

사고종류에 따른 상상 일체화된 자속구속형 SFCL의 사고전류제한특성 분석

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

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

Chung-Ryul Park, Sung-Hun Lim*, Hyoung-Min park**, Yong-Sun Cho**, Hyo-Sang Choi**, Byoung-Sung Han
 Chonbuk National Uni, Research Center of Industrial Technology, Chonbuk National Uni., Chosun Univ.**

Abstract : In this paper, we investigated the quench characteristics of HTSC elements in the integrated three-phase flux-lock type SFCL according to fault types such as the single-line-to-ground fault, the double-line-to-ground fault, the line-to-line fault and the three-line-to-ground fault. The integrated three-phase flux-lock type SFCL was the upgrade version of the single-phase flux-lock type SFCL. The structure of the integrated three-phase flux-lock type SFCL consisted of three-phase flux-lock reactor wound on an iron core with the ratio of the same turn between coil 1 and coil 2 in each phase. When the SFCL is operated under the normal condition, the flux generated in the iron core is zero because the flux generated between two coils of each single phase is canceled out. Therefore, the SFCL's impedance is zero, and the SFCL has negligible influence on the power system. However, if a fault occurs in any single-phase among three phases, the flux generated in the iron core is not zero any more. The flux makes HTSC elements of all phases quench irrespective of the fault type, which reduces the current of fault phase as well as the current of sound phase. It was observed that the fault current limiting characteristics of the suggested SFCL were dependent on the quench characteristics of HTSC elements in all three phases.

Key Words : HTSC elements, Quench, Integrated three-phase flux-lock type SFCL.

1. 서 론

지속적인 전력수요의 증가와 더불어 대단위 발전설비가 증가됨에 따라 전력전송 용량이 날로 증가하게 되었다. 전력전송 용량의 증가는 단락사고로 인한 고장전류의 증가를 야기시켰고, 증가된 고장전류는 이미 차단기의 차단 내력을 상회하게 되어 전력계통과 관련된 각종 전기설비의 안정도 문제에 심각한 영향을 주게 되었다. 따라서, 고장전류를 극복하기 위해 차단내력이 큰 차단기의 교체, 고임피던스 전력설비 채용, 직렬한류리액터 설치, 파워퓨즈 설치 등 여러 가지 방안이 제시되었지만, 그 나름대로의 문제점을 여전히 안고 있다 [1]. 최근 들어 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 여러 가지 고온초전도 전류제한기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 금명간 실용화가 가능하리라 예측되고 있다 [2-5].

본 논문에서는 상상 계통에 적용하기 위해 단상 자속구속형 고온초전도 전류제한기에서 업그레이드된 형태의 상상 일체화된 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 모델을 제안하였고, 실제제작하여 1선 지락, 2선 지락, 3선 지락, 선간단락 등 사고유형별 실험을 모의하였다. 특히, 1선지락 및 선간 단락사고의 경우 전류제한 특성을 분석하였다 [6-7].

2. 실험

2.1 자속구속형 SFCL의 구조 및 동작원리

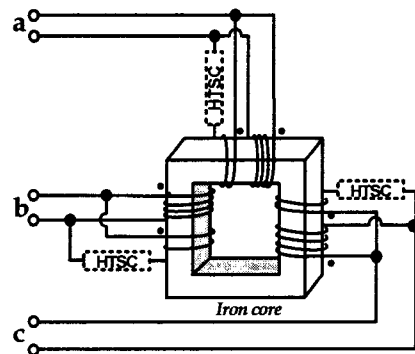


그림 1. 상상 일체화된 자속구속형 SFCL의 구조도

그림 1과 같이 상상 일체화된 자속구속형 SFCL은 하나의 철심을 매개로 각 상의 1, 2차 코일의 권선비가 동일한 세 개의 자속구속리액터로 구성되어 있다. 자속구속형 SFCL의 정상동작시, 각 상의 1, 2차 코일에 의해 발생된 자속이 서로 상쇄되기 때문에 철심에 채교되는 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. 그래서, 자속구속형 SFCL에 임피던스가 발생하게 되고, 사고가 발생하지 않는 상에서도 사고전류가 제한된다.

