

자기결합을 이용한 초전도 전류제한기의 전압, 전류 등급 증대효과 분석

윤희수, 배준식, 임성훈  
 송실대학교 전기공학부

Analysis on increase of Voltage and Current Ratings in SFCL using Magnetic Coupling

Hee-Su Yun, Joon-Sik Bae, Sung-Hun Lim  
 Soongsil University

**Abstract** - 본 논문에서는 초전도 전류제한기의 전압, 전류 등급증대를 위한 방안으로 자기결합을 이용한 초전도 전류 제한기의 특성을 분석하였다. 1차 코일과 초전도 소자가 연결된 2차 코일이 자기적으로 결합된 구조로서 사고가 발생되면 초전도 소자에 흐르는 전류가 임계전류 값을 넘게 될 경우 초전도 소자의 퀘칭으로 인한 저항 발생으로 사고 전에 억제되었던 철심내부 자속이 발생하여 각 코일에 전압이 유기되며 이로 인해 사고 전류가 제한되는 특성을 가지고 있다. 자기결합을 이용한 초전도 전류 제한기의 용량을 증대시키기 위해서는 초전도 전류제한기의 2차권 전수를 작게 하는 것이 각 초전도 소자들의 전압부담을 균일하게 유지하고, 발생저항을 작게 하여 소자의 전력부담을 줄일 수 있다는 것을 확인하였다.

1. 서 론

지속적으로 증가되고 있는 전력수요에 따라 전원설비 규모가 커지고 있으며 전력계통의 고장전류 또한 계속 증대되고 있다. 증대되고 있는 고장전류를 안전하게 개폐하기 위해서는 차단기 차단내력을 크게 하거나 고장전류를 기존의 차단기 차단내력 이하로 억제해야 한다. 따라서 기존 차단기 교체에 따른 비용부담 감소와 보다 신속한 사고 전류 제한을 동시에 수행할 수 있는 사고전류제한기 개발이 요구되고 있다.

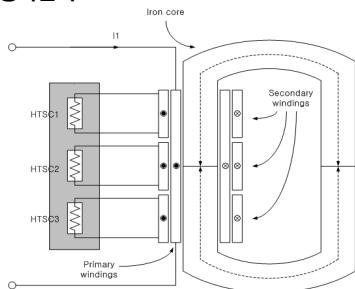
초전도 한류기는 새로운 개념의 사고전류 제한기로서 사고 시 신속한 고장전류 제한 및 차단은 물론 자동회복 등 이상적인 특징을 구비하고 있으며, 특히 기존 계통의 변경없이 투입이 가능하다. 또한 소형화와 환경 친화적 특성으로 실계통에 적용하기 위한 연구 개발이 활발히 진행중에 있다.

고온 초전도체의 퀘칭특성을 적용한 초전도 한류기는 초전도 소자의 임계전류보다 큰 전류가 흐를때 급격히 빠르게 저항을 상승시킴으로써 스스로 작동하는 전류제한기이다. 하지만, 순수 고온초전도체의 약한 성질과 퀘칭 발생시 소자의 국부적인 열상승 등의 문제로 전류제한기로서의 정격전압과 정격전류가 제한된다. 따라서 실계통에 적용하기 위해서 직,병렬 연결을 통해 용량을 증대하고 있다. 그러나, 용량 증대를 위한 직렬 연결시 소자 사이에서 임계전류의 작은 차이가 발생하고 이는 심각한 전압 불균일과 소자들 사이에 불균형한 퀘칭을 발생한다. 이에 동시 퀘칭을 유도하기 위한 방안이 요구되고 있다.

본 논문에서는 초전도 소자들의 균일한 전력 부담을 위한 방안으로 자기결합을 이용한 초전도 전류 제한기의 동시 퀘칭 특성을 분석하였으며, 2차 코일의 권수를 줄임으로써 초전도 전류제한기의 전압, 전류 등급을 증대할 수 있다는 것을 확인하였다.

