

센트리액터에 의한 박막형 초전도 한류기의 펜치 특성

남궁현, 조용선, 이나영, 박형민, 최효상, 한병성*
조선대학교, 전북대학교*

Quench Properties of a Superconducting Fault Current Limiter Using YBCO Films by Shunt Reactors

Gueng-Hyun Nam, Yong-Sun Cho, Na-Young Lee, Hyoung-Min Park, Hyo-Sang Choi

Byoung-Sung Han*

Chosun Uni., Chonbuk National Uni.*

Abstract - We improved quench properties of a superconducting fault current limiter (SFCL) components based on YBCO thin films. This consists of three components with nearly identical properties and one with slightly difference properties. The units were connected in series and first of parallel to increase the current and voltage ratings. It have caused significantly imbalanced power distribution. The imbalance remarkably improved by connecting a shunt reactor to the SFCL component in parallel.

1. 서 론

전력계통에서 초전도 한류기를 적용할 경우 사고 발생 시 초전도체에 임계전류 이상의 사고전류가 훌러 펜치 후 상전도체로 전이되어 임피던스가 급격히 증가되므로, 계통의 사고전류는 신속하게 감소된다. 전력계통내 기존의 고장전류 저감대책은 인접계통에 과부하 및 전력계통의 안정성 저하 등의 부작용을 유발시켰으며, 사고 발생 시 정전에 대한 대응책이 부족하였다. 따라서 초전도를 이용한 한류기의 도입은 현 실정에 부합되기 때문에 전 세계적으로 활발하게 연구되고 있다[1]-[3].

고온 초전도 한류기에 대한 연구는 저항형과 유도형, 브리지형 등으로 분류할 수 있다. 이중 저항형은 한류자용이 저항에 의해서 이루어지며, 위상차에 의한 파형변화가 없으므로 선로에 영향력이 적다. 저항형 중 박막형을 이용한 단위 한류소자는 제조공정상 불균일한 특성으로 각각의 펜치특성에서 균일하지 못하다. 박막형 한류소자는 허용 전압과 전류가 한정되어 있어 전력계통내에 적용하기 위해서는 다수개의 한류소자를 연결하여 사용해야 한다. 이러한 특성으로 한류소자간 전압등급 중대에 따른 직렬연결시 파워분담에 있어서 개별 소자간 약간의 차이가 심한 불균형을 초래한다. 따라서 박막형 한류소자를 이용한 한류기의 허용 전압 및 전류 등급 중대에 따른 펜치특성에 있어서 발생되는 문제점에 대한 대책이 필요하다[4]-[6].

본 논문에서는 한류소자 4개를 이용하여, 병렬우선직렬조합으로 연결하였을 때 발생되는 전류 및 전압특성과 센트리액터를 병렬로 연결하여 나타나는 특성차이에 대해 비교·분석하였다. 또한 펜치특성에 대한 실험결과를 토대로 조합에 따른 한류특성을 파악하였다.

2. 본 론

2.1 실험장치 구성

실험에 사용된 한류소자는 meander-line 형태로 쇠각된, 2인치 YBCO 박막으로 구성하였다. 그림 1은 모의실험을 위해 구성한 실험회로도이다. 여기서 V_0 는 전원전압인 $160/\sqrt{3}$ [V]/60 [Hz], 전체전류 측정을 위한 표준저항 R_0 은 1 [Ω], 부하저항 R_L 은 50 [Ω]을 각각 나타낸다. SW_1 을 닫아 전원전압을 회로에 인가하고 SW_2 를 닫아 단락사고를 모의하여 실험을 수행하였다. SFCL A, SFCL B, SFCL C, SFCL D는 실험회로도의 실험배열에 따라 연결하였다. 또한 센트리액터는 펜치특성 실험을 위한 관련 실험인 경우에만 한류소자에 병렬로 연결하여 특성을 비교·분석하였다. 본 실험에 사용된 리액터는 자체적으로 제작된 것이다.

