

변압기형과 자속결합형 초전도 한류기의 회복성능 비교

김덕균*, 최효상**, 조용선**, 박형민**, 정병익**, 하경훈**, 최수근**
 한국폴리텍1대학 제주캠퍼스*, 조선대**

Comparison of the recovery behavior of a transformer type SFCL and a flux-coupling type SFCL

Deog-Goo Kim*, Hyo-Sang Choi**, Yong-Sun Cho**, Hyoung-Min Park**, Byung-Ik Jung**, Kyoung-Hun Ha**, Soo-Geun Choi**
 Korea Polytechnic 1 college Jeju Campus*, Chosun University**

Abstract - 급격히 증가해온 사고전류로부터 전력망을 보호하기 위한 해결책으로 초전도 한류기가 제시되어 왔다. 초전도체의 영저항 특성을 이용한 초전도 한류기는 정상상태시 무손실로써 동작하기 때문에 전력 공급의 효율성을 저하시키지 않는 장점이 있다. 이러한 초전도 한류기를 전력망에 적용하기 위해서는, 용량증대의 문제가 우선적으로 해결되어야 하는 바, 초전도 소자의 직·병렬 연결과 더불어 변압기를 이용한 여러 타입의 초전도 한류기가 제시 및 연구되어 왔다. 본 논문에서는 변압기형 초전도 한류기와 자속결합형 초전도 한류기를 구성하여 단락사고 발생시 각 초전도 한류기의 회복성능을 비교·분석 하였다. 각 초전도 한류기는 사고전류 제한 동작특성에 따라 회복시간의 차이를 보였다.

1. 서 론

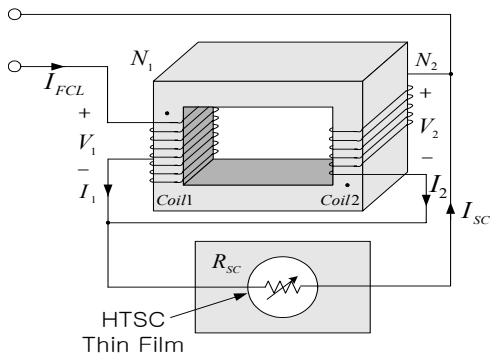
국내 전력계통은 망상식의 전력공급 방식을 채택하고 있다. 이러한 전력공급 구조는 공급신뢰도 향상에는 기여하였으나, 계통의 등가 임피던스가 저하되어 사고발생시 사고전류의 증대를 초래하였다. 또한 전력수요가 지속적으로 증가하면서, 사고전류의 크기가 기존 차단기의 차단 내력을 초과하게 되었다. 사고전류로부터 전력계통을 보호하기 위해 모션분리와 직렬리액터의 설치 방법이 일반적으로 사용되어 왔지만, 전력공급의 효율성, 신뢰도 및 안정도를 저하시키는 문제점이 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 초전도 한류기에 대한 연구가 진행되어 왔다. 초전도체의 영저항 특성을 이용한 초전도 한류기는 정상상태시에는 무손실 동작하고, 계통 내 사고발생시에만 임피던스를 투입하여 사고전류를 일정값 이하로 제한시킨다. 초전도 한류기를 실계통에 적용시키기 위해서는 용량증대 문제가 우선적으로 해결되어야 하며, 이를 위해 초전도 소자의 직·병렬 연결 및 변압기를 이용한 초전도 한류기가 제시 및 연구되고 있다.

본 논문에서는 변압기형 초전도 한류기와 자속결합형 초전도 한류기를 구성하여 단락사고에 대한 회복성능을 비교·분석 하였다. 초전도 소자의 회복시간은 초전도 소자가 소비해야할 전력량의 크기로 정의될 수 있으며, 소비전력량이 클수록 회복시간은 지연된다. 또한 회복시간이 지연될 경우 초전도 소자의 전력부담이 가중되어 파손의 우려가 있으며, 이는 전력망의 재폐로 운용방식과의 보호협조 문제에 있어 중요한 연관성을 갖는다[1-2].

