

자속구속형 고온초전도 전류제한기의 사고초기 제한 전류변화 분석

임성훈<sup>\*</sup>, 최효상<sup>\*\*</sup>, 강형근<sup>\*\*\*</sup>, 고석철<sup>\*</sup>, 이종화<sup>\*</sup>, 한병성<sup>\*</sup>  
 전북대학교 전자정보공학부<sup>\*</sup>, 조선대학교 전기공학과<sup>\*\*</sup>, 전북대학교 반도체 물성연구센터<sup>\*\*\*</sup>

Analysis for Variation of Limiting Current at Initial Fault Time in Flux-Lock Type SFCL

Sung-Hun Lim<sup>\*</sup>, Hyo-Sang Choi<sup>\*\*</sup>, Seok-Cheol Ko<sup>\*</sup>, Jong-hwa Lee<sup>\*</sup>, Byoung-Sung Han<sup>\*</sup>  
 School of Electronics&Information Engineering, Chonbuk National Uni.<sup>\*</sup>, Electrical Engineering Dept. Chosun Uni.<sup>\*\*</sup> Uni.<sup>\*\*\*</sup>

**Abstract** - The fault current limiting characteristics at the initial fault time for flux-lock type high-Tc superconducting fault current limiter(SFCL) were investigated. The amplitude of initial fault current of the flux-lock type SFCL was dependent on the inductance ratio of coil 1 and 2. After fault current limiting mode was analyzed, we compared the calculated value with the experimental one for the initial fault current. The effect of initial fault current due to the inductance ratio of coil 1 and 2 on fault current limiting characteristics was discussed.

1. 서 론

지속적으로 증가되고 있는 송전용량과 전력수요에 따라 사고로 인한 사고전류의 증가는 기존 차단기의 차단용량의 초과로 이에 따른 교체의 필요성과 함께 계통에 관련된 기기에 심각한 부담을 주고 있다. 이를 부가적인 문제발생 없이 해결할 수 있는 유력한 후보로 고온초전도 전류제한기가 주목을 받고 있으며 특히 용량초과가 예상되는 기존의 차단기와 함께 동작할 경우, 기기교체에 따른 비용감소는 물론 장치의 소형화, 계통안정 및 환경친화 등의 잇점으로 세계 선국각국에서는 실제계에 적용하여 그 우수성을 보고하고 있다[1-3].

그러나 실제계에 적용하기 위해서는 고온초전도체의 직렬 연결을 통한 용량증대가 요구되고 있으며 재료적인 제약등으로 단위소자가 갖는 통전용량과 한류저항을 증가시키기 위한 방안이 요구되고 있다.

개발된 고온초전도 전류제한기 중에서 자속구속형 고온초전도 전류제한기는 단위소자가 갖는 통전용량을 증가시킬 수 있을 뿐 아니라 사고초기에 제한되는 전류크기를 구성하고 있는 코일의 인덕턴스를 조절하여 설정할 수 있으며 자계 인가코일을 이용하여 별도의 전원없이 한류동작시에만 자계가 소자에 가할 수 있는 특징이 있다.

본 논문에서는 자속구속형 고온초전도 전류제한기를 구성하고 있는 코일의 인덕턴스값을 설정함에 따라 사고초기 제한되는 전류크기를 조절할 수 있음을 실험을 통해 분석하고 등가회로부터 계산한 값과 비교하였다.

1, 2차 코일의 인덕턴스 비가 자속구속형을 구성하고 있는 고온초전도 전류제한 소자의 퀴치특성에 영향을 줌으로써 사고초기 제한되는 전류크기를 조절할 수 있음을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 자속구속형 전류제한기의 동작특성

자속구속형 고온초전도 전류제한기의 구조는 그림 1과

같으며 사고가 발생되어 고온초전도 소자의 임계전류를 넘는 전류가 흐르게 되면 발생된 저항으로 인해 쇄교자속에 시간변화가 생겨 각 코일에 전압이 유기되고 이로 인해 사고전류는 제한된다.

