

분리된 삼상자속구속형 전류제한기의 인덕턴스 변화에 따른 전류제한 특성 분석

Analysis of Fault Current Limiting Characteristics According to Variation of Inductances in Separated Three-phase Flux-lock Type SFCL

두승규¹, 두호익^{1,a}, 김민주¹, 박충렬¹, 김용진¹, 이동혁¹, 한병성¹
(Seung-Gyu Doo¹, Ho-ik Du^{1,a}, Min-Ju Kim¹, Chung-Ryul Park¹, Yong-Jin Kim¹, Dong-Hyeok Lee¹, and Byoung-Sung Han¹)

Abstract

We investigated the fault current characteristics of the separates three-phase flux-lock type superconducting fault current limiter(SFCL) according to the variation of inductances. The single-phase flux-lock type SFCL consists of two coils. The primary coil is wound in parallel to the secondary coil on an iron core. And superconductor is series connected on secondary coil. Superconductor is using the YBCO coated conductor. The separated three-phase flux-lock type SFCL consists of single-phase flux-phase type SFCL in each phase. To analyze the current limiting characteristics of a three-phase flux-lock type SFCL, the short circuit experiments were carried out fault such as the triple line-to-ground fault. The experimental result shows that fault current limiting characteristics of additive polarity winding was better than subtractive polarity winding and when the inductances of coil 2 was lower, resistances of YBCO CC was more generated.

Key Words : Separaed three-phase flux-lock thpe SFCL, Triple line-to-ground fault, YBCO coated conductor

1. 서론

최근 전력수요 증가로 인해 송전 전력이 증가하고 있다. 이는 전력 계통 설비 증설로 이어지고 계통 사고시 큰 사고 전류를 유발한다. 현재 사고 전류 방지 대책으로 차단기를 사용하고 있으나 사고 전류의 증가로 인한 차단기의 용량 한계에 다다르며 차단 용량이 큰 차단기로의 교체 등이 요구된다. 그러나 차단 용량이 큰 차단기는 가격이 비싸고, 차단 용량을 초과하였을 경우 다시 교체해야하는 번거로움이 있다[1]. 따라서 초전도 전류제한기가 대안으로 대두되고 있는데, 초전도 전류제한기

는 사고 발생 시 저항을 발생하여 사고 전류를 제한하고, 사고 복구 후 다시 초전도 상태로 돌아가기 때문에 자동 복구 특성이 있다. 기존의 초전도 전류제한기 중 특히, 일체화된 삼상자속구속형 고온초전도 전류제한기는 우수한 전류제한 특성을 가지고 있음에도 불구하고 건전상 사고를 파급시키는 단점이 있다[4-6]. 따라서 본 논문에서는 건전상에 영향이 없도록 삼상자속구속형 전류제한기를 분리된 형태로 제작하고 이에 따른 분리된 삼상자속구속형 전류제한기의 2차측 임피던스 변화에 따른 3선 지락사고에서 감극 결선한 경우와 가극 결선한 경우 전류제한 특성을 분석하였다.

1. 전북대학교 전기공학과

(전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14)

a. Corresponding Author : dudoc@chonbuk.ac.kr

접수일자 : 2009. 4. 15

1차 심사 : 2009. 5. 14

심사완료 : 2009. 5. 22

2. 실험

초전도체는 기존의 Y-Ba-Cu-O(YBCO) 박막을 대신하여 Y-Ba-Cu-O(YBCO) coated conductor를

사용하였다. 이는 YBCO 박막의 기계적 특성이 떨어지고, 용량 증대를 위한 직병렬연결 시 동시 켄치의 문제점이 있기 때문이다[2]. 표 1은 본 실험에 사용된 YBCO coated conductor의 재원이다. YBCO coated conductor는 임계전류가 70 A이며, 임계온도는 90 K이다. 안정화 층으로는 스테인레스스틸인 것을 사용하였는데, 이는 안정화층을 구리로 갖는 것보다 저항을 많이 발생하여 전류제한기에 적용할 수 있기 때문이다[3].

표 1. YBCO coated conductor의 재원.

Table 1. Property of YBCO coated conductor.

Maker	AMSC
Stabilizer layer	Stainless steel surround 20 μm
Overlayer layer	Ag 2 μm
Substrate layer	Nickel 50 μm
I_C & T_C	70 A ($1\mu\text{N}$, @77K), 90K
Rated voltage	0.6 V/cm (@300K)
Resistance	3.6676 m Ω /cm (@300K)
Length of CC	400 cm

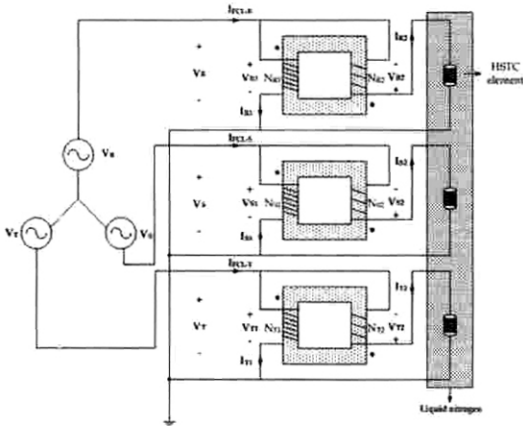


그림 1. 실험 장치 구성도.