2. 본 론

2.1 구조 및 동작설명

그림 1은 자속결합형 초전도 한류기의 등가회로도를 나타내고 있다. 사고발생전 초전도 소자는 영저항 상태를 유지하며 초전도 소자와 병렬 연결 되어있는 2차측 코일은 전압이 유기되지 않고 자속이 상쇄된다.



〈그림 1〉 자속결합형 초전도 한류기의 등가회로도

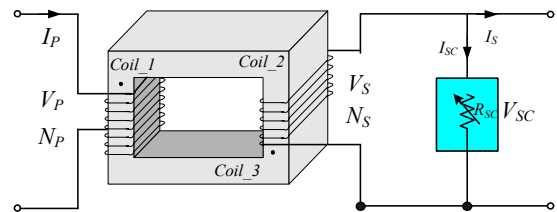
즉, 정상상태에서 자속결합형 초전도 한류기는 무손실로써 동작하게 된다. 이때 지락 또는 단락사고 등이 발생하여 사고전류의 크기가 초전도 소자의 임계전류 값을 초과하게 되면, 초전도 소자는 켜치되어 저항을 발생하며, 2차측 코일에 전압이 유기되어 사고전류를 일정값 이하로 제한시키는 역할을 한다.

$$V_1 = L_1 \frac{dI_1}{dt} \pm M \frac{dI_2}{dt}$$

$$V_2 = L_2 \frac{dI_2}{dt} \pm M \frac{dI_1}{dt} \tag{1}$$

$$V_2 = V_{SC} \tag{2}$$

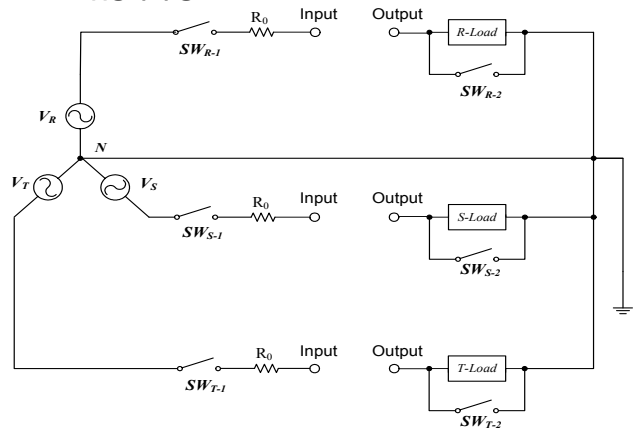
식 (1), (2)에서 정상상태시 초전도 소자 전압(V_{SC})은 0 V이 되며, 병렬로 연결되어 있는 2차측 코일에 전압이 발생하지 않게 되어 두 코일 간 상호유도 되는 자속은 상쇄된다. 사고가 발생하면 켜치로 인한 초전도 소자의 저항과 두 코일이 자속 결합하여 사고전류를 일정값 이하로 제한하게 된다. 또한 자속결합형 초전도 한류기는 두 코일의 턴수비 변화에 따라 한류기 전체 임피던스를 조절하여 사고전류 제한률 등급을 향상시킬 수 있는 장점이 있다[3-4].



〈그림 2〉 변압기형 초전도 한류기의 등가회로도

그림 2는 변압기형 초전도 한류기의 등가회로도이다. 전력망에서 사고가 발생하여 초전도 소자의 임계전류 값 이상의 사고전류가 흐르게 되면 1:2차측 코일의 권선비에 의해 2차측 코일에 사고전류가 유도되고, 초전도 소자의 발생된 저항으로 사고전류를 제한한다[5-7].

