

자속구속형 초전도 사고전류 제한기의 직렬연결을 통한 동시 끌지 특성 향상

(Improvement of Simultaneous Quench Characteristic of Flux-Lock Type Superconducting Fault Current Limiters Through Its Series Connection)

임성훈*

(Sung-Hun Lim)

요 약

본 논문에서는 자속구속형 초전도 사고전류제한기의 전압등급증대를 위한 방안으로 하나의 철심을 매개로 직렬로 연결된 자속구속형 초전도 사고전류제한기를 제안하고 이의 사고전류제한 특성을 분석하였다. 직렬 연결된 각각의 자속구속형 초전도 사고전류제한기의 구조는 두 개의 코일이 하나의 철심을 매개로 병렬로 연결되며 초전도 소자가 두 코일중 하나의 코일과 직렬로 연결된 구조를 가진다. 하나의 철심을 매개로 공유된 내부자속은 직렬연결된 각각의 자속구속형 초전도 사고전류제한기를 구성하는 초전도 소자들의 임계전류차이로 인한 불균일한 전력분담을 균일하게 유지시켜 주는 것을 실험을 통해 확인하였다.

Abstract

To apply the flux-lock type superconducting fault current limiter (SFCL) into power system, its current and voltage ratings are required to increase. Especially, in case of series connection of SFCLs, the countermeasure for simultaneous quenches must be considered. The structure, which each flux-lock type SFCL unit was wound in series on the same iron core, can induce the simultaneous quench of superconducting elements. Through the fault current limiting experiment for the suggested structure, it was confirmed that the even voltage burden among the superconducting elements comprising SFCLs could be made.

Key Words : Flux-Lock Type Superconducting Fault Current Limiter (SFCL), Simultaneous Quench

1. 서 론

증가되고 있는 전력요구와 전력공급설비의 증가는 계통의 단락전류를 증가시켰으며 기존 차단기의 단락용량을 초과하는 곳이 발생되고 있다. 이에 따라 기존 차단기 교체에 따른 비용부담감소와 보다 신속한 사고전류제한을 동시에 수행할 수 있는 사고

* 주저자 : 숭실대학교 전기공학부
Tel : 02-828-7268, Fax : 02-817-7961
E-mail : superlsh73@ssu.ac.kr
접수일자 : 2007년 5월 30일
1차심사 : 2007년 6월 5일
심사완료 : 2007년 6월 22일

전류제한기 개발이 요구되고 있다.

자체 사고전류 겸출과 고속동작 때문에 고온초전도 전류제한기가 주목을 받고 있으며, 특히 용량초과가 예상되는 기존의 차단기와 함께 동작할 경우, 기기교체에 따른 비용감소는 물론 장치의 소형화, 계통안정 및 환경친화등의 잇점으로 세계 선진각국에서는 실계통에 적용하여 그 우수성을 보고한 바 있다[1-2].

초전도 사고전류제한기를 실계통에 적용하기 위해서는 보다 큰 임계전류와 용량을 갖는 초전도체 제작이 필요하나 기술적인 제약으로 단위 초전도 소자들의 직렬연결을 통해 용량증대를 수행하고 있는 실정이다. 그러나 단위 초전도 소자들의 직렬연결시 소자들간의 전력불균일이 발생하게 되며 동시 펜치를 유도하기 위한 방안이 요구되고 있다[3-4].

본 논문에서는 자속구속형 초전도 사고전류제한기의 용량증대시 제한기를 구성하는 초전도 소자들의 균일한 전력부담을 위한 동시펜치 유도방안으로 하나의 철심을 매개로 직렬연결된 자속구속형 초전도 사고전류제한기의 사고전류제한 특성을 분석하였다. 이를 위해 고온초전도 소자와 리액터로 구성된 실험회로를 이용하여 모의단락실험을 수행하였다. 모의단락실험으로부터 사고전류제한 동작에 대한 분석을 통해 동시펜치특성을 확인하였으며, 직렬 연결된 단위초전도소자들의 사고전류 제한특성과 비교하였다.

