

변압기 포화특성이 시료의 회복전압에 미치는 영향

\*오준식,\*이용신,\*야마시다 쇼지  
\*LG산전 전력시험기술센터

The effect of transformer saturation characteristics on recovery voltage of test objects.

Joon-Sick Oh, Yong-Shin Lee, Yamashita Shoji  
\*Power Testing & Technology Institute

**Abstract** - 이 논문은 차단기 시험시 시료가 전류를 차단한 후 변압기의 여자전류가 시료의 회복전압에 미치는 영향을 설명한다. 정확한 영향을 분석하기 위해 변압기의 시험결과 분석을 통한 데이터를 바탕으로 전자기 과도해석 프로그램인 EMTP를 사용하였다. EMTP 해석결과로부터 저압단락시험에 요구되는 한류리액터와 역률조정용 저항의 적절한 위치를 검토하였다.

1. 서 론

철심에는 자기포화 및 히스테리시스 현상이 있기 때문에 실제 자기저항은 일정하다고 볼 수 없고, 권선에 공급된 전압이 정현파일지라도 여기에 흐르는 전류는 고조파를 포함한 왜곡된 파형이 된다. 모든 변압기는 이러한 현상을 보이며 또한 2차 권선이 개방되었을 때 자속에 의하여 유기전압이 발생한다. 그리고 이 때 흐르는 전류를 여자전류 혹은 무부하 전류라고 한다. 만일 이 여자전류가 큰 값을 갖는다면 변압기 2차측에 나타나는 전압에 영향을 미칠 수가 있다. 특히 당사 전력시험소의 저압단락 시험용으로 제작된 단락 변압기의 경우 시료의 회복전압에 중대한 영향을 미칠 우려가 있기 때문에 신중한 검토가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 저압 차단기의 단락시험을 위한 회로조건과 저압단락변압기의 시험 데이터를 이용해서 변압기를 모델링하였고 EMTP로 모의한 결과를 시험 결과와 비교하였다.

또한 이 결과를 바탕으로 EMTP를 통해 회복전압에 어떠한 영향을 끼치는지를 모의하고 단락 역률조정용 저항과 리액터의 위치선정의 적합성도 함께 검토하였다.

2. 본 론

2.1 변압기의 단락 및 특성시험

당사 전력시험소용 저압 단락변압기의 단락 및 특성 시험은 제작사인 일본 현지 대전력 시험소에서 수행되었으며 모의하기 위해 필요한 시험 데이터는 다음과 같다.

표1. - 변압기의 내부저항 값

권선	HV		LV			
	U	U	1u	2u	3u	4u
	-1V	-2V	-1v	-2v	-3v	-4v
Resistance [mOhm]	72.93	73.08	0.03389	0.03379	0.03399	0.03409

표2 - 무부하 손실과 전류 측정

전압 [%]	전압	전류	손실
	rms [V]	rms [A]	[kW]
50	9000	0.45	3.4
60	10800	0.51	4.7
70	12600	0.58	6.3
80	14400	0.64	8.0
90	16200	0.72	10.0
100	18000	0.8	12.2
110	19800	0.9	14.7

위 데이터로부터 변압기의 i-φ 특성곡선을 얻을 수 있다.

표3 - 단락 임피던스와 부하손실

권선 [V]	전류 [A]	%IZ	Load loss [kW]
18000-250	556	1.93	40.0
18000-500	556	1.94	36.3

표4 - 절연역률(Insulation power factor) 측정

	HV-L1,L2,L3, L4,G	L1,L2,L3,L4-HV,G	HV,L1,L2,L3, L4-G
Capacitance [pF]	39600	14300	29500

2.1.1 변압기 모델링을 위한 파라미터

표 1,2,3,4의 시험결과로부터 변압기를 모델링하기 위한 파라미터 및 i-φ 특성곡선을 얻어낼 수 있다.

$RK1 = 0.07293/2 = 0.036465 \Omega$

$ZK1 = V^2/MVA \times \%IZ/100 = 18000^2/(10 \times 106) \times 1.94/100 = 0.62856 \Omega$

$XLK1 = \sqrt{(ZK1^2 - RK1^2)} = 0.6275 \Omega = 1.6645 \text{ mH}$

$RK2 = (1U1V+2U2V)/2 = 0.00003384 \Omega$

$ZK2 = (866/18000)^2 \times ZK1 = 0.001455 \Omega$

$XLK2 = \sqrt{(ZK2^2 - RK2^2)} = 0.0014546 \Omega = 0.00386 \text{ mH}$

$Rmag = 26.56 \text{ k}\Omega \text{ (U:100\%)}$

$C = 0.0396/3 = 0.0132 \mu\text{F}$

표5 - 변압기의 i-ψ 특성곡선

V [%]	i	ψ
50	0.6364	33.7619
60	0.7212	40.5142
70	0.8202	47.2666
80	0.9051	54.0190
90	1.0182	60.7714
100	1.1314	67.5237
110	1.2728	74.6512

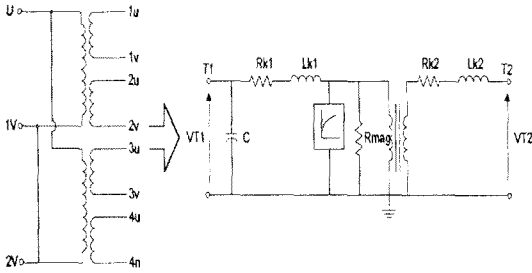


그림1-변압기 등가회로    그림2-EMTP모의회로

## 2.2 현상모의

변압기의 포화 특성에 따른 회복전압의 영향을 분석하기 위해 크게 3가지의 경우를 모의하였다.