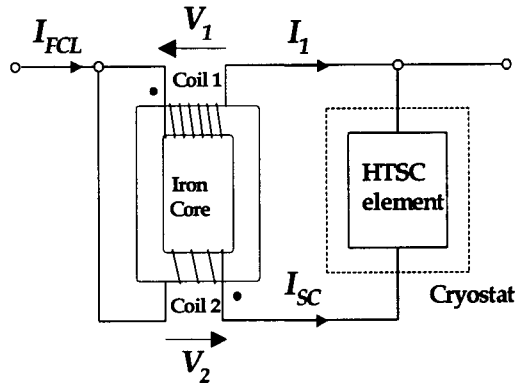


그림 1. 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 구조

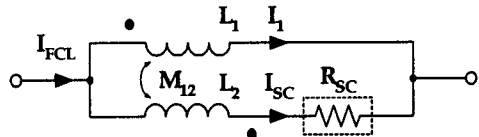


그림 2. 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 등가회로

그림 1의 구조로부터 그림 2의 등가회로를 얻을 수 있으며 여기서  $L_1, L_2$ 는 각 코일의 인덕턴스,  $w$ 는 각 주파수,  $I_{FCL}$ 는 제한기에 의해 제한되는 선로전류를 나타낸다. 위 식에서  $L = \sqrt{L_1} \pm \sqrt{L_2}$ 으로 + 또는 - 부호는 1, 2차 권선에 의한 자속의 증감에 따라 결정된다.

자속구속형 고온초전도 전류제한기의 사고발생 직후에 고온초전도 소자에 흐르는 전류가 임계전류값 ( $I_q$ )에 도달되었을때 초기 제한전류를  $I_{lim}$ 로 정의하면 등가회로부터 유도한 식에서 식 (1)의 관계를 얻을 수 있다.

$$I_{lim} = \left(1 \pm \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}\right) I_q = \frac{L}{\sqrt{L_1}} I_q \quad (1)$$

식 (1)은 초기 제한되는 선로전류크기를 코일 1과 2의 인덕턴스값을 조절함으로써 설정할 수 있음을 보여준다.

## 2.2 자속구속형 전류제한기의 사고초기 제한 전류분석

그림 3은 사고모의를 위한 실험회로 구성도를 보여주며 이때 전원단 저항 및 부하저항은  $1\ \Omega$ ,  $50\ \Omega$  으로 설정하였으며 사고발생을 위한 사고각과 사고주기는 0도 사고 발생후 5주기동안 유지하였다.

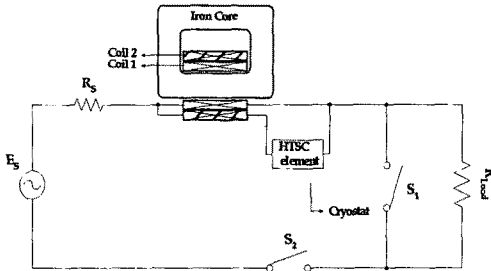


그림 3. 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 실험 회로도

그림 4는 코일 1과 2의 인덕턴스 비가 0.0388인 경우, 사고발생 전후 선로전류를 포함한 각 코일에 흐르는 전류를 보여주며 사고발생 직후 코일 2의 전류가 코일 1의 전류보다 급속히 증가되나 고온초전도 소자의 저항발생으로 인해 최대점에 도달된 후 감소되면서 코일 1의 전류도 감소되는 것을 볼 수 있다. 이에 따라 선로전류도 사고발생과 동시에 최대점에 도달된 후 반주기 뒤부터는 일정한 크기로 제한되어 5주기가 되는 시점에서는 8.4 A가 됨을 확인할 수 있다. 그림 5는 소자양단전압과 각 코일의 전압으로 사고전에는 고온초전도 소자 양단전압이 제로가 되므로 각 코일에 유기되는 전압도 제로가 될 수 있으며 사고발생후 소자에 발생된 저항으로 인해 각 코일에 전압이 유기되는 것을 볼 수 있다. 또한 사고후 소자양단전압은 각 코일에 유기되는 전압의 합으로 나타남을 볼 수 있으며 이는 코일 1과 2의 감극결선으로 인한 결과이다. 그림 6은 사고직후 소자양단전압과 선로전류를 포함한 각 코일에 흐르는 전류파형을 보여주며 소자의 임계전류값을 넘는 시점(점선으로 표시)에서 사고초기 전류값은 17 A로 식 (1)로부터 계산한 값(16.2 A)과 유사함을 비교할 수 있다.