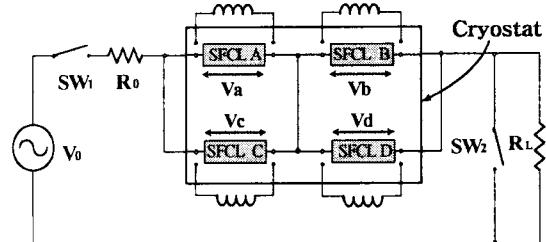


그림 1. 펜치특성을 실험하기 위한 회로도

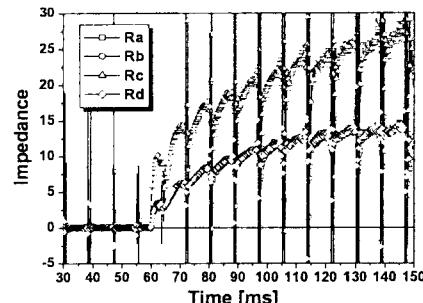


그림 2. 개별한류소자에 따른 저항-주선

본 실험에 앞서, 초전도 한류기를 개발하는데 있어서 한류기의 용량증대를 위해 개별한류소자의 운전특성이

중요하다. 그림 2는 사고발생시 개별소자에서 발생하는 저항곡선을 나타내었다. 한류소자의 개별특성은 소자 C를 제외하고 거의 동일한 것을 사용하였는데, 임계전류 밀도는 SFCL C, SFCL D, SFCL A, SFCL B 순으로 커진다. 그림 2에서는 SFCL C의 저항발생률에 따른 곡선파형이 다른 한류소자와 차이가 있음을 보여준다. 이는 YBCO 박막을 보호하고 웨치시 설계 저항값을 얻기 위해 코팅된 금층의 두께가 다른 시편과 약간 다른데서 기인하는 것으로 사료된다.

2.2 병렬우선직렬 연결한 경우

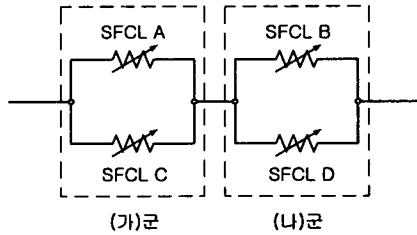


그림 3. 병렬우선 직렬연결 조합 회로도

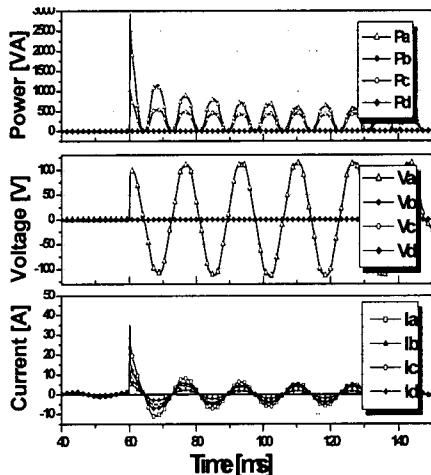


그림 4. 병렬우선 직렬연결에 따른 전기적 특성
a. 초전도 한류소자의 소비전력특성 곡선
b. 초전도 한류소자의 양단 전압특성 곡선
c. 초전도 한류소자의 전류특성 곡선

그림3은 한류소자를 병렬우선 직렬연결 조합에 따라 연결한 회로도이다. 초전도 한류소기의 전류 등급을 높이기 위해서는 초전도 한류소자를 병렬조합으로 연결하여야 하며, 전압등급을 높이기 위해서 한류소자를 직렬조합으로 연결한다. 이러한 특성을 파악하기 위하여 그림3과 같은 회로도를 구성하였다.

