

**보조 전류원 커패시터 뱅크를 가지는 LC공진회로를 이용한  
아크발생 실험장치에 관한 연구**

강중성, 박홍대, 이방욱, 서정민  
LG산전(주) 전력연구소

**Arc Generation Facility with Auxiliary Current Source  
Using LC Resonance Circuit**

J.S. Kang, H.T. Park, B.W. Lee, J.M. Seo  
Electrotechnology R&D Center, LG Industrial Systems Co., Ltd.

**Abstract** - It is necessary to install the arc generation facility to obtain the important technology for the design of breakers and switches, and the improvement of their performance and reliability. With this facility it is possible to study the characteristics of Arc in air/gas/vacuum insulation environment

The arc generation facility briefly consists of capacitor bank which can charge enormous energy, an air-core reactor, and several measurement equipments. This facility can simulate the arc phenomena in breakers and switches by means of generating high currents. In order to the protect electrode damage during the arcing time in arc extinguishing chamber, we installed auxiliary current source in addition to main capacitor bank. This auxiliary current source produces relatively small arc between electrodes before high current generation by main capacitor bank. Therefore it is possible to observe and measure the arcing phenomenon without damage of electrodes.

와 같이 발전기를 사용하여 필요한 대전류와 고전압을 발생시키는 것이 아니고 콘덴서의 방전현상과 LC 공진 회로를 이용하여 필요한 대전류를 순간적으로 생성시키는 설비이다. 그래서 본사의 직접 시험설비는 대용량 단락 및 부하시험에 용이하고 본 연구에서 제작한 아크발생 실험장치는 각종 소호부 연구/개발에 용이하다. 아래 표는 두 장치의 서로 비교한 표이다.

| 아크발생 실험장치  | 직접 시험설비  |
|--|--|
| 전류원 콘덴서<br>리액터<br>방전저항<br>시퀀스 타이머 등              | 단락발전기<br>단락변압기<br>한류 리액터<br>부하설비 등                             |
| 개발 실험중 현상확인 및<br>관찰용이<br>소비전력이 아주 적음<br>유지보수가 용이 | 규격시험 인증가능<br>단상, 3상 시험이 용이<br>시험용량 증대 용이<br>주변설비에 영향을 주지<br>않음 |

표 1 아크발생 실험장치와 직접설비의 비교

**1. 서 론**

차단기 및 개폐기의 설계, 성능 및 신뢰성의 향상에 필요한 핵심기술을 확보하기 위해서는 air/gas/vacuum 중에서의 아크현상 및 특성연구가 필요한데, 이를 위해서 아크발생 실험장치가 필수적이다.

이 아크발생 실험장치의 기본적인 구성은 충분한 에너지를 충전할 수 있는 커패시터 뱅크(capacitor bank)와 공기심리액터(air-core reactor) 및 측정시스템으로 구성되어 있는데, 짧은 시간에 대전류를 발생시켜 차단기 및 개폐기에 고장전류에 의한 아크를 모의한다. 즉, 커패시터가 방전하는 동안 실험 챔버가 열리면 챔버에 대전류 아크가 발생하게 된다.

또한 본 아크발생 실험장치는 주전류원 커패시터 뱅크 외에 보조전류원 커패시터 뱅크를 만들어 주아크를 발생시키기 전에 상대적으로 작은 대전류 아크를 먼저 발생시킨 다음, 곧이어 주아크를 발생시키는 구조로 되어 있어, 아킹 초기에 아크현상에 의한 전극의 손상을 최대한 억제한 상태에서 두 전극사이의 아킹현상을 관찰할 수 있다. 이는 기존의 합성설비의 원리를 이용한 아크발생 실험과 달리 실험챔버에 삽입된 소호부 전극구조의 아크 소호현상을 전극의 손상 없이 측정 가능하게 하여 소호부 설계 초기단계에 이용될 수 있다.

**2. 본 론**

**2.1 아크발생 실험장치와 직접 시험설비**

본 실험장치는 현재 본사에서 건설중인 직접 시험설비

**2.2 LC 공진회로**

아크발생 실험장치의 기본적인 회로는 LC 공진회로이며 그림 1과 같다.