- 첫번째는 한류리액터와 역률조정저항이 없는 경우
- 두번째는 단락시험 조건중 회복전압에 가장 악 조건인  $V_{test}:725V(105\%)$ ,  $I_{test} : 1 \text{ kA}$  인 경우
- 세번째는 인가전압을 2배 이상 높였을 경우

### CASE 1.

- 변압기 Tap :  $500\sqrt{3}$
- Excitation :  $725/500\sqrt{3} * 100 = 83.7 \%$  (인가전압:15.07 kV)
- 한류리액터CLLR(1st) : 0 Ω
- 역률조정저항RLV(1st) : 0 Ω

### CASE 2.

- 변압기 Tap :  $500\sqrt{3}$
- Excitation :  $725/500\sqrt{3} * 100 = 83.7 \%$  (인가전압:15.07 kV)
- 한류리액터CLLR (1st) : 160 Ω (= 424.4 mH)
- 역률조정저항RLV(1st) : 85 Ω

### CASE 3.

- 변압기 Tap :  $500\sqrt{3}$
- Excitation : 200 % 이상
- 한류리액터CLLR(1st) : 0 Ω
- 역률조정저항RLV(1st) : 0 Ω

#### 2.2.1 모의결과

변압기 무부하 여자전류파형은 포화특성으로 인해 시험결과에서는 약간의 돌입전류가 생겨 변형이 있었으나 회복전압에는 거의 영향을 미치지 않았다.

모의회로는 실제 사용상태인 전압84%를 적용한 결과 Case 1,2 모두 돌입전류도 거의 없었고 회복전압에도 문제가 없는것으로 나타났다.

다음은 Case1,2에 대한 여자전류 및 회복전압의 파형을 얻은 결과이다.

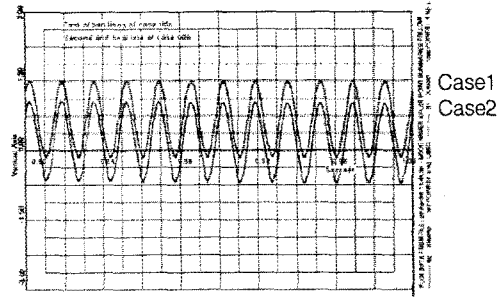


그림3-Case1,2의 여자전류

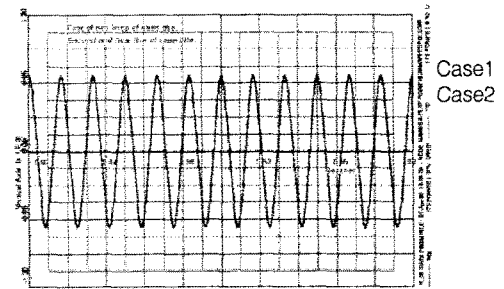


그림4-Case1,2의 회복전압

다음은 인가전압을 높인 Case3의 경우 돌입전류가 발생하여 회복전압 파형이 찌그러지는 결과를 얻게 되었다.

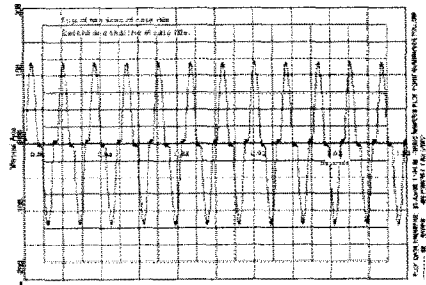


그림5-Case3의 여자(돌입)전류

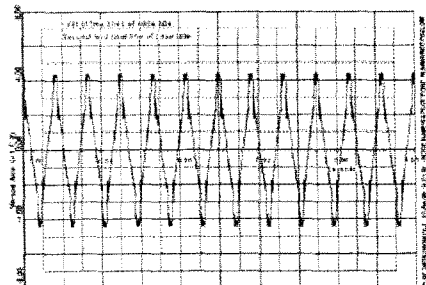


그림6-Case3의 회복전압

### 3. 결 론

변압기의 포화특성으로 인한 돌입전류의 발생은 시험하고자 하는 시료의 회복전압에 증대한 영향을 미칠 수가 있다. 시험용 대전류 변압기의 설계시 철심의 자속밀도를 아주 낮게 설계함으로써 규격의 요구조건을 만족할 수가 있다. 모의 결과에서 알 수 있듯이 돌입전류가 발생하면 회복전압이 상당한 변형이 생겨 규격상에서 요구하는 정현파의 전압파형을 얻을 수가 없다. 그러나 당사가 적용 예정인 변압기는 실제 시험조건인 경우를 바탕으로 한류리액터와 역률조정용저항을 변압기 1차측에 삽입하였을 때 여자전류로 인한 전압강하는 아주 미소한 값을 가졌고 따라서 시료의 회복전압에는 거의 영향을 끼치지 않았다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 저자명, "유도기기", p.11-13, p.18, 1993년
- [2] Alternate Transient Program, Rule Book, K.U. Leuven EMTF Center
- [3] 송길영, "송배전공학", p.218-221, 1993년
- [4] Allan Greenwood, "Electrical Transients In Power Systems", p.92-100, second edition