

트리거형 초전도한류기의 접점구성에 따른 전류제한 및 회복특성 분석

(Analysis on Current Limiting and Recovery Characteristics of a Trigger Type SFCL as the Composition of the Contact)

최종수* · 김명후 · 유일경 · 김진석 · 임성훈 · 김재철**

(Jong-Soo Choi · Myoung-Hoo Kim · Il-Kyoung You · Jin-Seok Kim · Sung-Hun Lim · Jae-Chul Kim)

Abstract

We experiment to analyze on current limiting and recovery characteristics of trigger type SFCL as the composition of the contact. Generally, some superconductor of SFCL is relatively largely loaded due to limit the fault current by oneself and recovery time is affected until the fault cleared. However, in the fault, the proposal trigger type SFCL transfer the fault current to current limiting reactor(CLR) using power switch so it could reduce the recovery time and load of the superconductor. However, because of applying the additional power switches, that could generate some power loss. Therefore, to solve this problem, we proposed the composition method of the double contact for a trigger type SFCL and analyzed on current limiting and recovery characteristics for ones.

Key Words : Superconducting Fault Current Limiter (SFCL), Trigger, Recovery Characteristics

1. 서 론

초전도 한류기는 평상시에 초전도 상태로 전력손실이 없고, 고장발생시 고장전류를 빠르게 감지 및 제한하여 고장전류를 감소시켜 전력계통을 안전하게 보호할 수 있으며, 그 종류도 다양하다[1-2]. 일반적인 저항형 초전도 한류기의 경우, 초전도 소자의 많은 부담

으로 실계통에 적용하기 위한 초전도 한류기의 단위 초전도 소자의 직·병렬연결이 필수적이고, 많은 수의 초전도 소자 사용으로 경제적 비용이 많이 발생한다[3-5]. 또한 초전도 한류기를 실계통에 적용하기 위해 해결해야 될 또 다른 문제점으로는 기존의 차단기와 연계동작하여, 차단기에 의해 고장이 제거될 경우 초전도 한류기를 구성하는 초전도 소자들은 가능한 짧은 시간내에 정상상태인 초전도 상태로 복귀되는 것이 이상적이지만 고장발생시 신속한 전류제한 동작과 달리 긴 회복시간을 필요로 하고 있어 회복특성 향상을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다[6-8].

따라서 본 논문에서는 전력용 스위치를 이용하여 고장발생 초기에 초전도 한류기를 구성하는 초전도 소

* 주저자 : 한국전기안전공사 전력설비검사단

** 교신저자 : 숭실대학교 전기공학부 교수

Tel : 02-820-0647, Fax : 02-817-0780

E-mail : jckim@ssu.ac.kr

접수일자 : 2010년 7월 30일

1차심사 : 2010년 8월 3일

심사완료 : 2010년 8월 13일

자의 켄치 발생을 검출하여 고장전류의 경로를 별도의 상전도 제한기로 우회시킴으로써 초전도 한류기의 회복시간을 단축시킬 수 있는 방안에 대해 트리거형 초전도 한류기를 구성하여 그 특성을 분석하였다.

이를 위해 전력용 스위치를 포함하여 제어회로를 제작하였으며, 제작된 제어회로를 이용한 단락모의실험을 통해 트리거형 초전도 한류기를 구성하는 상전도 전류제한기(CLR)와 단일접점과 이중접점으로 구성된 전력용 스위치의 개방시점과 투입시점의 변화를 비교하였으며, 이에 따른 트리거형 초전도 한류기의 전류제한 및 회복특성을 분석하였다.

2. 실험장치 구성

그림 1은 모의실험 회로도를 나타낸다. 본 논문의 실험 구성은 모의전원(E_{in}), 선로($R_{in}+jX_{in}$), 부하(R_{RL}), 단락 실험을 위한 스위치(S_1, S_2) 그리고 트리거형 초전도 한류기로 구성되어 있으며, 표 1은 모의실험 설계 변수를 나타낸다. 실험에 사용된 초전도 소자는 임계전류가 24[A], YBCO박막을 사용하였다.