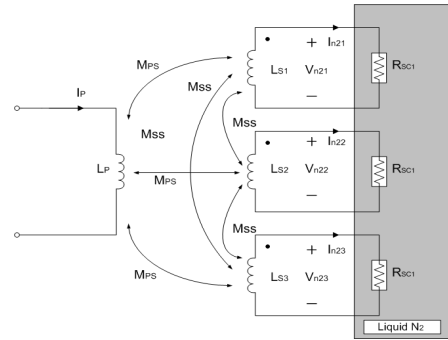
2. 본 론

2.1 구조 및 동작원리



<그림 1> 동시 퀘칭을 위한 자기결합형 한류기 구조

자기 결합형 초전도 전류 제한기는 1차 코일과 초전도 소자가 직렬로 연결된 2차 코일이 자기적으로 결합된 구조를 갖는다. 만약 사고가 발생되어 초전도 소자에 흐르는 전류가 임계전류(Ic) 값을 넘게 될 경우 초전도 소자의 퀘칭으로 인한 저항 발생으로 사고 전에 억제되었던 철심내부 자속이 발생하게 되며 이때, 각 코일에 전압이 유기되어 이로 인해 사고 전류가 제한된다. 본 논문에서 제작한 동시퀘칭 유도를 위한 자기결합형 초전도 전류 제한기의 구조는 그림 1과 같이 하나의 철심에 초전도 소자와 결합된 2차코일 3개와 1차 코일이 자기적으로 결합된 구조를 갖는다.

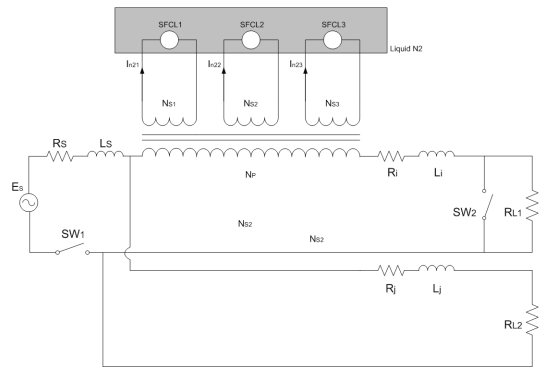


<그림 2> 등가회로

초전도 소자는 YBCO박막을 사용하였고 1차측 회로의 인덕턴스 L1 은 237.333 [mH] 이고 2차측 회로의 인덕턴스는 L2-1, L2-2, L2-3 은 각각 6.356 [mH], 5.520 [mH], 6.350 [mH] 로 같게 설정하였다.

2.2 실험 장치 구성

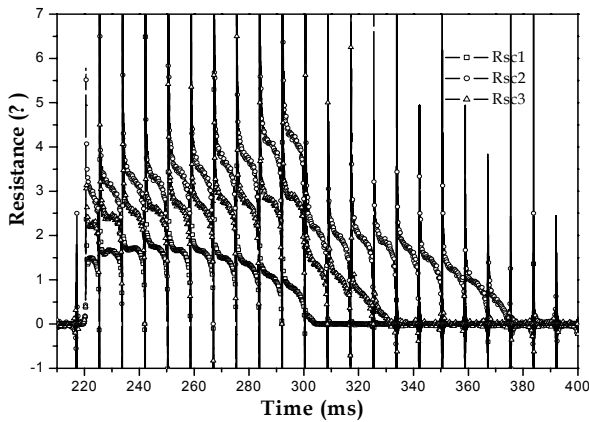
모의 단락실험을 위한 실험 장치는 그림 3과 같이 하나의 전원에 건 전상과 고장상의 두 부하를 병렬로 연결하여 구성하였다. 단락사고 모의 실험은 SW1 을 투입 한 후 SW2를 전체 5주기 중 5주기 동안 투입하여 실시하였으며, 각 코일에 흐르는 전류와 고온 초전도 소자 양단 전원을 포함한 각 코일의 전압을 측정하여 전류제한 특성을 분석하였다. 실험에 사용한 전원저항(Rs)과 사고 상 부하저항(RL1), 건전 상 부하저항(RL2)은 각각 1.15 [Ω], 51.5 [Ω], 10.3 [Ω]을 사용하였다.