3. 결과 및 고찰

3.1 지락시험

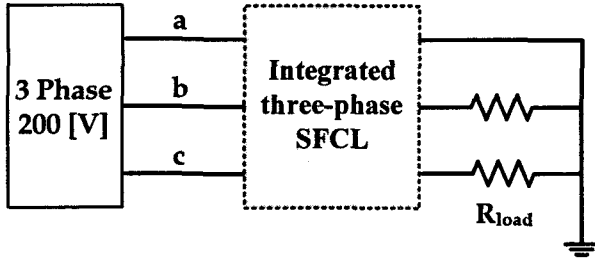


그림 2. 1선 지락시험 회로도

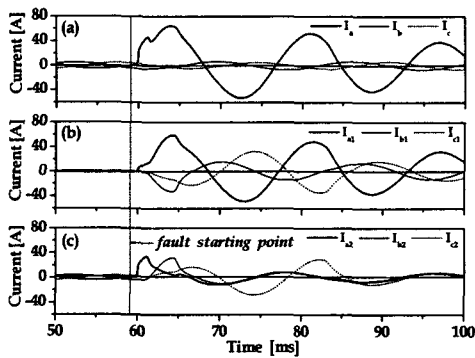


그림 3. 1선 지락시험 전류파형 (a) 선로전류 (b) 1차코일에 흐르는 전류 (c) 2차 코일에 흐르는 전류

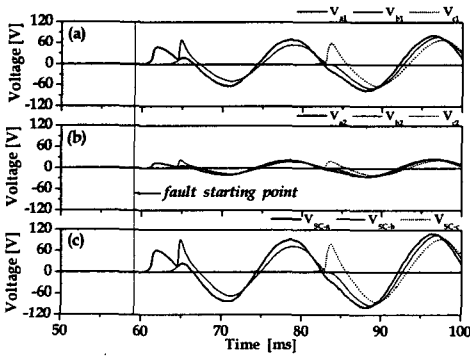


그림 4. 1선 지락시험 전압파형 (a) 1차코일 유기전압 (b) 2차코일 유기전압 (c) 초전도소자 양단전압

그림 2는 삼상 일체화된 자속구속형 SFCL의 1선 지락사 고의 시험결선도이다. 그림과 같이 세 개의 상중에서 a상 에 직렬로 연결된 삼상 일체화된 SFCL의 끝단을 접지시 키고, b와 c상의 환류기 끝단은 부하저항($R_{load}=30\Omega$)을 거 쳐 접지에 결선하였다. 그림 3과 4는 사고전류 투입 직후 a상 기준 0° 사고시 1선 지락시험 결과이다. SFCL이 없다면 a상의 사고전류는 $82 [A_{peak}]$ 로 나타난다. 그러나 SFCL 이 존재하면 a상의 사고전류는 $0.12 [ms]$ 이내 제한되기 시 작하고, 초기 상승 전류의 피크 값은 그림 3(a)에서와 같

이 $64.8 [A_{peak}]$ 로 제한되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 그림 3과 4의 각 코일과 초전도소자의 전류, 전압파형을 살펴보면 a상에서의 사고전류가 인접한 b와 c상에 영향을 주어 b와 c상에서도 사고가 발생한 것처럼 동작하는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 단락시험