2. 본 토

2.1 구조 및 동작원리

자속구속형 초전도 사고전류제한기의 구조는 그림 1과 같이 병렬로 연결된 두 코일과 두 코일중 하나와 직렬로 연결된 초전도 소자로 구성된다. 만약 사고가 발생되어 초전도소자에 흐르는 전류가 임계전류값을 넘게 될 경우 초전도 소자의 펜치로 인한 저항발생으로 사고전에 억제되었던 철심내부자속이 발생하게 되며 이때, 각 코일에 전압이 유기되어 이를 인해 사고전류가 제한된다.

동시펜치 유도를 위한 자속구속형 초전도 사고전

류제한기의 구조는 그림 2와 같이 하나의 철심에 두 코일과 초전도 소자로 구성된 단위 자속구속형 초전도 사고전류제한기가 직렬로 연결된 구조를 갖는다.

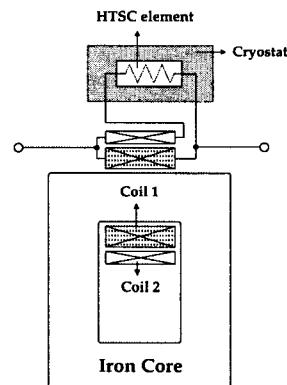


그림 1. 자속구속형 초전도 사고전류제한기 구조
Fig. 1. Structure of a flux-lock type SFCL

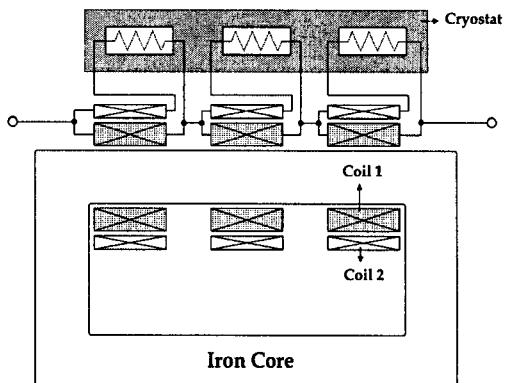


그림 2. 동시펜치유도를 위한 자속구속형 초전도 사고전류제한기 구조
Fig. 2. Structure of a flux-lock type SFCL for induction of simultaneous quench

사고전에는 단위 자속구속형 사고전류제한기를 구성하는 두 코일의 유기전압은 앞서 기술한 바와 같이 제로를 유지하게 된다. 사고가 발생할 경우, 임계전류가 작은 초전도 소자에서 먼저 펜치가 발생하게 되며, 이를 포함한 제한기의 철심내부에서 자속이 먼저 발생하게 된다. 발생된 자속은 펜치가 발생되지 않은 이웃한 제한기를 구성하는 초전도 소자의 펜치를 야기하게 되며 이와 같은 과정을 통해 직렬로 연결된 각각의 자속구속형 사고전류제한기를 구

자속구속형 초전도 사고전류 제한기의 직렬연결을 통한 동시 펜치 특성 양상

성하는 전체 초전도 소자들의 펜치를 동시에 야기하게 된다. 이로 인해 사고이후 철심내부의 자속은 각 자속구속형 초전도 사고전류제한기들을 구성하는 초전도 소자들의 전력부담을 동일하게 유지시켜 준다.

2.2 실험장치 구성

모의단락실험을 위한 실험장치는 그림 3과 같이 전원과 부하를 연결하여 구성하였다. 실험에 사용한 초전도 소자들의 임계전류값은 약 24[A]였다. 단락 사고 모의는 SW₁을 투입한 후 SW₂을 주어진 사고 주기동안 투입하여 실시하였으며, 각 코일에 흐르는 전류와 고온초전도 소자양단전압을 포함한 각 코일의 유기전압을 측정하여 사고전류제한 특성을 분석하였다. 실험에 사용한 전원저항(R_{In})과 부하저항(R_{Load})은 각각 1[Ω], 50[Ω]을 사용하였다.

