

### 변압기형 초전도 한류기의 퀘치특성에 대한 중성선의 영향

조용선\*, 최효상\*, 구경완\*\*  
 조선대학교\*, 호서대학교\*\*

### Influence of a Neutral Line on the Quench Behaviors of a Transformer Type SFCL

Yong-Sun Cho\*, Hyo-Sang Choi\*, Kyung-Wan Koo\*\*  
 Chosun University\*, Hoseo University\*\*

**Abstract** - In this paper, we studied the method for simultaneous quenching of a transformer type superconducting fault current limiter (SFCL) with two superconducting elements connected in series. Only an element between two elements of the transformer type SFCL was quenched like the case of the resistive type SFCL. By this quenching characteristics, the power burden of the superconducting element was increased. In order to solve this problem, we connected the neutral line between two superconducting elements and the center of secondary coils. The two elements were all quenched in the transformer type SFCL with a neutral line. As a result, the power burden of superconducting elements was decreased, so it was efficient for the increase of power capacity of the transformer type SFCL.

#### 1. 서 론

초전도 한류기는 전력계통에서의 사고 발생시 급증하는 사고전류를 제한하는 제한기 중 가장 이상적인 전력기이라 할 수 있다. 전 세계적으로 많은 연구가 진행중인 초전도 한류기는 초전도체를 이용하기 때문에 저온장치 등 부대시설이 필요하다[1-2]. 또한 용량증대를 위해 많은 초전도 소자를 연결하기 때문에 불균형 퀘치 등 문제점이 발생하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 변압기의 원리를 이용하는 초전도 한류기의 퀘치 특성을 개선하는 방안을 모색하여 그 특성을 분석하였다. 변압기형 초전도 한류기는 전력계통과 초전도 소자 사이에 변압기로 연결되기 때문에 초전도 소자에 직접적인 부담이 줄어들며, 변압기의 임피던스 비에 따라 사고전류 제한범위를 조정할 수 있는 장점이 있다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 구조 및 원리

그림 1은 중성선의 유무에 따른 변압기형 초전도 한류기의 등가회로도를 나타낸 것이다. 변압기의 원리를 이용하는 이 형태의 초전도 한류기는 2차측 권선에 연결된 2개의 초전도 소자를 갖고, 초전도 소자 사이와 2차 권선의 사이에 중성선이 연결되는 구조이다.

초전도 소자에서 발생하는 저항  $R_{SCA}$ ,  $R_{SCB}$ 가  $R_{SC}$ 로 동일하고  $N_{SA}$ 와  $N_{SB}$ 의 인덕턴스가  $L_{SA}$ 와  $L_{SB}$ 이며  $L_S=L_{SA}+L_{SB}$ 라고 가정하였을 때, 중성선의 유무에 따라 2차측 권선에 흐르는 전류  $I_{SC}$ 와 제한임피던스  $Z_{lim}$ 을 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

1) 중성선이 없는 변압기형 초전도 한류기의 경우

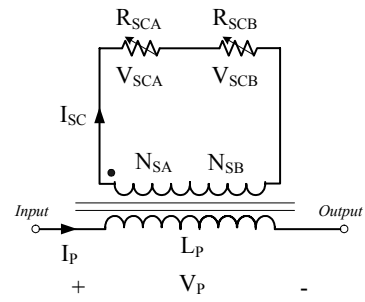
$$I_{SC} = \frac{j\omega M_p}{j\omega L_S + 2R_{SC}} \cdot I_p \quad (1)$$

$$Z_{lim} = \frac{V_O}{I_p} = \frac{2j\omega L_p R_{SC}}{j\omega L_S + 2R_{SC}} \quad (2)$$

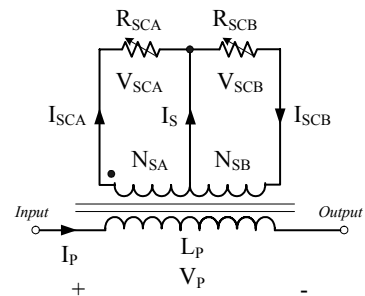
2) 중성선이 있는 변압기형 초전도 한류기의 경우

$$I_{SC} = \frac{j\omega M_p}{2j\omega L_S + R_{SC}} \cdot I_p \quad (4)$$

$$Z_{lim} = \frac{V_O}{I_p} = \frac{j\omega L_p R_{SC}}{2j\omega L_S + R_{SC}} \quad (5)$$



