

사고각에 따른 자속구속형 전류제한기의 전류제한특성

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

Current Limiting Characteristics of Flux-Lock Type High-TC Superconducting Fault Current Limiter According to Fault Angles

Hyoung-Min Park*, Sung-Hun Lim**, Yong-Sun Cho*, Chung-Ryul Park***, Byoung-Sung Han***, Hyo-Sang Choi*, Ok-Bae Hyun****
 *Chosun Uni**, **Research Center of Industrial Technology Engineering Research Institute**, Chonbuk Uni.***, Power System Laboratory, Korea Electric Power Research Institute****

Abstract - We investigated current limiting characteristics of the flux-lock type high-Tc superconducting fault current limiter (HTSC-FCL) according to fault angles. The Flux-lock type HTSC-FCL consists of primary and the secondary copper coils that are wound in parallel each other through the iron core and YBCO thin film.

In this paper, the current limiting characteristics of the flux-lock type HTSC-FCL according to fault angles in case of the subtractive and additive polarity windings were compared and analyzed. From the results, the flux-lock type HTSC-FCL could limit more quickly fault current as the fault angles increased irrespective of the fault angles. On the other hand, the initial power burden of HTSC element after a fault happened increased as the fault angles increased. In addition, it was confirmed that the resistance of flux-lock type HTSC-FCL in case of subtractive polarity winding was more increased than that of additive polarity winding and that the peak current of fault current in case of subtractive polarity winding was larger than that of the additive polarity winding case.

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

1. 서 론

오늘날 지속적인 경제성장과 산업발전은 전력수요의 증가를 가져왔으며 이에 따라 전력설비 증설로 전력전송 용량은 계속적으로 증가하게 되었다. 전력설비의 증설은 전력계통의 등가임피던스의 감소를 야기시키기 때문에 단락사고에 의한 사고전류의 크기는 점점 증대하고 있다 [1]. 국내 전력계통은 송전선로가 짧고 계통 변전소간을 연결하는 연계 송전선로가 망상형태로 되어 있어 사고시 사고전류가 차단내력을 초과하는 변전소가 증가하고 있다. 따라서 단락사고가 발생하였을시 차단기는 물론 전력계통의 전력설비까지 사고가 파급되어 막대한 영향을 줄거라 예상되고 있다. 이에 대한 사고전류를 억제하는 대책으로 차단내력이 높은 차단기를 교체하는 방법이 있으나 대용량 차단기 교체에 따른 막대한 비용과 기술적인 한계에 부딪히고 있으며 다른 대안으로 모션분리, 고임피던스 전력설비, 직렬 리액터 설치가 제안되고 있으나 경제적, 기술적으로 어려움이 많고 비효율적이라 사고전류를 효과적으로 제한할수 있는 새로운 방법이 필요한 실정이다[2-4].

이러한 문제점을 해결하고 기존 전력계통의 변경없이 적용할수 있는 고온초전도 전류제한기는 사고전류에 대한 빠른 동작 및 회복시간과 환경친화적이며 수명이 반영구적인 장점 때문에 세계적으로 이에 대한 많은 연구가 활발히 진행되고 있다[5-7].

지금까지 개발된 초전도 전류제한기는 크게 저항형과

유도형으로 나눌수 있는데 저항형은 영저항 특성을 이용한 전류제한기로서 구조 및 원리가 간단하고 소형화 할수 있는 장점이 있는 반면 사고전류가 초전도 소자에 직접 영향을 주기 때문에 파손우려가 있고 용량 향상을 위해 직렬 연결 동작시 동시 켜치의 문제점이 있다. 유도형은 초전도 소자에 직접적인 사고 전류가 흐르지 않으므로 파손 우려가 적고 회복시간이 저항형 보다 빠르나 튜브나 링형태의 초전도체를 이용하기 때문에 제작의 어려움과 철심포화의 문제가 있다. 자속구속형 전류제한기는 영저항 특성을 이용한 제한기로 저항형으로 분류할수 있으나 구조는 유도형처럼 코일 1, 2를 이용한 제한기로 저항형과 유도형의 장점을 살리면서 단점을 보완할수 있는 특징이 있다[8-9].

본 논문에서는 저항형 전류제한기와 자속구속형 전류제한기의 결선방향에 따른 감극결선 및 가극결선시 사고각에 따른 전류제한특성을 실험하였으며 결과분석을 통해 결선방향과 사고각에 따른 전류제한 특성을 비교 분석하였다.

