

인덕턴스 조정에 따른 자속구속형의 전류제한특성분석

이나영, 최효상, 박형민, 조용선, 남궁현, 임성훈*, 박충렬**
 조선대학교 전기공학과, 전북대학교 공업기술연구센터*, 전북대학교 전기공학과**

The Analysis of Characteristics of Flux-Lock Type SFCL with Adjustable Inductance Level in Current Limiting Operation

Na-Young Lee, Hyo-Sang Choi, Hyoung-Min Park, Yong-Sun Cho, Gueng-Hyun Nam,
 Sung-Hun Lim*, Chung-Ryul Park**
 Chosun Univ, Research center of Industrial Technology*, Chonbuk National Univ.**

Abstract : Superconducting fault currents(SFCLs) are expected to improve not only reliability but also stability of real power systems. The analysis on the single line-to-ground fault of the integrated three phase flux-lock type SFCL, which consists of three flux-lock reactor wound on an iron core in each single phase and three YBCO thin films, was investigated in current limiting operation characteristics. We compared 21turn numbers with 42turn numbers according to wound turn numbers each the coil 2 under the additive polarity winding operation between coil 1 and coil 2. The three phase flux-lock type SFCL using an iron core differently operates general three phase resistive SFCLs. When a single line-to-ground fault occurred, the SFCL's three units were quenched after fault onset. We confirmed effective current limiting operation characteristics with adjustable inductance level.

Key Words : Flux-lock SFCL, Additive polarity, Current limiting operation

1. 서론

초전도한류기에 대한 국내 연구는 손실을 최소화하기 위해 경제성과 신뢰성을 고려한 고품질전력공급을 위한 국가차원의 신기술정책에 일환으로써 진행되고 있다. 초전도한류기는 정상작동시 안정적 전력전송과 사고시에는 부가적인 제어장치 없이도 사고전류를 제한한다.

이러한 초전도한류기 중에서도 저항형한류기를 개선한 자속구속형 한류기는 적용계통내에서 요구하는 사양에 적절하게 대응할 수 있는 탄력적인 운용이 가능함으로써 기존의 수동적인 운전특성을 탈피함에 따라 활용도 측면에서 효율화를 꾀할 수 있어 미래기술이라 할 수 있다.

이러한 초전도한류기를 실제계통내 적용하기 위해서는 3상 시스템의 사고에 대한 분석은 필수적이다. 3상계통내에서 유발되는 사고의 약 70% 이상이 1선 지락사고에 의한 불평형 사고이므로, 이에 대한 초전도한류기의 동작특성에 대한 파악은 중요하다. 본 논문에서는 박막을 이용한 자속구속형의 강자성철심에 코일을 가극방향으로 결선하여 코일턴수로 인덕턴스의 크기를 변화시켜 그에 따른 과도 사고에 대한 전류제한특성을 비교·분석하였다.

2. 실험

그림 1은 전력계통의 1선 지락사고를 실험하기 위해 구성한 실험회로도이다. 사고모의를 위해 스위치 (SW_{1a}, SW_{1b}, SW_{1c})를 닫힌 조건하에서 스위치 SW_{2a}를 열어둠으로써 a상의 사고를 모의하였다. 이때 상전압 V₀은 160V_{rms}이며, 표준부하 R₀은 1Ω, 부하저항 R_L은 50Ω으로 각각의 스위치와 병렬 연결되어 있다.

