

여자전류 재단에 따른 단락 시험용 변압기의 절연영향 평가

오승렬, 박지훈, 박종화
LS산전(주) 전력시험기술센터

Estimating the Effect of Overvoltage Results from Excitation Current Chopping in Short-circuit Transformer.

Seung-Ryle Oh, Ji-Hun Park, Jong-Wha Park
PT&T, LS Industrial Systems, Co., Ltd.

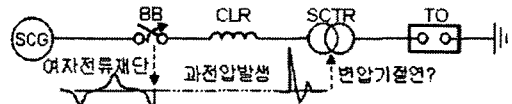
Abstract - The residual flux in transformer's iron cores leads to a distortion of short-circuit current occasionally. And some considerable distortion may have effect on the validation of the test results. To avoid the substantial distortion, a suitable pretest is performed before the actual test. In case of applying this method there must be excessive overvoltage due to switching of an unloaded transformer and chopping of an excitation current. The purpose of this paper is estimate that the effect of the overvoltage results from this phenomenon on insulation performance of short-circuit transformer.

Key words: short-circuit transformer, residual flux, distortion, current chopping

1. 서 론

1 연구 배경

전력계통의 환상형(ring shaped) 구조화에 따른 고장전류의 증가 추세에 따라 전반적으로 전력기기의 차단용량 또한 증가하고 있다. 이로 인해 최근 당사 시험소에서는 단락시험용 변압기의 정격 용량에 근접하는 단락 및 단시간 시험이 빈번하게 시행되고 있으며, 이러한 경우 이전 시험에 의해 변압기 철심에 존재하게 되는 잔류 자속은 단락 투입시 발생하게 되는 초기 과도 자속과 함께 단락전류의 왜형을 간헐적으로 발생시키고 있다. 이러한 시험전류의 왜형은 시험결과와 유효성에 영향을 줄 수 있기에 이를 최소화시키기 위해서 Pretest를 통한 잔류 자속 제어방법을 개발하여 적용하고 있다.[2] Pretest는 변압기 2차측을 개방한 상태에서 시험전압의 70% ~ 100%의 전압에 의한 무부하 개폐로 이루어진다. 따라서 이러한 방법을 사용하는 경우 의도한 크기의 자속을 변압기 철심에 잔류시키기 위해 특정 시점에서 회로를 차단하게 되는데 이 때 변압기는 2차측이 개방된 상태이므로 1차측에는 단락전류에 비해 아주 작은 여자 전류만 흐르게 되며 소효력이 강한 차단기는 변압기 여자전류를 전류 영점 이전에서 차단하는 전류 재단(chopping)현상을 일으키게 된다. 일반적으로 여자 전류 재단 현상이 발생할 경우 변압기는 재단 현상에 수반되는 과전압에 대한 스트레스에 노출 되므로 발생하는 과전압크기에 따라 적절한 대책이 마련되어야 할 것이다.



SCG: Short-circuit Generator, BB: Backup Breaker, CLR: Current Limiting Reactor, SCTR: Short-circuit Transformer, TO: Test Object

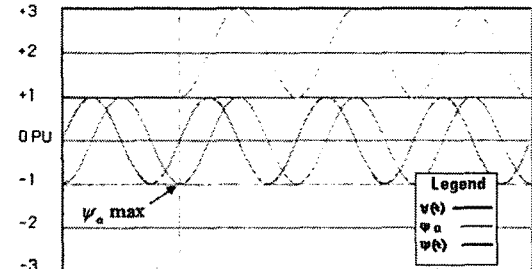
<그림1. 여자전류 재단 및 과전압 발생>

이 논문에서는 실제 시험소 계통에 대해 변압기 무부하 개폐 시험을 실시하여 여자전류 재단에 따라 발생하는 과전압이 단락시험용 변압기의 절연 성능에 미치는 영향을 평가하며, 또한 EMTP를 이용해서 시험소 계통을 모델링 및 시뮬레이션 하여 실제시험 데이터와의 추이를 비교 하고자한다.

