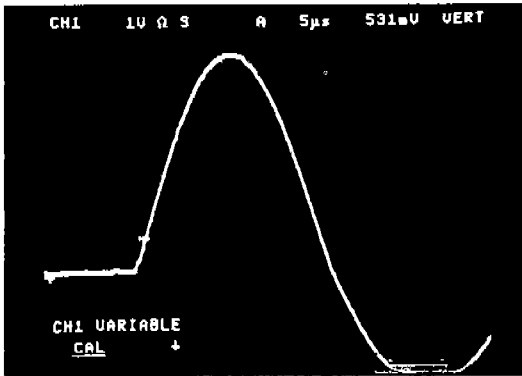
〈그림 18〉 발생된 1/20 μ s, 10kA 충격전류
5 μ s/div
2,000A/div

다. 8/20 μ s, 5kA



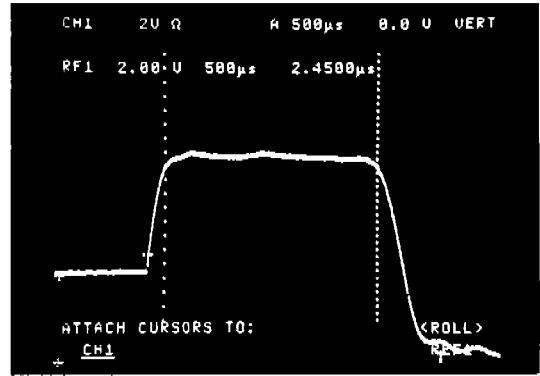
〈그림 19〉 발생된 8/20 μ s, 5kA 충격전류
5 μ s/div
2,000A/div

라. $8/20\mu s$, 20kA



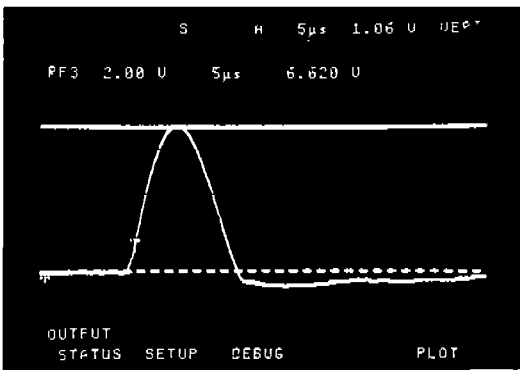
〈그림 20〉 발생된 $8/20\mu s$, 20kA 충격전류
 $5\mu s/div$
 $4,000A/div$

사. $2,400\mu s$, 2,153A



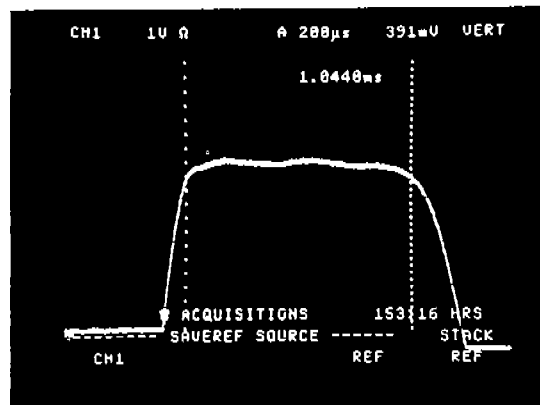
〈그림 23〉 발생된 $2,400\mu s$ 구형파전류

마. $4/10\mu s$, 25kA



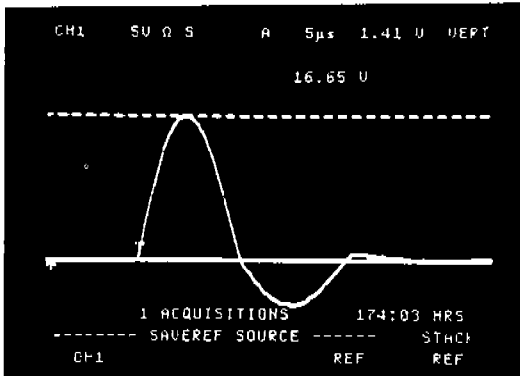
〈그림 21〉 발생된 $4/10\mu s$, 25kA 충격전류
 $5\mu s/div$
 $8,000A/div$