병렬연결시 각 한류소자간의 사고발생에 따른 웨치시 전류가 제분배되는 상호작용으로 웨치를 개선시키는 특성이 있으나 직렬로 연결된 (가)군과 (나)군의 특성차이로 임계전류밀도가 낮은 한류소자 C가 있는 (가)군에서만 웨치가 발생하여 인가된 모든 전력을 감당하였다. 이는 직렬연결에 따른 특성으로 약간의 임계전류밀도 차에 의해서 (가)군만 웨치되어 사고전류를 제한하지만 (나)군은 유입되는 전류가 한류소자의 임계전류밀도에 도달하지 않으므로 웨치가 발생하지 않아 한류작용에 기억하지 못하였다.

2.3 선트리액터를 병렬연결한 경우

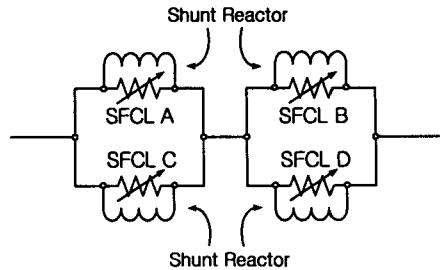


그림 5. 병렬연결된 선트리액터의 회로도

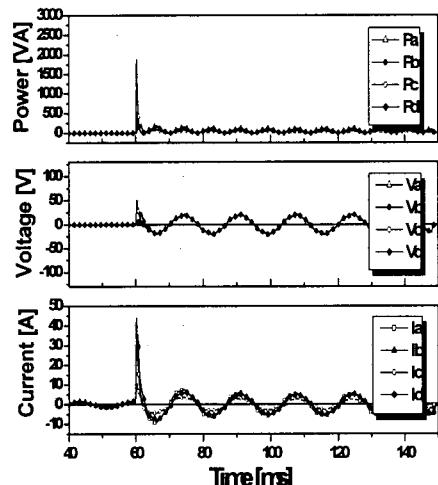


그림 6. 병렬로 연결된 선트리액터에 따른 전기적 특성
a. 초전도 한류소자의 소비전력특성 곡선
b. 초전도 한류소자의 양단 전압특성 곡선
c. 초전도 한류소자의 전류특성 곡선

그림 5는 병렬우선 직렬회로에 연결된 초전도 한류소자 양단에 병렬로 선트리액터를 추가로 연결한 회로도이다. 선트리액터의 연결은 사고이후에 발생되는 웨치에 의한 저항 상승속도를 둔화시켜 다른 한류소자의 웨치특성을 개선한다. 이는 사고발생시 웨치된 소자에 임피던스의 증가로 한류소자에 흐르는 전류가 감소되어 선트리액터로 전류를 우회시켜 웨치가 지연됨에 따라 다른 한류소자가 웨치될 수 있는 기회를 제공한 것으로 사료된다.

그림 4에서 보여지는 특성은 임계전류밀도가 다른 한류소자가 병렬우선 직렬조합에 의한 연결시 심한 불균형이 발생되어 일부소자만이 웨치가 발생했음을 나타낸다. 이러한 불균형 웨치현상은 그림 6에서 한류소자에 병렬로 선트리액터를 삽입하여 소자간 웨치시점을 조절함으로써 어느 정도 해결되었다. 선트리액터는 사고발생 시간 동안 작동하기 때문에 한류기의 정상운전상태에서는 모든 전류가 초전도체에 흐르므로 회로에 미치는 영향은 거의 없다고 볼 수 있다. 그림6의 (b)는 소자간의 양단 전압이 병렬우선직렬에서 나타나는 전압불균형현상이 병렬로 연결된 리액터에 의하여 전압이 소자간에 균등하게 분담됨을 보여준다.

