

매트릭스형 초전도 전류제한기의 리액터의 턴수 및 션트저항 증가에 따른 켄치특성 분석

(Analysis of Quench Characteristics according to increment of turn number of a reactor and shunt resistors of the Matrix-type Superconductor Fault Current Limiter)

이주형, 오금곤, 정수복, 박형민, 조용선, 정병익, 최효상

(Ju-Hyoung Lee, Geun-Gon Oh, Su-Bok Jung, Hyoung-Min Park, Young-Sun Cho, Byoung-Ik Jung, Hyo-Sang Choi)

Abstract

The matrix-type superconducting fault current limiter (SFCL) using YBCO thin film consists of the trigger and current-limiting parts. We fabricated the matrix-type SFCL with the integrated current limiting modules. we carried out the experiment of matrix-type SFCL with the integrated current limiting modules connected in series or parallel. We saw current characteristics due to ratio of change the shunt resistance and turns. We confirmed that the difference of critical current between superconducting units was decreased by increment of current flowing into the reactor which applied the magnetic field into the superconducting units..

1. 서론

현 국내 전력계통의 수요는 매년 증가하여 계통적용 시 전체 시스템의 효율화 방안을 모색 중이다. 하지만 원천기술 및 시스템의 적용기술이 선진국에 비해 취약해 이에 따른 고품질 전력공급을 목표로 손실의 최소화 방안으로 경제적, 신뢰성이 우수한 초전도 전류 제한기에 대한 연구는 국내외 진행 중 이다[1-3]. 초전도 전류 제한기는 저항형, 유도형, 변압기형 등의 다양한 타입이 연구 개발하고있고 이 중 빠른 켄치와 구조의 소형화와 저항 성분에 따른 이점이 많은 저항형 타입의 매트릭스형 초전도 전류제한기를 제작하여 션트저항의 증가에 따른 외부자장의 영향에 따른 분석을 고찰하였다.

2. 본론

2.1 구조 및 동작 원리

그림과 같이 매트릭스형 초전도 한류기 회로를 구성하고 션트저항 변화에 따른 사고전류 제한 특성을 살펴보겠다.

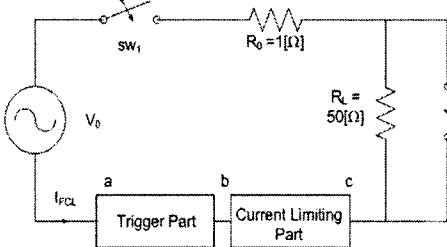


그림 1. 매트릭스형 초전도 전류제한기의 실험회로도
Fig. 1. The experimental circuit of the matrix-type SFCL

그림 1은 매트릭스형 초전도 전류제한기의 실험회로도로서 V_0 는 회로에 인가되는 전원전압이며, R_0 와 R_L 은 선로의 전류를 측정하기 위한 표준저항과 부하를 나타내는 저항으로 각각 $1[\Omega]$ 과 $50[\Omega]$ 의 저항을 사용하였다. SW_1 과 SW_2 는 초전도 전류제한기에 전원을 인가하기 위한 스위치와 단락 및 지락사고를 모의하기위한 스위치로 전력용 SCR을 사용하고 A-B구간은 trigger part와 current-limiting part가 연결되는 구간이다.

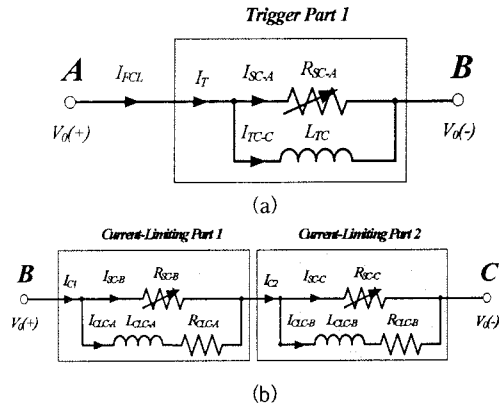


그림 2. 1*3구조를 갖는 매트릭스형 초전도 전류제한기의 등가회로도
Fig. 2 The equivalent circuit of SFCL with 1*3 matrix

그림 2는 매트릭스형 초전도 전류제한기는 두 부분으로 나누어진다. 초전도 소자에 자장을 인가시켜 임계특성을 균일하게 하기 위한 코일이 병렬로 연결된 trigger part와 사고전류를 제한하기 위한 션트 코일과 저항이 연결된 부분이 초전도 소자와 병렬로 연결된 current-limiting part로 나누어진다. Trigger part의 전압, 전류를 V_T, I_T

라 하고 두 개의 current-limiting part에서 발생하는 전압·전류를 각각 V_{C1} , V_{C2} , I_{C1} , I_{C2} 라고 할 때 각각의 전압·전류와 전체 전압·전류는 다음과 같은 방정식으로 표현할 수 있다. 등가회로도를 분석하기 위해 다음과 같은 가정을 만들었다.

