

자속 구속형 전류제한기의 사고각에 따른 초기 사고전류 제한 시점 변화분석

박충렬*, 임성훈**, 박형민***, 최효상***, 한병성*
전북대학교 전기공학과*, 전북대학교 공업기술연구소***, 조선대학교 전기공학과***

Variations of Initial Fault Current Limiting Instant According to Fault Angles in the Flux-lock Type SFCL

Chung-Ryul Park*, Sung-Hun Lim**, Hyoung-Min Park***, Hyo-Sang Choi***, Byoung-Sung Han*
Chonbuk National Uni., Research Center of Industrial Technology, Engineering Research Institute**,
Chosun Uni.***

Abstract

In this paper, we investigated the variations of initial fault current limiting instant according to fault angles in the flux-lock type SFCL. The flux-lock type SFCL consists of the coil 1 and the coil 2 that are wound in parallel each other through an iron core. The operation of the flux-lock type SFCL can be divided into the subtractive polarity winding and the additive polarity winding operations according to the winding directions between the coil 1 and coil 2. The subtractive polarity winding operation could be analyzed with three modes. On the other hand, the additive polarity winding operation could be analyzed with five modes. The variations of initial fault current limiting instant in two winding directions were dependent on the fault angles. It was confirmed from experiment that the fault current limiting instant was getting faster and the magnitude of fault current at the initial fault time was getting higher for higher fault angle.

Key words : Initial fault current limiting instant, Fault angles, Subtractive polarity winding, Additive polarity winding, Flux-lock type SFCL

1. 서론

지속적인 전력수용의 증가와 더불어 대단위 발전 설비가 증가됨에 따라 전력전송 용량이 날로 증가하게 되었다. 전력전송 용량의 증가는 단락사고로 인한 사고전류의 증가를 야기시켰고, 증가된 사고전류는 전력계통과 장비들의 안정도 문제에 심각한 영향을 주게 되었다[1]. 증가된 고장전류로 인한 계통보호 방안으로 여러 가지 고온초전도 전류제한기가 제안되었다. 이러한 고온초전도 전류제한기 중 자속구속형 전류제한기는 영저항의 특성을 이용하기 때문에 저항형과 차폐유도형 고온초전도 전류제한기로 분류된다. 저항형 고온초전도 전류제

한기는 사고전류가 소자에 직접 도통되기 때문에 고온초전도 소자 파손의 우려가 크다. 또한 고온초전도 소자의 직병렬연결을 통해 용량을 증대시킬 수 있지만 소자의 동시 켜치 문제가 시급히 해결해야 할 과제로 남아있다. 이에 비해 자속구속형 고온초전도 전류제한기는 사고전류가 코일과 소자에 양분되어 흐르기 때문에 저항형 고온초전도 전류제한기에 비해 고온초전도 소자 파손의 우려가 적다. 또한 자속구속형 고온초전도 전류제한기는 인덕턴스의 조절로 초기 사고전류 크기를 조절할 수 있고, 단위소자의 통전전류 및 한류저항이 증가하는 구조로 되어있기 때문에 저항형 고온초전도 전류제한기에 비해 단위소자의 수가 감소된다. 뿐

만 아니라 자속구속형 고온초전도 전류제한기는 유도형 고온초전도 전류제한기처럼 철심을 사용하지만 링이나 튜브형태의 고온초전도 소자대신 벌크 또는 박막형태의 초전도체를 이용할수 있기 때문에 사용하기 때문에 제작이 용이하다[2-5.]

자속구속형 고온초전도 전류제한기는 평상시 철심에 교류자속이 발생되지 않다가 고온초전도 소자에 흐르는 전류가 임계전류를 넘으면 고온초전도 소자에 저항이 발생하게 되고, 이로 인해 쇄교 자속의 시간적인 변화로 인해 각 코일에 전압이 유기되어 사고전류를 제한하게 된다.[6]

본 논문에서는 이러한 자속구속형 전류제한기를 설계, 제작하여 사고각에 따른 초기 사고전류 제한 시점의 변화를 실험을 통해 비교분석하였다.