이는 전류제분배로 인한 상호작용으로 전체 한류소자에 웨치가 발생했음을 나타낸다. 그림 3에 의한 조합배열시 고장전류에 따른 웨치 발생 후 YBCO 박막의 금박막층으로 대부분 전류가 흐르므로, 이에 따라 전압 증가 및 소비전력증가가 발생한다. 금박막층에 의한 저항

증가는 액체질소에 효율면에서 영향을 미친다. 하지만, 그림 5에 의한 조합배열방식은 모의사고가 발생한 경우 한류소자의 열원에 의한 열발생이 전류가 센트리액터로 우회되면서 초전도 한류소자의 저항발생률을 줄임으로써 열적부담을 줄였다. 물론, 센트리액터가 가지고 있는 저항에 의한 열손실 I^2R 은 약간 발생하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 YBCO film 박막을 사용하여 초전도 저항형 한류기를 설계한 후 펜치특성을 개선하기 위한 실험을 수행하였다. 실험을 통해서 사고에 대한 전류제한특성에서 나타나는 전기적 특성을 파악하기 위해, 병렬우선 직렬연결 실험과 리액터의 연결에 따른 실험을 비교·분석하여 펜치에 따른 특성을 파악하였다.

각각의 한류소자에 대한 저항발생률 과정은 사고발생 후 소자 1개를 제외하고 거의 동일한 특성을 나타내었다. 이러한 특성을 지닌 한류소자 4개의 병렬우선 직렬연결시 직렬조합에 따른 특성으로 불균형적인 펜치가 발생하였다. 한류소자간 임계전류 밀도차로 먼저 펜치가 발생한 한류소자가 모든 전력을 감당하게 되어 전체 한류소자의 파워불균형 현상이 발생하였다. 이런 현상을 해소하기 위해 센트리액터를 병렬로 한류소자에 연결함으로써 어느 정도 해소하였다.

개별소자간의 약간의 특성차로 인한 전압발생률 차이가 한류소자에 병렬로 리액터를 연결하면서, 사고전류가 재분배되어 한류소자에서 발생되는 양단전압이 거의 동일해졌다. 센트리액터는 초전도 한류소자에 병렬로 삽입되어 있기 때문에 정상상태에서는 영향이 없으나 사고발생시 리액터의 임피던스에 의해 사고전류의 일부를 분담하여 제한하였다. 또한 리액터 특성에 의해 한류소자에서 발생되는 열을 감소시켜 소비전력 상승을 둔화시킬 수 있다고 사료된다. 리액터를 병렬로 한류소자에 연결함에 따라 초기에 발생되는 과도한 응답에 의한 급격한 변화를 둔화시킬 수 있어 전력기기에 대한 부담을 줄일 수 있을 것이다.

감사의 글

“이 논문은 2005년 산업자원부 전력산업연구개발사업의 지원을 받아 연구되었음”

[참 고 문 헌]

- [1] 김준환, 이강완, “전력계통, 고장전류 증대와 대응방안”, 전기저널, p. 19-31, 1998
- [2] 김해림, 협옥배, 최효상, 황시돌, 김상준, “저항형 초전도 한류기에서의 펜치 전파”, 한국전기전자재료학회 논문지 제13권, 4호, p. 337-342, 2000
- [3] 박권배, 이방욱, 김호민, 강종성, 오일성, 심정숙, 김혜림, 협옥배, “초전도 저항형 한류기의 용량 증대에 대한 case studies”, 한국초전도·저온공학회 학술대회 논문지, p. 312-315, 2004
- [4] 최효상, 협옥배, 김해림, 황시돌, 김상준, 문승현, 한병성, YBCO 박막의 저항형 초전도 한류기에 대한 동작특성”, 전기학회논문지, 48B권, 10호, p. 537-543, 1999
- [5] 차상도, 김해림, 심정숙, 한용희, 협옥배, “동일 병렬 저항을 이용한 초전도 저항형 한류소자 직렬연결방안 및 전압용량 증대”, 대한전기학회 전기학회 논문지, 52권, 7호, p. 327-334, 2003
- [6] 최효상, 협옥배, 김해림, 황시돌, “15kVA급 박막형 초전도 전류제한기 한류특성”, 전기전자재료학회 논문지, Vol. 13, No. 12, p. 1058-1062, 2000