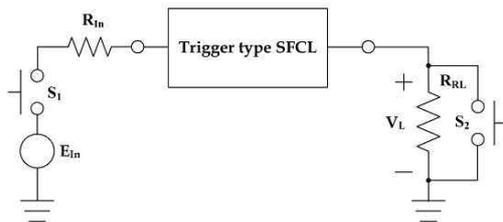


그림 1. 모의실험 회로도
Fig. 1. Experimental circuit

표 1. 모의실험 설계변수
Table 1. Design parameters of Experimental

전원	Value	Unit
E_{in}	40~480	V
선로	Value	Unit
$R_{in}+jX_{in}$	0.525+j0.999	Ω
부하	Value	Unit
RRL	41.2	Ω

3. 트리거형 초전도한류기 동작특성

트리거형 초전도한류기는 초전도 소자만을 이용하여 전류를 제한하는 저항형 초전도한류기와 달리 초전도체 소자를 고장전류 감지하는 기능으로 구분 사용함으로써 고장 발생시 큰 고장전류에 대한 초전도체 소자의 부담을 최소화시킬 수 있다. 기본적인 트리거형 초전도한류기의 구성은 한류기 내부의 병렬 선로 구조에 초전도체, 상전도 한류기(CLR), 전력용 스위치로 구성되어 있으며, 스위치 접점 구성 방법에 따라 그 종류가 구분되며, 본 논문에서는 단일접점과 이중접점 트리거형 초전도 한류기를 구성하여 실험하였다.

3.1 단일접점 트리거형 초전도한류기 구조 및 동작 특성

그림 2는 단일접점 트리거형 초전도한류기의 구조를 나타낸다. 기본 선로는 병렬로 구성되어 있으며, 초전도 소자와 직렬로 연결된 전력용 스위치(SW1)와 병렬로 연결된 상전도 한류기(CLR)로 구성되어 있다.

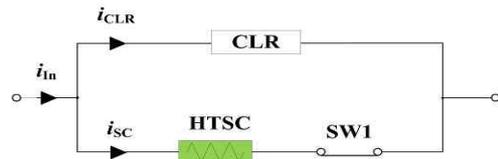


그림 2. 단일접점 트리거형 초전도 한류기 구조
Fig. 2. Configuration of the trigger type SFCL using a single contact

정상상태에서 부하전류(i_{in})는 SW1이 닫혀 있고 초전도 소자(HTSC)가 초전도 상태인 영저항을 갖고 있기 때문에 상대적으로 저항이 큰 CLR 선로로 전류가 흐르지 않고 초전도소자와 SW1을 통하여 부하전류가 흐른다. 그러나 고장 발생시 초전도 소자는 고장을 감지하여 켄치 현상이 일어나 저항이 발생되어, 소자에는 전압이 인가된다. 이때 그 전압이 SW1의 설정 전압 이상이 되면 SW1은 선로를 개방하고, 그 후 고

장전류는 CLR을 통하여 i_{CLR} 이 흐른다. 또한 고장이 제거된 후 CLR에 흐르는 전류(i_{CLR})가 설정전류 이하가 되면 SW1이 닫혀 다시 정상전류가 흐르게 된다. 초전도 소자는 고장이 제거되기 전에 SW1이 개방된 시점으로부터 회복을 시작하여 다음 동작을 준비하게 된다.

그림 3은 단일접점 트리거형 초전도한류기의 동작 신호를 나타내며, 그림 4는 동작 특성을 나타낸다.

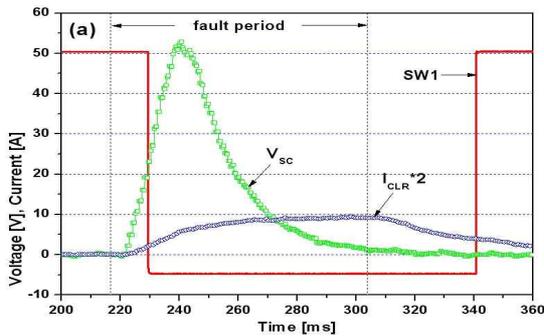


그림 3. 단일접점 트리거형 초전도한류기 동작 신호
Fig. 3. Operation signal of the trigger type SFCL using a single contact

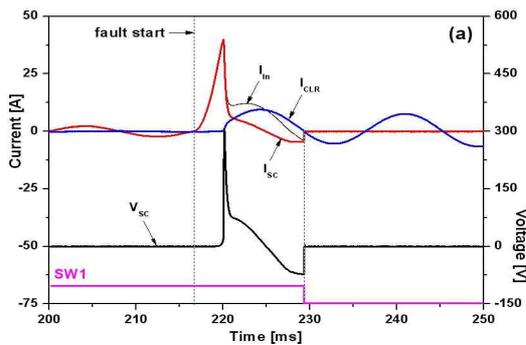


그림 4. 단일접점 트리거형 초전도한류기 동작 특성
Fig. 4. Operation characteristics of the trigger type SFCL using a single contact

전력용 스위치 SW1이 동작하기 위한 설정값은 임의로 조절이 가능하며, 전압 설정값은 20[V], 전류 설정값은 2[A]로 설정하였다. 고장발생시 초전도 소자 전압(V_{SC})이 20[V]를 넘는 시점에서 SW1이 개방되며, CLR에 흐르는 전류(i_{CLR})는 증가되었다. 고장이 제거된 후 CLR에 흐르는 전류(i_{CLR})가 2[A]이하가 되는 시

점에서 다시 SW1이 닫히는 것을 확인할 수 있다.

