

단락차단 시험 및 부하개폐 시험시 병렬 고저항이 과도 회복전압에 미치는 영향 고찰

오준식*, 박정석*, 한규환*
*LG산전 전력시험기술센터 신뢰성시험 연구팀

Study of transient recovery voltage for parallel resistor

Joon-Sick Oh*, Jeong-Seok Park*, Gyu-Hwan Han*

Abstract - 전기설비 중 차단기와 개폐기는 전기회로를 개폐하는 기기들이다. 차단기가 단락사고에 대한 주회로 보호가 목적이라면 개폐기는 건전회로의 개폐가 주요한 기능이다. 저압용 전자개폐기는 빈번한 개폐사용조건으로 인해 시험규격에서는 수 천회에서 수만회까지 개폐시험을 통해 성능을 검증하도록 되어 있고 배선용 차단기는 차단 시험과 개폐시험을 통해 성능을 검증하도록 규정되어 있다. 이 개폐시험 회로와 단락차단 시험회로는 규정된 전압,전류,역률조건을 맞추기 위해 저항과 리액터를 직렬 연결하여 구성한다. 개폐시험과 단락차단시험을 진행하는 동안 시료 접점 사이에는 성능에 치명적인 과도한 회복전압이 발생한다. 따라서 규격에서는 과도회복전압을 적합한 수준으로 줄이기 위해 리액터 양단에 병렬로 고저항을 설치하도록 제안하고 있다.

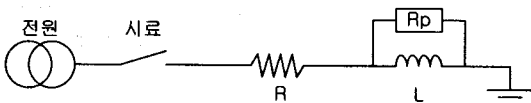
1. 서 론

규격에서 요구하는 시험회로는 저항 R과 리액터L을 직렬로 연결하여 시험전류와 역률을 맞추고 리액터에 병렬로 고저항을 설치하도록 요구하고 있다. 이 고저항의 각 규격별 요구사항, 고저항 설치 목적과 설치유무에 따른 각각의 경우에 대하여 EMTP 모의결과와 실제시험 회로를 적용하여 시험한 결과를 비교분석하였다.

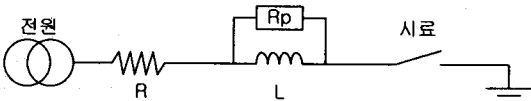
2. 본 론

2.1 개폐시험회로와 단락차단 시험회로 및 각 규격별 고저항의 요구사항

규격에서 요구하는 시험회로는 다음과 같다.



<그림1 - 개폐 시험회로>



<그림2 - 단락차단 시험회로>

시험회로는 전원과 저항과 리액터로 구성된다. 시험회로의 저항과 리액터는 규정된 시험조건을 만족시키도록 조정이 가능해야 한다.

리액터는 공심형을 사용하며 저항과 직렬로 연결한다. 각각의 리액터는 직렬로 연결하며 같은 시정수를 갖는다면 병렬로 연결하는 것도 허용된다.

시험회로의 과도회복전압특성을 고려하여 각상의 리액터에는 리액터에 흐르는 전류의 0.6%가 흐를수 있도록 저항을 병렬로 연결한다.

규격별 고저항의 요구사항은 표1과 같다.

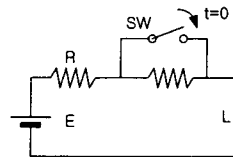
표1 - I_L에 대한 I_{Rp}의 비율 [%]

규격	상수	단락차단	과부하	개폐내구
IEC60947-1	단상,3상	0.6	0.6	0.6
	UL489/508	단상	0.6	0.6
	3상	0.6	1.1	3.3

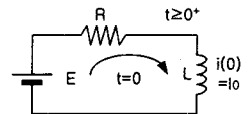
표1의 R_p의 값은 I_L에 대한 I_{Rp}의 비율[%]로 각 규격에서 규정하고 있다.

2.1.1 고저항 유무에 따른 현상의 이론적 해석

그림3의 회로에서 L에 흐르는 전류가 I₀인 순간에 스위치 SW를 닫는다고 하고 이 순간을 시간의 기준점 즉, t=0이라고 정한다.



