

자속결합형 초전도 한류기의 인가전압별 전류제한 효과

(Current Limiting effects of a Flux-Coupling Type SFCL according to applied voltage)

정병익* · 최효상 · 조용선 · 이주형 · 정수복 · 오금곤

(Byung-ik Jung · Hyo-Sang Choi · Yong-Sun Cho · Joo-Hyoung Lee · Kum-Gon Oh · Su-Bok Jung)

조선대학교

Chosun University

Abstract

We investigated a flux-coupling type superconducting fault current(SFCL) limiter. The SFCL consisted of the primary and secondary coils, which were wound in series each other through an iron core. Superconducting unit was connected with secondary coil in parallel. The flux generated from a coil in normal operation is cancelled out by its structure and the zero resistance of the superconducting unit. In this paper, In order to compare the current limiting effects of the SFCL by applied voltage. When applied voltage was increased, quench time was shortened. Fast quench time is important component under the same fault condition because power burden of the SFCL is reduced by that of the superconducting units. The current limiting behavior of flux-coupling type SFCL was dependent upon the applied voltage.

1. 서론

전력 사용량의 증가는 기존의 계통 보호 기기들의 보호 범위를 넘어서게 되었고 계통 사고시 큰 전력손실, 전력기기 설비의 파손과 같은 문제들이 야기되고 있다. 이에 따라 보호기기의 전면적인 교체나 보수가 필요하다. 하지만 대용량 기기로의 교체에 따른 경제적인 부담을 고려하지 않을 수 없게 되었다. 이러한 필요에서 고안된 것이 초전도 소자를 이용한 사고전류제한기이다. 이것은 기존 보호기기와 병행하여 사용함으로써 보다 큰 보호 범위를 갖는다는 특징을 갖는다. 경제적인 면을 고려해 볼 때 기존 보호기기의 전면적인 교체보단 초전도 소자를 이용한 한류기의 병행이 더 나올 것으로 보인다. 초전도 사고전류 제한기의 종류로는 저항형, 자속구속형, 하이브리드형 등 여러 가지가 있지만 본 논문에서 초전도 소자와 변압기의 원리를 이용한 자속결합형 초전도 사고전류 제한기에 관한 특성을 분석해 보기로 하겠다. 자속결합형 초전도 사고전류 제한기는 정상상태에서는 손실없이 동작한다. 하지만 계통에 사고가 발생하여 초전도 소자의 임계전류값 이상의 사고 전류가 흐르게 되면 초전도 소자는 켄치 되어 사고전류를 제한하게 된다. 이때 변압기의 1차측 코일과 2차측 코일도 전류를 제한하는 역할을 돕는다.[1]-[4] 여기서는 인가전압 증가에 따른 초전도 소자의 켄치 특성 분석을 수행하였다.

2. 본론

2.1. 구조 및 원리

그림 1은 자속결합형 초전도 사고전류 제한기의 실험 회로도를 나타낸 것이다. N_1 , N_2 는 1차측 리액터와 2차측 리액터의 턴수를 나타낸 것이고, V_1 , V_2 ($=V_{sc}$)는 각각 1차측 리액터 전압, 2차측 리액터 전압, 2차측 초전도 소자의 전압을 나타낸다.

자속결합형 초전도 사고전류 제한기의 동작 특성은 1차측 코일과 2차측 코일에 유기되는 전압에 의해서 설명되는데 식 (1), (2)로 나타낸다.

$$V_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

$$V_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

여기서 전체 전압(V_T)는 식 (3)와 같이 표현된다.

$$V_T = (N_1 \pm N_2) \cdot \frac{d\phi}{dt} = V_1 + V_2 \quad (3)$$

정상상태에서 초전도 소자의 저항은 0이므로 초전도 소자의 양단전압(V_{sc})은 0[V]가 된다. 이때 초전도 소자와 병렬로 연결된 2차측 코일에서 발생하는 전압(V_2)도 0[V]가 된다. 식(2)에서 $N_2 \neq 0$ 이므로 누설 자속이 없

다고 가정하면 $d\Phi/dt = 0$ 이 성립한다. 따라서 식 (1)을 통해서 1차측 전압(V_1)도 0[V]가 된다. 식(3)에서 $N_1, N_2 \neq 0$ 이므로 $d\Phi/dt = 0$ 은 항상 성립된다. 따라서 전체전압 $V_T = 0$ 이 유도되어 아무런 손실 없이 동작한다.