Fig. 1. Schematic of the experimental circuit.

그림 1은 분리된 삼상 자속구속형 전류제한기의 실험장치 구성을 나타낸 그림이다. 코어를 매개체로 1차측 코일과 2차측 코일이 병렬로 연결되어 있고, 2차측 코일에 초전도체가 직렬로 연결되어 있는 구조이다. 각 R, S, T상에 독립적으로 코어와 코일이 연결되어 있다. 초전도체는 YBCO Coated conductor를 이용하였기 때문에 포머를 이용하여

권선하여 사용하였고, 단방향으로만 초전도 선재를 권선하여 사용하게 되면, 선재에서 교류손실이 일어나기 때문에 선재를 2 m씩 서로 다른 방향으로 권선하여 교류손실이 일어나는 것을 방지하였다. 극성은 코어 옆에 점으로 표시하였고, 같은 방향이면 가극성을 다른 방향이면 감극성을 나타낸다. 실험은 2차측 코일의 턴수를 조정하여 2차측 인덕턴스를 변화시켜 실험하였다. 실험 조건은 사고전류를 측정하기 위해 0.5 Ω 의 무유도 저항을 선로에 연결하였으며, 부하저항은 40 Ω 을 연결하였다. 전원전압은 360 V_{rms}를 인가하였고, 사고각은 R상 기준 90°에서 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 감극 결선시 전류전압 파형을 나타낸다. 전류는 사고 발생후 선로에 흐르는 전류(I_{FCL})이고, 전압은 사고 발생후 초전도 선재에 발생하는 전압(V_{SC})을 나타낸다. R상 선로전류는 사고후 전류제한기에 의해 전류가 제한되어 첫 주기 피크는 318.48 A_{peak}를 나타내고, S상은 -383.03 A_{peak}, T상은 455.47 A_{peak}를 각각 나타낸다. 따라서 전류는 각 R, S, T상에서 269.4 A_{peak}, 204.85 A_{peak}, 132.41 A_{peak}가 제한되었다. 그림 2의 전압에서 사고 후 첫 주기 파형을 보면 초전도 선재가 부분 켄치가 일어난 것을 확인할 수 있다. T상에서 사고전류 제한이 가장 늦게 일어나고, 제한되는 전류도 작은 것을 볼 수 있는데, 이는 T상에서 사고 발생 시점이 음의 값에서 증가하는 시점이기 때문이다.

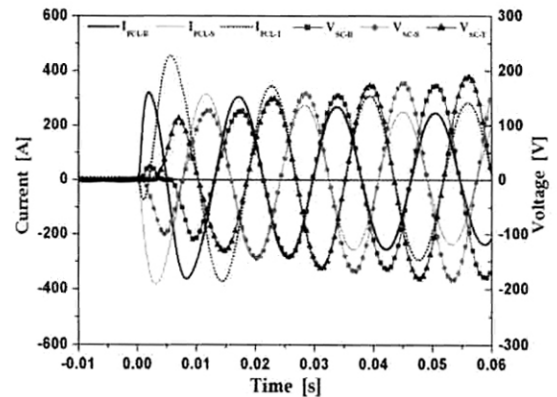


그림 2. 감극 결선시 전류전압 파형($N_1=63, N_2=21$).

Fig. 2. Current and voltage waveform in subtractive polarity winding($N_1=63, N_2=21$).

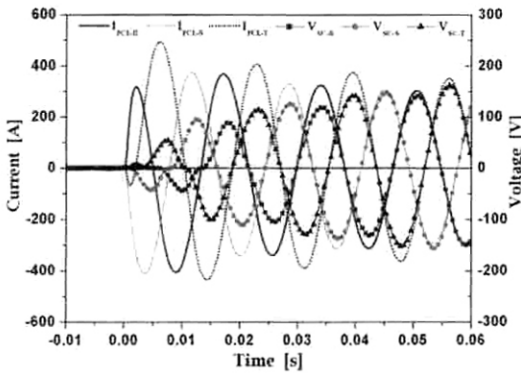


그림 3. 감극 결선시 전류전압 파형 ($N_1=63, N_2=42$).
 Fig. 3. Current and voltage waveform in subtractive polarity winding ($N_1=63, N_2=42$).

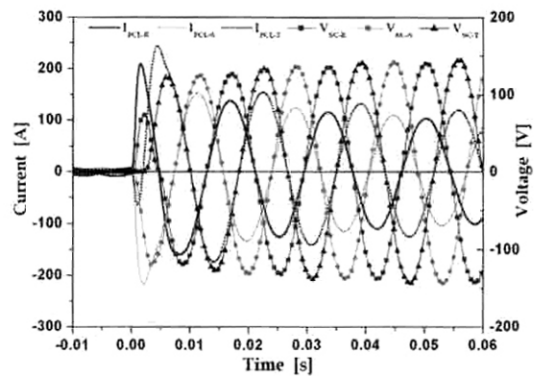


그림 5. 가극 결선시 전류전압 파형 ($N_1=63, N_2=21$).
 Fig. 5. Current and voltage waveform in additive polarity winding ($N_1=63, N_2=21$).

