

개루프 철심을 이용한 자속구속형 초전도한류기의 켄치특성

남궁현, 최효상, 박형민, 조용선, 이나영, 임성훈*, 박충렬**
 조선대학교 전기공학과, 전북대학교 공업기술연구센터*, 전북대학교 전기공학과**

Quench Characteristics of Flux-lock type Superconducting Fault Current Limiter using Open-loop Iron Core

Gueng-Hyun Nam, Hyo-Sang Choi, Hyoung-Min Park, Yong-Sun Cho, Na-Young Lee, Sung-Hun Lim*, Chung-Ryul Park**

Chosun Univ, Research center of Industrial Technology*, Chonbuk National Univ.**

Abstract : The superconducting fault current limiter(SFCLs) provides the effect such as enhancement in the power system reliability due to limiting fault current in a few miliseconds. The Flux-lock type SFCL using the YBCO film among various type SFCLs consists of the primary and the secondary copper coils that are wound in parallel each other through the iron core. The operation can be controlled by adjusting the inductances and the winding directions of each the coil. We compared the current limiting performance on the additive and the subtractive polarity winding directions in case of an open-loop iron core. To analyze quench characteristics, we experimented various phase angle.

Key Words : Flux-lope type superconducting fault current limiter, Open-loop iron core, Quench characteristics, Additive and subtractive polarity winding

1. 서론

초전도한류기를 전력계통에 설치할 경우 사고가 발생했을 때의 역할은 1cycle 이내에 과도전류를 빠르게 감지하여 선로로 흐르는 것을 신속하게 억제하여, 사고 종료 후 자동 복구되는 것이다. 또한 정상작동시에는 높은 전류밀도로 인하여 전력손실이 거의 없기 때문에 이러한 장점으로써 초전도 한류기 중에서도 구조가 간단하여 소형화가 가능한 저항형에 대한 연구가 대표적으로 진행되고 있다.

초전도한류기를 실계통에 적용하기 위해서는 단위한류소자의 기초켄치특성 파악은 필수적이다. 사고발생시 고장위치 및 종류, 여러 원인에 의하여 특정 사고각에서 사고가 발생하지 않으므로, 계통적용을 위한 사고각별 초전도한류기의 운전특성실험은 중요하다.

본 연구에서는 저항형 한류기를 보완한 자속구속형 한류기에 대하여 YBCO박막과 강자성체 철심을 사용하여 감극결선과 가극결선한 개루프인 경우를 조건으로 사고발생제어기를 통한 위상각별 고장을 발생시켰다. 각각의 사고제한특성을 실험하여 사고각별 한류소자에 켄치특성을 비교·분석하여 개루프로 강자성체를 구성했을 때의 영향력을 기존의 페루프와 비교하여 살펴보고자 한다.

2. 실험

실험장치

자속구속형 초전도 한류기의 구조는 그림 1과 같이 개루프 강자성체 철심에 코일 1, 2를 결선하여, 인덕턴스의 비가 60[mH]대 11[mH]가 되도록 하여 선로에 병렬연결하였다. V_s 는 360[V_{rms}]인 전원전압, R_0 은 1[Ω]짜리 표준부하, R_L 은 50[Ω]인 부하저항이다.

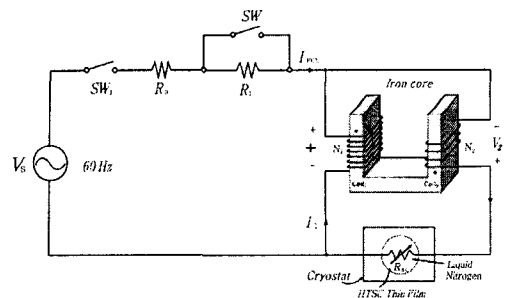


그림 1. 개루프인 자속구속형의 실험회로 구성도

코일 2에 직렬로 연결된 YBCO박막은 cryostat내부에 담겨져 있으며, 코일의 결선 방향에 따라 감·가극으로 나뉘게 된다. 스위치 SW₁를 닫은 후 일정시간이 지나, 스위치 SW₂을 닫아 단락선로처럼 동작시켜, 사고를 모의하였다. 단락사고가 발생하면 한류소자에 켄치가 발생하여, 전압이 유지된다. 이에 의해 각 코일에 채교되어 있던 자속은 시간에 따른 변화가 생기게 되어 코일의 인피던스에 의한 전압도 유지되며, 사고전류를 신속하게 제한하게 된다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 정격전압 360[V_{rms}]를 회로에 인가하여 사고각 θ , 90°에서 사고 발생시킨 직후 1/2주기 동안의 전압전류파형을 나타낸 것이다. 그림 2는 감극결선한 경우이며, 그림 3은 가극으로 결선했을 때의 사고전류제한에 따른 특성을 보여준다. 본 실험에서는 데이터로 나타내지 않았으나, 기존의 페루프인 경우를 추가로 실험하여 비교·분석하였다.