2.2 실험장치 구성



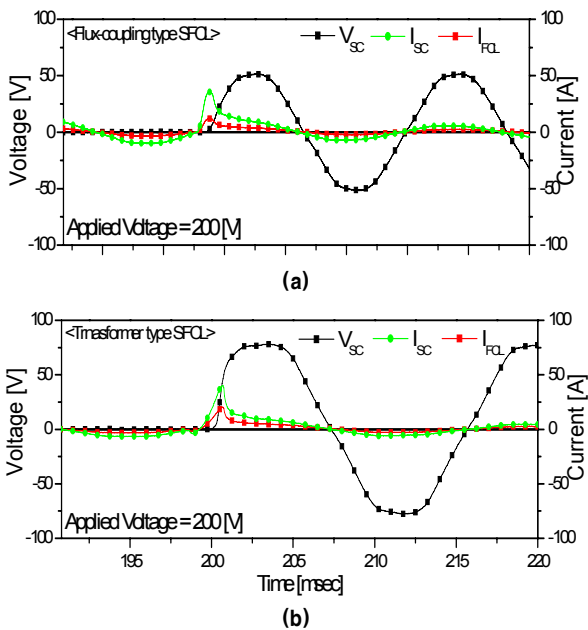
〈그림 3〉 실험 회로도

과도상태 실험을 위한 장치 구성은 그림 3과 같다. 변압기형 및 자속결합형 초전도 한류기는 각 상의 Input, Output 양단에 직렬접속 된다. 단상 또는 삼상 실험회로를 구성하여, 지락사고 및 단락사고 등의 과도 상태에 대한 실험을 구성할 수 있다. 각 상의 SW₁(SW_{R-1}, SW_{S-1}, SW_{T-1})은 전원 인가 스위치, SW₂(SW_{R-2}, SW_{S-2}, SW_{T-2})는 사고발생 스위치, Load(R-Load, S-LOad, T-Load)는 부하로써 50 Ω의 저항을 사용하였다.

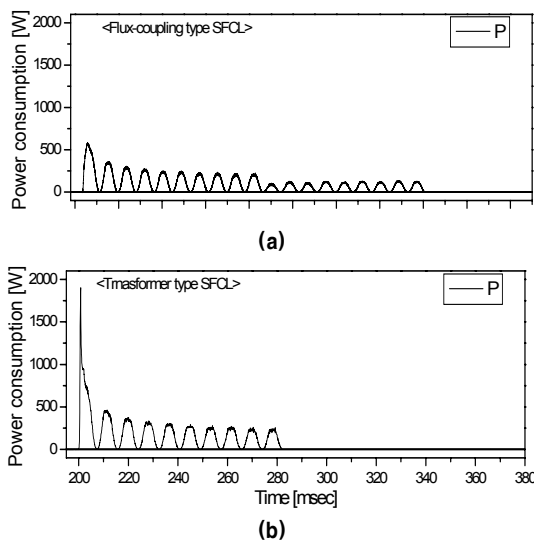
본 실험에서는 실험전압과 두 코일의 턴수비(N₁:N₂)를 각각 200 V, N₁:N₂=2:1로 고정하고, 단상 회로를 구성하여 단락사고 발생에 따른 변압기형 및 자속결합형 초전도 한류기의 동작특성을 비교·분석 하였다.

2.2 결과 분석

그림 4는 사고전류 파형(I_{FDL}) 및 초전도 소자의 전압·전류 파형(V_{SC}, I_{SC})을 나타내고 있다. (a)는 자속결합형 초전도 한류기, (b)는 변압기형 초전도 한류기의 파형이다. 정상상태시 각 초전도 소자는 영전압을 유지하며, 초전도 소자의 임계전류 값 이상의 사고전류 의해 초전도 소자가 퀘칭되어 발생된 저항으로 사고전류를 제한시켰다.