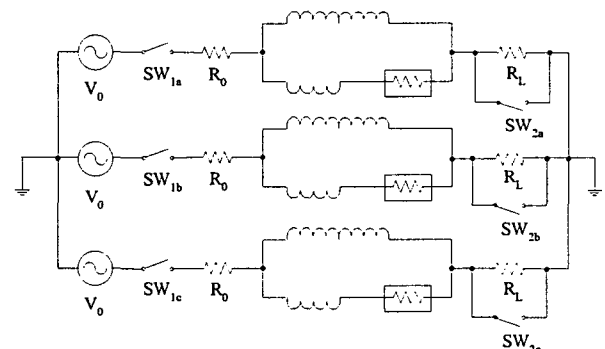


그림 1. 3상 시스템에서 1선 지락사고를 위한 실험회로도

3상에 있는 개별 코일들은 가극방향으로 하나의 강자성체철심에 결선되어 일체형 구조로써 작용한다. 이러한 설계조건에 따라 정상작동시 철심에 교류자속이 발생하지 않다가 과도전류가 흐를 경우 한류소자에 저항이 발생하면서 각 코일에 전압이 유기되어 사고전류를 제한하게 된다. 자속매개체로 일체형을 사용함으로써, 사고발생시 자속에 영향을 받은 각상의 전류변화에 따른 응답으로 한류소자에 전압을 유기하여, 사고가 발생하지 않는 나머지 상에서도 사고전류를 효율적으로 제한하게 한다.

결선된 각 상에 1차측 코일의 턴수는 63턴하여 2차측의 코일이 42턴과 21턴인 경우의 실험을 수행하여, 인덕턴스 조절에 따른 사고제한특성을 비교·분석하였다. 또한 한류소자는 코일 2에 직렬로 연결되어, cryostat 내부에 존재한다. 3상계통의 사고를 모의하기 위해 3개의 YBCO박막인 한류소자를 이용하였으며, 개별 임계전류값은 거의 균일한 것을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3상 시스템에서 각 상마다 coil 1, 2를 가극 결선한 a상의 접지임피던스를 0으로 하여 발생하는 1선 지락사고에 대한 자속구속형 초전도한류기의 운전특성을 나타낸다.

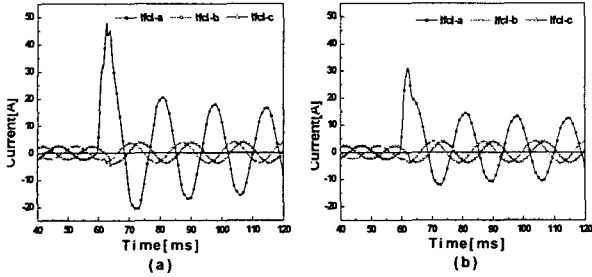


그림 2. a) 2차측 코일 21턴인 1선지락시험 선로전류파형
b) 2차측 코일 42턴인 1선지락시험 선로전류파형

그림 2에서는 사고각이 0° 일때 a상의 선로전류는 a)에서 반주기만에 $48.18A_{ms}$ 까지 상승하였다가 초전도한류기의 동작으로 3주기에는 $17.85A_{ms}$ 로 신속하고 효율적으로 제한되었으며, b)에서도 $31.35A_{ms}$ 에서 $13.31A_{ms}$ 로 사고전류가 제한됨에 따라 3상에서도 자속구속형 초전도한류기가 신속한 동작을 하였음을 알 수 있었다. 이에 따라 2차측 코일의 턴수가 증가할수록 지락사고로 인한 과도전류를 효율적으로 수행했음을 확인할 수 있었다.

