

삼상일체화된 자속구속형 SFCL의 사고종류에 따른 소자들의 훈치 특성

박충렬, 이종화, 박식, 두호의, 임성훈[†], 최효상[‡], 한병성
전북대학교 전기공학과, 전북대학교 공업기술 연구센터[†], 조선대학교 전기공학과[‡]

Quench Characteristics of HTSC Elements according to fault types in Integrated Three-phase

Chung-Ryul Park, Jong-Hwa Lee, Sig Park, Ho-Ik Du, Sung-hun Lim^{*}, Hyo-Sang Choi^{**}, Byoung-Sung Han
Chonbuk National Uni., The Reach Center of Industrial Technology, Chonbuk National Uni.^{*}, Chosun Uni.^{**}.

Abstract – In this paper, we investigated the quench characteristics of high-T_c superconducting(HTSC) elements in the integrated three-phase flux-lock type superconducting fault current limiter(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 triple-line-to-ground fault. The integrated three-phase flux-lock type SFCL is an upgrade version of single-phase flux-lock type SFCL. The structure of the integrated three-phase flux-lock type SFCL consisted of a 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 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 one of three phases, the flux generated in the iron core is not zero any more. The flux makes HTSC elements of all phases to quench irrespective of the fault type, which reduces the current in fault phase as well as the current of sound phase. It was obtained that the fault current limiting characteristics of the suggested SFCL were dependent on the quench characteristics of HTSC elements in all three phases.

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 차단내력을 상회하게 되어 전력계통과 관련된 각종 전기설비의 안정도 문제에 심각한 영향을 주게 되었다. 따라서, 고장전류를 극복하기 위해 차단내력이 큰 차단기로의 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 [2-8]. 본 논문에서는 삼상 계통에 적용하기 위해 단상 자속구속형 고온초전도 전류제한기에서 업그레이드된 형태의 삼상 일체화된 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 모델을 제안하였고, 실제작하여 1선 지락, 2선 지락, 3선 지락, 선간단락등 사고유형별 실험을 모의하였다..

2. 본 론

2.1 삼상 일체화된 자속구속형 SFCL의 구조 및 동작원리

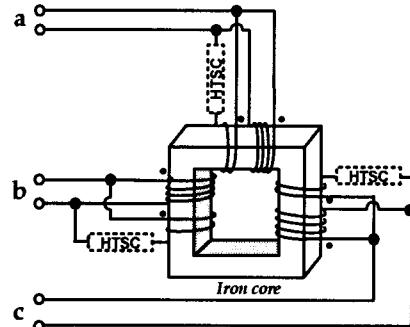


그림 1. 삼상 일체화된 자속구속형 SFCL의 구조도

그림 1과 같이 삼상 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 쇄교되는 총 자속은 제로가 되어, 자속구속형 SFCL의 임피던스는 나타나지 않는다. 그러나 세 상중에서 어느 한 상에더라도 사고가 발생하게 되면 사고가 발생한 상의 1, 2차 코일에 의해 발생된 자속은 더 이상 상쇄되지 않고 철심에 자속이 발생한다. 이때 발생한 자속은 전전상의 코일에도 전압을 유도하게 된다. 따라서, 사고가 발생하지 않는 상의 고온초전도 소자에서도 훈치가 발생하여 사고전류는 제한된다.

2.2 결과 및 고찰

2.2.1 1선 지락시험

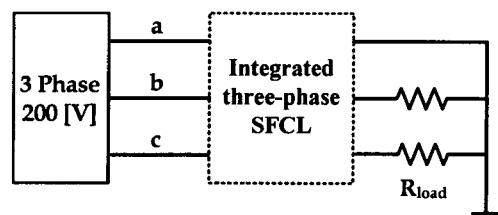


그림 2. 지락시험 모의 회로도

그림 2는 삼상 일체화된 자속구속형 SFCL의 1선 지락사고를 모의한 회로이다. a상에서의 1선 지락사고가 발생하면 그림 2와 같이 세 개의 상중에서 a상에 직렬로

연결된 삼상 일체화된 SFCL의 끝단은 접지에 연결되고, b와 c상의 SFCL 끝단은 부하저항($R_{load}=30\Omega$)을 거쳐 접지에 연결된다. 1선 지락시험은 a상 기준 0°에서 5주기 동안 수행되었다.

그림 3은 삼상 일체화된 자속구속형 SFCL의 a상 1선 지락사고시 고온초전도소자에 흐르는 전류와 소자 양단 전압을 나타낸 것이다. 사고발생 후 a상의 고온초전도소자에 흐르는 전류(I_{sc})가 임계전류를 넘어서는 순간 소자에 펜치가 발생하고 소자양단에 전압(V_{sc})이 나타난다. 또한, 수 ms내에 b, c상의 고온초전도소자에 흐르는 전류가 급격히 증가하여 펜치 발생으로 인한 전압이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 사고 직후 a상의 두 코일에서 발생된 자속이 서로 상쇄되지 않고 철심에 자속이 발생되어 사고가 발생하지 않는 상의 코일에도 전압을 유기시켜 고온초전도소자 펜치 발생에 영향을 주었기 때문이다.