2. 본 론

2.1 자속구속형 전류제한기의 동작특성

2.1.1 구조 및 동작 원리

그림 1은 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 구조를 나타낸 것이다. 철심 코어를 매개로 코일 1, 2를 병렬로 연결하였고 고온초전도 소자는 코일 2에 직렬로 연결하였다. 초전도의 특성상 소자는 임계온도를 유지하기 위하여 액체질소가 담긴 저온 냉각장치를 이용하였다. 자속구속형 전류제한기의 동작원리는 N1, N2를 각 코일 1, 2의 턴수라 한다면 결선방향에 따라 감극성과 가극성으로 나눌수 있고 각 코일에 유기되는 전압의 식은 (1),(2)와 같이 표현된다.

$$V_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \tag{1}$$

$$V_2 = \pm N_2 \frac{d\phi}{dt} \tag{2}$$

사고가 발생하기 전의 고온초전도 소자의 양단전압은 0이 되므로 코일 1과 2의 양단전압은 같게 되어 다음식이 성립된다.

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

식 (3)에서 $N_1 \pm N_2 \neq 0$ 때문에 $\frac{d\phi}{dt} = 0$ 이라고 볼수 있다. 그러므로 각 코일에 쇄교하는 자속은 시간적으로 변하지 않게 되므로 각 코일에 유기 되는 전압은 식 (4)와 같이 0이 된다.

$$V_1 + V_2 = 0 \tag{4}$$

사고가 발생하여 고장전류가 초전도 소자에 흐르게 되면 임계전류를 넘기 때문에 퀘치가 발생하여 초전도 소자는 초전도 특성을 유지하지 못하고 상전도 상태로 변하기 때문에 높은 저항이 생긴다. 저항으로 인해 초전도 소자에 전압이 유기되고 이로 인해 쇄교하는 자속의 시간적 변화가 생겨 각 코일에 전압이 유기되고 코일 2에 흐르는 전류가 감소하게 되면 코일1의 전류도 감소하게 되어 선로 전류를 제한하게 된다.

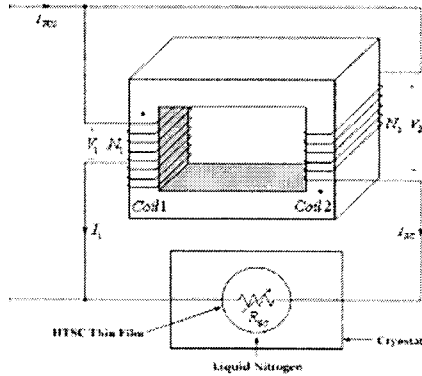


그림 1. 자속구속형 고온초전도 전류제한기 구조

2.2 실험 방법 및 구성

자속구속형 전류제한기의 실험회로도도 그림 2에 나타내었다. 그림에서 V_s 은 전원전압이고 SW_1 은 전원을 공급하고 차단하는 스위치이며 R 은 전류변화를 측정하기 위한 표준 저항이며 R_L 은 부하저항, SW_2 는 단락사고를 발생하기 위한 스위치이다. HTSC는 초전도 소자를 나타낸다. 초전도체의 특성을 고려해 임계온도를 넘지 않게 냉각기에 액체질소를 담아 실험을 하였다. L_1 은 코일 1, L_2 는 코일2를 병렬로 연결하였고 결선방향에 따라 감극결선 및 가극결선으로 연결하였다. 초전도 전류제한 소자는 독일 THEVA사에서 구입하여 제작한 직경 2inch, 전체길이 420 mm, 임계온도와 임계전류는 각각 87K, 18A 이고. meander 형태의 소자를 사용했다.

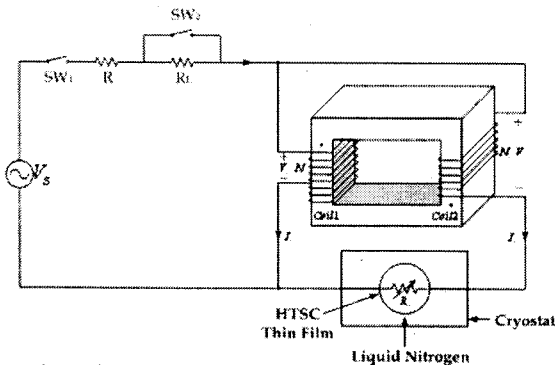


그림 2. 자속구속형 고온초전도 전류제한기 실험회로도

2.3 실험 결과 및 분석

실험조건은 전원전압 60 V_{rms}, 직렬저항(R) 1Ω, 단락사고를 내기 위한 부하저항(R_L)은 50Ω으로 설정하고 사고각(0°, 45°, 90°)을 증가하면서 실험을 하였다.