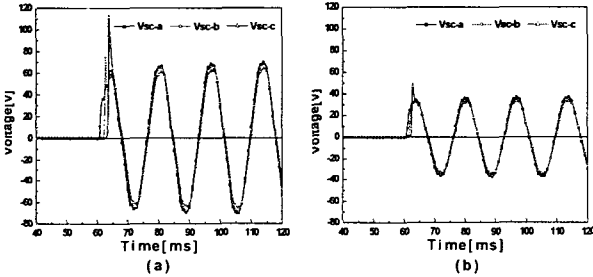


그림 3. a) 2차측 코일 21턴인 한류소자 전압파형
b) 2차측 코일 42턴인 한류소자 전압파형

1선 지락사고 모의로 인한 과도한 선로전류가 a상에서만 발생하여 초전도 한류기의 동작으로 제한되는 것과 달리 한류소자의 양단에 걸리는 전압은 3상 시스템 전체에서 발생했음을 그림 3에서 확인할 수 있었다. 3상 시스템에서 사고 발생시 일체형 철심 구조로 인하여 채교된 자속이 더 이상 상쇄되지 않아 각각에 코일들의 전압을 유기시켜, 이에 응답특성으로 한류소자들에 영향을 주어 선로에 임피던스를 투입함으로써 1선 지락사고로 인한 과도전류를 신속하게 제한하였다. 그림 3의 a)에서 a상의 한류소자의 양단전압은 초기 반주기의 최대피크전압은 $59.40V_{ms}$ 였으나, b)에서는 $34.60V_{ms}$ 까지 상승하였다. 한류소자에 발생하는 전압은 감소함에 따라 그만큼 한류소자에서 과중되는 부담은 오히려 적어져 소자 충격면에서 코일턴수의 적정조정이 소자에 유리함을 알 수 있었다.

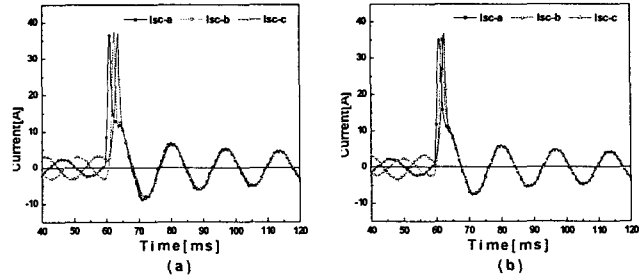


그림 4. a) 2차측 코일 21턴인 coil 2의 전류파형
b) 2차측 코일 42턴인 coil 2의 전류파형

그림 4는 각 상으로 흐르는 2차측 코일의 전류를 나타내었다. 각 상의 한류소자에 흐르는 사고전류도 초전도 한류기의 작동으로 신속하게 제한되었다. 턴수가 클 경우 3개의 한류소자에서 제한되는 피크점들간의 차이가 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 또한 설계적인 특성으로 인하여, 각 코일로 흐르는 전류파형이 3상으로 인한 위상차가 사고발생 직후에는 동상이 되었음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 설계학적인 구조로써 코일 1과 2를 가극 결선한 일체형 자속구속형 초전도 한류기를 제작하여 3상 시스템의 1선 지락사고에 대한 전류제한특성을 턴수에 따라 비교·분석하였다. 사고 발생시 동일한 자속매개체에 의하여 a상에서 발생한 사고전류가 다른 나머지 상에 영향을 주어 3상 전체의 한류소자에서 전압이 인가되어 과도전류를 신속하게 제한하였다.

사고전류를 제한되는 폭이 2차측 코일의 턴수가 증가할수록 초기선로전류가 크기가 줄어듬에 따라 신속하고 효율적으로 사고전류를 제한했음을 알 수 있었다. 또한 한류소자에 인가되는 전압도 턴수가 클수록 과중되는 부담이 적어져 소자의 보호 측면에서 더 유리하다고 사료된다. 2차측으로 흐르는 과도전류의 초기피크치가 턴수가 증가할수록 개별 한류소자의 동작특성이 좀더 빠르게 수행되었으며, 위상차가 있었던 각각의 상들에 전류파형들도 거의 동상이 됨을 확인하였다. 3상 전력계통내에 자속구속형 초전도 한류기를 가극결선하여 설치시 코일의 임피던스를 적정크기로 할 경우 사고 발생시 효율적인 운용이 가능함에 따라 전력계통내 활용도가 클 것이다.

참고 문헌

- [1] 박형민, 임성훈, 박충렬, 최효상, 한병성, "자속구속형 과 저항형 초전도 전류제한기의 특성비교", 전기전자재료학회논문지, Vol. 18, No. 4, p. 365, 2005.
- [2] 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, 2004.