사고시에는 초전도 소자에 의해 전압이 유기되고, 병렬로 연결된 2차측 코일에도 같은 크기의 전압이 발생하게 된다. 2차에서 발생한 자속 Φ 로 인하여 1차측 전압(V_1)을 유기하게 된다. 따라서 전체전압(V_T)는 식 (3)에 의해 유기되게 된다.

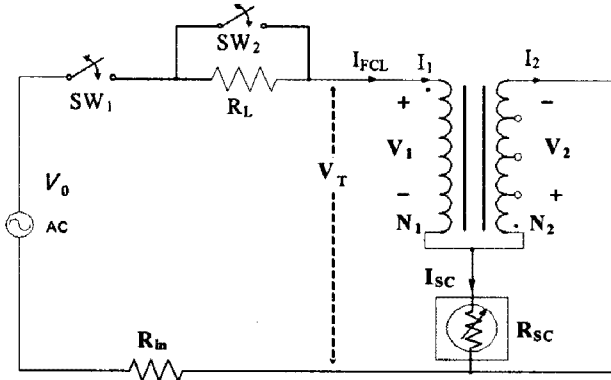


그림 1. 자속결합형 한류기의 실험회로도
Fig.1. A circuit diagram for the SFCL experiment

2.2. 실험방법

그림 1의 회로도에서 인가 전압은 $120/\sqrt{3}$ [Vrms], $160/\sqrt{3}$ [Vrms], $200/\sqrt{3}$ [Vrms]로 변화를 주었고, 전류를 측정하기 위한 표준저항(R_{in})과 부하저항(R_L)은 1[Ω]과 50[Ω]으로 하였다. 여기에 사용되는 초전도 소자의 임계 전류 크기는 19.8[A]로써 저온 용기 내의 액체 질소 안에 존재하게 된다. 초전도 소자는 켄치되기 전까지 초전도 특성을 유지하여 전력손실(I^2R) 없이 동작하다가 사고시 켄치되어 사고전류를 제한하게 된다. 그림 1에서 SW_1 을 ON시켜서 전원 전압을 투입하였다. 그리고 사고 발생을 모의하기 위해서 SW_2 를 ON시켜서 사고를 발생시켰다.

2.3. 실험 결과

그림 2는 사고전류의 크기 및 리액터 1, 2차측 전류의 크기를 나타낸 그래프이다. 인가전압이 증가함에 따라서 사고전류의 크기가 증가하는 경향을 보였다. 그림 3은 사고전류의 크기에 따른 초전도 소자 켄치 시점을 보여준다. 그림 4는 인가전압과 결선 방향에 따른 켄치 시간을 비교한 값이다. 인가전압이 증가함에 따라서 사고전류의 크기가 증가하였고 초전도 소자의 켄치 시간

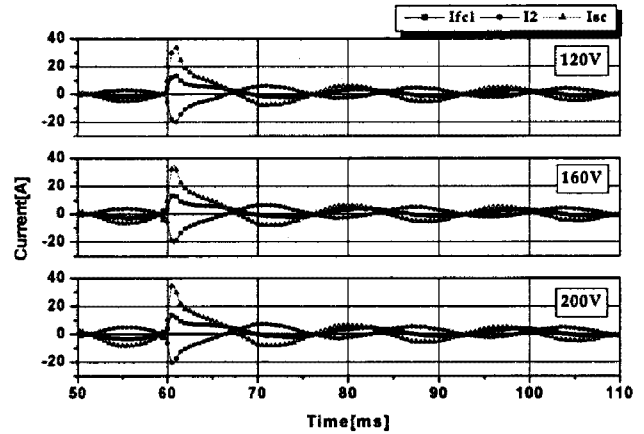


그림 2. 자속결합형 초전도 한류기의 전류제한 특성
Fig. 2. Measured current waveforms of a flux-coupling type SFCL

