

자속구속형 고온초전도 사고전류 제한기의 사고제거 후 회복특성

Recovery Characteristics of a Flux-lock Type HTSC Fault Current Limiter after Fault Removal

임성훈^{1,a}
(Sung-Hun Lim^{1,a})

Abstract

To apply the superconducting fault current limiter (SFCL) into a power system, the analysis for its recovery characteristics as well as the consideration for its cooperation with other protecting machine such as a circuit breaker is required. The recovery characteristics of the flux-lock type SFCL like its current limiting characteristics are dependent on the winding direction of two coils. In this paper, the experiments of the current limiting and the recovery characteristics of the flux-lock type SFCL with YBCO thin film were performed. From the analysis on the experimental results due to the winding direction of two coils, the limited fault current in case of the additive polarity winding was observed to be lower than that for the case of the subtractive polarity winding. In addition, the recovery time was found to be faster in case of the additive polarity winding compared to the subtractive polarity winding.

Key Words : Recovery characteristics, Flux-lock type superconducting fault current limiter (SFCL), Current limiting characteristics

1. 서론

해마다 증가되는 전력수요의 증가에 따라 계통의 단락전류를 포함한 송전용량이 증가되고 있으며, 단락전류의 증가는 기존 차단기의 차단용량의 초과로 이에 따른 교체의 필요성과 함께 계통에 관련한 기기에 심각한 부담을 주고 있다. 이에 대한 대안으로 초전도현상을 이용한 초전도 사고전류제한기가 가장 이상적인 사고전류제한기의 요구조건에 근접한 특성을 보유하고 있어 신개념의 대안으로 주목받고 있다[1-5]. 이와 더불어, 고온초전도 사고전류제한기를 실계통에 적용하는 방안으로 기존의 차단기와 연계하여 동작시킬 경우 신속한 켄치발생으로 사고전류크기를 제한함으로써 차단

기의 단락용량을 증가시킬 수 있는 장점이 있다.

반면에, 사고가 제거된 후 초전도 사고전류제한기를 구성하는 초전도 소자는 가능한 짧은 시간안에 정상상태인 초전도 상태로 복귀되어야 기존의 차단기와 효과적인 연계동작이 가능하다[1,2]. 따라서, 사고발생시 사고전류제한 특성뿐 아니라 사고제거후 회복특성에 대한 분석도 필수적이다.

본 논문에서는 자속구속형 고온초전도 사고전류제한기의 사고제거에 따른 회복특성에 대해 분석하였다. 이를 위해 일정 주기동안 부하를 단락시켜 사고를 발생시킨 후 사고가 제거되어 부하가 선로와 연결되었을 경우 자속구속형 고온초전도 사고전류제한기의 회복특성을 전압, 전류추정을 통해 조사하였다.

1. 숭실대학교 전기공학부

(서울시 동작구 상도5동 1-1)

a. Corresponding Author : superlsh73@ssu.ac.kr

접수일자 : 2007. 5. 30

1차 심사 : 2007. 6. 12

심사완료 : 2007. 7. 3

2. 본론

2.1 구조 및 동작원리

자속구속형 고온초전도 사고전류제한기의 구조는

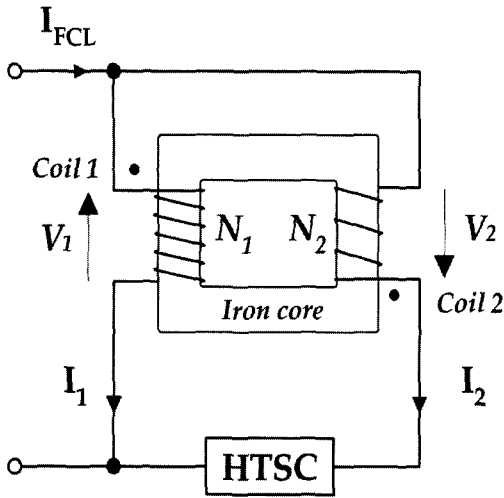


그림 1. 자속구속형 고온초전도 사고전류제한기 구조.
Fig. 1. Structure of a flux-lock type HTSC FCL.