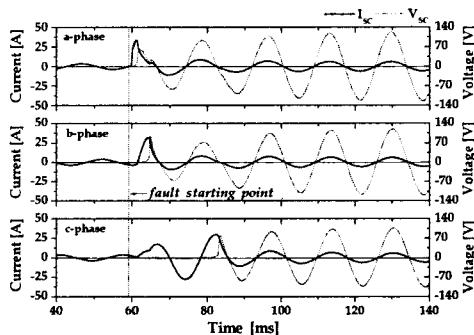


그림 3. 1선 지락시험시 각상을 구성하는 고온 초전도소자의 전류, 전압 파형

2.2.2 2선 지락시험

삼상 일체화된 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 a, b상에서 2선 지락사고가 발생하면 그림 2에서 a상과 같이 b상도 SFCL 끝단은 접지 연결되고, c상의 SFCL 끝단은 부하저항($R_{load}=30\Omega$)을 거쳐 접지에 연결된다. 2선 지락시험은 1선 지락사고와 같이 a상 기준 0°사고에서 5주기 동일한 조건하에서 수행되었다.

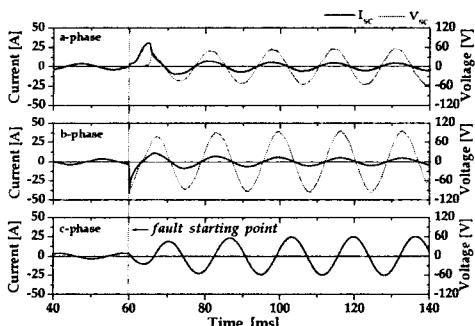


그림 4. 2선 지락시험시 각상을 구성하는 고온 초전도소자의 전류, 전압 파형

그림 4는 삼상 일체화된 자속구속형 SFCL의 a, b상 2선 지락사고시 고온초전도소자에 흐르는 전류(I_{sc})와 소자 양단전압(V_{sc})을 나타낸 것이다. a상 기준 0°사고는 b상을 기준으로 했을 때, b상 기준 240°사고가 된다. 그 결과 사고 발생 후 b상의 고온초전도 소자는 a상보다 더 빠른 펜치가 발생되어, a상보다 b상의 소자 양단전압이 보다 빠르게 나타났다. 또한, 사고발생 초기 c상에서

의 고온초전도소자에 흐르는 전류가 증가하여 펜치가 발생하였으나 그 정도가 미약하기 때문에 소자 양단전압은 거의 나타나지 않았다. 이는 a상의 두 코일에서 발생된 자속과 b상의 두 코일에서 발생된 자속이 서로 완전히 상쇄되지 못한 자속이 c상의 고온초전도 소자에 흐르는 전류에 영향을 주었기 때문이다.

2.2.3 3선 지락시험

삼상 일체화된 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 a, b, c상에서 3선 지락사고가 발생하면 그림 2에서 a, b, c상 모두 SFCL 끝단은 접지에 연결된다. 3선 지락시험은 1선 지락사고와 같이 a상 기준 0°사고에서 5주기 동일한 조건하에서 수행되었다.

그림 5는 삼상 일체화된 자속구속형 SFCL의 a, b, c상 3선 지락사고시 고온초전도소자에 흐르는 전류(I_{sc})와 소자 양단전압(V_{sc})을 나타낸 것이다. 그림 5에서 사고발생 후 모든 상의 고온초전도 소자에 펜치가 발생하여 전압이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

