

자속 구속형 고온초전도 전류제한기의 전류제한 특성

박형민\*, 최효상\*, 임성훈\*\*, 박충렬\*\*\*, 한병성\*\*\*, 이상일\*, 정수복\* 오금곤\*, 현옥배\*\*\*\*, 정동철\*\*\*\*  
 조선대학교 전기공학과\*, 전북대학교 공업기술연구소\*\*\*, 전북대학교 전자정보공학부\*\*\*\*,  
 한전전력연구원\*\*\*\*, 우석대학교 정보통신공학부\*\*\*\*\*

Current Limiting Characteristic of Flux-Lock Type High-T<sub>c</sub> Superconducting Fault Current Limiter

Hyoung-Min Park\*, Hyo-Sang Choi\*, Sung-Hun Lim\*\*, Chung-Ryul Park\*\*\*, Byoung-Sung Han\*\*\*\*,  
 Sang-il Lee, Soo-Bok Chung, Geum-Kon Oh\*, Ok-Bae Hyun\*\*\*\*, Dong-Chul Chung\*\*\*\*.

Chosun Uni\*, Research Center of Industrial Technology Engineering Research Institute\*\*, Chonbuk Uni\*\*\*\*, Power System Laboratory,  
 Korea Electric Power Research Institute\*\*\*\*, Woosuk Uni\*\*\*\*\*

**Abstract** - The current limiting characteristics of the flux-lock type superconducting fault current limiters(SFCLs) were investigated. The flux-lock type SFCL consists of a flux-lock reactor and high-T<sub>c</sub> superconducting (HTSC) element. In this SFCL, the initial limiting current level can be controlled by adjusting the inductances of two coils. In this paper, the operational characteristics of the flux-lock type SFCL were analyzed and the current limiting characteristics of it were investigated through the experiments.

**Keywords** : current limiting characteristics, the flux-lock type superconducting fault current limiters(SFCLs)

1. 서 론

산업이 발전하면서 전력수요는 지속적으로 증가하고 있으며 그에 따라 전력계통의 복잡화와 임피던스의 감소를 야기하고 있다. 이에 따라 단락사고로 인한 고장전류의 크기는 점점 증가하고 있으며 이에 대한 대책마련이 시급한 시정이다. 현재 이에 대한 대책방안으로 차단기 교체, 고임피던스 기기채용 모션분리 등 다양한 방법이 있으나 효과적인 전류제한을 위해서는 수반되는 많은 문제점이 있다[1]. 따라서, 사고전류를 효과적으로 제어할 수 있는 현실적인 방안으로 고온 초전도 전류제한기에 대한 관심이 높아지게 되었다. 초전도 전류제한기는 사고전류에 대한 빠른 동작 및 회복시간과 환경 친화적이며 수명이 반영구적이고 비용 대 성능이 우수한 장점으로 인해 많은 연구가 활발히 진행되고 있다[2]-[5].

현재 개발된 초전도 전류제한기는 크게 저항형과 유도형으로 나눌수 있으며 각각 다른 특성과 장단점이 있다 [6]-[7]. 그 중에서도 자속구속형 전류제한기는 초전도소자의 켄치를 발생시켜 전류를 제한하고 직접적인 사고전류가 소자를 통해 흐르기 때문에 저항형 초전도 전류제한기로 분류할수 있다. 자속구속형 전류제한기의 특성은 정상 운전시 철심에 교류자속이 발생되지 않지만 사고가 발생하여 임계전류가 넘는 전류가 고온 초전도소자에 흐르게 되면 켄치가 발생하고 소자의 저항으로 인해 쇄교자속에 시간 변화가 생겨 각 코일에 전압이 유기고 사고전류를 제한할수 있다.