그림 1과 같이 2개의 코일이 병렬로 연결된 리액터와 코일 2에 직렬로 연결된 고온초전도 소자로 구성된다. 정상시에는 초전도 소자는 초전도 상태로 영저항을 유지하게 되며 이로 인해, 두 코일에서 발생하는 자속은 서로 상쇄되어 철심내부에는 자속이 존재하지 않게 된다. 따라서, 각 코일의 전압은 제로값을 유지하게 되고 제한기는 단락회로로 동작하게 된다. 반면에 사고가 발생되어 초전도 소자에 흐르는 전류가 임계값을 초과하게 되면 상전도 상태로 전이되어 저항이 발생하게 되며 이로 인해 코일 2에 흐르는 전류는 감소되고 각 코일에 흐르는 전류에 의해 발생되었던 철심내부 자속은 더 이상 상쇄되지 않게 된다. 상쇄되지 않은 철심내부 자속은 각 코일에 전압을 유기하게 되고 제한기 임피던스가 발생되어 사고전류는 제한된다.

2.2 실험장치 구성

실험에 사용한 고온초전도 소자는 직경 2인치의 사파이어 기판에 300 nm 두께로 증착된 YBCO 박막을 식각공정을 통해 폭 2 mm, 전체길이 420 mm로 제작하였다. 2개의 코일이 병렬로 연결된 리액터는 누설인덕턴스가 존재할 경우 정상시에 두 코일의 전압강하를 초래하게 되며 이를 최소화하기 위해 적층된 형태로 제작하였다[4,5]. 임계전류값을 측정된 결과 23 A값을 가졌다.

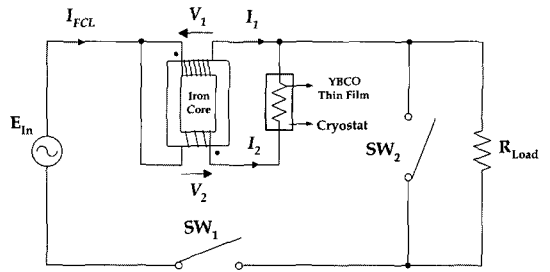


그림 2. 자속구속형 고온초전도 사고전류제한기의 모의실험구성도.
Fig. 2. Experimental circuit of a flux-lock type HTSC FCL.

그림 2는 자속구속형 고온초전도 사고전류제한기의 사고발생과 사고제거에 따른 사고전류 제한 및 회복특성을 모의하기 위한 실험장치 구성을 보여준다. 우선 SW1을 투입한 후 SW2을 주어진 사고주기동안 투입하여 단락사고를 모의하였으며, 다시 SW2을 개방하여 회복특성을 조사하였다. 각 코일에 흐르는 전류와 고온초전도 소자양단전압을 포함한 각 코일의 유기전압을 CT, PT를 통해 측정하여 분석하였다. 실험을 위한 전원전압(E_in), 부하저항(R_Load)은 70 V_rms, 50 옴을 사용하였으며, 사고시 회로보호를 위해 선로저항을 추가하였다.

2.3 결과 및 고찰

자속구속형 고온초전도 사고전류제한기는 결선 방향에 따라 초전도 소자의 퀀치특성이 영향을 받게 되며, 이로 인해 사고전류제한 특성도 다르게 된다. 따라서, 사고제거후 회복특성도 감극결선인 경우와 가극결선인 경우에 대해 조사하였다.

그림 3은 감극결선시 사고전류제한 특성을 보여주며 사고전에는 초전도 소자는 초전도 상태에 있어 두 코일에서 발생하는 자속이 상쇄됨에 따라 소자를 포함한 각 코일의 전압이 제로로 나타나게 된다. 하지만, 사고가 발생되어 초전도 소자가 퀀치가 발생함에 따라 소자양단에 전압이 발생하게 되고 이로 인해 각 코일에서 발생하는 자속이 더 이상 상쇄되지 않고 쇄교되어 각 코일에 전압이 발생됨에 따라 사고전류가 제한되는 것을 볼 수 있다. 또한, 감극결성 구조상, 초전도 소자에 유기되는 전압은 두 코일에 유기되는 전압의 합으로 나타나게 되며, 사고전류는 두 코일에 흐르는 전류의 합으로 나타남을 확인할 수 있다.