그림 3, 4, 5는 사고각을 증가하면서 저항형 전류제한기와 자속구속형 전류제한기의 결선방향에 따른 감극결선 및 가극결선에 대한 전류제한특성을 나타낸 그래프이다. 분석결과 사고가 발생하였을시 전류는 급격히 상승하지만 빠른속도로 전류가 제한되어 3주기이후에는 안정된 파형을 나타내는 것을 알수 있었고 사고각 증가에 따른 초기피크 값은 각각 다르지만 3주기이후에는 일정하게 제한되는 것을 알 수 있었다. 또한 저항형 전류제한기가 3주기이후에 전류값은 5.7A, 감극결선시 9.5A, 가극결선시 6.2A의 값이 나왔는데 저항형과 가극결선시 비슷한 전류값으로 보아 코일과 소자에 양분되어 흐르는 자속구속형이 소자파손의 우려가 적기 때문에 더 유리할거라 예상된다.

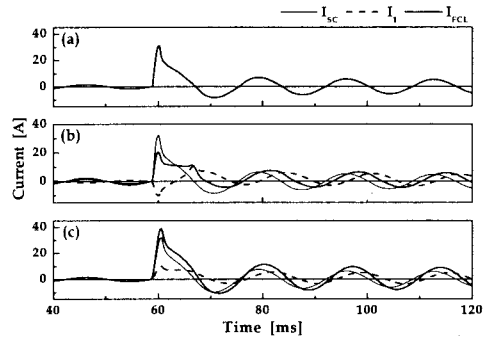


그림 3. 0° 사고시 전류제한특성

(a) 저항형 (b) 가극결선 (c) 감극결선

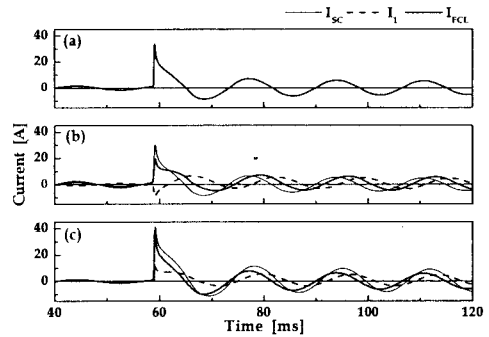


그림 4. 45° 사고시 전류제한특성

(a) 저항형 (b) 가극결선 (c) 감극결선

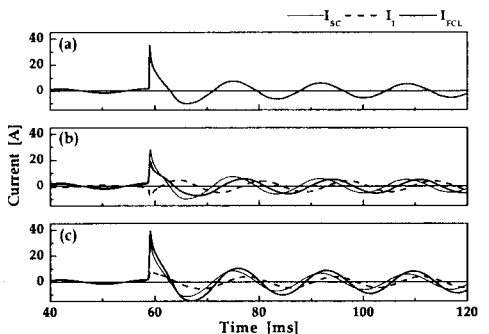


그림 5. 90° 사고시 전류제한특성

(a) 저항형 (b) 가극결선 (c) 감극결선

그림 6, 7, 8은 저항형 전류제한기와 자속구속형 전류제한기의 사고각에 따른 전압특성을 보여주고 있다. 감극결선시 V_1 은 V_{sc} 과 V_2 의 합과 같음을 알수 있었고 가극결선시 V_1 은 V_{sc} 에서 V_2 를 뺀 값과 같음을 확인 할수 있었다. 또한 사고 직후 전압이 발생하는 것이 아니라 전류가 임계전류를 넘어가 켄치가 될 때 저항에 의해 전압이 발생한다는 것을 알수 있었다. 사고각 증가에 따라 초기 전압 값은 각각 다르지만 3주기이후에는 거의 일정한 값으로 안정된다는 것을 확인 할 수 있었다.