(a) 중성선이 없는 초전도 한류기



(b) 중성선이 있는 초전도 한류기

<그림 1> 변압기형 초전도 한류기의 등가회로도

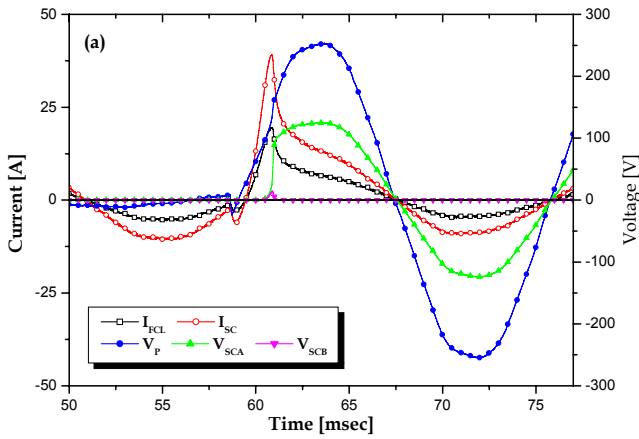
##### 2.2 실험 회로도 및 방법

변압기형 초전도 한류기의 실험회로도에는 참고문헌 [3]과 같다. 인가전압은  $320/\sqrt{3}$  [V<sub>rms</sub>]로 하였으며, 변압기의 1차측과 2차측 권선의 턴수비는 168:84로 하였다. 중성선은 2차측 권선의 중간 턴수인 42턴과 2개의 초전도 소자 사이를 연결하였다.

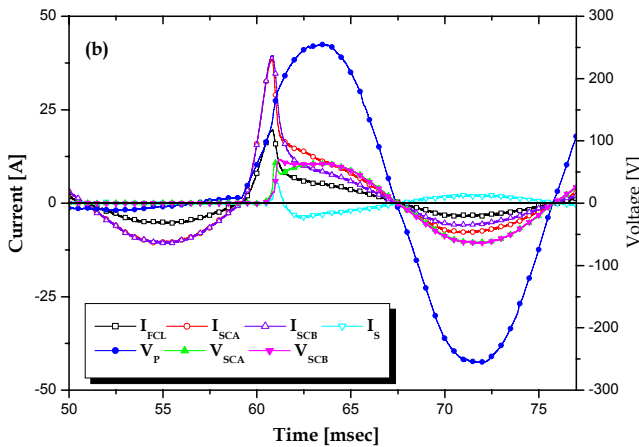
##### 2.3 실험 결과

그림 2는 중성선의 유무에 따른 변압기형 SFCL의 사고전류제한 특성을 나타낸 파형이다. 그림에서 알 수 있듯이 제한된 사고전류는 두 경우 모두 19.5[A]로 같다. 중성선이 없는 경우 초전도 소자에 흐르는 전류  $I_{SC}$ 는 39.1[A]이고, 중성선이 있는 경우  $I_{SCA}$ 와  $I_{SCB}$ 가 각각 38.2와 39.5[A]이었다. 이러한 전류의 차이는 중성선 연결시  $L_{SA}$ 와  $L_{SB}$ 가 동일한 지점에서 연결되어 실험했어야 하나 미세한 오차로 인해 발생한 차이로 할 수 있다. 중성선에 흐르는 전류  $I_S$ 는 2개 초전도 소자에서 발생하는 임피던스에 따라 흐르는 전류  $I_{SCA}$ 와  $I_{SCB}$ 의 차로써 동일한 전류가 흐른다면 0으로 나타난다. 그러나 실험 결과, 초전도 소자에서 발생하는 저항의 차이로 인해 전류의 차이가 발생하여  $I_S$ 가 흐른다는 것을 확인할 수 있다.

중성선이 없는 변압기형 SFCL은 2개의 초전도 소자 중 B 소자가 퀘치되지 않았다는 것을 전압곡선을 통해 확인할 수 있다. 그러므로 A 소자에서 발생하는 전압이 125.6[V]로서 1차측 권선의 전압 252.4[V]의 턴수비( $N_P/(N_{SA}+N_{SB})$ )만큼 발생하게 된다. 그러나 중성선이 있는 변압기형 SFCL의 경우 2개의 초전도 소자가 모두 퀘치되어 63.4[V]만큼 각각의 초전도 소자에 동일하게 전압 분배가 이루어진다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 퀘치 특성은 초전도 소자의 부담을 줄어줌으로서 초전도 소자를 보호할 수 있게 된다.

