

부하개폐 시험시 부하조건에 따른 과도회복전압 연구와 수명예측

오준식, 김영석, 한규환, 박종화  
LS산전주식회사 전력시험기술센터

Study of transient recovery voltage according to condition of load circuit and extraction of life estimate

Joon-Sick Oh, Myoung-Seok Kim, Gyu-Hwan Han, Jong-Wha Park  
LS Industrial Systems Co., Ltd.

**Abstract** - 저압 개폐기는 에어컨, 냉동기, 쇼케이스, 산업용 청소기, 전기 온수기, 건조기, 공조기, 펌프, 콤프레서 등의 모터제어 및 히터와 조명기기의 개폐 등에 광범위하게 이용되는 개폐장치이다. 저압 전자개폐기는 수 천회에서 수백만회까지 빈번한 개폐사용조건으로 인해 시험규격에서는 개폐시험을 통해 수명을 검증하도록 되어 있다. 이 개폐시험 회로는 규정된 전압, 전류, 역률 조건을 맞추기 위해 저항과 리액터를 직렬 연결하여 구성한다. 또한 모터와 같은 리액터 부하를 개폐하는 개폐기의 경우는 전류차단 순간 과도회복전압의 피크비와 주파수를 규정하여 적용하고 있다. IEC60947-1에서는 과도회복전압의 피크비와 주파수에 대한 규정값을 제시하고 있으며 제시된 값을 제어하기 위한 회로를 제시하고 있다. 과도회복전압의 피크비와 주파수는 개폐기 접점의 절연성능과 밀접한 관계가 있으며 수명에 치명적인 영향을 미친다. 본 연구에서는 LS산전(주) 부하개폐시험 회로의 과도회복전압 조건과 영향을 설명하고 제어하기 위한 저항과 커패시터를 적용하는 방법을 제안하고자 한다.

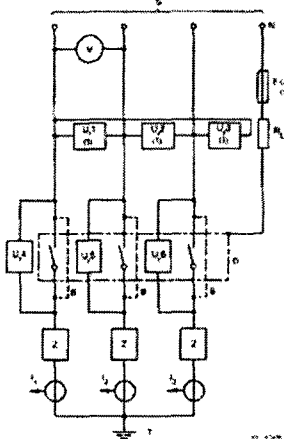
1. 서 론

IEC60947-1 규격에서는 차단기와 개폐기의 부하개폐 시험회로를 별도로 규정하고 있다. 차단기 부하개폐 시험회로는 저항과 공심리액터를 직렬로 연결하여 시험전류와 역률을 맞추고 공심리액터에 병렬로 저항을 연결하도록 제안하고 있다. 이 병렬저항은 공심리액터에 흐르는 전류의 0.6%만 분류되도록 저항값을 가지며 전류차단 시 과도회복전압의 피크값을 제한하는 기능을 한다. 개폐기 부하개폐 시험회로는 차단기 부하개폐 시험회로와 동일하게 저항과 공심리액터를 직렬로 연결하여 시험전류와 역률을 맞추고 병렬저항 대신 저항과 공심리액터 전체에 병렬 저항과 커패시터를 연결하여 과도회복전압의 피크비와 주파수를 제어하도록 제안하고 있다. 현재 LS산전 부하개폐 시험회로는 차단기 부하개폐 시험회로인 병렬저항을 적용한 회로와 병렬저항이 없는 회로 2가지만을 갖추고 있으며 2가지 시험회로에 따른 차이점을 비교 설명하였으며 본 연구를 통해 개폐기 부하개폐 시험회로를 구성할 예정이다.

2. 본 론

2.1 규격 요구조건

IEC60947-1에 따른 부하개폐시험 회로는 그림 1과 같다.



〈그림 1〉 부하개폐 시험회로

부하개폐시험 회로의 부하 Z는 다시 시험대상 제품의 종류에 따라 표 1과 같이 차단기(MCCB) 시험회로와 개폐기(MS) 시험회로로 분류되어진다.