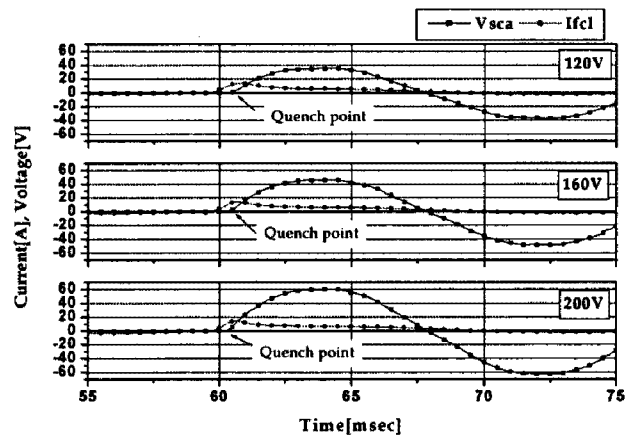


그림 3. 사고전류 및 초전도 소자 전압
Fig. 3. Measured current and voltage waveforms of a flux-coupling type SFCL

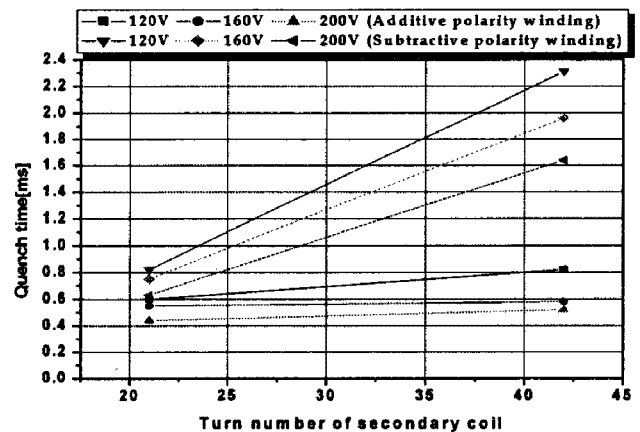


그림 4. 초전도 소자의 켄치 시간
Fig. 4. Quench time of the superconducting unit.

은 짧아졌다. 초전도 소자의 켄치 시간이 짧아진다는 것은 기기들이 사고에 노출되는 시간이 단축된다는 것을 의미하므로 기기의 부담을 줄이는데 효과적인 것이라 사료된다.

3. 결 론

본 논문에서는 자속결합형 초전도 한류기의 인가전압의 증가에 따른 켄치 특성을 분석하였다. 초전도 소자의 켄치 시간은 인가전압의 크기가 클수록 더 빠른 켄치 특성을 보였다. 이를 통해서 초전도 소자는 전압의 영향을 많이 받는다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 인가전압의 크기 증가는 제한된 사고전류의 크기를 증가시킨다는 것도 확인할 수 있었다. 초전도 소자의 켄치가 빠르다는 것은 사고시에 사고전류를 빠르게 제한하여 주변기기의 부담을 줄일 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 특성뿐만 아니라 회복특성, 소자의 임계값 등을 고려하여 초전도 소자의 켄치 특성을 각 사용처의 요구에 맞게 변경을 해야 할 필요성도 있다.

감사의 글

이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-313-D00274)

참 고 문 헌

- [1] Hyo-Sang Choi, Na-Young Lee, Young-Hee Han, Tae-Hyun Sung Byoung-Sung Han, "The Characteristic Analysis Between Flux-Coupling and Flux-Lock Type SFCL According to Variations of Turn Ratios", IEEE Trans. on Appl.Supercond, vol. 18, No. 2, pp. 737~740, June, 2008.
- [2] H. S. Choi, H. M. Park, Y. S. Cho, S. H. Lim, and B. S. Han, "Quench characteristic of current limiting elements in a flux-lock type superconducting fault current limiter," IEEE Trans. Appl. Superconduct., vol. 16, pp. 670-673, June 2006.
- [3] S. H. Lim, "Fault current limiting characteristics of separated and integrated three-phase flux-lock type SFCLs," Journal of Electrical Engineering & Technology, vol. 2, no. 3, pp. 289-293, 2007.
- [4] H. S. Choi, S. H. Lim, "Operating Performance of the Flux-Lock and the Transformer Type Superconducting Fault Current Limiter Using the YBCO Thin Films," IEEE Trans. Appl. supercond, vol. 17, pp. 1823-1826, June 2007.