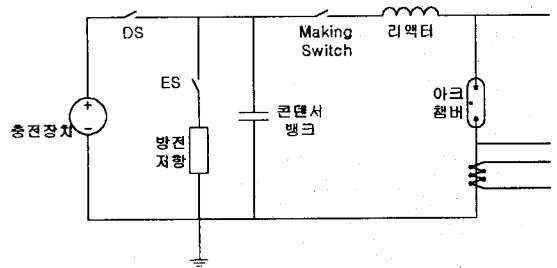


그림 1 합성설비의 LC 공진회로

그림 1에서 콘덴서뱅크는 일정 전압으로 전류원에 의해 충전되어 원하는 전압에 이르면 자동적으로 전류원과 연결이 끊어진다. 콘덴서 충전이 끝나면 시퀀스타이머가 작동되어 일련의 회로동작이 자동적으로 작동하게 된다.

LC 공진회로의 전류와 주파수는 커패시턴스C와 인덕턴스L 및 초기 콘덴서뱅크 전압  $V_c$ 에 의해 결정된다.

먼저 아크전압과 회로의 저항성분을 무시하면 아크전류  $i$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$L \frac{di}{dt} + \frac{q}{C} = 0$$

$$L \frac{d^2i}{dt^2} + \frac{i}{C} = 0$$

위의 미분방정식을 정리하여 아크전류  $i$ 는

$$i = V_c \sqrt{\frac{C}{L}} \sin\left(\sqrt{\frac{1}{LC}} t\right)$$

또한 주파수  $f$ 는 아래와 같이 결정되고 본 실험장치에  
서는 60Hz를 이용하였다.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

또한 처음에 무시했던 회로저항  $R$ 을 고려한 경우 회  
로는 다음과 같은 식으로 표현되며

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R i \frac{dq}{dt} + \frac{1}{c} q = 0$$

이 미분방식의 해는  $R < 2\sqrt{L/C}$ 의 경우, 초기조건  
으로서  $t=0$ 에서  $q=Q=CV_c$  및  $i=0$ 을 주면

$$v(t) = \frac{Q}{\sqrt{1 - \frac{R^2 C}{4L}}} e^{-\gamma t} \sin(\omega t + \theta)$$

$$i(t) = \frac{2Q}{\sqrt{4LC - R^2 C^2}} e^{-\gamma t} \sin(\omega t)$$

$$\cong V_c \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot e^{-\gamma t} \sin(\omega t)$$

단,  $\gamma = \frac{R}{2L}$ ,  $\omega^2 = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}$ ,  $\cot \theta = \frac{\gamma}{\omega}$  이다.

이 회로는 가능한 한 전류의 감쇄를 작게 할 필요가  
있는데, 전류의 감쇄율은 선로저항  $R$ 이 작으면 근사적  
으로 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta = \log_e \frac{I_n}{I_{n+1}} = \gamma \frac{\pi}{\omega} \cong \frac{\pi}{2} R \sqrt{\frac{C}{L}}$$

### 2.3 보조전류원을 가지는 LC 공진회로

현재 설치중인 아크발생 실험장치는 기본적으로 합성  
설비의 대전류회로 즉 LC 공진회로를 이용하고 있는데,  
본 실험장치는 완제품의 시험을 위한 설비가 아니라, 제  
품의 설계 단계에서 각종 차단기 소호부의 아킹현상을  
관찰하여 아크전압·전류, 압력, 온도등 여러 가지 파라  
미터를 측정하고 또한 소호부의 차단성능을 테스트하는  
실험장치이다. 그래서 실험시료가 되는 소호부 전극이  
초기에 대전류를 의한 아킹현상에 손상을 입지 않은 상  
태에서, 전극 고유의 차단성능 및 파라미터를 측정할 필  
요성이 있다.

초기의 대전류 아킹현상에 전극의 손상을 막기 위해  
실험시료에 대전류를 흘리기 전에 초기에 상대적으로 작  
은 전류를 먼저 흐르게 한 상태에서 실험시료의 두 전극  
을 개리시켜 아크를 발생시킨다. 두 전극사이에 아크가  
발생된 이후에 주전류인 대전류를 실험시료에 흐르게 하  
여 전극 손상을 막으며 원하는 실험을 할 수 있는 구조  
이다.

그림 2는 보조전류원을 가지는 변형된 LC 공진회로  
를 나타낸다.