아. $1,000\mu s$, 75A



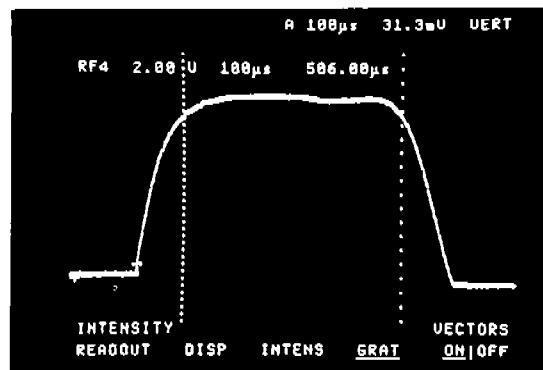
〈그림 24〉 발생된 $1,000\mu s$ 구형파전류

바. $4/10\mu s$, 65kA

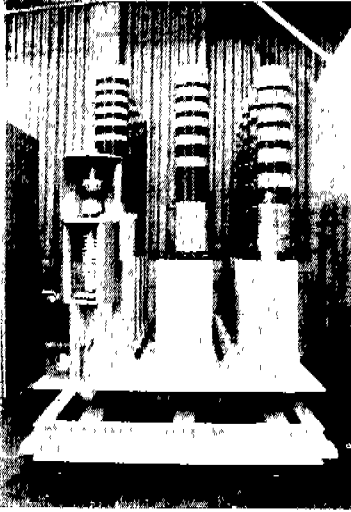


〈그림 22〉 발생된 $4/10\mu s$, 65kA 충격전류
 $5\mu s/div$
 $20,000A/div$

자. $500\mu s$, 50A

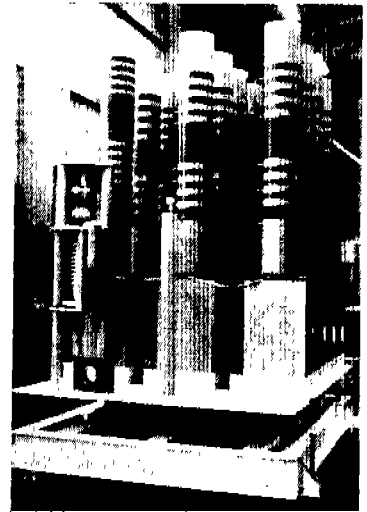


〈그림 25〉 발생된 $500\mu s$ 구형파전류



파고지속시간 : 2,400 μ s
 단락 임피던스 : 7.8 Ω
 총 에너지 : 300KJ

〈그림 26〉 구형파 전류발생기



파고지속시간 : 1,000, 500 μ s
 발생전류 : 75, 50A
 총 에너지 : 78KJ

〈그림 27〉 구형파 전류발생기

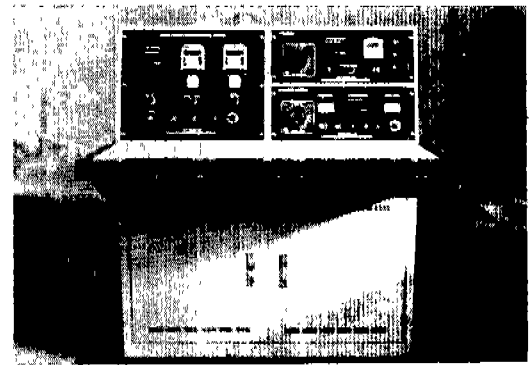
퇴기의 충격전류 시험을 할 수 있게 되었고 국내의 피뢰기 산업체에 기술적, 경제적 도움을 줄 수 있다.

(3) 국내의 기술로 충격전류 발생기 시스템을 개발함에 따라 이에 따른 고전압기술의 주요 분야인 측정, 차폐, 방전 갭, 트리거 펄스 발생장치, 충전장치, 인덕터, 저항, 시스템 콘트롤, 컴퓨터 등의 기법 등의 여러 분야의 기술발전을 가져 왔다.

(4) 충격전류 발생기 시스템 도입시 12억 6천만원의 비용이 소요되나 1억 4천만원으로 개발함에 따라 11억원의 외화를 절감하였다.

(5) 국내에서 피뢰기 핵심 연구분야인 ZnO 소자개발의 중요한 여건을 갖추었다.

(6) 해외에도 소개하여 부가가치가 높은 수출상품이 될 수 있다.



〈그림 28〉 충격전류발생기 제어반

(7) 본 연구결과외의 기술적용 분야로서 1) 고전압 관련기기 2) 펄스 형성회로(Pulse Forming Network) 3) Railgun(전자력 가속총) 4) Laser 전원장치 5) 가속기(Accelerator) 6) X-ray 등의 첨단기기 개발이 있다.

[참고문헌]

[1] IEC TC 37(1986. 4)
 Part3 : Metal Oxide Surge Arresters without Gaps for A. C. System
 [2] M. E. VAN VALKENBURG
 "Network Analysis" 3rd Edition Chapter6
 [3] M. Modrusan

"Normalized Calculation of Impulse Current Circuits for Given Impulse Current."
 HAEFELY, EI-34, 1976

[4] 日本電氣學會
 "고전압시험 핸드북" 1983. pp119-137