본 논문에서는 자속구속형 전류제한기의 전류제한 특성을 조사하였다. 자속구속형 고온 초전도 전류제한기에 단상 교류전압을 인가하고 사고가 발생하였을 때 선로에 흐르는 전류 특성을 실험을 통해 분석하였다. 또한, 고온 초전도 소자 단독으로 동작할 경우와 전류제한 특성을 비교분석하였다. 분석을 통해 얻은 결과를 바탕으로 향후, 자속구속형 전류제한기의 코일 1, 2의 인덕턴스에 따른 전류제한 특성을 조사하고자 한다.

2. 본 론

2.1 자속구속형 전류제한기의 구조 및 동작원리

자속 구속형 고온초전도 전류제한기의 구성은 그림 1에 보인 바와 같이 철심코어를 매개로 코일 1, 2는 병렬로 연결되고 코일 2에 고온초전도 소자가 직렬로 연결된다. N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>를 각 코일 1, 2의 턴수라 하면 각 코일에 유기는 전압은 식(1), (2)와 같이 표현된다.

$$V_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

$$V_2 = \pm N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

사고전의 고온초전도 소자의 양단전압은 영이 되므로 코일1과 2의 양단전압은 같게 되어 다음식이 성립된다.

$$(N_1 \pm N_2) \frac{d\phi}{dt} = 0 \quad (3)$$

여기서 N<sub>1</sub> ± N<sub>2</sub> ≠ 0이 성립하면  $\frac{d\phi}{dt}$ 이 성립되며 각 코일에 쇄교하는 자속은 시간적으로 변하지 않게 되므로 각 코일에 유기는 전압은 식 (4)와 같이 제로가 된다

$$V_1 = V_2 = 0 \quad (4)$$

사고가 발생되어 임계전류를 넘는 전류가 고온 초전도 소자에 흐르게 되면 발생된 고온초전도 저항으로 인해 쇄교자속에 시간변화가 생겨 각 코일에 전압이 유기고 이로 인해 사고전류는 제한된다.

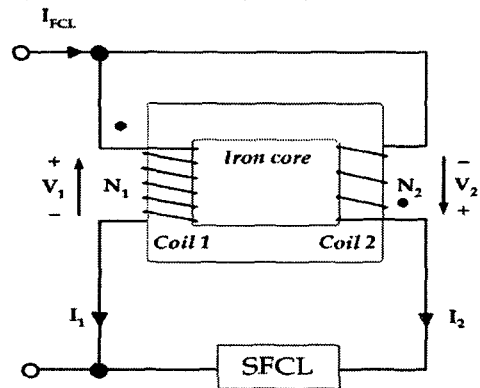


그림 1. 자속구속형 전류제한기 구조

## 2.2 실험 방법 및 구성

자속구속형 전류제한기의 실험회로도에는 그림 2에 나타내었다. 그림에서  $V_0$ 은 전원전압이고  $S_1$ 은 전원을 공급하고 차단하는 스위치이며  $R_0$ 은 전류변화를 측정하기 위한 표준 저항이며  $R_L$ 은 부하저항,  $S_2$ 는 단락사고를 발생하기 위한 스위치이다. SFCL은 초전도 소자를 나타낸다. 초전도체의 특성을 고려해 임계온도를 넘지 않게 냉각기에 액체질소를 담아 실험을 하였다.  $L_1$ 은 코일1  $L_2$ 는 코일2를 병렬로 연결하였고 감극성으로 연결하였다. 초전도 전류제한소자는 독일 THEVA사에서 제작했고 직경 2inch, 전체길이 420 mm, 임계온도와 임계전류는 각각 87 K와 18 A 이고. meander 형태로 이루어져있다.