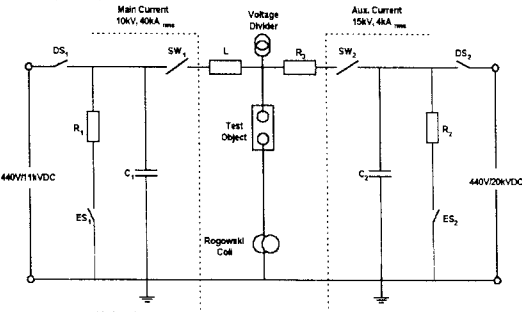


그림 2 보조전류원을 가지는 LC 공진회로

위 회로의 동작순서는 다음과 같다.

1. 주전류원 충전 :  $R_c \rightarrow DS_1 \rightarrow C_1$
2. 사고시 방전 :  $C_1 \rightarrow R_1 \rightarrow ES_1$
3. 보조전류원 :  $C_2 \rightarrow SW_2 \rightarrow R_3$ (저항가변)  $\rightarrow T.O.$
4. 주전류원 :  $C_1 \rightarrow SW_1 \rightarrow L \rightarrow T.O.$
5. 실험 Sequence :  $C_2 \rightarrow SW_2 \rightarrow R_3 \rightarrow T.O. \rightarrow 1$   
Cycle 후  $\rightarrow C_1 \rightarrow SW_1 \rightarrow L \rightarrow T.O.$

그림 3은 위의 회로를 EMTP에서 시뮬레이션 했을  
때 보조전류원에 의한 전류와 주전류원 회로에 의한 전  
류가 중첩된 파형이다. 또한 그림 4는 초기전류 파형을  
확대한 그림이다. EMTP 해석은,

SW2는  $t=0[s]$ 에서 ON.  
SW1은  $t=10[ms]$ 에서 ON.  
SW1과 SW2는 계속해서 ON상태를 유지.  
콘덴서는 각각 10kV, 20kV로 충전.  
리액터는 0.5mH.  
T.O.를 0.01 ohm의 저항으로 모의.  
보조전류원 측의 충전저항은 10 ohm

여기서 Test Object를 0.01 ohm로 모의했는데, 이  
는 아크의 도전을  $\sigma$ 일 때 아크저항  $R$ 은,

$$R = \frac{L}{\sigma S} \text{ 을 이용해 구하였다.}$$

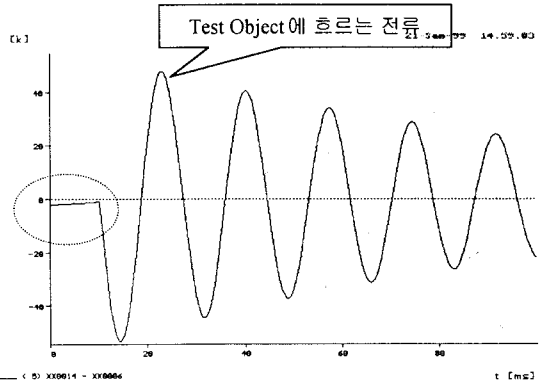


그림 3 보조전류원을 가지는 LC 공진회로 전류파형

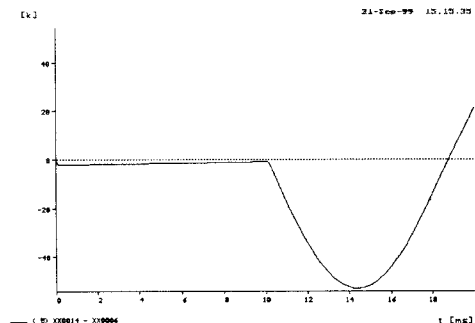


그림 4 초기전류 파형 확대도

### 2.4 아크발생 실험장치

아크발생 실험장치의 기본적인 구성은 충분한 에너지  
를 충전할 수 있는 커패시터 뱅크와 공심리액터와 방전  
저항기, 측정장비등으로 구성된다. 표 2는 실험설비의  
각 설비별 사양을 나타내며, 그림 5는 아크발생 실험장  
치의 배치도를 나타낸다.

접지는 접지저항이 3Ω정도인 설치건물의 접지와 0.5  
Ω정도인 시험소 접지를 각각 이용하였는데, 측정장비는  
시험소 접지를 이용하고, 측정시스템을 제외한 다른 설

비들의 접지는 설치건물 접지를 이용하였다. 또한 콘덴서 충전장치용 전원과 각종 측정장비의 전원을 완전히 서로 분리하여 실험도중 이상전압이 측정장치에 가해지지 않도록 하여 측정장치의 안전을 도모하였으며, 측정장비는 모두 설드룸에 배치하여 측정에 다른 외란을 막았다. 실험도중 연결선과 각 설비에 흐르는 대전류로 인해 각 설비 혹은 연결 케이블이 움직이는 것을 막기 위해 바닥에는 앵커공사를 하였으며, 실험장치 주변의 안전을 위해 벽을 제외한 실험장치의 외관에 콘덴서가대 높이만큼 펜스를 설치하였다.

