

## 일체화된 삼상 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 사고각에 따른 전류제한 특성 분석

박충렬, 두호익, 임성우\*, 현옥배\*, 임성훈\*\*, 박형민\*\*\*, 조용선\*\*\*, 남궁현\*\*\*, 이나영\*\*\*, 최효상\*\*\*, 한병성  
전북대학교 전기공학과, 한전 전력연구원 전략기술연구소\*, 숭실대학교 전기공학부\*\*, 조선대학교 전기공학과\*\*\*

### Analysis of Current Limiting Characteristics According to Fault Angles in Integrated Three-Phase Flux-Lock Type Superconducting Fault Current Limiting

Chung-Ryul Park, Ho-Ik Du, Seong-Woo Yim\*, Ok-Bae Hyun\*, Sung-Hun Lim\*\*, Hyung-Min park\*\*\*, Yong-Sun Cho\*\*\*, Gueng-Hyun Nam\*\*\*, Na-Young Lee\*\*\*, Hyo-Sang Choi\*\*\*, Byoung-Sung Han  
Chonbuk National Univ, KEPRI\*, Soongsil National Univ\*\*, Chosun Univ.\*\*\*

**Abstract :** In this paper, we investigated the characteristics of fault current limiting according to fault angle in the integrated three-phase flux-lock type SFCL in fault types such as the single-line-to-ground fault, the double-line-to-ground fault and the three-line-to-ground fault. When the SFCL is operating under normal condition, the magnetic flux generated between primary and secondary coils of each single phase is canceled out perfectly, so that the impedance of the SFCL is also not generated and the power system can be operated normally without any loss. However, if a fault occurs even in any phase out of three phases, quench happened in SFCL elements and the current flowing secondary coil is restricted abruptly. Finally, the balance of magnetic flux in whole SFCL system is destroyed, and the fault currents in every phase could be limited at the same time irrespective of the fault types. As a result, the developed SFCL in this study were operated normally as expected and the purpose of the integration of 3 phase current limiting was also achieved successfully. However, the fault current limiting characteristics of the SFCL was dependant on the quench characteristics of HTSC elements in each phase, and it was expected that the improvement of the SFCL could be possible through the introduction of HTSC elements which have better critical characteristics

**Key Words :** fault angle, fault types, integrated three-phase flux-lock type SFCL, HTSC elements

#### 1. 서 론

전력계통의 사고는 사고 유형과 더불어 사고각에 따라 사고전류가 다른 전력설비에 미치는 영향이 달라진다. DC 성분이 존재하지 않을 시 사고각 0°에서의 사고는 사고전류가 0에서 증가하지만 사고각 90°에서의 사고는 사고전류는 최대점에서 발생하기 때문에 계통에 미치는 영향이 더 커진다. 본 논문에서는 일체화된 삼상 자속구속형 고온초전도 사고전류 제한기의 여러 가지 사고 유형 중에서 대표적으로 1선 지락사고시 강가극 결선한 경우 사고각을 0°, 45°, 90°, 135°로 변화시켜가면서 전류제한 특성을 분석하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 구조 및 동작원리

Fig.1과 같이 삼상 일체화된 자속구속형 고온초전도 사고전류제한기는 하나의 철심을 매개로 각 상의 1, 2차 코일의 권선비가 동일한 세 개의 자속구속형 인덕터와 고온초전도 소자로 사용된 YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> 박막, 고온초전도 소자의 초전도성을 유지시키기 위한 저온장치(Cryostat)로 구성된다. 삼상 일체화된 자속구속형 SFCL의 정상동작시, 각 상의 1, 2차 코일에 의해 발생된 자속이 서로 상쇄되기 때문에 철심에 쇄교되는 총 자속은 제로가 되어, 자속구속형 SFCL의 임피던스는 나타나지 않는다. 그러나 세 상중에서

어느 한 상에서라도 사고가 발생하게 되면 사고가 발생한 상의 1, 2차 코일에 의해 발생된 자속은 더 이상 상쇄되지 않고 철심에 자속이 발생한다. 이때 발생한 자속은 건전상의 코일에도 전압을 유도하게 된다. 따라서, 사고가 발생하지 않는 상의 고온초전도 소자에서도 켄치가 발생하여 사고전류는 제한된다.

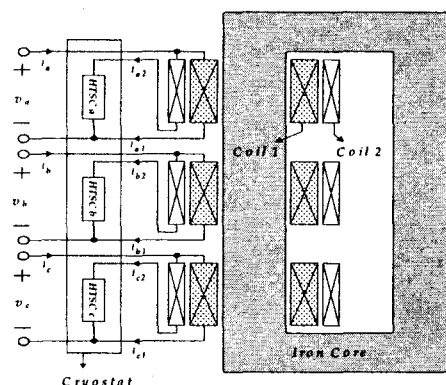


그림 1. 삼상일체화된 자속구속형 SFCL의 구조도

#### 3. 결과 및 고찰

삼상 일체화된 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 사

고각에 따른 사고유형별 실험을 위해 1차 코일의 턴수는 63턴으로 고정하고, 2차 코일의 턴수를 21턴과 42턴으로 변화시켜가며 수행되었으며 인가된 전원 전압은 선간전압 160 [V<sub>rms</sub>] 이었다.