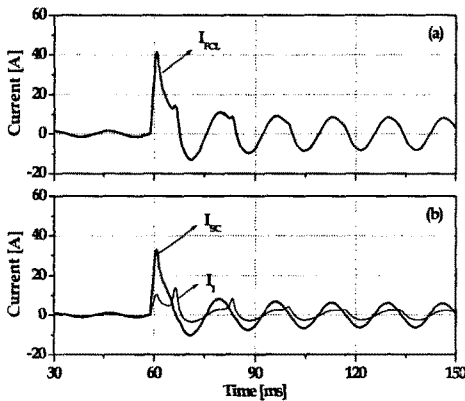


그림 4. 감극 결선시 선로전류를 포함한 각 코일의 전류파형 ( $L_2/L_1=0.0388$ )

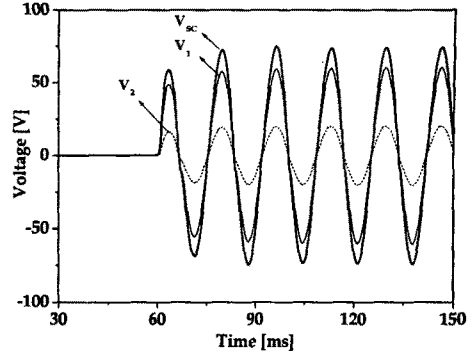


그림 5. 감극 결선시 고온초전도 소자를 포함한 각 코일의 전압파형 ( $L_2/L_1=0.0388$ )

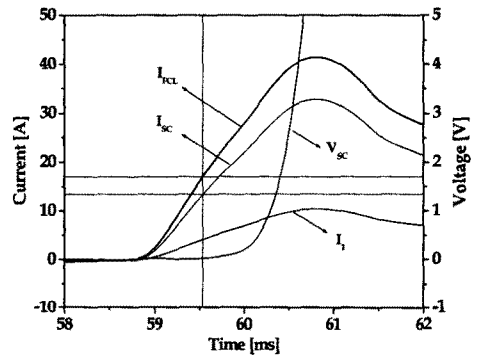


그림 6. 감극 결선시 고온초전도 소자의 양단전압과 선로전류 및 각 코일의 전류 ( $L_2/L_1=0.0388$ )

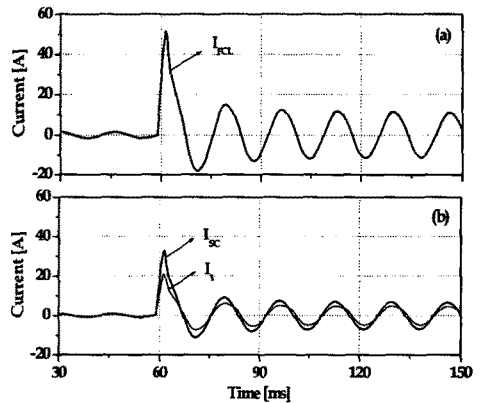


그림 7. 감극 결선시 선로전류를 포함한 각 코일의 전류파형 ( $L_2/L_1=0.0905$ )

코일 1, 2의 인덕턴스비에 따른 사고초기 전류제한값을 고찰하기 위해 코일 1, 2의 인덕턴스의 비가 0.0905인 경우, 선로전류를 포함한 코일 1, 2의 전류파형을 그림 7에 나타내었으며 사고후 5주기에서 제한되는 선로전류 크기는 11.26 A로, 앞에서 고찰한 코일 1, 2의 인덕턴스

비가 0.0388인 경우보다 증가됨을 볼 수 있다.

사고 전후 소자양단전압 및 코일 양단전압(그림 8)에서도 코일 1, 2의 인덕턴스 비가 증가됨에 따라 고온초전도 소자 양단전압의 크기가 증가됨을 볼 수 있으며, 이로 인해 사고후 코일 2에 흐르는 전류가 고온초전도 소자의 임계전류에 도달되는 시간도 증가되는 것을 그림 6과 9로부터 비교할 수 있다. 이는 코일 1, 2의 인덕턴스 비의 증가로 인해 사고시 코일 2에 흐르는 전류의 기울기가 감소함에 따라 제한되는 선로전류크기는 증가됨을 분석할 수 있다.