실험을 중단하고 충전된 콘덴서를 안전하게 방전시키기 위해 방전저항기를 설치하였으며, 원거리에서 간단히 푸쉬버튼을 누름으로써 콘덴서의 에너지가 방전저항을 통해 접지로 소산되게 하였다.

| 설비              | 사양  |
|-----------------|---|
| Condenser       | 150 $\mu$ F, 11kVDC, 1 $\emptyset$        |
| Reactor         | 0.5mH, 40kA, 0.4s                         |
| Charging unit   | 220V/11kA, 3A, IVR type                   |
| Sequence Timer  | 18 Channels<br>DC220V 10A, AC220V 10A     |
| VCB             | 12kV, 31.5kA, 2000A                       |
| Oscilloscope    | TDS3034<br>300MHz, 2.5Gs/s, 10Kpts        |
| Isolator        | A6907<br>DC to 60MHz, 2 Channels          |
| Voltage Divider | RCR-100<br>200/ $\pm$ 180/100/75kV, 100ns |
| Rogowski Coil   | 1100A/0.5V, flexible type                 |

표 2 아크발생 실험장치 사양

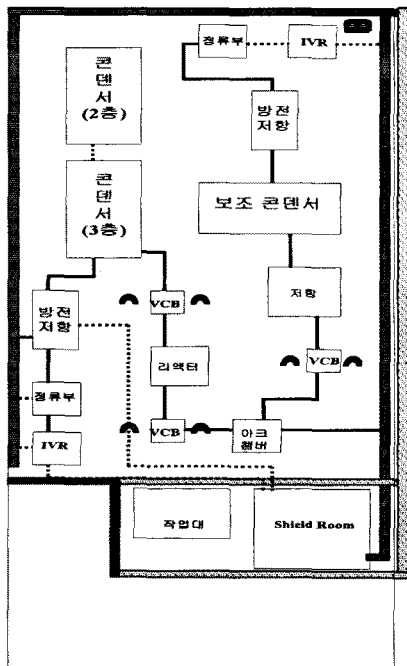


그림 5 아크발생 실험장치 Layout

### 3. 결 론

차단기 및 개폐기의 설계, 성능 및 신뢰성의 향상에 필요한 기술을 확보하기 위해서는 제품의 사용조건, 설

계인자와 접점 성능과의 상관관계 규명이 필수적이다. 이런 상관관계를 규명하기 위해서는 여러 가지 매질 중에서의 아크현상 및 특성 연구가 필요하고 이를 위해서는 아크발생 실험장치를 제작하였다.

본 실험장치는 일반적인 합성시험설비와는 달리 차단부 설계에 필요한 장비로 실험시료의 전극손상을 막는 구조로 되어 전극구조 자체의 차단성능을 확인할 수 있도록 하였다.

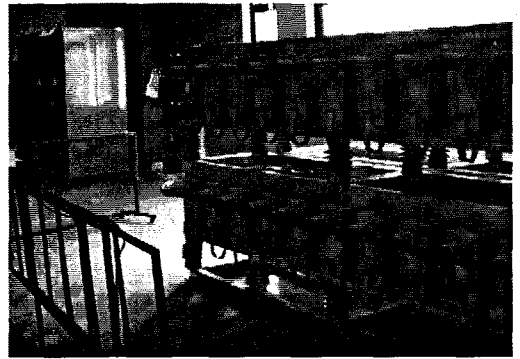


그림 6 아크발생 실험장치 Layout

(참 고 문 헌)

- [1] 권규진, 김덕수, 송원표, 권기영, 정준모, 박경엽, "L-C공진회로를 이용한 대용량 간이 합성시험 설비 구축", 대한전기학회 하계학술대회 논문집A, p409-p411, 1999
- [2] 박종화, 신영준, 박경엽, 류형기, 김맹현, "LC 공진회로를 이용한 간이 합성시험설비", 대한전기학회 하계학술대회 논문집B, p631-635, 1993
- [3] 宅間董, 柳父悟, 이복희譯, "고전압대전류공학", 청문각, 1995