

여자돌입전류의 저감에 의한 전력품질 향상방법

서훈철*, 이상봉**, 김철환**
기초전력연구원*, 성균관대학교**

Improvement of the Power Quality by the Reduction of the Inrush Current

Hun-Chul Seo*, Sang-Bong Rhee**, Chul-Hwan Kim**,
KESRI*, Sungkyunkwan University**

Abstract - This paper analyzes the improvement of the power quality by the reduction of the inrush current. We analyze the existing methods and simulate the segregated point-on-wave closing method selected as the proper method. And we attempt to use the resistive type Superconducting Fault Current Limiter(SFCL) to reduce the transformer inrush current. We simulate the various insertion resistances and analyze the voltage drop. All simulation are performed by EMTP. The simulation results show the validity and effectiveness of a SFCL application and the segregated point-on-wave closing method to reduce the inrush current and improve the power quality.

1. 서 론

변압기 가압 시 크기가 크고, 많은 고조파를 함유하고 있는 여자돌입 전류가 발생한다. 이 전류는 변압기의 수명감소 및 손상, 보호계전기의 오동작 가능성 등 전력계통에 악영향을 미치게 된다. 또한, 여자돌입전류는 전원과 변압기 사이의 임피던스로 인하여 일시적인 전압강하를 유발하여 계통의 전력품질을 저하시킨다[1].

따라서, 본 논문에서는 여자돌입전류의 감소에 의한 전력품질을 향상시킬 수 있는 방법에 대하여 분석하였다. 우선, 기존에 사용되고 있는 방법에 대하여 비교분석하였다. 또한, 새로운 방법으로 고장전류 제한을 위하여 사용되고 있는 초전도한류기를 이용하여 여자돌입전류를 제한하여 전력품질을 향상시킬 수 있는 방법에 대하여 분석하였다. 여자돌입전류는 XX 전력계통을 대상으로 EMTP를 이용하여 발생시켰으며, 기존의 방법 및 초전도 한류기를 이용한 방법에 대하여 전력품질 향상 정도를 분석하였다.

2. 여자돌입전류 제한 방법

2.1 기존의 방법 분석[2]

변압기의 closing(투입위상각 제어) 및 opening(잔류자속의 제어)의 제어를 통하여 여자돌입전류를 제한하여 전력품질을 향상시킬 수 있다. 제어 방법에는 단로기를 이용하여 변압기를 투입하는 방법, 변압기 투입시 reactor의 삽입, segregated pole 차단기를 통한 변압기 투입, de-magnetization 및 de-energization 등의 다양한 방법이 존재한다.

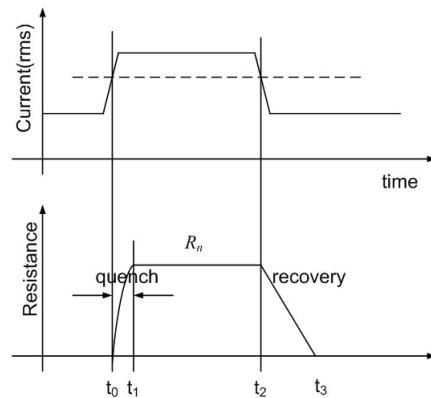
차단기 대신, 단로기를 사용할 경우 단로기의 pre-strike 혹은 flash-over 발생에 의하여 여자돌입전류의 양을 어느 정도 제한할 수 있지만, 개폐서지로서 인하여 절연에 영향을 미칠 수 있다. Reactor를 삽입하는 경우, 임피던스를 투입이전에 추가시킴으로서 여자돌입전류의 크기를 낮출 수 있다. 그러나, reactor의 설치공간 및 bypass 문제, 공간확보 등의 문제로 인하여 비 경제적이다. Segregated pole 차단기를 통하여 변압기를 투입하는 방법은 차단기의 각 pole이 여자돌입전류가 최소화 되는 최적의 순간에 분리되어 닫히는 방법이다. 이 경우 돌입전류의 크기는 잔류자속에 의존하게 되며, 최적의 순간은 전압이 peak인 경우이다. 이 경우 잔류자속의 유무에 따라 한 상 투입 후 나머지 두 상은 1/4cycles 후에 투입하는 방법과, 한 상 투입 후 나머지 두 상은 2 1/4cycles 후에 투입하는 방법 등이 존재한다. De-magnetization 및 de-energization은 변압기의 opening의 제어를 통하여 잔류자속을 줄이는 방법으로 본 논문의 목적인 XX계통에서는 그 영향이 미비하다.