1. $L_{TC-A}-L_{TC-F} = L_{TC}$
2. $L_{CLC-A}-L_{CLC-D} = L_{CLC}$
3. $R_{CLC-A}-R_{CLC-D} = R_{CLC}$
4. R_{SC-A} , $R_{SC-B} = R_{SC}$
5. R_{SC-B} , R_{SC-C} , R_{SC-E} , $R_{SC-F} = R_{SCC}$
6. R_{SC-A} , $R_{SC-D} = R_{SC}$

위의 가정을 통해 다음과 같은 방정식을 구할 수 있다.

$$Z_{total} = \frac{R_{SCT} \cdot j\omega L_{TC}}{R_{SCT} + j\omega L_{TC}} + 2 \left[\frac{R_{SCC} (R_{CLC} + j\omega L_{CLC})}{2R_{SCC} + (R_{CLC} + j\omega L_{CLC})} \right] \quad (1)$$

$$I_{total} = I_{FCL} = I_T = I_{C1} = I_{C2} = \frac{(R_{SCT} + j\omega L_{TC})}{j\omega L_{TC} \cdot R_{SCT}} = \left(\frac{1}{R_{SCC}} + \frac{1}{R_{CLC} + j\omega L_{CLC}} \right) \cdot V_{C1} \quad (2)$$

식 (1)은 일체형 외부자장인가 레액터를 갖는 1*3구조를 위한 방정식으로 식 (1)은 초전도 한류기의 전체임피던스로서 우변의 첫째항은 trigger part의 임피던스이고, 둘째항은 current-limiting part의 임피던스이다. 사고 전에는 초전도 소자의 0저항 특성을 이용하여 아무런 손실 없이 전류가 흐른다. 사고 후에는 초전도 소자의 켄치로 발생하는 저항으로 인해 사고전류를 제한하게 된다. 이때 trigger part에 연결되어 있는 셉트리액터와 초전도 소자 저항의 합성 임피던스가 적기 때문에 사고전류제한의 역할을 거의 하지 못한다. 그러나 셉트리액터가 current-limiting part의 소자를 감싸고 있기 때문에 자장을 인가하게 된다. 이것은 초전도 소자의 켄치속도를 높여 동시켄치를 유도하는 역할을 한다.

그림 3은 초전도 소자의 임계전류는 A=17.7, B=19.9, C=19.4 [A] 값이다.

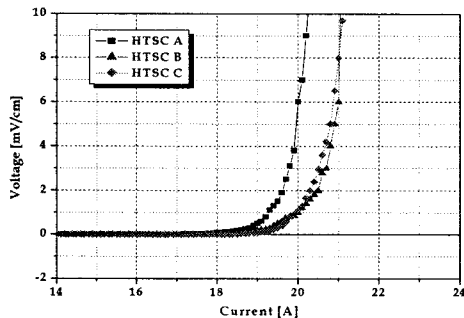


그림 3. 초전도 소자 3개의 V-I 특성 곡선
Fig 3. The V-I characteristics curves of three superconducting units

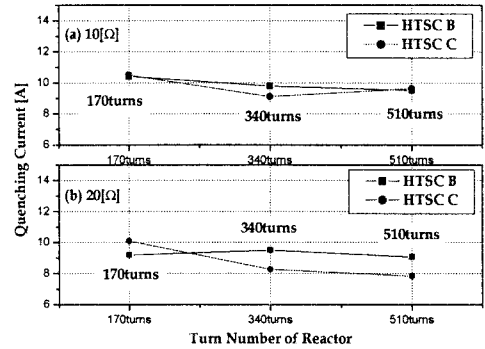


그림 4. 리액터의 턴수와 셉트저항의 변화에 따른 초전도 한류기의 켄치전류 분석
(a) $R_{CLC}=10 \Omega$, (b) $R_{CLC}=20 \Omega$

Fig 4. Analysis on quench currents of SFCL according to the turn number of reactor and shunt resistors

그림 4는 current-limiting part에 있는 초전도 소자가 켄치되는 순간의 전류를 일체형으로 된 외부자장인가 리액터의 턴수와 셉트저항의 변화에 따라 나타낸 것이며, 외부자장인가 리액터에서 발생하는 자장을 초전도 소자에 인가한 경우이다. 인가전압은 trigger part에 있는 초전도 소자가 켄치되는 전압인 $400/\sqrt{3}$ [Vrms]으로 하였다.