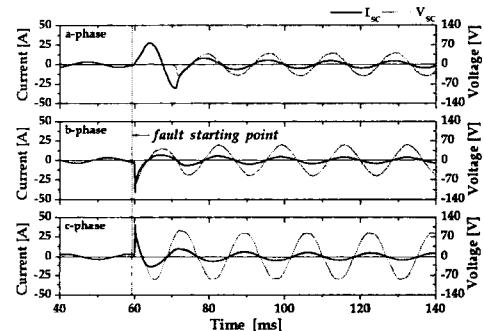


그림 4. 3선 지락시험시 각상을 구성하는 고온 초전도소자의 전류, 전압 파형

2.2.4 선간 단락시험

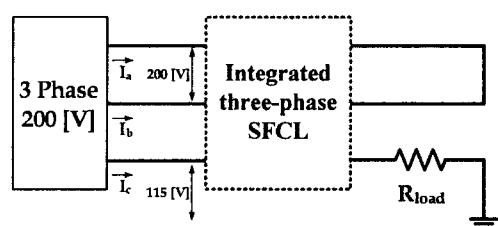


그림 6. 3선 지락시험 회로도

그림 6은 삼상 일체화된 자속구속형 SFCL의 선간단락사고를 모의한 회로이다. a-b상의 선간 단락사고가 발생하면 그림 6과 같이 a상과 b상의 SFCL의 부하 측이 서로 단락되고, c상의 SFCL은 부하저항($R_{load}=30\Omega$)을 거쳐 접지에 연결된다. 선간 단락시험은 a상 기준 0°에서 5주기 동안 수행되었다. 그림 6에서 보는 바와 같이 단락된 두상에 위치하는 초전도 SFCL은 서로 직렬로 결선된 것처럼 나타난다. 따라서 a, b상의 선간전압은 1선 지락사고보다 $\sqrt{3}$ 배 크게 나타난다. 그러나 고온초전도 소자에 동시에 펜치가 발생하면 각 SFCL이 분담하는 전압은 $\sqrt{3}/2$ 배로 작아져서 오히려 SFCL의 부담이 줄어들 수 있다.

그림 7은 삼상 일체화된 자속구속형 SFCL의 a-b상 선간 단락사고시 고온초전도소자에 흐르는 전류(I_{sc})와 소자 양단전압(V_{sc})을 나타낸 것이다. 그림 7에서 b상의 고

온초전도 소자에는 펜치가 발생하여 소자양단 전압이 나타났지만, a, c상의 고온초전도 소자에는 펜치가 발생하지 않아 소자양단 전압이 나타나지 않았다. a상에 펜치가 발생하지 않은 이유는 고온초전도 소자의 임계특성의 차이 때문에 임계특성이 상대적으로 낮은 b상의 고온초전도 소자에만 펜치가 발생했기 때문이다. 이와 같이 선간 단락사고시, 두상의 초전도소자 중에서 어느 한 상의 초전도소자만 펜치가 발생될 경우 선간전압 전체가 하나의 초전도소자에 인가될 수 있으므로 설계시 동시 펜치 문제를 신중히 고려해야 할 것이다. 또한, c상의 고온초전도 소자에 흐르는 전류가 증가했지만 펜치가 발생하지 않은 이유는 고온초전도 소자에 흐르는 전류가 소자의 임계전류를 넘지 않았기 때문이다. 만약, 전원전압을 증가시킬 경우, c상에 있는 초전도 소자도 펜치가 발생될 것으로 예상된다.

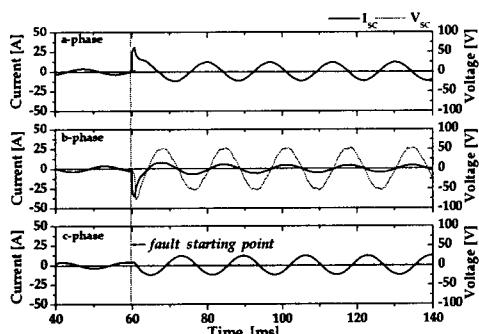


그림 7. 선간 단락시험시 각상을 구성하는 고온 초전도소자의 전류, 전압 파형

3. 결 론

본 논문에서는 삼상 일체화된 자속구속형 SFCL을 제작하여 1선 지락사고, 2선 지락사고, 3선 지락사고 와 선간 단락사고시 고온초전도 소자의 펜치특성을 조사하였다. 그 결과 사고유형에 관계없이 a, b, c상 중에서 어느 한 상에서라도 사고가 발생하면 인접한 모든 상에서도 펜치가 발생하는 것을 확인하였다. 끝으로, 삼상 일체화된 자속구속형 SFCL 설계시, 선간 단락사고의 경우, 각 상별 동시펜치 문제를 신중히 고려해야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원사업에 의해 작성되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김준환, 이강완, “전력계통, 고장전류 증대와 대응방안”, 전기저널, Vol. 1, No. 2, pp. 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, pp. 1079, 1995
- [3] 임성훈, 최명호, 이현수, 한병성, “차폐유도형 고온초전도 전류제한기의 설계 및 특성 시뮬레이션”, 전기학회논문지, 48C 권, 3호, pp. 173, 1999
- [4] 김태중, 강형구, 고태국, “유도형 고온초전도 한류기용 prototype 직류 리액터의 설계 및 제작”, 전기전자재료학회논문지, Vol. 16, No. 128, pp. 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, pp. 940, 1999
- [6] 박충렬, 임성훈, 박형민, 최효상, 한병성, “자속 구속형 전류제한기의 초기 사고전류 제한시점 변화”, 전기전자재료학회논문지, Vol. 18, No.3, pp. 269, March 2005
- [7] 박형민, 임성훈, 박충렬, 최효상, 한병성, “자속구속형과 저항형 초전도 전류제한기의 특성비교” 전기전자재료학회논문지, Vol. 18, No.4, pp. 363, April 2005
- [8] Seungjin Lee, Suk-Jin Choi, Tae Kuk Ko, “The Short Circuit Analysis of Integrated Three Phase Superconduction Fault Current Limiter with Two Phase Superconducting Circuits”, IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol.12, No. 1, pp. 854, March 2002.