2.2 초전도한류기의 이용

초전도한류기는 고장전류를 제한하기 위하여 이용된다. 초전도한류기의 동작특성은 식 (1) 및 다음 그림 1과 같다[3-5]. 정상상태에서의 저항은 거의 0이며, 고장이 발생하여 계통의 전류가 threshold 값을 초과할 때, 초전도한류기의 저항은 퀘칭 특성에 의하여 증가하고, 고장이 제거되어 계통의 전류가 threshold 값 이하로 될 때, 회복 특성에 의하여 저항은 감소하고 다시 초전도 상태를 회복하게 된다. 이러한 저항의 상

태변화 특성으로 인하여 초전도한류기는 전력계통의 다른 과전류를 제한하기 위하여 사용가능하다. 또한, 초전도한류기의 이용 시 여자돌입전류에 대한 신속한 대응이 가능하며, 설치 후 별도의 제어나 스위칭 동작이 필요하지 않은 장점이 있기 때문에 전력계통의 보호 및 신뢰성 확보가 용이하게 이루어질 수 있다.

$$R(t) = \begin{cases} 0 & t_0 > t \\ R_n [1 - \exp(-\frac{t-t_0}{T_F})]^2 & t_0 \leq t < t_1 \\ R_n & t_1 \leq t < t_2 \\ a(t-t_1) + b & t_2 \leq t < t_3 \\ 0 & t_3 \leq t \end{cases} \quad (1)$$

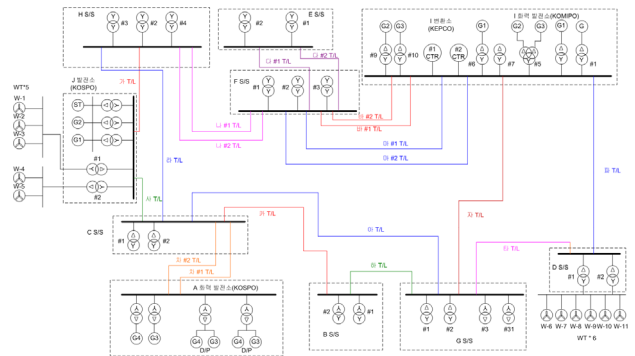


<그림 1> 초전도한류기의 동작특성

3. 모의시험

3.1 계통모델

여자돌입전류는 다음 그림 2의 XX 전력계통의 A 화력발전소에서 발생하는 것으로 모의하였다. XX 전력계통의 발전소에 설치된 모든 변압기 중 A T/P 주 변압기의 용량은 100MW로써, 이는 XX 전력계통 용량의 약 25%를 차지하고 있다. 만약, 이 변압기가 가압된다면, 변압기의 낮은 임피던스 때문에 전원 임피던스로 인한 전압강하가 증가될 수 있다. 여자돌입전류의 모델링에 대한 검증은 실측치와의 비교 및 고조파 분석을 통하여 수행하였다[1]



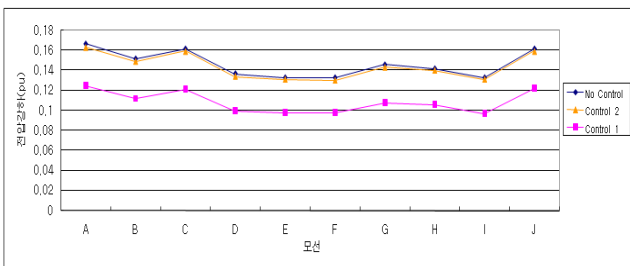
<그림 2> XX 전력계통

3.2 Segragated pole 차단기를 이용한 방법

A T/P 주 변압기 여자돌입의 경우 잔류자속으로 인한 전압강하에 미치는 영향이 작으므로, 기존의 방법 중 segragated pole 차단기를 이용하여 여자돌입전류를 제어하는 방법이 가장 효율적이다. 이 방법을 이용할 경우에 대한 전력품질 향상을 분석하기 위하여 다음의 3가지 경우를 모의하였다.