〈표 1〉 시험대상 제품의 종류에 따른 부하 Z의 구성

	차단기(MCCB)	개폐기(MS)
부하 Z		
요구사항	시험전류의 0.6%가 흐르는 저항을 리액터와 병렬로 연결	TRV 조건(진동주파수 f와 피크비율 γ) 제어용 저항과 커패시터를 병렬로 연결
기능	TRV 피크값 제한	TRV 피크값 및 주파수 제어

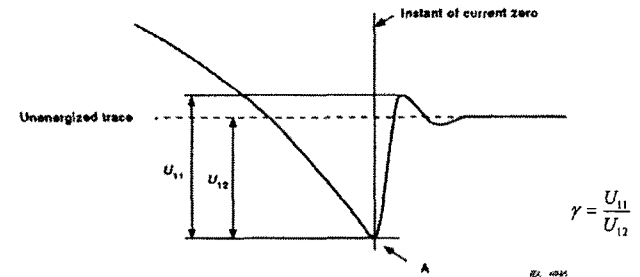
개폐기 시험회로의 TRV 조건인 진동주파수 f와 피크비 γ는 다음과 같이 규정되어 있다.

$$f = 2000 \cdot I_c^{0.2} \cdot U_e^{-0.8} \pm 10\%$$

$$\gamma = 1.1 \pm 0.05$$

여기서 f : 진동주파수, kilohertz  
Ic : 차단전류, amperes  
Ue : 시료의 정격동작전압, volts.

피크비 γ는 그림 2와 같이 전류0인 순간의 과도회복전압 피크값 U11과 상용주파 회복전압 U12의 비를 나타낸다.



〈그림 2〉 Factor γ의 결정

2.2 RLC 병렬회로의 이론적 해석

개폐기 시험회로는 RLC 병렬회로로 등가적으로 표현가능하다. RLC 병렬회로의 방정식은 KCL에 의해 다음과 같이 구해진다.

$$i_R + i_L + i_C = 0$$

$$CS^2 + \frac{1}{R}S + \frac{1}{L} = 0$$

회로방정식에 대한 해는 다음과 같다.

$$S_{1,2} = -\frac{1}{2CR} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{2CR}\right)^2 - \frac{1}{LC}} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$$

여기서  $\alpha = \frac{1}{2CR}$ ,  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

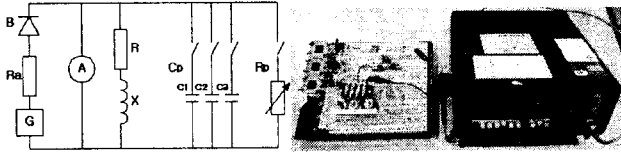
제동계수(exponential damping coefficient) α는 감쇠비율을 나타내는 정수로 고유응답이 정상값에 어느 정도 빨리 도달하는가의 정도를 나타내는 척도이고, ω0는 공진각 주파수(resonant frequency)를 나타낸다. α와 ω0의

크기에 따라 제동의 형태는 다음과 같이 달라진다.

- $\alpha > \omega_0$  인 경우 : 과제동(over damping)
- $\alpha = \omega_0$  인 경우 : 임계제동(critical damping)
- $\alpha < \omega_0$  인 경우 : 과소제동(under damping)
- $\alpha = 0$  인 경우 : 무손실

### 2.3 모의회로 구성 및 실험

개폐기 부하개폐시험 회로의 병렬저항  $R_p$ 와 병렬커패시터  $C_p$ 의 변화에 따라 전류 0점 순간에 나타나는 TRV의 주파수  $f$ 와 피크비  $\gamma$ 의 영향을 모의회로(그림 3)를 구성하여 검증하였다.

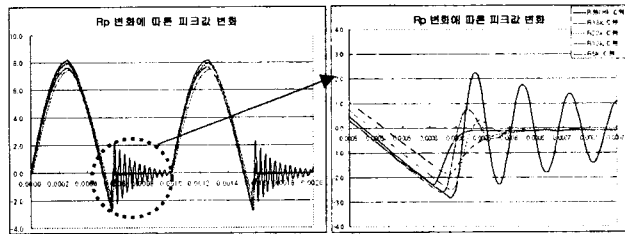


<그림 3> 모의 회로

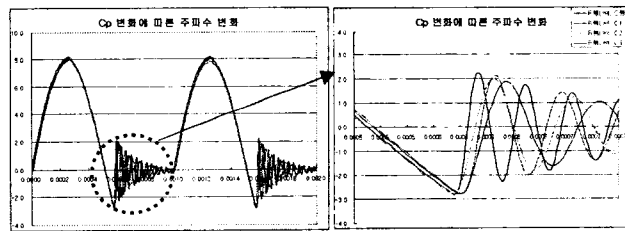
RLC 병렬회로의 제동계수  $\alpha$ 와 공진각 주파수  $\omega_0$ 로부터 TRV의 주파수  $f$ 와 피크비  $\gamma$ 의 관계는 다음과 같다.

$$f \propto \frac{1}{\sqrt{C_p}}, \quad \gamma \propto \frac{1}{\alpha} \propto C_p \cdot R_p$$

모의회로의  $R_p$ 와  $C_p$ 값에 따라 피크값과 주파수의 변화를 그림 4,5의 결과로부터 검증할 수 있었다.