<그림3>



<그림4>

리액터 L을 흐르는 전류는 순간적으로 jump할 수 없으므로 t ≥ 0⁺에서의 회로는 그림4와 같고 회로방정식은

$$Ri = L \frac{di}{dt} = 0 \text{ 또는 } \frac{L}{R} \frac{di}{dt} + i = 0$$

여기서 자연응답을 i_n이라 하면

$$i_n = K \epsilon^{-\frac{t}{\tau}}$$

여기서 $\tau = \frac{L}{R}$ (R-L 회로의 시정수)

정상상태(t=0)의 전류를 고려하여 강제응답 i_r는

$$i_r = \frac{E}{R}$$

$$\text{완전응답은 } i(t) = i_r + i_n = \frac{E}{R} + K \epsilon^{-\frac{t}{\tau}}$$

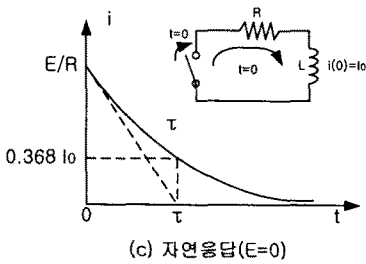
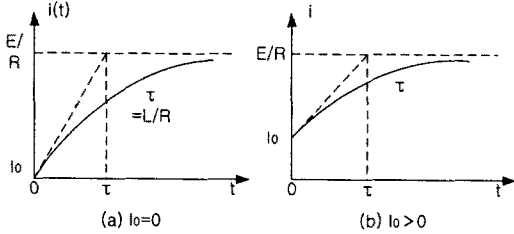
여기서 비로소 초기조건 i(0)=I₀가 만족되도록 K를 결정한다.

즉 $I_0 = \frac{E}{R} + K$ 로부터

$K = I_0 - \frac{E}{R}$ 결국

$$i(t) = \frac{E}{R} + \left(I_0 - \frac{E}{R} \right) e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad t \geq 0^+$$

그림5는 각각의 경우에 대한 파형을 나타낸다.

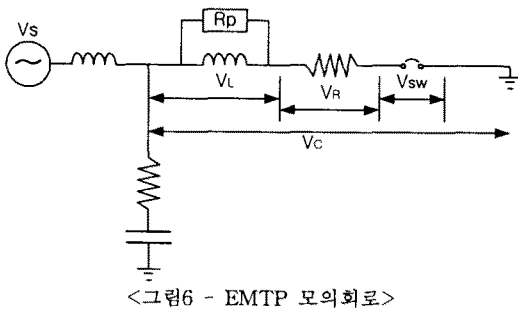


<그림5>

R-L 직렬 교류회로의 경우 스위치 차단시 리액터의 전압 파형은 그림5 (c)의 형태와 동일하다.

따라서 단락차단 및 부하시험 회로에도 위 수식을 적용한다.

EMTP 모의를 위한 시험회로는 다음과 같다.



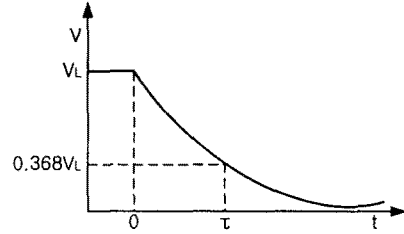
<그림6 - EMTP 모의회로>

차단기가 시험전류를 차단시 차단기 극간에는 정격전압이 인가되며 극간전압 V_{sw} 는 다음과 같이 표현된다.

$$V_{sw} = V_c - (V_L + V_R)$$

차단순간 R과 L의 양단전압 V_R 과 V_L 은 0으로 감소하게 된다. 그러나 V_R 은 즉시 0으로 감소하는 반면 리액터 L의 양단전압은 즉시 0으로 감소하지 않고 아래와

같이 시간 $\tau = \frac{L}{R_p}$ 의 특성에 따라 감소한다.

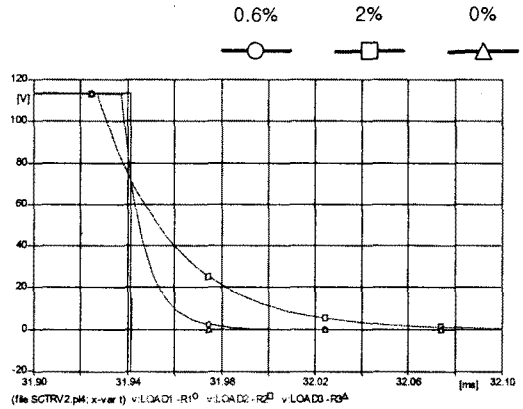


<그림7 - 시간 τ 에 따른 V_L 의 파형>

따라서 차단기 극간전압 V_{sw} 는 V_L 의 크기에 영향을 받는다. 즉 시간 $\tau = \frac{L}{R_p}$ 의 특성에 따라 V_{sw} 가 변화되는 것을 의미한다.