2. 본 론

2.1 Pretest에 따른 과전압 발생

단락 시험에서 변압기 잔류 자속(ψ_r)에 따른 현상을 고려 해 볼 때 투입시 발생하는 여자 돌입 전류는 단락 전류와 비교해 아주 작은 값이므로 기기에 미치는 열적인 스트레스는 무시할 정도이다. 하지만 여기에 단락 초기에 발생하는 과도 자속이 더해져 $i-\psi$ 곡선에서 포화 영역으로 이동될 경우 투입전류의 왜형을 유발 시켜 시험의 유효성에 영향을 미치게 된다. 정격 이하의 전압에서 발생하는 자속의 포화 현상은 이전시험에서 변압기 철심의 잔류자속에 의한 것으로, 이는 최대 비대칭 전류를 발생시키기 위해 전압 영점에서 단락 회로를 투입할 경우 철심의 자속은 아래의 그림과 같이 최대 $2\psi + \psi_r$ 즉, 3ψ 까지 발생하여 포화영역에 이를 수 있게 된다.



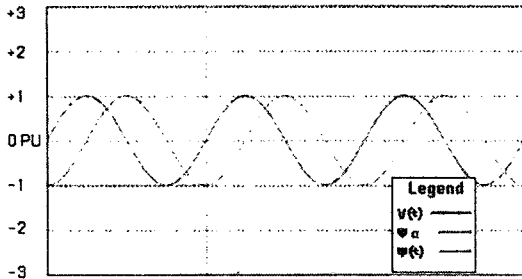
<그림 2. $\psi_r=1$ PU에서의 전압 영점 투입>

인가전압이 $v = V\cos\omega t$ 이며 α 시점에서 폐로 될 경우 발생하는 자속 ψ_r 는 아래의 식으로 표현 될 수 있다.

$$\psi_r = (V/\omega)\sin\omega t + \psi_0 \text{-----< 식 1 >}$$

$$\psi_0 = \psi_r - (V/\omega)\sin\alpha \text{-----< 식 2 >}$$

위의 <그림2>와 <식1>에서 알 수 있듯 전압 영점에서 페로 될 경우 자속은 최대 지점($\psi_{o,max}$)에서부터 시작되며 여기에 이전 시험에서 발생된 반대 극성 1 PU의 잔류자속이 더해져 2 PU의 오프셋이 발생 하게 된다. 하지만 이 경우에 동일 극성 1 PU의 잔류자속이 변압기에 잔류 하였다면 <식2>에 해당하는 부분은 0이 될 것이며 자속 오프셋은 발생하지 않을 것이다. 이와 같은 원리로 당사 시험소에서는 실제 100 % 시험에서 발생하게 될 자속 오프셋을 없애기 위해 70 % 또는 100 %의 Pretest를 통해 적당한 크기의 자속을 변압기에 잔류시킴으로서 자속포화 영향을 최소화 시키는 시험 방법을 개발하여 적용하고 있다.[1] 아래 <그림 3>은 100 %의 Pretest를 통해 잔류자속의 크기와 방향을 제어할 경우 실제 시험(actual test)시 오프셋이 없는 자속이 발생되는 것을 보여주고 있다.



<그림 3. Pretest를 통한 잔류자속 제어>

하지만 여기에서 한 가지 고려되어야 할 점은 잔류 자속 제어를 위한 Pretest에서 발생 가능성이 있는 변압기 여자 전류 차단 현상에 따른 과전압 발생 유무이다. 여자 전류 차단에 의해 발생 되는 과전압 크기는 차단되는 전류와 회로 특성 임피던스에 의해 크기가 결정된다.[2]

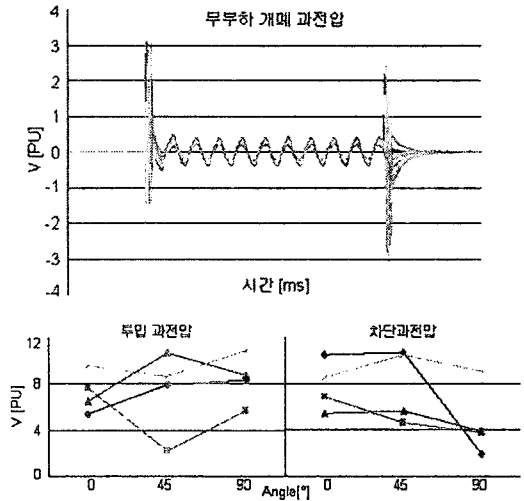
$$U_m = i_{ch} \sqrt{L/C} \quad \text{---<식 3>}$$