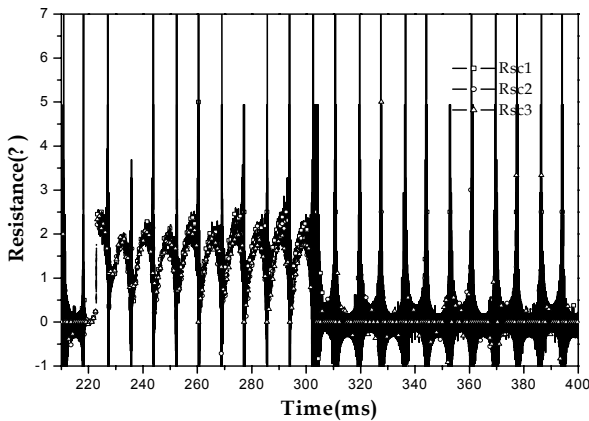
<그림 3> 실험장치 구성

### 2.3 실험 결과 및 분석

자기결합형 초전도 전류제한기의 특성분석에 앞서 단순 직렬 연결된 초전도 소자들의 켄치특성과 자기결합에 의해 연결된 초전도 소자들의 켄치특성을 사고 발생시 각 소자들 간에 발생저항을 통해 비교하였다.



〈그림 4-1〉 단순직렬 연결된 초전도 소자들의 저항 증가



〈그림 4-2〉 자기적으로 결합된 초전도 소자들의 저항 증가

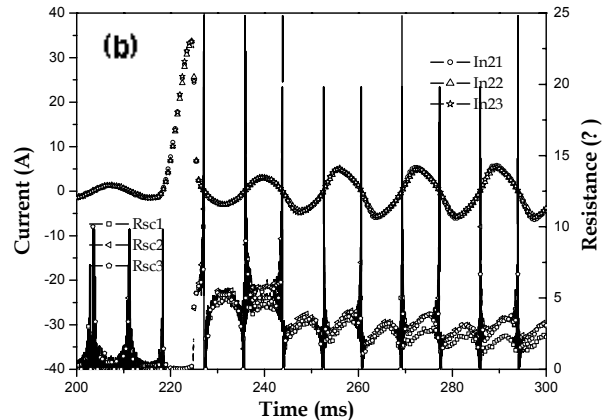
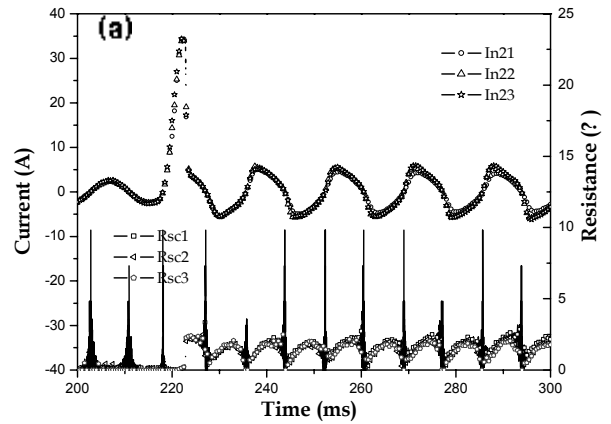
그림 4-1은 단순직렬 연결된 초전도 소자들의 모의단락 후 저항과형을 보여준다. 다른 실험은 모든 조건을 동일하게 하였지만 직렬 연결실험의 경우 초전도 켄치발생의 불균형으로 인한 소자의 손상의 위험을 고려하여 전압을 400 [V]에서 200 [V]로 조정하여 인가하였다. 그래프를 살펴보면 각 초전도 소자들의 임계전류 값이 23.5 [A]~24 [A]로 거의 같음에도 불구하고 사고 발생 후 각 소자마다 발생하는 저항이 다른 불균형한 켄치가 발생하는 것을 알 수 있다. 켄치 현상의 회복주기와 발생 저항의 피크치가 각 소자마다 달라 모의단락주기가 끝나는 300 [ms]를 기준으로 볼 때 초전도 상태로 완전 회복된 소자는 1번 소자뿐이고 특히 2번 소자는 회복하는데 상당한 시간이 걸리는 걸 볼 수 있다.