- ① No Control : 3상 동시투입
- ② Control 1 : 한 상 투입 후 나머지 두 상은 2 1/4cycles 후에 투입하는 방법
- ③ Control 2 : 한 상 투입 후 나머지 두 상은 1/4cycles 후에 투입하는 방법

다음 그림 3은 위의 3가지 경우에 대한 EMTP의 시뮬레이션 결과를 분석한 것이다. Control 1(한 상 투입 후 나머지 두 상은 2 1/4cycles 후에 투입하는 방법)이 가장 효율적이며, 3상 동시 투입이 가장 비효율적인 것으로 나타났다. 한 상 투입 후 나머지 두 상은 2 1/4cycles 후에 투입하는 방법은 3상 동시 투입보다 전압강하가 0.04pu정도가 작으며, 한 상 투입 후 나머지 두 상은 1/4cycles 후에 투입하는 방법은 3상 동시 투입보다 전압강하가 0.004pu정도가 작은 것을 확인할 수 있다.



〈그림 3〉 Segragated pole 차단기를 이용한 방법에 대한 모의결과

3.3 초전도한류기를 이용하는 방법

3.3.1 초전도한류기의 동작조건

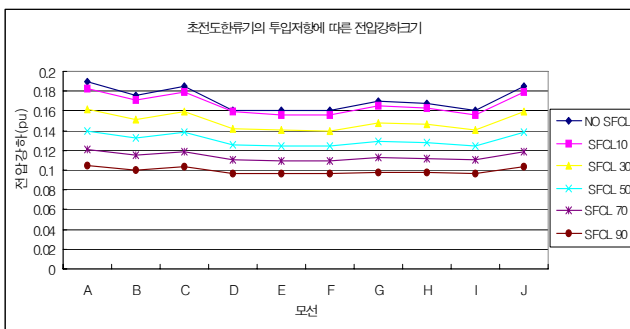
초전도한류기는 식 (1)을 바탕으로 EMTP를 이용하여 모델링하였다. 모델링된 초전도한류기의 동작조건은 다음 표 1과 같다. 1주기의 rms값을 계산하기 위한 최소한의 시간간격이 필요하므로 투입시간은 여자돌입전류 발생 1cycle후로 설정하였다. 또한, 다양한 투입저항을 모의하기 위하여 저항값을 변경시키면서 모의하였다.

〈표 1〉 초전도한류기의 동작조건

투입시간	동작전류	회복시간	투입저항
여자돌입전류 발생 1cycle후	1,500 Arms	0.3s	10Ω
			30Ω
			50Ω
			70Ω
			90Ω

3.3.2 시뮬레이션 결과분석

다음 그림 4는 초전도한류기의 투입저항에 따른 전압강하 크기를 나타낸다. 초전도한류기의 투입저항이 클수록 모선의 전압강하가 작은 것을 확인할 수 있다. 이는 초전도한류기의 투입에 따라 여자돌입전류의 크기가 작아져, 전압강하의 크기 또한 줄어들기 때문이다. 즉, 초전도한류기를 이용하여 전압강하에 대한 보상이 가능하다.



〈그림 4〉 초전도한류기의 투입저항에 따른 전압강하 크기

다음 표 2는 초전도한류기의 투입에 따른 전압강하에 대한 보상정도를 나타낸 것이다. 보상정도는 A 모선을 기준으로 A 모선과 인근모선의 경우와 A 모선에서 멀리 떨어진 모선의 경우의 2가지로 구분하여 전압보상정도를 분석하였다. 최대의 전압보상의 경우는 A 모선에서 투입저항이 90Ω인 경우의 0.084pu이고, 최소 전압보상의 경우는 D 모선에서 저항이 10Ω인 경우의 0.002pu이다.