i_{ch} : 차단전류 크기, U_m : 과전압 크기, L, C : 인덕턴스, 커패시턴스

2.2 변압기 무부하 개폐전압 측정

단락 시험용 변압기는 높은 열적, 기계적 강도에 대해 내성을 가지도록 특수 제작된 변압기이므로 무부하 개폐시 발생하는 투입 돌입전류에 의한 영향 보다는 차단시 전류 차단에 의해 발생되는 과전압이 절연 성능에 미치는 영향을 평가해 볼 필요가 있다. 이 절에서는 실제 시험소 계통에서 무부하 개폐시 발생하는 과전압 크기를 측정함으로써 변압기에 미치는 영향을 검토하였다. 이들 데이터는 각각 투입, 차단 시점을 달리하면서 측정된 데이터로서 <그림 4>를 통해 그 경향을 볼 수 있다. 투입시 발생하는 과전압은 Prestrike와 이전 시험에서 변압기에 잔류되어있는 자속의 크기에 따라 달라지므로 뚜렷한 경향을 찾아보기 힘들지만, 차단시에는 전압 90°지점에서 보다 0°지점에서 차단할 경우에 발생하는 과전압이 더 큰 것을 볼 수 있으며 이는 여자전류 차단 현상에 의한 것으로 판단된다. 변압기 무부하 개폐시 발생하는 과전압의 크기를 살펴보면 변압기 1차측에 인가되는 전압

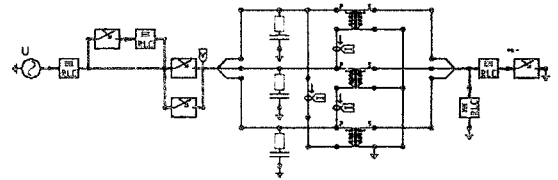
에 따라 그 크기가 다르게 나타난다. 시험 결과를 보면 변압기 정격의 45 % 전압에서는 개폐시 최대 10 ~ 11 PU 정도의 과전압을, 85 % 전압에서는 6 PU 정도의 과전압이 발생하였다. 이는 변압기 2차측으로 볼 때 3 ~ 4 kV에 해당하는 전압으로 단락시험용 변압기의 상용주파내전압(10 kV/1min)과 비교해 볼 때 변압기가 받는 절연에 대한 스트레스는 크게 없을 것으로 판단된다.



<그림 4. 무부하 투입, 차단 과전압>

2.3 변압기 모델링 및 해석

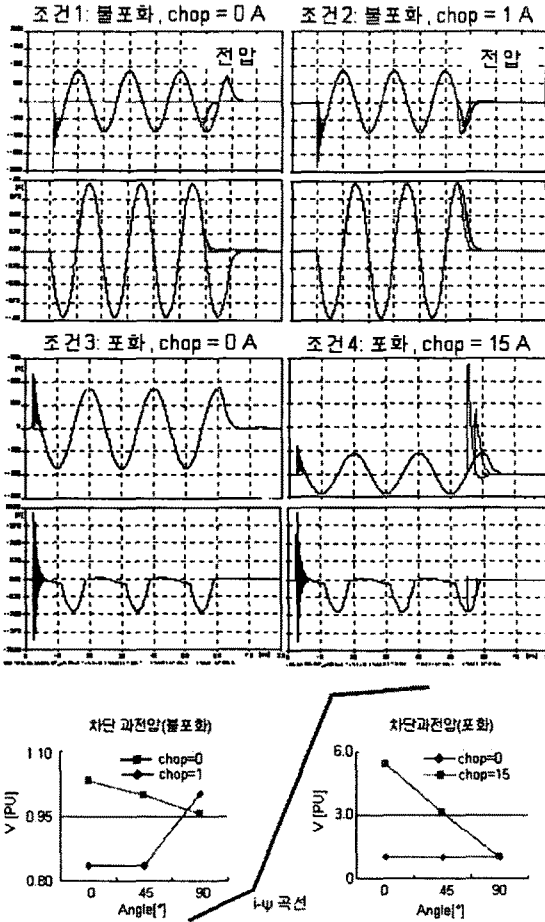
EMTP해석을 위해 먼저 수행 되어야 할 것은 시험용 변압기 모델링이다. 이를 위해서 사용되는 특성 데이터는 제작사(Toshiba)의 대전력 시험소에서 수행된 시험 성적서 내용을 바탕으로 하였다.