그림 4-2는 코일과 철심을 통해 자기적으로 결합된 초전도 소자들의 모의단락 후 저항과형을 보여주며, 단순직렬 연결 시와는 달리 사고 후 임계전류를 넘는 동시에 각 소자마다 거의 동일한 크기의 저항이 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 켄치 현상의 회복주기 역시 300 [ms] 근처에서 모든 소자들이 초전도 상태로 일정하게 회복하는 걸 볼 수 있다. 이로 인해 사고시 초전도 소자들 간의 전압부담 또한 균일하게 이루어져 초전도 전류 제한기의 동시 켄치 특성을 향상시키고 전압등급을 효과적으로 높일 수 있을 것으로 분석할 수 있다.

자기결합형 초전도 전류제한기의 2차 코일의 권선 수에 따른 '사고 전류 제한특성과 초전도 소자의 발생저항의 차이를 분석하기 위해 1차 코일의 권선수를  $N_1 = 90$ 로 고정시키고, 각 2차코일의 권선수가  $N_2 = 15$ 인 경우와  $N_2 = 30$ 인 두 가지 경우를 조정하여 실험하여 각 2차 코일에 흐르는 전류  $In21, In22, In23$ 와 각 소자의 발생저항  $Rsc1, Rsc2, Rsc3$ 를 측정하였다.

그림 5는 초전도 전류제한기의 2차코일의 권선 수가 각각  $N_2 = 15, N_2 = 30$  경우의 단락전류 제한특성을 각 소자의 저항특성을 보여준다.

두 그래프를 비교해 보면 자기결합형 초전도 전류제한기의 2차권선수를 증가시키면 각 소자마다 발생저항의 불균형이 발생하여 동시 켄치 특성을 더욱 나쁘게 하는 것을 확인할 수 있으며, 소자에 발생하는 저항의 크기 또한 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 각 초전도 소자의 전력부담을 증가시키고 초전도 전류제한기의 용량을 저하시키는 효과를 가져올 것이다.



〈그림 5〉 각 초전도 소자의 저항과 전류 파형, (a) $N_2=15$  (b) $N_2=30$

### 3. 결 론

본 논문에서는 용량증대를 위해 자기결합을 이용한 초전도 전류제한기 및 단순 직렬 연결된 초전도 소자들의 모의 단락실험을 통하여 자기결합을 이용한 경우 단순 직렬연결에서 나타난 불균일한 전력부담을 균일하게 유지시켜 동시켄치 성능을 향상시켜 주는 것을 확인하였다. 또한 자기결합을 이용한 초전도 전류 제한기의 용량을 증대시키기 위해서는 초전도 전류제한기의 2차권선수를 작게 하는 것이 각 초전도 소자들의 전압부담을 균일하게 유지하고, 발생저항을 작게 하여 소자의 전력부담을 줄여 준다는 것을 알 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] O.-B. Hyun, S.-D. Cha, H.-R. Kim, H.-S. Choi, and S.-D. Hwang, "Shunt-Assisted Simultaneous Quenches in Series-Connected Resistive SFCL Components," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 13, no. 2, pp. 2060-2063, jun. 2003.
- [2] Sung-Hun Lim; Young-Sun Choi; Hyo-Sang Choi; Byoung-Sung Han "Improvement of Current Limiting Capability of HTSC Elements in Hybrid Type SFCL," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 17, no. 2, pp. 1807-1810, jun. 2007.
- [3] J. Sim, H. R. Kim, O. B. Hyun "Simultaneous Quenche Analysis of a Three-Phase 6.6kV Resistive SFCL Based on Thin Films" Progress in Supercond Vol.6 No.1 pp. 46-51 Oct 2004