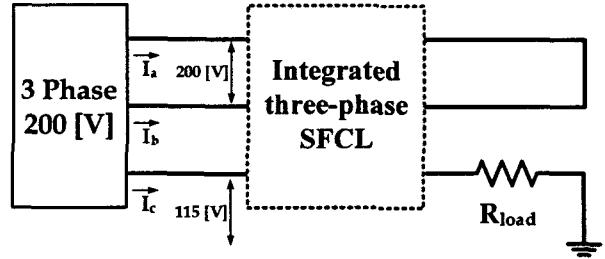


그림 5. 선간 단락시험 회로도

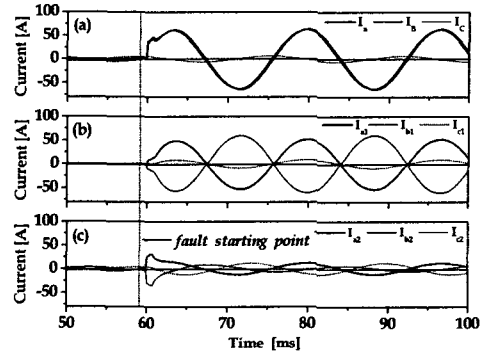


그림 6. 선간 단락시험 전류파형 (a) 선로전류 (b) 1차코일에 흐르는 전류 (c) 2차코일에 흐르는 전류

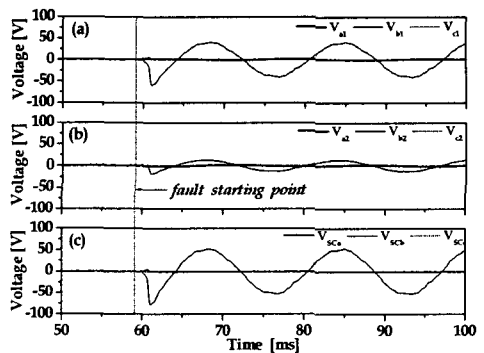


그림 7. 선간 단락시험 전압파형 (a) 1차코일 유기전압 (b) 2차 코일 유기전압 (c) 초전도 소자 양단전압

그림 5는 삼상 일체화된 자속구속형 SFCL의 선간단락사 고의 시험결선도이다. 선간단락 시험은 a상과 b상의 SFCL 의 부하 축을 서로 단락시키고, c상의 SFCL은 부하저항 ($R_{load}=30$)을 거쳐 접지에 결선한 뒤 a상 기준 0° 에서 수행 되었다. 그림 5에서 보는 바와 같이 단락된 두상에 위치 하는 초전도 SFCL이 서로 직렬로 결선된 것처럼 나타남

다. 따라서 a, b상의 선간전압은 1선 지락사고보다 $\sqrt{3}$ 배 크게 나타난다. 그러나 초전도 소자에 동시 켄치가 발생하면 각 SFCL이 분담하는 전압은 $\sqrt{3}/2$ 배로 작아진다. a, b상 선간단락의 경우, SFCL이 없다면 사고전류는 71 [A_{peak}] 정도 나타나지만, SFCL의 존재시 a, b상 사고전류는 0.12[ms] 이내 제한되기 시작하고, 초기 상승 전류의 피크값은 그림 6(a)에서와 같이 60.3 [A_{peak}]로 제한되는 것을 확인할 수 있었다. 선간단락시 SFCL의 유무 차이에도 불구하고 사고전류의 크기가 차이가 없는 것으로 나타난다. 이는 그림 7(c)에서 확인할 수 있듯이 b상의 초전도 소자에 켄치가 발생했던 반면, a상의 초전도 소자에는 켄치가 발생하지 않아 a, b상의 선간전압 전체가 b상의 SFCL에만 인가되었기 때문이다. 이와 같이 선간 단락사고의 경우, 두상의 SFCL중 어느 한 상의 SFCL만 켄치가 발생될 경우 선간전압 전체가 하나의 SFCL에 인가될 수 있으므로 설계시 동시 켄치 문제를 신중히 고려해야 할 것이다.

4. 결 론

본 논문에서는 상상 일체화된 자속구속형 SFCL을 제작하여 지락사고와 선간 단락사고시 전류제한 특성을 조사하였다. 지락사고와 단락사고 발생시 사고전류는 0.12 [ms]이내 제한되는 것을 확인하였다. 또한 지락사고시 a, b, c상중에서 어느 한 상에서라도 사고가 발생하더라도 인접한 모든 상에서도 켄치가 발생하는 것을 확인하였다. 끝으로, 상상 일체화된 자속구속형 SFCL 설계시, 선간단락사고 경우의 각 상별 동시켄치 문제를 신중히 고려해야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 김준환, 이강완, “전력계통, 고장전류 증대와 대응방안”, 전기저널, Vol. 1, No. 2, p.19, 1998
- [2] 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.
- [3] 임성훈, 최명호, 이현수, 한병성, “차폐유도형 고온초전도 전류제한기의 설계 및 특성 시뮬레이션”, 전기학회논문지, 48C권, 3호, p. 173, 1999.
- [4] 김태중, 강형구, 고태국, “유도형 고온초전도 한류기용 prototype 직류 리액터의 설계 및 제작”, 전기전자재료학회논문지, Vol. 16, No. 128, p. 1292, 2003.
- [5] M. Yamaguchi, S. Fukui, T. Satoh, Y. Kaburaki, T. Horikawa, and T. Honjo, “Performance of DC reactor type fault current limiter using high temperature superconducting coil”, IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 9, No. 2, p. 940, 1999.
- [6] 박충렬, 임성훈, 박형민, 최효상, 한병성, “자속 구속

형 전류제한기의 초기 사고전류 제한시점 변화”, 전기전자재료학회논문지, Vol. 18, No.3, p. 269, March 2005.

- [7] 박형민, 임성훈, 박충렬, 최효상, 한병성, “자속구속형과 저항형 초전도 전류제한기의 특성비교” 전기전자재료학회논문지, Vol. 18, No.4, p. 363, April 2005