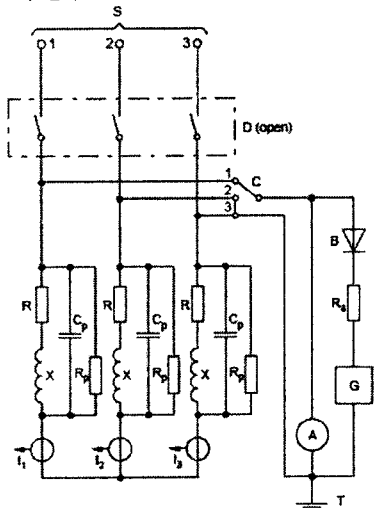


<그림 4>  $R_p$  변화에 따른 피크값 변화



<그림 5>  $C_p$  변화에 따른 주파수 변화

#### 2.1.1 시험회로의 TRV 측정 결과와 제품성능에 미치는 영향 측정 방법은 그림 6과 같다.



<그림 6> TRV 측정 시험회로

현재 시험회로는  $R_p$ 와  $C_p$ 가 구성되어 있지 않기 때문에 표 2의 TRV 측정결과와 같이 주파수와 피크비 모두 규격요구조건을 만족하지 못한다.

#### <표 2> TRV 측정결과

	주파수 $f$		피크비 $\gamma$	
	규격값	측정값	규격값	측정값
20 A	28 kHz	9 kHz	1.1	1.6
50 A	34 kHz	14 kHz		1.5
100 A	39 kHz	18 kHz		1.7
400 A	51 kHz	31 kHz		1.5

측정파형  
(50 A)

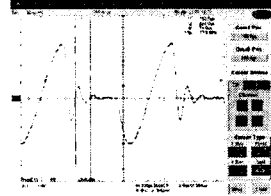
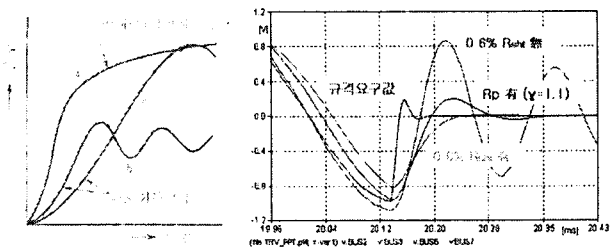


그림 7과 같이 주파수  $f$ 와 피크비  $\gamma$ 는 제품의 절연회복 특성에 따라 성능에 미치는 영향이 달라질 수 있다.



<그림 7> 주파수와 피크값이 제품성능에 미치는 영향

### 3. 결 론

TRV의 피크비와 주파수는 제품의 절연회복특성에 많은 영향을 미칠 수 있으며 제품 수명에 중요한 요인으로 작용할 수 있다.

현재 시험회로는 규격요구조건에 비해 피크비  $\gamma$ 는 큰 값을 갖고 있어  $R_p$ 를 삽입하면 낮은 값으로 조정이 가능하나 주파수  $f$ 는 낮은 값이므로  $C_p$ 를 추가하면 주파수가 더욱 낮아져 규격 요구조건을 만족할 수가 없다. 따라서 향후 병렬저항  $R_p$ 를 모든 개폐기 부하시험 회로에 적용하고 회로내부의  $C_p$ 값을 줄여 주파수도 조정 가능하도록 추진할 예정이다.

더 나아가 TRV의 주파수  $f$ 와 피크비  $\gamma$ 값 변화에 따른 성능 및 수명 예측이 가능 할 것으로 기대되며 가속계수 산출을 통한 가속시험 적용도 가능 할 것으로 기대된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 이복희, "고전압대전류공학", 청문각, p.119-124, 1997
- [2] Thomas E. Browne, JR, "Circuit interruption", Marcel Dekker, INC, p.25-37, 1984
- [3] M.F.Gardner and J.L.Barnes, Transients in Linear systems, Wiley, 1956
- [4] 박송배, "회로이론", 문운당, p.152-167, 1991
- [5] "IEC60947-1", p.173-177,p.289-291, 2004