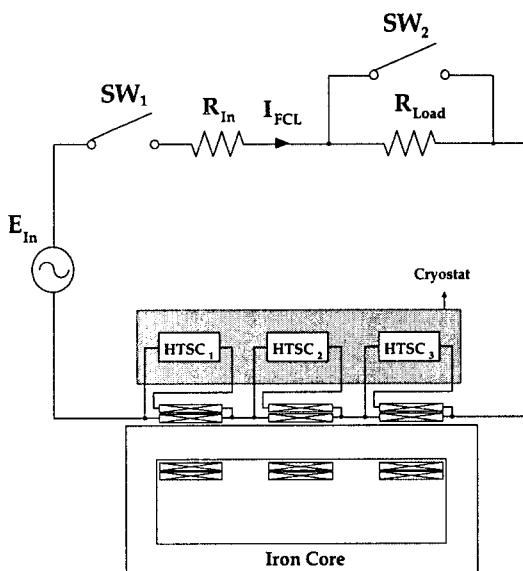


그림 3. 초전도 사고전류제한기의 모의단락실험 회로 구성도

Fig. 3. Experimental circuit of SFCL for simulated short-circuit

2.3 결과 및 고찰

하나의 철심을 매개로 직렬연결된 자속구속형 초

전도 사고제한기의 사고전류제한 특성분석에 앞서, 단순 직렬연결된 초전도 소자들의 사고발생시 펜치 특성을 비교하였다.

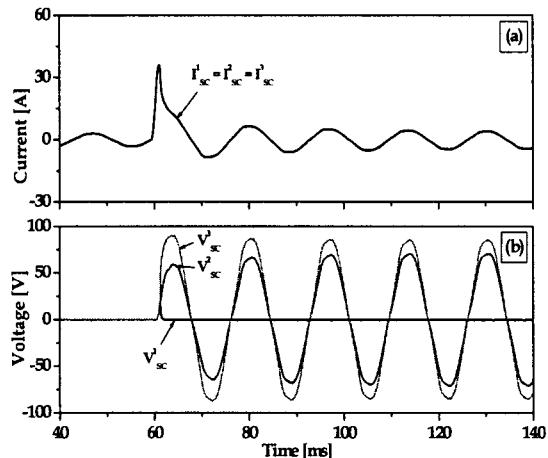


그림 4. 직렬연결된 초전도소자들의 사고전류제한 특성
Fig. 4. Fault current limiting characteristics of series connected superconducting elements

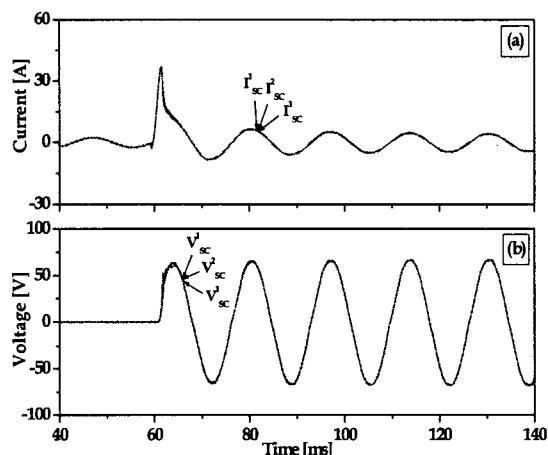


그림 5. 직렬연결된 자속구속형 초전도 사고전류 제한기를 구성하는 초전도 소자들의 사고 전류제한 특성
Fig. 5. Fault current limiting characteristics of superconducting elements in series connected flux-lock type SFCLs

그림 4는 단순 직렬연결된 초전도 소자들의 모의 단락전후 전압, 전류파형을 보여준다. 각 초전도 소자들의 임계전류값은 24, 23.8, 23.5[A]로 비슷함에도

불구하고 사고발생후 유기되는 전압의 크기에서 차이가 발생하며 특히, 1번 소자의 경우 임계전류가 작은 3번 초전도 소자에서 먼저 펜치가 발생, 전류가 제한됨에 따라 사고초기에 전압이 잠시 발생하였지만 다시 초전도 상태로 회복되는 것을 볼 수 있다.