외부자장인가 리액터의 턴수가 증가할수록 초전도 소자의 켄치전류가 줄어들고 소자들간 차이도 더 크게 줄어든다는 것을 확인할 수 있다. 이것은 외부자장인가 리액터에서 발생하는 자장의 크기가 증가함에 따라 인해 초전도 소자들간의 임계전류의 차이가 줄어들기 때문이다.

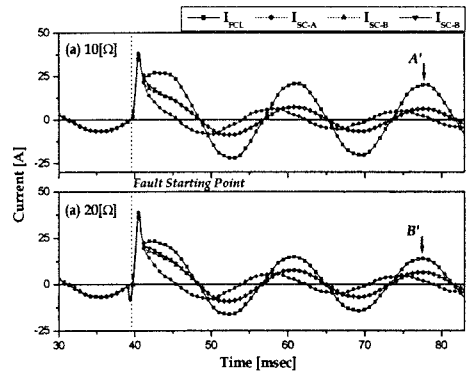


그림 5. 1*3구조를 갖는 초전도 한류기의 사고전류제한특성곡선 ($L_{TC}=510turns$)
(a) $R_{ac} = 10 \Omega$, (b) $R_{ac} = 20 \Omega$
Fig 5. The curves of limiting fault current characteristics of SFCL with 1*3 matrix

그림 5는 외부자장인가 리액터의 턴수가 510턴 일 때 선트저항의 증가에 따라 사고전류와 소자에 흐르는 전류의 변화를 나타낸 곡선이다. 사고전류는 10[Ω]일 때 38.97A이었고, 20[Ω]일 때 38.69A로 거의 같았다. 그러나 그림에서 나타낸 A'와 B'점에서의 사고전류는 각각 20.17과 13.85A이었다. 이것은 사고초기에는 초전도 소자에서 발생하는 저항의 크기가 작아 대부분의 사고전류는 소자측으로 흐르게 된다. 그러나 초전도 소자가 켜진 이후에 발생하는 저항의 크기가 점점 커질수록 전류는 병렬로 연결된 선트저항 및 리액터측으로 분배되어 흐르게 된다. 그러므로 병렬로 연결된 선트저항의 크기가 클수록 제한되는 사고전류의 크기도 증가하게 된다.

3. 결 론

본 논문에서는 1*3구조를 갖는 매트릭스형 초전도 한류기의 선트저항의 증가에 따른 켄치특성 분석하였다. 실험결과 초전도 소자의 켄치 이후 턴수 증가에 따라 초전도 소자들 간의 켄치전류 차이를 줄이고 크기를 감소시켜 초전도 소자들 간의 임계특성을 보상하였다. 또한 그림 5에서와 같이 선트저항의 증가에 따라 제한되는 전류는 거의 같았으나 2주기이후 current-limiting part에 병렬로 연결된 전체 임피던스의 증가로 사고전류의 제한율이 향상된다는 것을 확인할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Y.S. Cho, N.Y. Lee, H.S. Choi, D.C. Chung and S.H. Lim "Operational characteristics of hybrid-type SFCL with closed and open cores" *Physica C Superconductivity*, Vol. 463-465, No.1 P 1204-1208, 2007
- [2] D.C. Chung, H.S. Choi, N.Y. Lee, G.Y. Nam, Y.S. Cho, T.H. Sung, Y.H. Han, B.S. Kim and S.H. Lim "Optimum design of matrix fault current limiters using the series resistance connected with shunt coil" *Physica C Superconductivity*, Vol 463-465, No.1 P 1193-1197, 2007
- [3] S.H. Lim and H.S. Choi "Quench characteristics of HTSC elements in series-connected flux-lock type SFCLs through magnetic flux-linkage" *Physica C Superconductivity*, Vol 445-448, No.1, P 1073-1077, 2006