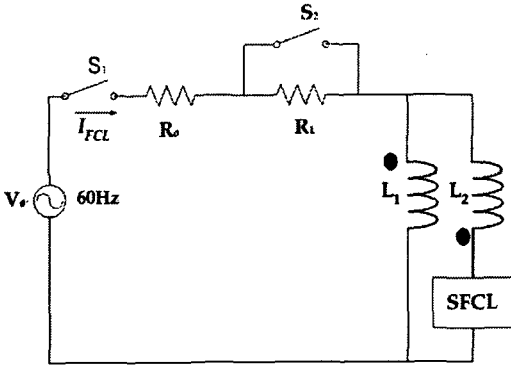


그림 2. 자속구속형 전류제한기의 실험 회로도

## 2.3 실험 결과 및 분석

실험조건은 전원전압 90 V<sub>rms</sub>, 직렬저항( $R_0$ ) 1 $\Omega$ , 단락사고를 내기 위한 부하저항( $R_L$ )은 50 $\Omega$ 으로 설정하여 사고를 발생시켰다. 그림 3은 사고발생 직후 전압과 전류파형을 확대해서 나타낸 그림이다. 그림 3을 보면 소자전압이 사고 직후 발생하는 것이 아니라 전류가 임계전류를 넘어서 쿼치가 될때 소자전압이 발생하는 것을 알수 있었고 초전도 소자에 흐르는 전류가 제한되어 최대값에도달된 후 코일2에 흐르는 전류가 감소되어 코일1의 전류와 선로전류가 감소되는 것을 확인 할수 있었다.

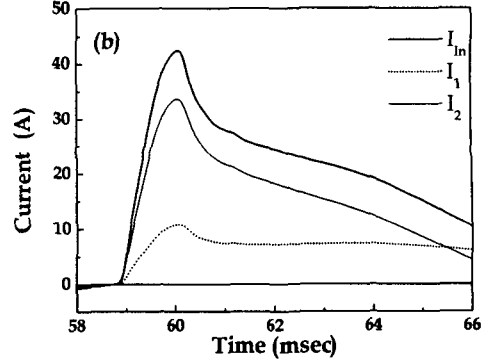
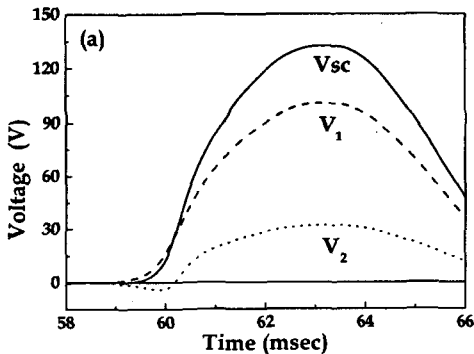


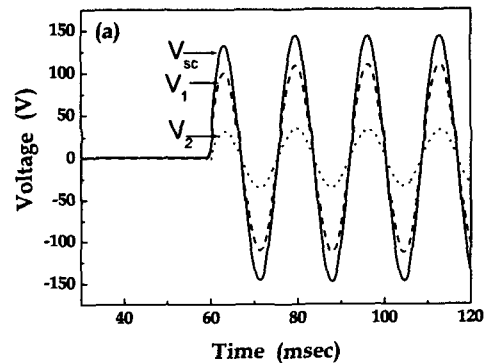
그림 3. 사고발생 직후 자속구속형 전류제한기의 전압전류 파형

자속구속형 고온초전도 전류제한기의 사고 후 4주기 동안의 전압, 전류실험 파형을 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 볼수 있듯이  $V_{sc}$ 는  $V_1$ 과  $V_2$ 의 합과 같고  $I_{in}$ 은  $I_1$ 과  $I_2$ 의 합과 같으며 이를 식으로 표현하면 식(5)와 (6)과 같다.

$$V_{sc} = V_1 + V_2 \quad (5)$$

$$I_m = I_1 + I_2 \quad (6)$$

식 5, 6에서 볼수 있듯이 사고시 고온초전도 소자에 사고전류의 일부가 흐르게 되며 이때, 임계전류를 초과할 경우 제한기임피던스가 발생되어 사고전류가 제한될 수 있음을 볼수 있다. 다시 말하면, 단락용량이 저항형에 비해 증가될 수 있는 특징이 있음을 의미한다. 그림 5는 자속구속형 전류제한기의 소자저항을 보여주고 있으며 사고초기 급격한 크기로 증가된 후 2-3주기 후에는 일정한 값으로 점진적으로 증가되는 것을 볼수 있다. 향후, 저항형의 저항증가와 전류제한특성을 비교분석함으로써, 자속구속형 전류제한기의 용량증대효과에 대해 분석하고자 한다.