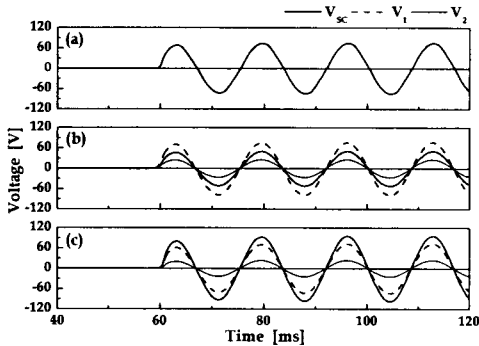


그림 6. 0° 사고시 전압특성
(a) 저항형 (b) 가극결선 (c) 감극결선

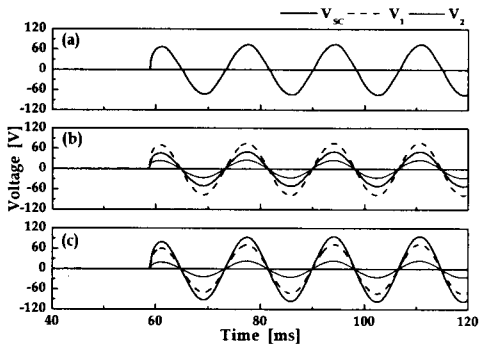


그림 7. 45° 사고시 전압특성
(a) 저항형 (b) 가극결선 (c) 감극결선

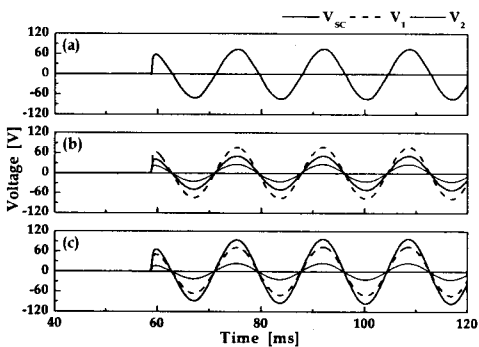


그림 8. 90° 사고시 전압특성
(a) 저항형 (b) 가극결선 (c) 감극결선

3. 결 론

본 논문에서는 자속구속형 고온 초전도 전류제한기의 동작원리를 분석하고 사고각에 따른 전류제한 특성을 감극결선 및 가극결선으로 나누어 비교분석 하였다. 감극결선과 가극결선시 사고각이 증가할수록 사고전류를 더 신속하게 제한 할 수 있다는 것을 확인 할 수 있었고 사고각 증가에 따라 초기 전류 피크 값과 전압 피크 값은 다르지만 3주기후 전류 값과 전압 값이 사고각별로 거의 일정하다는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 3주기후의 전류값은 저항형 전류제한기가 가장낮은 값이 나왔는데 가극결선시와 거의 비슷한것로 보아 코일1, 2에 의해 제한되는 자속구속형 전류제한기가 용량 측면과 소자보호 측면에서 유리할거라 예상된다. 전력계통내에서 사고각은 고장위치, 고장원인 등에 따라 변화하기 때문에 가장 가혹한 조건에서 견딜수 있는 전류제한기를 제작하기 위해서는 사고각을 고려해서 제작해야 될거라 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김준환, 이강완, "전력계통, 고장전류 증대와 대응방안", 전기저널, pp. 19-31, 1998.
- [2] R. K. Smith, P. G. Slade, M. Sarkozi, E. J. Stacey, J. J. Bonk and M. Mehta, "solid state distribution current limiter and circuit breaker: application requirements and control strategies", IEEE Trans. on Power E., Vol. 8, No. 3, pp.1155-1164, July, 1993.
- [3] Willi Paul and Mankan Chen, "superconducting control for surge currents", IEEE Spectrum, Vol. 35, No. 5, pp.49-54, May, 1998
- [4] 임성훈, 최명호, 이현수, 한병성, "차폐유도형 고온초전도 전류제한기의 설계 및 특성 시뮬레이션", 전기학회논문지, Vol. 48C, No. 3, pp.173-178, 1999
- [5] B. Gromoll, G. Ries, W. Schmidt, H-P Kraemer, B. Seebacher, B. Utz, R Nies and H-W, Neumueller, "Resistive fault current limiters with YBCO films-100 kVA functional model", IEEE Trans. Appl. Superconduct., vol. 9, no. 2, pp. 656-659, 1999
- [6] Hye-Rim Kim, Hyo-Sang Choi, Hae-Ryong Lim, In-Seon Kim and Ok-Bae Hyun, "Initial quench development in uniform Au/Y-Ba-Cu-O thin films", IEEE Trans Appl. superconduct., vol. 11, pp. 2414-2417, mar. 2001
- [7] E. M. Leung, "superconducting fault current limiters" IEEE Power Eng. Rev., vol. 20, no. 8, pp. 15-18, 2000
- [8] W. T.Norris and A. power, "Fault current limiters using superconductors" Cryogenics, Vol. 37, p.657-665, Oct., 1997
- [9] Sung-Hun Lim, Hyo-Sang Choi, Byoung-Sung Han, "The fault current limiting characteristics of a flux-lick type high-Tc superconducting fault current limiter using series resonance", Cryogenics, Vol. 44, p.249-254, April, 2004