3.2 이중접점 트리거형 초전도한류기 구조 및 동작 특성

그림 5는 이중접점 트리거형 초전도한류기의 구조를 나타낸다. 기본 선로는 병렬로 구성되어 있으며, 초전도 소자와 직렬로 연결된 전력용 스위치(SW1)와 병렬로 연결된 전류제한기(CLR)에 직렬로 연결된 전력용 스위치(SW2)로 구성되어 있다.

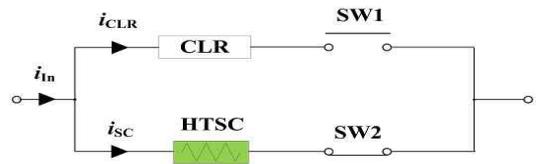


그림 5. 이중접점 트리거형 초전도한류기 구조
Fig. 5. Configuration of the trigger type SFCL using double contacts

기본적인 고장 전·후의 전류 흐름은 단일접점 트리거형 초전도한류기와 유사하다. 그러나 초전도 소자 부담뿐만 아니라 전력용 스위치 SW1의 전력손실에 대한 부분을 개선하고자 SW2를 추가하였으며, 고장 발생시 각 전력용 스위치의 설정된 값에 따라 동작을 하게 된다.

그림 6은 이중접점 트리거형 초전도한류기의 동작 신호를 나타내며, 그림 7은 동작 특성을 나타낸다.

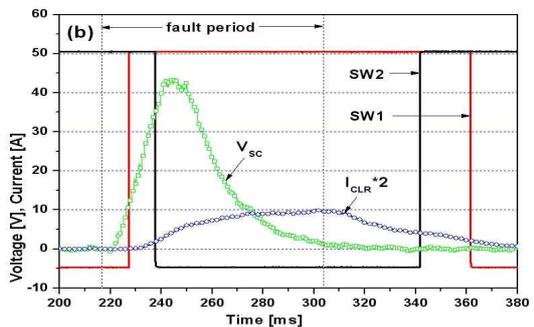


그림 6. 이중접점 트리거형 초전도한류기 동작 신호
Fig. 6. Operation signal of the trigger type SFCL using double contacts

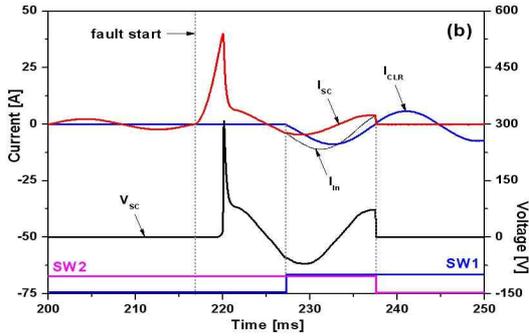


그림 7. 이중접점 트리거형 초전도한류기 동작특성
Fig. 7. Operation characteristics of the trigger type SFCL using double contacts

전력용 스위치 SW1, SW2가 동작하기 위한 설정값은 임의로 조절이 가능하며, SW1과 SW2의 전압 및 전류 설정값이 다르다. SW1의 경우, 전압 설정값은 15[V], 전류 설정값은 1[A]이다. 또한 SW2의 경우 전압 설정값은 35[V], 전류 설정값은 2[A]이다. 고장발생시 초전도 소자의 전압이 15[V]를 넘는 시점에서 스위치 SW1이 닫히며, 그 후 초전도소자의 전압이 35[V]를 넘는 시점에서 스위치 SW2가 개방된다. 고장이 제거된 후 CLR에 흐르는 전류(I_{CLR})가 2[A]이하가 되는 시점에서 다시 스위치 SW2가 닫히고, 1[A]이하가 되는 시점에서 스위치 SW1이 개방되는 것을 확인할 수 있다.

4. 트리거형 초전도한류기의 전류제한 특성 및 스위치 손실

4.1 트리거형 초전도한류기 전류제한 특성

그림 8은 단일접점 트리거형 초전도 한류기의 전류제한 특성을 나타내며, 그림 9는 이중접점 트리거형 초전도 한류기의 전류제한 특성을 나타낸다.