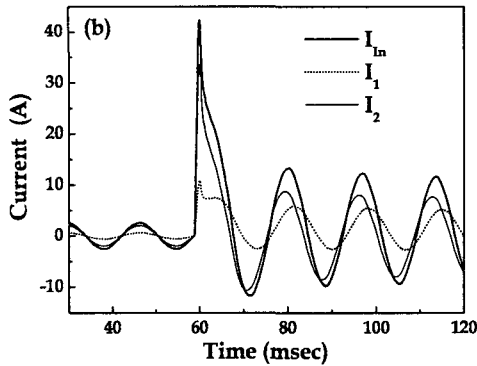


그림 4 자속구속형 제한기 전류, 전압파형

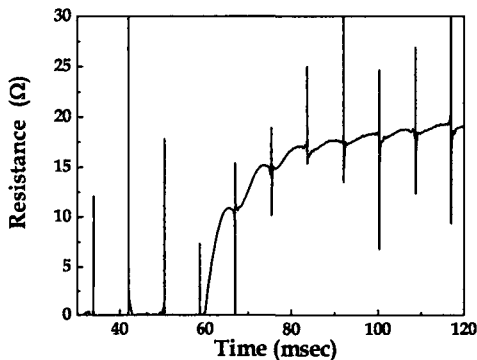


그림 5. 자속구속형 전류제한기 저항곡선

### 3. 결 론

자속 구속형 전류제한기의 동작특성 및 전류제한 특성을 실험 및 분석 하였으며 사고 직후 전류가 바로 제한 되는 것이 아니라 임계 전류 값을 넘어 켄치가 발생하였을 때 소자의 전압이 발생하고 전류를 제한한다는 것을 알수 있었고 또한 코일1, 2의 전압, 전류 합은 소자전압과 선로전류와 같음을 알수 있었다. 향후 저항형 전류제한기와 비교분석해 보고자 한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김준환, 이강완, "전력계통, 고장전류 증대와 대응방안", 전기저널, pp. 19-31, 1998.
- [2] Chanjoo Lee, Seungje Lee, Ok-Bae Hyun and Tae Kuk Ko, "Design and characteristic analysis of a rod type high-Tc superconducting fault current limiter through electromagnetic analysis", IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 11, No. 1, pp. 2102-2105, Mar. 2001
- [3] 이재, 힘성훈, 강형근, 고석철, 한병성, "자기차폐형 전류제한기의 전류제한 특성해석 연구", Progress in Superconductivity, Vol. 3, No. 2, pp.203-240, April 2002
- [4] Tsutomu Hoshino, Khosru Mohammad Salim, Massanori Nishikawa, Itsuya Muta, Taketsune Nakamura, "Propoasl of saturated DC reactor type superconducting fault current limiter(SFCL)", Cryogenics, Vol. 41, No. 7, pp.469-474, Jul. 2001.
- [5] Hyo-Sang Choi, Hye-Rim Kim, Ok-Bea Hyun, "Operating properties of superconducting fault current limiters based on YBCO thin films", Cryogenics, Vol. 41, No. 3, pp.163-167, Mar. 2001

- [6] 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
- [7] W. Paul, M. Chen, M. Lakner, J. Rhyner, D. Braun, W. Lanz, "Fault current limiter based on high temperature superconductors-different concepts, test results, simulations, applications", Physica C, Vol.354, No. 1-4, pp.27-33, May, 2001