2. 실험

2.1 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 구조 및 동작원리

자속구속형 고온초전도 전류제한기의 구조는 그림 1과 같이 강자성체 철심에 코일 1과 코일 2가 각각 N_1 , N_2 번 권선되어 선로에 병렬연결되어 있다. 고온초전도 소자(YBCO박막)는 임계온도 특성을 고려해 액체질소가 담겨진 Cryostat 내부에 존재하며 코일 2에 직렬 연결되어 있다. 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 동작특성은 병렬로 연결된 코일 1과 코일 2의 결선 방향에 따라 가극성과 감극성으로 나누어진다. 코일 1과 코일 2에 유도되는 전압을 V_1 과 V_2 라 하면 각 코일의 전압은 식 (1)과 (2)와 같이 표현된다.

$$V_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

$$V_2 = \pm N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

정상 작동시 고온초전도 소자 양단전압은 0이므로 코일 1과 코일 2의 양단 전압은 같게되어 식 (3)과 같이 표현된다.

$$(N_1 \pm N_2) \frac{d\Phi}{dt} = 0 \quad (3)$$

식 (3)에서 $N_1 \pm N_2 \neq 0$ 이 만족한다면 $d\Phi/dt=0$ 은 언제나 성립된다. 이는 각 코일에 쇄교되는 자속은 시간적

으로 변하지 않고 구속되어 있는 것처럼 동작함을 의미한다. 그러나 사고전류가 고온초전도 소자의 임계전류를 초과하면 소자의 켄치 발생으로 저항(R_{sc})이 발생하고 이로 인해 전압(V_{sc})이 유기된다. 결국 식 (3)은 더 이상 성립되지 않는다. 따라서 코일의 쇄교 자속은 시간에 따른 변화가 생기게 되고 이로써 사고전류는 제한된다.

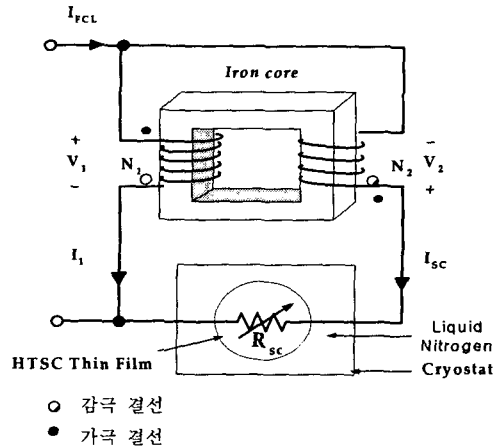


그림 1. 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 구조

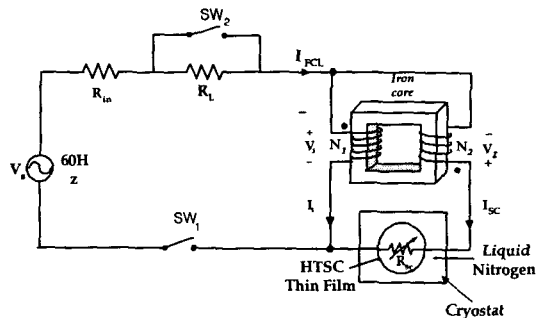


그림 2. 실험회로 구성도

그림 2는 사고발생을 위한 실험회로 구성도를 보여준다. 코일 1과 코일 2를 감극 또는 가극으로 결선한 후 그림 2에서 스위치 SW_1 을 닫아 회로에 전압을 인가했다. 회로에 흐르는 전류는 임계전류를 초과하지 않았기 때문에 자속구속형 고온초전도 전류제한기는 단락선로처럼 동작하게된다. 스위치 SW_2 를 닫아 단락사고를 발생시키면 고온초전도 소자에 흐르는 전류는 임계전류($I_c=18A$)를 초과하게 되고 켄치가 발생했다. 이때 회로에 흐르는 선로전류(I_{fcl}), 코일 1에 흐르는 전류(I_1), 초전도소자에 흐르는 전류(I_{sc}), 코일 1, 2의 양단전압(V_1 ,