<그림 5. 시험소 계통 모델링>

아래의 <그림 5>는 조건을 달리하여 실시한 EMTP 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.

조건	포화발생	모의조건		발생과전압 [PU]
		재단전류 [A]	차단위상 [°]	
1	불포화	0	0	0.83
			45	0.83
			90	1.00
2	불포화	1	0	1.03
			45	1.00
			90	0.95
3	포화	0	0	1.00
			45	1.00
			90	1.00
4	포화	15	0	5.43
			45	3.12
			90	1.01



<그림 6. EMTP 시뮬레이션 결과>

위의 결과를 살펴보면 변압기 포화가 발생되지 않았을 경우에는 전류 차단 현상이 발생 하더라도 차단되는 전류 크기가 아주 작기에 발생하는 전압도 1 PU 정도 수준이다. 하지만 변압기 포화상태에서는 차단되는 여자전류의 크기는 상대적으로 아주 커지게 되므로 6 PU 에 가까운 과전압이 발생되는 것을 볼 수 있다.

3. 결 론

지난해 발표된 논문에서는 단락 투입 전류 왜형 방지를 위해서 변압기 2차측을 개방한 무부하 상태에서 실제 시험전압의 70% ~ 100% 로 실시는 Pretest방법을 소개 하였으며 실제 검증시험을 통해 그 효과를 입증 하였다.[1] 이 논문은 이러한 방법을 적용함에 따라 발생 가능성이 있는 과전압이 단락시험용 변압기의 절연성능에 미치는 영향을 평가하는데 그 목적이 있다. 개발된 Pretest는 잔류 자속 제어를 위해 전압 영점부근에서 회로를 차단하므로 여자 전류 차단현상을 수반하며 차단되는 전류에 따라서는 높은 과전압이 발생하기도 한다. 하

지만 단락 시험용 변압기의 특성상 차단되는 여자전류의 크기는 $i-\psi$ 의 직선 영역에서는 1 A, 포화 영역에서는 15 A 정도의 작은 값이며 이 때 발생하는 과전압은 시험용 변압기의 절연 내력 특성으로 미루어 볼 때 그 성능에 미치는 영향은 무시할 수 있을 것으로 판단된다. 이는 여러 가지 차단 조건에서 실시된 실제 시험소 계통의 무부하 개폐 시험에서 측정된 과전압을 토대로 내란 결론이며, EMTP를 통해 시험소 계통을 모델링하여 얻어진 시뮬레이션 결과도 이를 뒷받침해 주고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 오승렬, 박지훈, 박종화 "단락 전류 왜형방지를 위한 변압기 잔류자속제어"- 2006년 대한전기학회 전력기술분회 추계 학술대회
- [2] Marjan Popov "Overvoltages due to switching off an unloaded transformer with a vacuum circuit breaker"- IEEE 1999
- [3] A.L.J. Janssen, L.H. te Paske, W.A. van der Linden,R.P.P. Smeets. "Magnetic Saturation at Short-Circuit Tests on Power Transformers" -IEEE 2001
- [4] 오준식, 이용신, 야마시다 쇼지 "변압기 포화특성이 시료의 회복전압에 미치는 영향"- 1999년 대한전기학회 하계학술대회
- [5] Yoni Husianycia, Michel Rioual "Determination of the residual fluxes when de-energizing a transformer / Comparison with on-site tests." IEEE 2005
- [6] Paul C. Y. Ling, Amitava Basak "Investigation of magnetizing inrush current in a single-phase transformer" IEEE 1998
- [7] Marjan Popov, Lou van der Sluis "Improved calculations for no-load transformer switching surges" IEEE 2001
- [8] S.G. Abdulsalam, W. Xu, V. Dianvahi "Modelling and simulation of three-phase transformers for inrush current studies"IEE Proc.-Gener. 2005
- [9] Sung-Don Cho "Transformer core model and parameter estimation for ATP" KIEE 2005
- [10] CIGRE Working Group A3.07 "Controlled switching of HVAC circuit breakers-benefits" - 19 January, 2004
- [11] A. Mercier, A. Salibi, Y. Filion, E. Portales. "Transformer controlled switching taking into account the core residual flux - A real case study" - CIGRE 2002