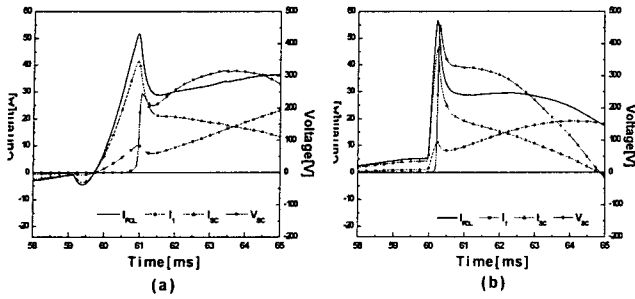


그림 2. 감극결선 a) 0° 사고각의 전류전압곡선
b) 90° 사고각의 전류전압곡선

그림 2에서 일반적인 페루프인 감극결선인 자속구속형의 운전특성과 동일한 현상을 나타내었다. 개루프인 경우도 사고발생한 후 초기시간변화에 따른 과도특성이 한류소자의 동작으로 신속하게 제한되었음을 확인할 수 있다. 여기서 사고각이 0° 도인 경우의 한류소자에 인가되는 초기 피크과도전압은 314.88[V_{ms}]였으나, 사고각이 90° 도인 경우 460.75[V_{ms}]까지 증가하였다. 반주기동안 사고각에 따른 선로전류의 사고지점의 전류값이 높아지는 비율이 4.76[A_{ms}]만큼 증가한 것에 비해, 초전도 한류소자의 인가 전압은 급격한 상승을 보이며 증가했음을 알 수 있다.

사고각이 90° 인 경우가 한류소자에 더 많은 전류가 흐르게 되어 켄치속도가 빨라지게 하며, 또한 급격한 사고 전류의 변화에 의해 쇄교되었던 2차측 직렬 연결되어진 코일에도 빠르게 전압을 인가시킨다. 이에 따라 coil 2와 한류소자간의 발생된 전압의 크기는 한류소자의 저항크기에 의해 전압크기가 교차하게 되면서, 한류소자에 과도한 전압이 걸리지 않는 역할을 하였다.

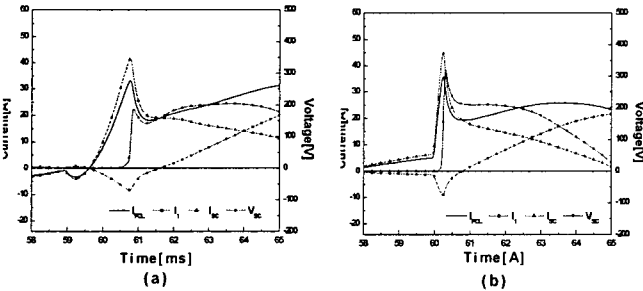


그림 3. 가극결선 a) 0° 사고각의 전류전압곡선
b) 90° 사고각의 전류전압곡선

그림 3은 가극결선인 경우를 나타낸다. 여기서도 초기반 주기동안에 선로전류는 2.36[A_{ms}]만큼 사고각의 증가에 따라 차이를 보였으나, 한류소자의 양단전압은 116.05[V_{ms}]만큼 상승하였다. 가극결선인 경우도 개루프 감극성인 경우와 동일한 현상을 보인 것으로 보인다. 사고각이 증가함에 따라 사고시점의 전류값이 높아짐에 따라 선로전류는 증가하여, 1차측 코일로 흐르는 전류는 감소하였다. 또한 자속구속형의 구조로 인해 180° 의 위상차를 가지는

I₁는 페루프에 비해 그 크기가 개루프일 때 더 적은 값을 가지는데, 이는 자속의 양이 초전도 한류기의 동작특성에 영향을 주는 것임을 알 수 있다.

그림 2와 3에는 기존의 저항형에 비해 한류소자의 전압이 약간의 위상변위가 나타나는데, 이는 순간적인 임피던스변화가 자속구속형이 크기 때문에 나타나는 지연현상이라 사료된다. 또한 개루프 철심 구조로 인하여 발생하는 자속의 흐름이 누설자속에 의하여 원활하지 않기 때문에 사고각 증가시 이로 인해 발생하는 전압이 인가되는 coil 2에 영향을 주어 순간적인 과전압을 발생시켜, 한류소자가 이에 대응하여 과도응답을 함에 따라 페루프인 경우보다 한류소자의 전기적인 충격면에서 개루프 경우가 부담이 크다고 사료된다.

4. 결론

본 논문에서는 YBCO박막을 사용하여 개루프인 강자성체 철심에 코일을 결선하여 자속구속형 초전도 한류기를 설계하여 사고각에 따른 전기적 동작특성을 파악하였다.

또한 감극결선과 가극결선에 대한 실험을 통해서 사고시 전류제한에 대한 특성분석으로 켄치에 따른 특성을 분석하였다. 사고각의 증가가 감·가극결선인 경우인 둘다 사고시점의 피크치 전류값의 높이를 상승시켜 초전도 한류기의 스위칭 동작시간인 켄치속도를 빠르게 하여, 한류소자에 인가되는 전압도 빠르게 상승시켰다.

개루프인 경우에도 기존의 페루프와 같은 동작특성으로써 신속하게 전류제한을 하여 사고각에 상관없이 초전도 한류기가 효율적으로 동작하였다. 하지만, 페루프의 실험에 비해 사고각이 증가했을 경우보다 한류소자의 과도응답특성이 나타났다. 이에 따라 한류소자에 과중한 부담으로 인해 소자보호측면에서 악영향이 있음을 확인할 수 있었다. 개루프 강자성체 철심을 사용할 경우 철심의 양을 줄일 수 있으나, 적정 산정을 통한 최적설계조건을 찾는 것이 중요하다.

참고 문헌

- [1] 김준환, 이강완, "전력계통, 고장전류 증대와 대응방안", 전기저널, p. 19-31, 1998.
- [2] 박형민, 임성훈, 박충렬, 최효상, 한병성, "자속구속형과 저항형 초전도 전류제한기의 특성비교", 전기전자재료학회논문지, Vol. 18, No. 4, p. 365, 2005.
- [3] T. Matsumura, T. Uchii, and Y. Yokomizu, "Development of flux-lock-type fault current limiter with high-Tc superconducting element", IEEE Trans. Appl. Supercon., Vol. 7, No. 2, p. 1001, 1996.