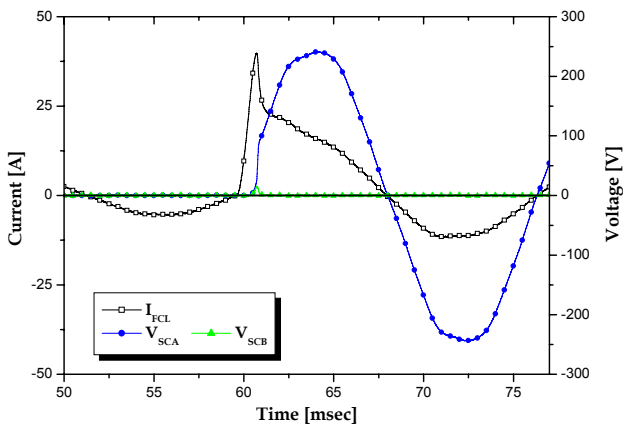


(a) 중성선이 없는 경우



(b) 중성선이 있는 경우

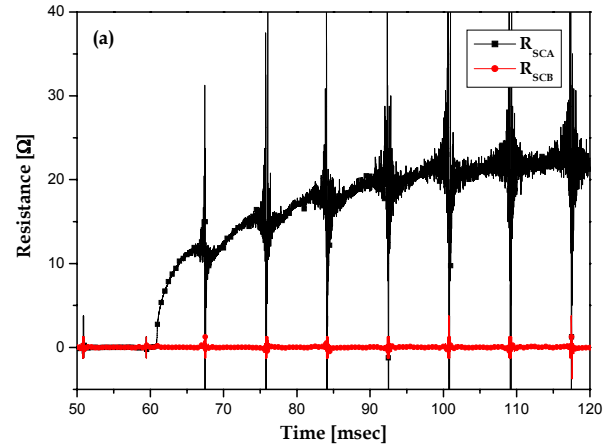
〈그림 2〉 중성선 여부에 따른 변압기형 SFCL의 사고전류제한 파형



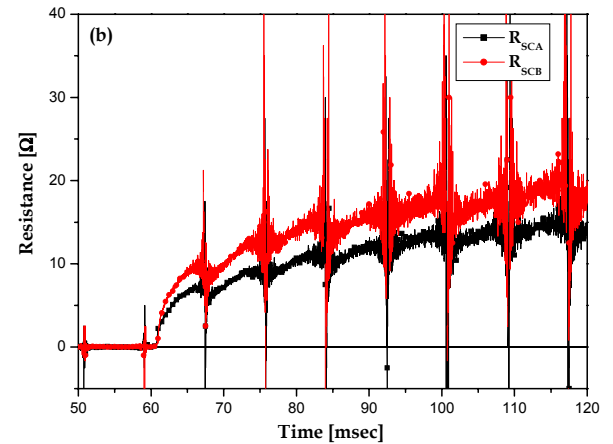
〈그림 3〉 저항형 SFCL의 사고전류제한 파형

그림 3은 2개의 초전도 소자가 직렬 연결된 저항형 SFCL의 사고전류 제한 곡선을 나타낸 것이다. 제한된 사고전류는 39.7[A]로서 변압기형 SFCL보다 더 크게 제한된다는 것을 확인할 수 있다. 이것은 변압기형 SFCL의 경우 변압기의 턴수비( $N_P/(N_{SA}+N_{SB})$ )에 따라 사고전류가 변환되기 때문이다. 초전도 소자에서 발생하는 전압은 A소자에서만 켄치가 발생하여 241.2[V]가 발생한다는 것을 알 수 있다. 변압기의 턴수비를 고려한다면 중성선이 없는 변압기형 SFCL과 비슷하게 발생한다는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 중성선 유무에 따라 초전도 소자에서 발생하는 저항 곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 중성선이 없는 경우 B소자에서 발생하는 저항이 0이어서 켄치가 발생하지 않았다는 것을 확인할 수 있다. 중성선이 있는 경우는 두 초전도 소자에서 모두 저항이 발생하며, 그 크기가 더 작다는 것을 확인할 수 있다. 또한 두 저항곡선의 차이는 초전도 소자의 제작상 불균일한 임계특성의 차이 때문이다.



(a) 중성선이 없는 경우



(b) 중성선이 있는 경우

〈그림 4〉 중성선 여부에 따른 변압기형 SFCL의 초전도 소자에서 발생하는 저항 파형

### 3. 결 론

본 논문에서는 중성선의 여부에 따라 변압기형 SFCL의 켄치특성을 분석하였다. 변압기형 SFCL에서 중성선은 초전도 소자의 사이와 2차측 권선 사이에 연결된다. 중성선의 여부에 따라 제한되는 사고전류의 크기는 같다는 것을 확인하였다. 그러나 중성선이 있는 경우 2개의 초전도 소자가 모두 켄치된다는 것을 확인하였다. 이때 초전도 소자에 흐르는 전류와 발생하는 전압은 변압기의 턴수비에 비례한다는 것을 확인할 수 있었다. 초전도 소자에서 발생하는 저항은 2소자 모두 켄치되어 저항이 발생하며, 그 크기도 줄어든다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 중성선을 갖는 변압기형 FCL의 켄치특성은 초전도 소자의 부담을 줄여줌으로써 고가의 소자를 보호할 수 있을 것이라 사료된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] X. Yuan, K. Tekletsadik, L. Kovalsky, J. Bock, F. Breuer, S. Elschner, "Proof-of-concept prototype test results of a superconducting fault current limiter for transmission-level applications", IEEE Trans. Appl. Supercond. vol. 15, no. 2, pp. 1982, 2005.
- [2] H.-S. Choi, H.-R. Kim, O.-B. Hyun, S.-J. Kim, "Quench properties of Y-Ba-Cu-O films after overpowering quenches," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 11, pp. 2418-2421, 2001.
- [3] H.-S. Choi, Y.-S. Cho, S.-H. Lim, "Operational Characteristics of Hybrid-Type SFCL by the Number of Secondary Windings With YBCO Films," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 16, pp. 719-722, 2006.