〈표 2〉 초전도한류기의 투입저항에 따른 각 모선의 전압보상정도

모선명	A, B, C, G, J		D, E, F, H, I	
	저항(Ω)	전압보상(p.u.)	저항(Ω)	전압보상(p.u.)
초전도한류기의 투입저항에 따른 전압보상정도	10	0.005~0.006	10	0.002~0.004
	30	0.025~0.027	30	0.019~0.021
	50	0.044~0.049	50	0.035~0.039
	70	0.061~0.068	70	0.051~0.055
	90	0.076~0.084	90	0.063~0.069

3.3.3 초전도한류기의 투입저항 결정 시 고려사항

초전도한류기의 이용 시 적절한 투입저항을 선택하는 것이 중요하다. 투입저항이 클수록 여자돌입전류의 크기가 작아지며, 전압보상정도 또한 커진다. 그렇지만, 투입저항이 너무 크다면, 여자돌입전류는 정격전류 이하가 될 수 있다. 또한, 투입저항으로 인하여 초전도한류기 자체에서의 전압강하가 커질 수 있으며, 회복단계에서 모선의 전압은 계통을 전력유지하기 위하여 1p.u. 이상으로 커질 수 있다. 따라서, 초전도한류기의 투입에 따른 장,단점을 고려하여 최적의 투입저항을 선택하는 것이 필요하다.

4. 결 론

본 논문에서는 여자돌입전류를 제한하여 전력품질을 향상시키기 위한 방법에 대하여 분석하였다. 단로기를 이용하여 변압기를 투입하는 방법, 변압기 투입 시 reactor의 삽입, segragated pole 차단기를 통한 변압기 투입, de-magnetization 및 de-energization 등의 다양한 방법 등에 대하여 분석하여 X 전력계통에 가장 적절한 방법인 segragated pole 차단기를 이용하는 방법에 대하여 EMTP를 이용하여 모의하였다. 그 결과, 한 상 투입 후 나머지 두 상은 2 1/4cycles 후에 투입하는 방법을 적용할 경우, 최대 0.04pu의 전압보상이 가능함을 확인하였다.

또한, 새로운 방법으로 초전도한류기를 이용하여 여자돌입전류를 제한하는 방법에 대하여 분석하였다. 초전도한류기의 투입저항을 다양하게 모의하여, 여자돌입전류의 저감으로 인한 전압보상이 가능함을 확인하였다. 전압보상 정도는 투입저항의 크기가 커짐에 따라 커짐을 확인하였다. 그렇지만, 투입저항의 크기가 커지면 이에 따라 계통에 악영향이 발생하므로 여러 가지 측면을 고려한 투입저항의 선택이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] H. C. Seo, C. H. Kim, Y. S. Lyu, B. S. Cho, "The Analysis of Power Quality Effects from the Transformer Inrush Current: A Case Study of the Jeju Power System, Korea", will be published in IEEE Power Engineering Society General Meeting, July 20-24, 2008.
- [2] Mukesh Nagpal, Terrence G. Marinich, Ali Moshref, Kip Morison, and P. Kundur, "Assessing and Limiting Impact of Transformer Inrush Current on Power Quality", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 21, No. 2, pp. 890-896, April 2006.
- [3] Hye-Rim Kim, Jung-Wook Sim, Ok-Bae Hyun, "Temperature distribution in SFCL based on Au/YBCO films during quenches", Cryogenics, Vol. 46, pp. 305-311, 2006.
- [4] H. R. Kim, S. W. Yim, S. Y. Oh, O. B. Hyun, "Analysis on recovery in Au/YBCO thin film meander lines", Progress in Superconductivity, Vol. 9, No. 1, pp. 119-125, 2007.
- [5] Hye-Rim Kim, Ok-Bae Hyun, Hyo-Sang Choi, Sang-Do Cha, and Je-Myung Oh, "Resistance Development in Superconducting Fault Current Limiters Prior to Quench Completion", IEEE Trans. Applied Supercond. Vol. 13, pp. 2032-2035, 2003.