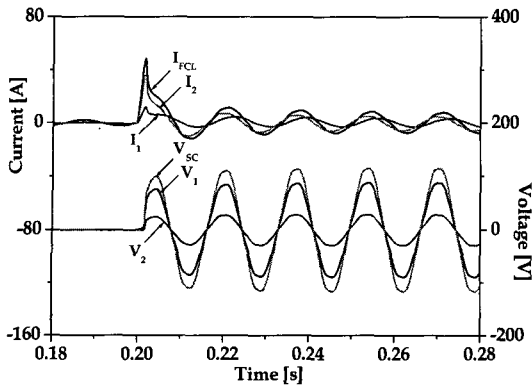


그림 3. 감극결선시 사고전류제한 특성.
 Fig. 3. Fault current limiting characteristics in case of the subtractive polarity winding.

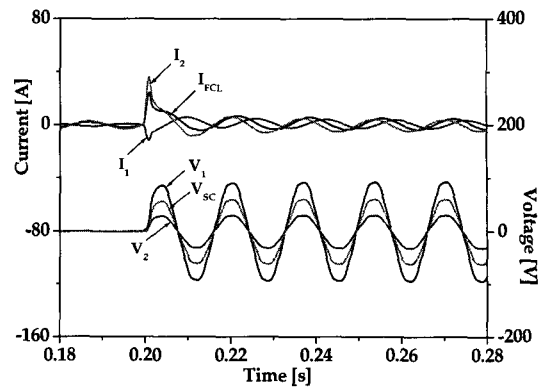


그림 5. 가극결선시 사고전류제한 특성.
 Fig. 5. Fault current limiting characteristics in case of the additive polarity winding.

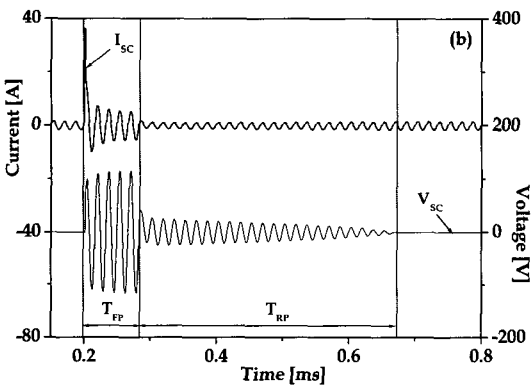


그림 4. 감극결선시 사고전류제한 및 회복특성.
 Fig. 4. Fault current limiting and recovery characteristics in case of the subtractive polarity winding.

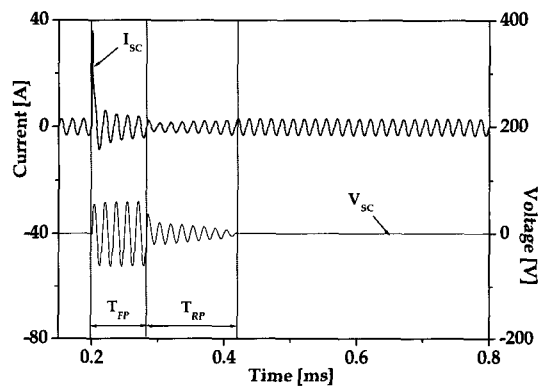


그림 6. 가극결선시 사고전류제한 및 회복특성.
 Fig. 6. Fault current limiting and recovery characteristics in case of the additive polarity winding.

그림 4는 사고제거후 초전도 소자의 회복특성을 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 5주기(T_{FP})동안 사고가 지속된 후 제거되었지만 초전도 소자의 양단 전압은 소자내의 축적된 주울열로 인해 약 23주기(T_{RP})후에 제로값으로 수렴하는 것을 볼 수 있다.

그림 5는 가극결선한 경우 사고전류제한 특성을 보여준다. 감극결선한 경우와는 달리 사고전에 코일 1에 흐르는 전류가 반전되어 나타나는 것을 볼 수 있으며, 이로 인해 초전도 소자에 흐르는 전류가 선로에 흐르는 전류보다 크게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 사고시 제한되는 선로전류크기는 감극결선시보다 작은 값으로 제한되는 것을 비교할 수 있다.

또한, 사고시 초전도 소자에 유기되는 전압은 두 코일의 전압차만큼 유기되는 것을 확인할 수 있다.