그림 5는 직렬연결된 자속구속형 초전도 사고전류 제한기를 구성하는 초전도 소자들의 사고전류제한

특성을 보여주며, 단순 직렬연결시와는 달리 사고와 동시에 모든 초전도 소자에서 동일한 크기의 전압이 유기되는 것을 확인할 수 있다. 이로 인해 사고시 초전도 소자들간의 전력부담 또한 균일하게 이루어져 전압등급을 높일 경우 효과적일 것으로 분석할 수 있다.

사고초기에 직렬연결된 초전도소자들에서 유기되

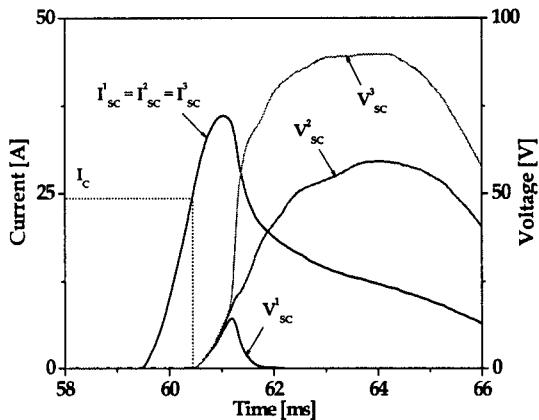


그림 6. 직렬연결된 초전도소자들의 사고초기 전류파형

Fig. 6. Initial voltage and current waveforms of series connected superconducting elements directly after fault occurrence

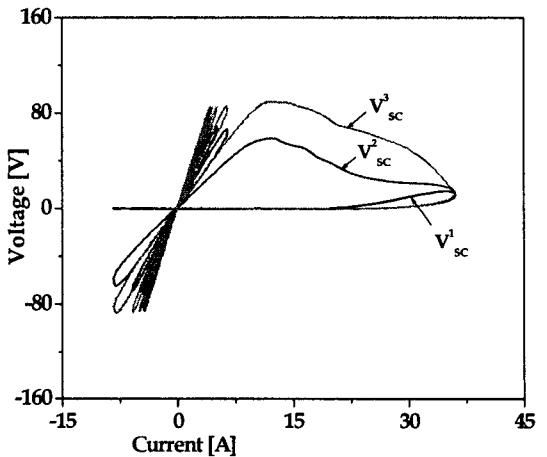


그림 8. 직렬연결된 초전도소자들의 사고시 전압전류 궤적

Fig. 8. Voltage & current track of series connected superconducting elements

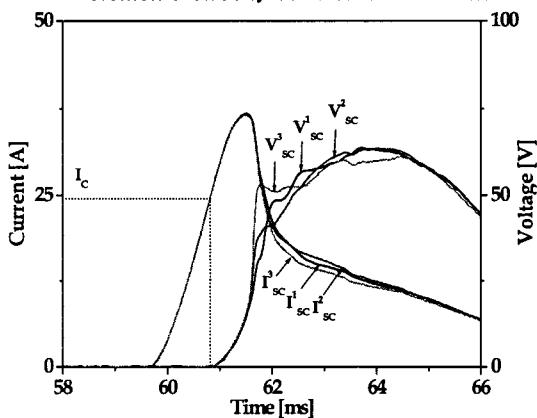


그림 7. 직렬연결된 자속구속형 초전도 사고전류 제한기를 구성하는 초전도 소자들의 사고 초기 전압전류파형

Fig. 7. Initial voltage and current waveforms of superconducting elements directly after fault occurrence in series connected flux-lock type SFCLs