그림 8의 단일접점 트리거형 초전도 한류기를 적용시 전류제한 특성을 보면, CLR에 의하여 저감되는 고장전류(I_{CLR}) 크기가 그림 9의 이중접점 트리거형 초전도한류기를 적용했을 때 보다 적은 것을 볼 수 있다. 이에 따라 전력용 스위치의 투입시간은 상전도 저항이 증감에 따라 변화될 수 있음을 나타낸다.

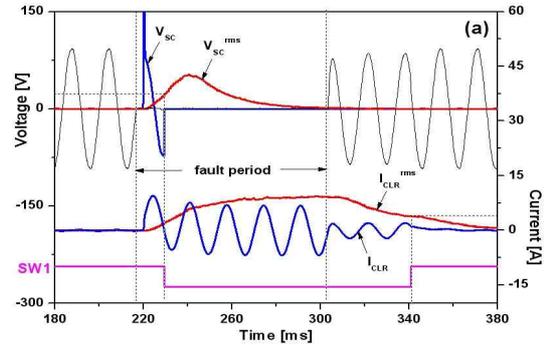


그림 8. 단일접점 트리거형 초전도 한류기의 전류제한 특성
Fig. 8. Operation characteristics of the trigger type SFCL using a single contact

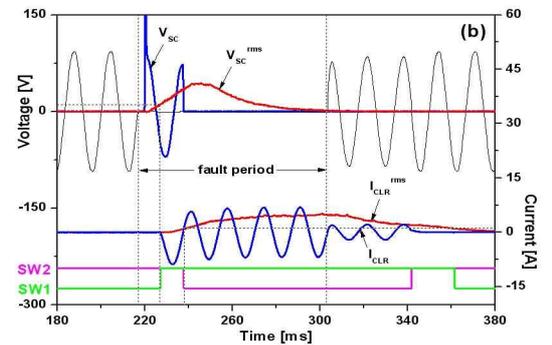


그림 9. 이중접점 트리거형 초전도 한류기의 전류제한 특성
Fig. 9. Operation characteristics of the trigger type SFCL using double contacts

4.2 트리거형 초전도한류기의 전력용 스위치에 대한 전력 손실 분석

그림 10은 단일접점 트리거형 초전도한류기의 전력용 스위치에 대한 전력손실 파형을 나타내며, 그림 11은 이중접점 트리거형 초전도 한류기의 전력용 스위치에 대한 전력 손실 파형을 나타낸다.

전력 손실은 반도체소자를 이용한 전력용 스위치의 자체손실을 나타냈으며, 그림 10과 11을 비교해 보면 그림 11의 이중접점 트리거형 초전도 한류기의 전력용 스위치에 대한 전력 손실이 작은 것을 나타낸다. 이에 따라 트리거를 이용한 초전도한류기 기계적 접점을 이용한 현장 적용 설계 시 접점용량 검토가 필요할 것이라 사료된다.

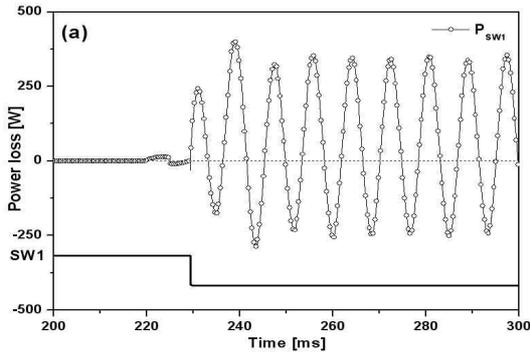


그림 10. 단일접점 트리거형 초전도 한류기의 전력용 스위치에 대한 전력손실 파형
 Fig. 10. Waveform of power switch's loss for the trigger type SFCL using a single contact

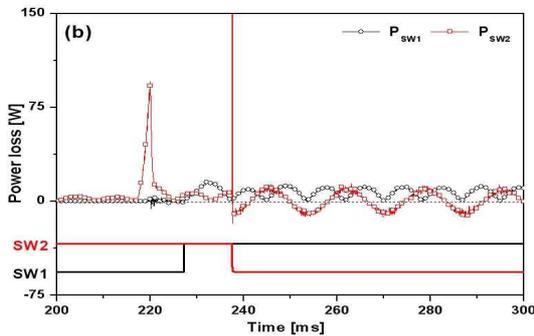


그림 11. 이중접점 트리거형 초전도 한류기의 전력용 스위치에 대한 전력손실 파형
 Fig. 11. Waveform of power switch's loss for the trigger type SFCL using a double contacts

5. 결 론

본 논문에서는 트리거형 초전도한류기의 접점 구성에 따른 전류제한 및 회복특성에 대해 실험을 통하여 분석하였다. 트리거형 초전도 한류기는 고장발생시 초전도 소자가 먼저 감지하여 전력용 스위치를 동작 시킴으로써 고장전류를 초전도 소자에서 병렬연결된 CLR로 흐르게 하여 제한하는 방법으로, 초전도 소자는 초기 고장전류를 트리거만 해주기 때문에 부담이 적어, 경제적 비용과 고장제거 후 초전도 한류기의 회복시간을 단축시킬 수 있다. 하지만 트리거형 초전도 한류기는 전력용 스위치를 추가로 이용하기 때문에

그에 대한 전력 손실이 발생한다.