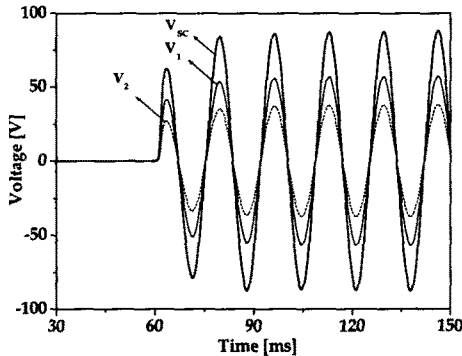


그림 8. 감극 결선시 고온초전도 소자를 포함한 각 코일의 전압파형 ( $L_2/L_1=0.0905$ )

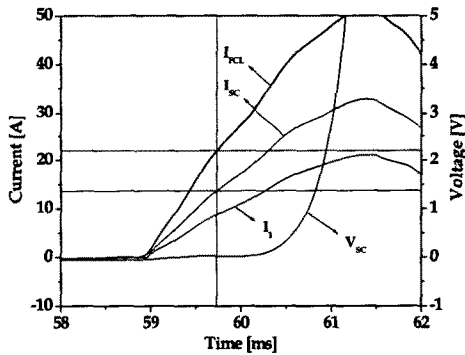


그림 9. 감극 결선시 고온초전도 소자의 양단전압과 선로전류 및 각 코일의 전류 ( $L_2/L_1=0.0905$ )

코일 1, 2의 인덕턴스의 비에 따른 사고초기 제한전류와 소자의 켄치전류비의 관계는 그림 10에서 보는 것처럼 루트함수관계처럼 증가되는 것을 볼 수 있으며 앞서 고찰한 코일 1과 2의 인덕턴스 비에 따른 사고초기 제한되는 선로전류와 켄치전류의 비를 점으로 표시하였다. 계산한 값과 실험한 값의 차이가 다소 발생되나 경향은 비슷함을 확인할 수 있다. 위의 결과로부터 코일 1, 2의 인덕턴스값의 비를 감소시킴에 따라, 즉 코일 2의 인덕턴스값을 감소시킴에 따라 사고발생후 소자의 켄치전류값을 넘는 시점이 빨라지게 되며 이에 따라 제한되는 선로전류크기도 감소됨을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

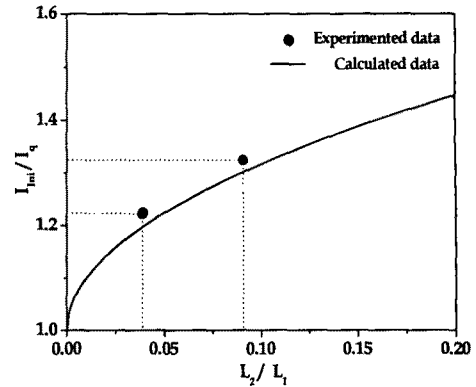


그림 10. 코일 1, 2의 인덕턴스비에 따른 소자의 켄치전류와 사고초기 선로전류비의 관계

### 3. 결 론

본 논문에서는 자속구속형 고온초전도 전류제한기를 구성하고 있는 코일의 인덕턴스값을 설정함에 따라 사고초기 제한되는 전류크기를 조절할 수 있음을 실험을 통해 분석하고 등가회로로부터 계산한 값과 비교하였다.

1, 2차 코일의 인덕턴스 비가 자속구속형을 구성하고 있는 고온초전도 전류제한 소자의 켄치특성에 영향을 줌으로서 사고초기 제한되는 전류크기를 조절할 수 있음을 확인하였다.

자속구속형 고온초전도 전류제한기의 향후 실험을 위해 도출한 등가회로로부터 수치해석을 이용한 시뮬레이션을 통해 설계파라미터에 따른 전류제한특성을 분석하고자 하며 3차 권선을 이용하여 사고시 소자에 자계를 인가할 경우 이에 따른 전류제한 특성에 대해 분석하고자 한다.

### 감사의 글

본 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라고속 지원사업으로 수행된 논문입니다.

### {참 고 문 헌}

- [1] R. K. Smith, P. G. Slade, M. Sarkozi, E. J. Stacey, "SOLID STATE DISTRIBUTION CURRENT LIMITER AND CIRCUIT BREAKER APPLICATION REQUIREMENTS AND CONTROL STRATEGIES", IEEE Trans. on Power Del., Vol. 8, pp.1155-1164, Jul., 1993.
- [2] V. D. Pham, Y. Laumoud, T. Verhaege, A. Fevrier, M. Collet, M. Bekhaled, "Towards The Superconducting Fault Current Limiter, IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 6, pp. 801-808 April 1991.
- [3] Lin Ye, LiangZhen Lin, Klaus-Peter Juengst, "Application Studies of superconducting Fault Current Limiters in Electric Power Systems", IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 12, No. 1, pp.900-903, Mar., 2002.
- [4] Yu Jiang, Shi Dongyuan, Duan Xianzhong, Tang Yuejin, Cheng Shijie, "Comparison of superconducting fault current limiter in power system", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 1, pp.43-47, 2001.