V_2)과 초전도소자 양단전압(V_{sc})을 측정하여 초기 사고전류제한 시점을 분석하였다. 위와 같은 실험을 사고각을 0° , 45° , 90° 순으로 증가시키면서 동일하게 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 저항형 고온초전도 전류제한기의 사고각에 따른 사고 발생 후 초기 반주기 동안 선로에 흐르는 전류(I_{sc})와 소자에서 발생한 전압(V_{sc})의 파형을 나타낸 그림이다. 그림에서 나타나듯 고온초전도 소자에 켄치가 발생하여 선로전류를 제한하는 시점은 사고각이 증가할수록 빨라지는 것을 확인할 수 있다.

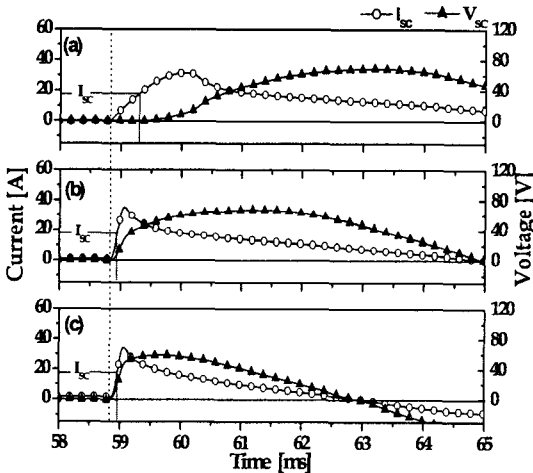


그림 3. 저항형 고온초전도 전류제한기의 사고각에 따른 전류제한 특성
(a) 0° (b) 45° (c) 90° 사고시

그림 4와 5는 각각 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 감극, 가극 결선시 사고각에 따른 초기 사고전류 제한특성을 나타낸 것이다. 그림 4와 5에서 사고전류가 고온초전도 소자의 임계전류(I_c)를 넘는 순간 선로전류(I_{FCL})는 소자의 상전도저항으로 인해 제한되기 시작하는 것을 확인할 수 있다. 이때의 선로전류를 초기제한전류(I_{lim})라 한다. 감극, 가극 결선시 모두 사고각이 증가할수록 고온초전도 소자의 켄치 발생속도가 빨라져서 보다 신속히 선로전류를 제한하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 사고각이 증가할수록 감극, 가극결선시 모두 초기제한전류(I_{lim}), 고온 초전도소자에 흐르는 전류(I_{sc}), 코일 1에 흐르는 전류 (I_1), 선로전류(I_{FCL}),

소자전압(V_{sc}) 값들이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 동일한 사고각에서 사고초기에 고온초전도 소자에 흐르는 전류(I_{sc})의 피크값과 선로전류(I_{FCL})의 피크값은 가극결선시가 감극결선시보다 작게 나타났으며 이는 가극결선할 경우가 제한기의 단락용량을 증대에 유리함을 볼수 있었다.