가극결선한 경우 사고제거후 회복특성을 그림 6에 보여준다. 감극결선시와 마찬가지로 5주기동안 사고를 유지하였을때 사고가 제거된 후에도 약 8주기동안 상전도 상태를 유지하다가 초전도 상태로 복귀되는 것을 볼 수 있다.

가극결선한 경우가 감극결선한 경우에 비해 회복시간이 빠르게 진행된 것을 비교할 수 있으며 이는 사고시 초전도 소자에 유기되는 전압이 가극결선한 경우는 두 코일의 전압차로 나타나는 반면, 감극결선한 경우에는 두 코일의 전압합만큼 유기되므로,

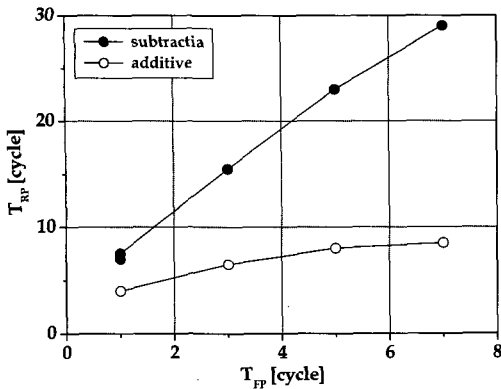


그림 7. 사고주기에 따른 회복주기.

Fig. 7. Recovery period & fault period.

가극결선한 경우가 감극결선한 경우보다 사고시 초전도 소자에 인가되는 전압의 크기가 작게 되어 회복시간이 보다 짧아지는 것을 분석할 수 있다.

그림 7은 사고주기를 1, 3, 5, 7주기를 발생시켰을 경우 회복시간의 변화를 비교한 결과를 보여준다. 앞서 분석한 바와 같이 가극결선한 경우가 감극결선한 경우보다 회복시간이 보다 단축되는 것을 비교할 수 있다. 또한, 사고주기가 증가함에 따라 회복시간이 증가하다가 일정한 회복시간으로 수렴하는 경향을 보이는 것을 관찰할 수 있다.

향후, 기존의 차단기와 같은 전력계통 보호장치와 초전도 사고전류제한기와와의 연계동작을 위해서는 초전도 소자의 회복시간을 단축시킬 수 있는 방안이 먼저 강구되어야 될 것으로 사료된다.

3. 결론

자속구속형 고온초전도 사고전류제한기를 실계통에 적용하기 위해서는 사고전류제한특성 뿐 아니라 사고제거후 회복특성에 대한 분석이 필요하다. 본 논문에서는 자속구속형 고온초전도 사고전류제한기의 결선방향에 따른 사고전류제한 특성과 사고제거후 회복특성에 대해 분석하였다. 분석결과 가극결선시 제한되는 사고전류크기가 작게 나타났으며,

회복시간에서도 감극결선시보다 빠르게 회복되었다.

본 논문을 바탕으로 사고제거후 초전도 소자의 초전도 상태로 회복시간을 단축시킬 수 있는 방안에 대해 연구를 진행하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.

참고 문헌

- [1] 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, p. 2086, 2001.
- [2] H.-R. Kim, H.-S. Choi, H.-R. Lim, I.-S. Kim, and O.-B. Hyun, "Analysis on quench recovery of Au/YBCO thin film meander lines", 2001년도 한국초전도저온공학회 학술대회 논문집, p. 92, 2001.
- [3] S.-H. Lim, H.-S. Choi, and B.-S. Han, "Current limiting characteristics of flux-lock type high-T_c superconducting fault current limiter with control circuit for magnetic field", IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 13, No. 2, p. 2056, 2003.
- [4] S.-H. Lim, B.-S. Han, and H.-S. Choi, "Operational characteristics of flux-lock type SFCL using series resonance", Trans. EEM, Vol. 6, No. 4, p. 159, 2005.
- [5] S.-H. Lim, C.-R. Park, B.-S. Han, H.-M. Park, Y.-S. Cho, and H.-S. Choi, "Fault current limiting characteristics of flux-lock type SFCL with several secondary windings", Trans. EEM, Vol. 6, No. 5, p. 193, 2005.