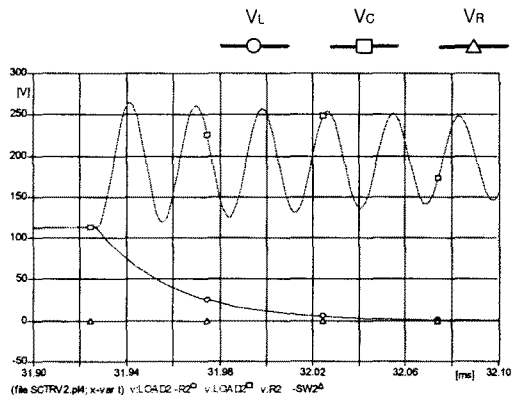
다음은 R_p 의 유무에 따른 V_L 전압 및 V_{sw} 의 결과를 EMTP로 모의한 결과이다.

시간 τ 에 따른 리액터 양단전압의 파형은 다음과 같다. 0%는 고저항이 없는 경우를 의미한다.



<그림8 - 리액터 양단전압 V_L 파형>

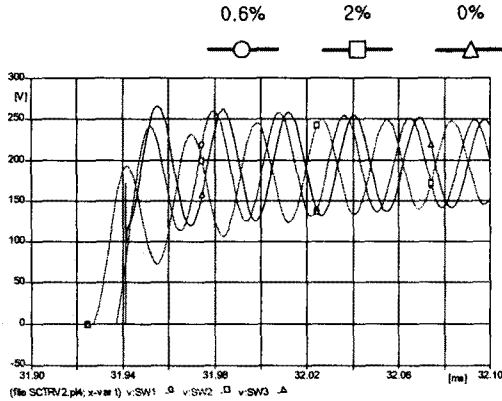
그림6은 차단기 극간전압 V_{sw} 를 구하기 위한 V_c , V_L , V_R 의 관계를 보여주고 있다.



<그림9 - V_c , V_L , V_R 의 관계>

즉 V_c 와 V_L 의 전압차가 정격인가전압에 더해지게 되고 이 값이 차단기 극간에 극간전압으로 나타난다.

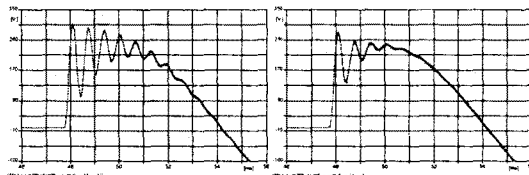
그림7은 고저항 유무에 따라 차단기 극간전압의 파형을 보여주고 있다.



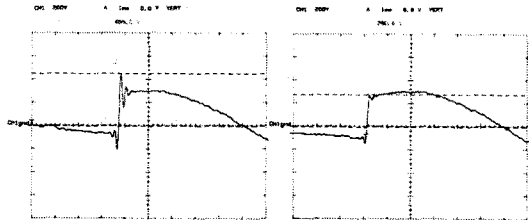
<그림10 - 고저항 유무에 따라 차단기 극간전압>

2.2 EMTP 모의결과와 시험결과

다음은 단상 240V, 40A, 0.75의 동일한 부하개폐시험 조건으로 EMTP 모의결과와 실제시험결과이다.



(a) 고저항 없는 경우 (b) 고저항 있는 경우
<그림11 - EMTP 모의 결과>



(a) 고저항 없는 경우 (b) 고저항 있는 경우
<그림12 - 실제시험 결과>

3. 결 론

이상에서 살펴본 바와 같이 고저항의 주요 역할은 시료가 전류차단시 발생하는 회복전압 초기의 과도전압을 억제하는 기능을 한다. 고저항을 적용하지 않고 시험을 진행 할 경우 규격에서 요구하는 조건보다 가혹한 조건을 적용하는 것으로 규격에서 요구하는 정확한 시험 평가를 할 수가 없다. 따라서 0.6%의 고저항 R_p 를 리액터 양단에 병렬로 설치할 것을 제안한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 박송배, "회로이론", 문운당, p.145~150, 1991
- [2] Allan Greenwood, "Electrical Transient In Power Systems" - second edition, John Wiley & Sons, Inc., p.37~57,
- [3] 提拾男, "過渡現象", p.35~37
- [4] IEC947-1 : Low-voltage switchgear and

- controlgear-part1, 2000
- [5] IEC947-2 : Low-voltage switchgear and controlgear-part2, 2001
- [6] UL489 : Molded-Case Circuit Breakers, Molded-Case Switches, and Circuit-Breaker Enclosures
- [7] UL508 : Industrial Control Equipment
- [8] Alternate Transient Program, Rule Book, K.U. Leuven EMTP Center