그림 2는 상상 일체화된 자속구속형 고온초전도 전류제한기를 감극으로 결선한 경우 a상 1선 지락사고시 사고각에 따른 선로전류 및 소자 전압을 나타낸다. 사고 발생시점은 모두 59.6 ms로 동일하였다. 그러나 소자전압이 발생하는 시점 즉, 켄치 시점은 사고각이 0°, 45°, 90°, 135°일때 각각 60.91, 60.13, 59.81, 62.78 ms로 나타난다. 이 결과로부터 사고각이 증가할수록 고온초전도 소자의 임계전류값에 도달되는 시간은 사고각이 0°에서 90°까지 증가할수록 짧아지는 것을 확인할 수 있다. 그러나 135° 사고시 켄치 시점이 45° 사고와 동일할 것이라는 예상과는 달리 더 늦은 켄치를 확인할 수 있다. 이는 45° 사고시 선로전류는 증가하는 시점에서 발생하였지만 135° 사고는 선로전류가 감소되는 시점에서 발생하였기 때문이다.

또한, 사고후 선로전류의 첫 번째 피크값은 사고각이 0°, 45°, 90°, 135°에서 각각 77.4, 75.6, 72.3, -76.6 [A<sub>peak</sub>]로 나타난다. 이는 사고각의 증가에 따른 고온초전도 소자의 빠른 켄치가 사고전류를 보다 빠르게 제한하며, 사고전류 제한특성도 향상됨을 확인할 수 있다.

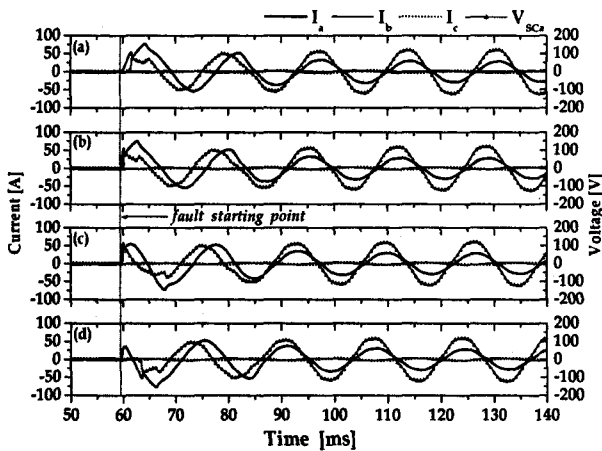


그림 2 감극 결선시 사고각에 따른 a상 1선의 지락사고의 선로 전류 및 소자 전압파형 (a) 0° (b) 45° (c) 90° (d) 135°

그림 3은 상상 일체화된 자속구속형 고온초전도 전류제한기를 가극으로 결선한 경우 a상 1선 지락사고시 사고각에 따른 선로전류 및 소자 전압을 나타낸다. 사고 발생시점은 모두 59.6 ms로 동일하였다. 그러나 켄치 시점은 사고각이 0°, 45°, 90°, 135°일때 각각 60.50, 59.74, 59.62, 59.73 ms로 사고각이 증가할수록 보다 빠른 켄치 특성을 확인할 수 있으며 동일 사고각에서 감극결선한 경우보다 빠르게 나타남을 확인할 수 있다. 또한, 사고후 선로전류의 첫 번째 피크값은 사고각이 0°, 45°, 90°, 135°에서 각각 48.20, 48.66, 45.66, -47.11 [A<sub>peak</sub>]로 사고각이 증가할수록 사고전류 제한 특성이 향상됨을 확인할 수 있다. 또한, 동일 사고각에서 감

극결선한 경우보다 선로전류가 더 많이 제한되는 것을 확인할 수 있다.

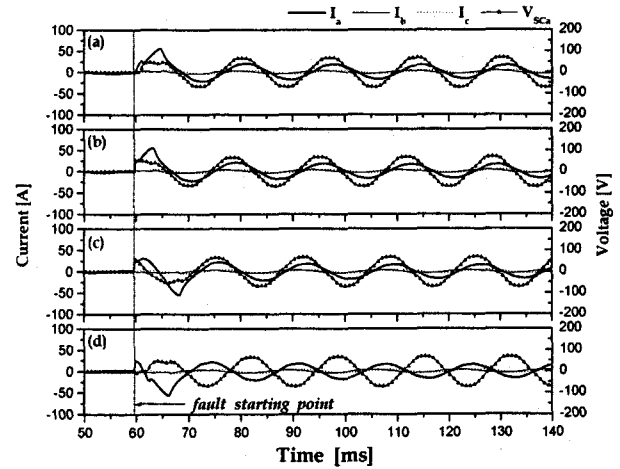


그림 3 감극 결선시 사고각에 따른 a상 1선의 지락사고의 선로 전류 및 소자 전압파형 (a) 0° (b) 45° (c) 90° (d) 135°

#### 4. 결론

본 논문에서는 일체화된 상상자속구속형 고온초전도 전류제한기의 여러 가지 사고 유형 중에서 대표적으로 1선 지락사고시 감극 결선한 경우의 사고각에 따른 전류제한 특성을 살펴보았다. 일체화된 상상자속구속형 고온초전도 전류제한기의 감극 결선한 경우 사고각의 증가에 따른 고온초전도 소자의 빠른 켄치가 사고전류를 보다 빠르게 제한하며, 사고전류 제한특성도 향상됨을 확인할 수 있다. 또한, 일체화된 상상자속구속형 고온초전도 전류제한기를 가극결선한 경우에 감극결선한 경우보다 동일 사고각에 대해 고온초전도 소자의 보다 빠른 켄치를 확인하였으며, 선로전류의 전류제한특성도 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] L. Salasoo, A. F. Imece, R. W. Delmerico, and R. D. Wyatt, "Comparison of superconducting fault limiter concepts in electric utility applications", IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 5, No. 2, p. 1079, 1995.
- [2] Y. Shirai, A. Mochida, T. Morimoto, M. Shiotsu, T. Oide, M. Chiba, and T. Nitta, "Repetitive Operation of Three-Phase Superconducting Fault Current Limiter in a Model Power System", Applied Superconducting., IEEE Transaction, Vol. 15, No. 2, pp. 2110-2113, 2005. 6