〈그림 4〉 초전도 소자의 전압, 전류 및 사고전류 파형
(a) 자속결합형 초전도 한류기
(b) 변압기형 초전도 한류기



〈그림 5〉 초전도 소자의 소비전력 파형
(a) 자속결합형 초전도 한류기
(b) 변압기형 초전도 한류기

같은 실험조건하에서 각 초전도 한류기의 제한된 사고전류의 크기는 자속결합형 초전도 한류기의 경우 13.3 A, 변압기형 초전도 한류기는 20 A로 측정되었다. 자속결합형 초전도 한류기의 사고전류 제한율이 조금 더 우수하였지만, 그만큼 초전도 소자의 전력부담은 증가했음을 의미한다. 그림 5는 각 초전도 소자의 소비전력 파형을 나타낸 것이며, 변압기형 초전도 한류기의 소비전력량이 더 큰 것으로 보이지만 결과적으로는 자속결합형 초전도 한류기의 회복시간이 변압기형 초전도 한류기보다 확연하게 지연되는 것을 확인할 수 있다. 초전도 한류기는 차단기의 차단용량을 넘어선 사고전류를 일정값 이하로 제한시킴으로써 전력망을 보호하기 위한 전력기기이다. 사고전류 제한율이 우수한 초전도 한류기가 필요하지만, 앞선 결과와 같이 초전도 소자의 전력부담이 증가할 경우 회복시간이 지연되며, 이는 초전도 소자의 파손으로 이어질 수 있음을 예상해 볼 수 있다.

3. 결 론

초전도 한류기를 전력망에 적용하기 위해서는 용량증대 문제가 해결되어야 한다. 이를 위해서는 초전도 소자의 직·병렬 연결이 필수적이지만, 초전도 소자간의 불균형 퀘칭이 발생할 수 있다. 변압기형 및 자속결합형 초전도 한류기는 초전도 소자의 직·병렬 연결과 더불어 변압기를 사용하여 한류기 용량을 증대시키는 목적으로 제시되었다. 본 논문에서는 변압기형 및 자속결합형 초전도 한류기를 구성하여 각 초전도 한류기의 회복성을 비교·분석 하였으며, 사고전류 제한율이 우수한 자속결합형 초전도 한류기의 경우 초전도 소자의 전력부담은 가중되어 회복시간이 지연되는 것을 확인 할 수 있었다. 초전도 한류기는 사고전류를 저감시켜 계통을 보호하기 위한 전력기기인 만큼 우수한 사고전류 제한율이 필요하다. 하지만 초전도 소자의 회복성 문제는 초전도 한류기의 신뢰성 문제와 직결되며, 전력망 제제로 운용방식과의 보호협조 문제에 있어 중요한 연관성이 있는 만큼 효과적인 회복성 개선 방안을 마련해야 할 필요가 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이상봉, 김철환, 김규호, 김재철, 현옥배, "초전도 한류기의 회복특성에 따른 제제로 동작 분석", 대한전기학회 전기학회 논문지, 제58권 제5호, pp. 905~910, 2009
- [2] 정수복, 조용선, 최효상, 최명호, "결선방향에 따른 자속구속형 전류제한기의 퀘칭 회복 의존도 해석", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol.22, No.1, pp.113~117 January 2008
- [3] Sung-hun Lim, "Operational Characteristics of Flux-Lock Type SFCL With Series Connection of Two Coils", IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 17, No. 2, June 2007
- [4] Hyo-Sang Choi, Byung-Ik Jung, Yong-Sun Cho, "Transient characteristics of a Flux-Coupling type Superconducting fault current limiter according to winding direction", IEEE Trans. on Appl. Supercond., vol. 19, pp.1827-1830, June 2009
- [5] 조용선, 최효상, 박형민, 정수복, "Characteristics of Transformer-type SFCL according to the connecting methods of secondary coils", 전기학회논문지 제 55권, 제 12호, pp.2078~2083, 2007
- [6] Hyo-Sang Choi, Ok-Bae Hyun, Hye-Rim Kim and Kwon-Bae Park, "Switching properties of hybrid type superconducting fault current limiter using YBCO stripes", IEEE Trans. on Appl. Supercond., vol. 12, pp.1833-1838, Sep 2002
- [7] Hyo-Sang Choi, Yong-Sun Cho, Sung-hun Lim, "Operational characteristics of hybrid-type SFCL by the number of secondary windings with YBCO films", IEEE Trans. on Appl. Supercond., vol. 16, pp.719-722, June 2006