따라서 기존의 단일접점 트리거형 초전도 한류기와 제안된 이중접점 트리거형 초전도 한류기를 모의 구성하여, 전력용 스위치의 접점구성에 따른 트리거형 초전도 한류기의 동작특성 및 전력용 스위치의 손실을 분석하였다. 그 결과, 제안된 이중접점 트리거형 초전도 한류기가 단일접점 트리거형 초전도 한류기보다 전력용 스위치에 대한 전력손실이 저감되는 결과를 얻었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2008-38) 주관으로 수행된 과제입니다.

References

- [1] B. Gromoll, G. Ries, W. Schmidt, H.-P. Kraemer, B. Seebacher, B. Utz, R. Nies, and H.-W. Newmuller, "Resistive fault current limiter with YBCO films-100 kVA functional model", IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 9, No. 2, pp. 656-659, June 1999.
- [2] T. Hara, T. Okuma, T. Yamamoto, D. Ito, K. Tasaki, and K. Tsurunaga, "Development of a new 66.kV/1500A class superconducting fault current limiter for electric power system", IEEE Trans Power Delivery, Vol. 8, No. 1, pp. 182-192, Jan. 1993.
- [3] H. Kameda, and H. Taniguchi, "Setting Method of Specific Parameter of a Superconducting Fault Current Limiter Considering the Operation of Power System Protection", IEEE Trans. Appl. Superconduct., Vol. 9, No. 2, pp. June 1999.
- [4] S. H. Lim, "Operational Characteristics of Flux-Lock Type SFCL With Series Connection of Two Coils", IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 17, No. 2, pp. 1895-1898, June 2007.
- [5] S. H. Lim, H. S. Choi, and B. S. Han, "Fault Current Limiting Characteristics due to Winding Direction between Coil 1 and Coil 2 in a flux-lock type SFCL", Phys. C, Vol. 416, pp. 34-42, Nov. 2004.
- [6] Y. Shirai, K. Fujikawa, T. Kitagawa, M. Shiotsu, H. Hatta, S. Muroya, and T. Nitta, "Study on recovery time of a superconducting fault current limiter with adjustable trigger current level", IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 11, No. 1, pp. 2086-2089, March 2001.
- [7] T. H. Han, H. S. Choi, S. H. Lim, and N. Y. Lee, "Recovery characteristics of flux-lock type superconducting fault current limiter", Physica C, Vol. 463-465, pp. 1209-1212, Oct. 2007.
- [8] H. Hatta, T. Nitta, S. Muroya, T. Oide, Y. Shirai, M. Taguchi, and Y. Miyato, "Study on recovery current of transformer type superconducting fault current limiter", IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 13, No. 2, pp. 2096-2099, June 2003.

◇ 저자소개 ◇



최중수(崔鍾壽)

1958년 2월 19일생. 1993년 서울산업대 전기공학과 졸업. 2001년 한양대학교 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년 숭실대학교 대학원 전기공학과 수료(박사). 현재 한국전기안전공사 송배전검사팀장.
E-mail : choijs33@kesco.or.kr



김명후(金明厚)

1982년 6월 5일생. 2009년 안양대 전기전자공학과 졸업. 현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 석사과정.
E-mail : kimmh@ssu.ac.kr



유일경(柳一慶)

1983년 2월 26일생. 2009년 숭실대 전기공학부 졸업. 현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 석사과정.
E-mail : wangkami@ssu.ac.kr



김진석(金辰碩)

1983년 1월 26일생. 2007년 서울산업대 전기공학과 졸업. 2009년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년~현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사과정.
E-mail : redwolf832@ssu.ac.kr



임성훈(林成勳)

1973년 11월 1일생. 1996년 전북대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대 전기공학부 교수.
E-mail : superlsh@ssu.ac.kr



김재철(金載哲)

1955년 7월 22일생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988년~현재 숭실대 전기공학과 교수. 본 학회 감사.
E-mail : jckim@ssu.ac.kr