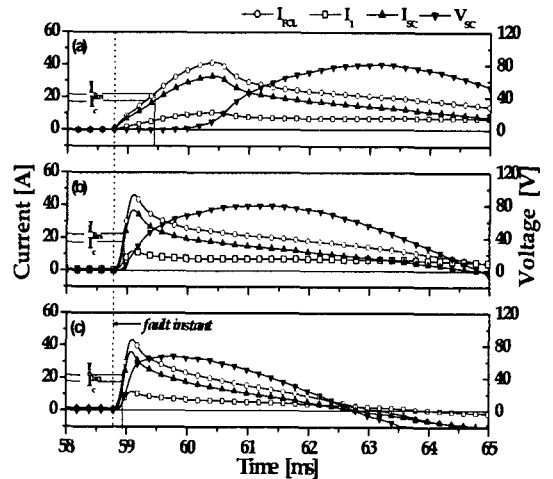


그림 4. 감극 결선시 사고각에 따른 전류제한 특성
(a) 0° (b) 45° (c) 90° 사고시

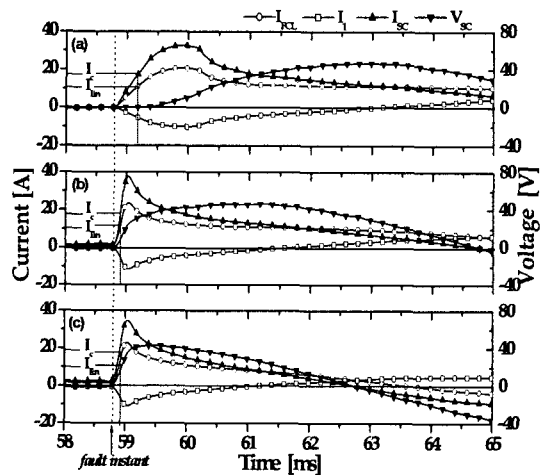


그림 5. 가극 결선시 사고각에 따른 전류제한 특성
(a) 0° (b) 45° (c) 90° 사고시

그림 4와 그림 5에서 확인했던 결과들을 그림 6의 사고각에 따른 초기제한전류(I_{lim})와 변화량으로 나타내었다.

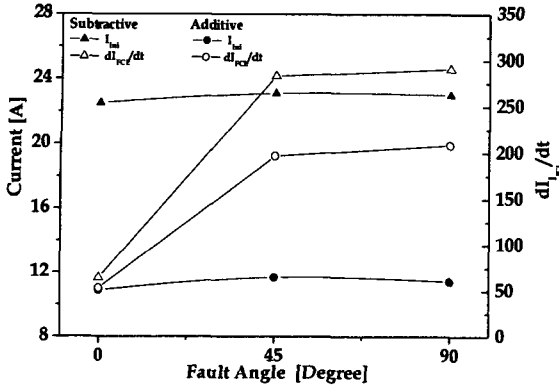


그림 6. 사고각에 따른 사고 초기 제한전류(I_{lim})의 크기 및 제한전류(I_{lim}) 증가량

4. 결론

본 논문에서는 자속구속형 고온 초전도 전류제한기의 사고각에 따라 초기 사고전류 제한 시점 변화에 대해 비교분석 하였다. 본 논문을 통해 사고각이 증가함에 따라 감극결선과 가극결선 모두 사고전류 제한시점이 짧아짐을 확인할 수 있었으며 또한 동일한 사고각에서 가극결선한 경우가 감극결선한 경우보다 사고전류 제한시점이 짧게 나타났다. 이는 가극결선한 경우가 사고전류를 보다 크게 제한할 수 있어 제한기의 용량증대에 유리함을 분석할 수 있었다.

향후, 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 1, 2차 코일의 인덕턴스 변화에 따른 전류제한 특성을 실험을 통해 비교분석하고자 한다.

참고 문헌

- [1] 김준환, 이강완, “전력계통, 고장전류 증대와 대응방안”, 전기저널, p.19-31, 1998
- [2] E. Thuries, V.D Pham, Y. Laumond, T. Verhaege, A. fevrier. M. Collet and M. Bekhaled, “Towards the superconducting fault current limiter” IEEE Trans. on Power Del. Vol 6, p.801-808, 1991
- [3] W. paul, M. Chen, M. Lakner, J. Rhyner, D. Braun, W. Lanz, “Fault current limiter based on high temperature superconductorsdifferent concepts, test results, simulations,

applications”, Physica C, Vol. 354, No.1-4, p.27-33, May, 2001

- [4] 임성훈, 최명호, 이현수, 한병성, “차폐유도형 고온초전도 전류제한기의 설계 및 특성 시뮬레이션”, 전기학회논문지, Vol. 48C, No. 3, p.173-178, 1999
- [5] W. T. Norris and A. power, “Fault current limiters using superconductors” Cryogenics, Vol. 37, p.657-665, Oct., 1997
- [6] Sung-Hun Lim, Hyo-Sang Choi, Byoung-Sung Han, “The fault current limiting characteristics of a flux-lock type high-Tc superconducting fault current limiter using series resonance”, Cryogenics, Vol. 44, p.249-254, April, 2004