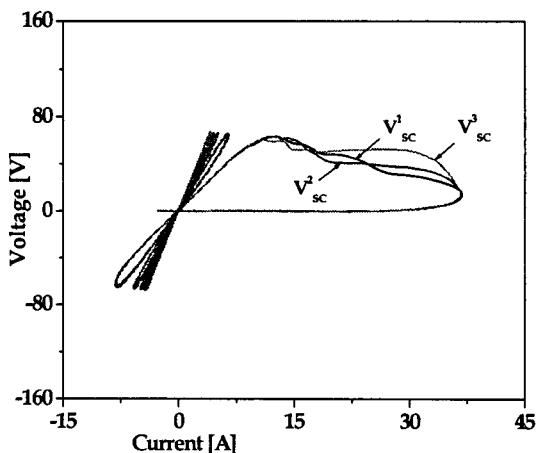


그림 9. 직렬연결된 자속구속형 초전도 사고전류 제한기를 구성하는 초전도 소자들의 사고시 전압전류궤적

Fig. 9. Voltage & current track of superconducting elements in series connected flux-lock type SFCLs

자속구속형 초전도 사고전류 제한기의 직렬연결을 통한 동시 펜치 특성 양상

는 전압크기를 비교하기 위해 그림 4와 5에서 확대한 파형을 그림 6과 그림 7에 나타내었다. 단순 직렬연결한 초전도 소자들인 경우 사고초기부터 불균일한 전압발생이 이루어지는 것을 볼 수 있는 반면, 본 논문에서 제안한 하나의 철심을 매개로 직렬연결된 자속구속형 사고전류제한기의 경우 균일한 전압이 각 소자에 유기되는 것을 비교할 수 있었다.

그림 8과 그림 9의 사고시 초전도 소자들의 전압, 전류궤적에서도 볼 수 있듯이 단순직렬연결한 경우 각 초전도 소자들의 궤적이 사고초기부터 다른 궤적을 가지는 것에 반해, 직렬연결된 자속구속형 초전도 사고전류제한기는 사고초기부터 사고주기가 증가하더라도 동일한 궤적으로 동작하는 것을 확인할 수 있다.

위에서 분석한 바와 같이 자속구속형 초전도 사고전류제한기의 용량증대를 위한 방안으로 하나의 철심을 매개로 직렬연결로 구성한다면 초전도소자들의 전압부담을 균일하게 유지할 수 있음을 본 논문을 통해서 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 용량증대를 위해 직렬연결된 자속구속형 사고전류제한기를 구성하는 초전도 소자들의 동시펜치유도 방안으로 동일철심을 매개로 단위 자속구속형 사고전류제한기를 직렬연결하는 방안을 제안하여 모의단락실험을 실시하였다. 분석을 통해 제안한 자속구속형 사고전류제한기의 직렬연결방안

은 사고시 초전도소자들의 전압부담을 균일하게 유지하는데 유용한 방안이 될 수 있음을 확인할 수 있었다.

References

- (1) V. D. Pham, Y. Laumond, T. Verhaege, F. Fevrier, M. Collet, M. Bekhaled, "Towards The Superconducting Fault Current Limiter", IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 6, pp. 801-808 April 1991.
- (2) Lin Ye, LiangZhen Lin, Klaus-Peter Juengst, "Application Studies of superconducting Fault Current Limiters in Electric Power Systems", IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 12, pp. 900-903, Mar., 2002.
- (3) Ok-Bae Hyun et. al., "Shunt-assisted simultaneous quench of resistive SFCL components in series", IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 13, pp. 2060-2063, June, 2003.
- (4) 박권배 외, "자기장인가에 따른 YBCO 박막형 한류기의 동시펜치 연구", 한국초전도·저온공학회논문지, 4권, 1호, pp. 84-88, 2002.

본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.

◇ 저자소개 ◇

임성훈 (林成勳)

1973년 11월 1일생. 1996년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대학교 전기공학부 전임강사.

E-mail : superlsh73@ssu.ac.kr