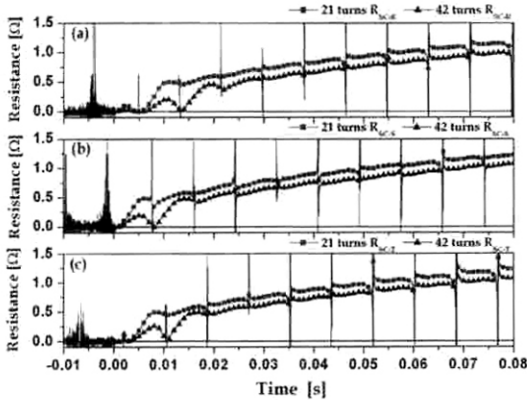


그림 4. 감극 결선시 R, S, T 상 저항 파형.
 Fig. 4. Resistance waveform in subtractive polarity winding (a) R phase (b) S phase (c) T phase.

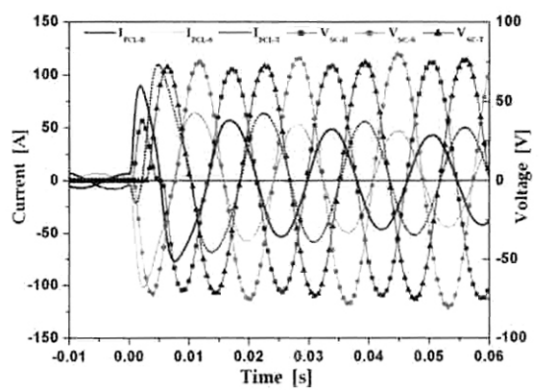


그림 6. 가극 결선시 전류전압 파형 ($N_1=63, N_2=42$).
 Fig. 6. Current and voltage waveform in additive polarity winding ($N_1=63, N_2=42$).

그림 3은 2차측 코일의 턴수를 42턴으로 증가시켰을 경우 전류전압 파형이다. 제한된 전류의 첫 주기 피크는 각 R, S, T상에서 $319.01 A_{peak}$, $-409.26 A_{peak}$, $494.39 A_{peak}$ 이다. 따라서 각 상에서 $268.87 A_{peak}$, $178.62 A_{peak}$, $93.49 A_{peak}$ 의 전류가 제한되었다. 따라서 초전도 선재를 이용한 분리된 삼상 자속구속형 전류제한기는 감극 결선시 2차측 임피던스가 증가하면 제한되는 전류의 양이 작아지는 것을 확인할 수 있었다.

그림 4는 R, S, T 각 상의 초전도 선재 발생 저항이다. 2차측 코일의 턴수가 21 턴 일 때 저항이 더 많이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

그림 5는 가극 결선을 하고 2차측 턴수가 21 턴 일때 전류전압파형이다. 각 R, S, T상의 첫 주기 피크 전류는 $209.61 A_{peak}$, $-219.69 A_{peak}$, $244.05 A_{peak}$ 이다. 따라서 각각 $378.27 A_{peak}$, $368.19 A_{peak}$, $343.83 A_{peak}$ 만큼의 전류가 제한되었다.

그림 6은 가극 결선을 하고 2차측 턴수가 42 턴 일때 전류전압파형이다. 각 R, S, T상의 첫 주기 피크 전류는 $89.66 A_{peak}$, $-101.97 A_{peak}$, $109.64 A_{peak}$ 이고, 각각 $498.22 A_{peak}$, $485.91 A_{peak}$, $478.24 A_{peak}$ 만큼의 전류가 제한되었다. 그림에서 2차측 턴수가 증가하였을 경우 제한되는 전류의 양이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

그림 7은 가극 결선시 각 상 R, S, T의 초전도

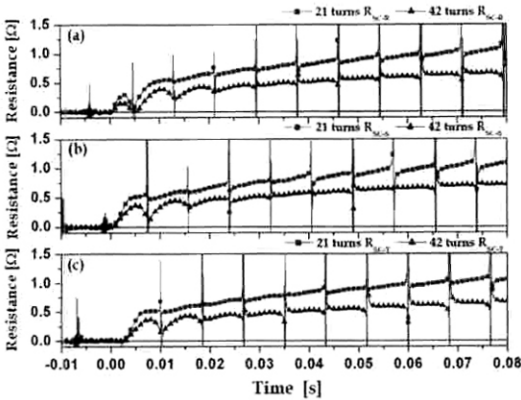


그림 7. 가극 결선시 R, S, T 상 저항 파형.
 Fig. 7. Resistance waveform in additive polarity winding (a) R phase (b) S phase (c) T phase.

선재에서 발생하는 저항의 파형이다. 그림에서 초전도 선재의 발생 저항은 2차측 턴수가 작을 때 더 많이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 분리된 삼상 자속구속형 전류제한기의 3선 지락 사고일 경우 2차측 인덕턴스 변화에 따른 전류제한 특성을 살펴보았다. 감극 결선 시에는 2차측 인덕턴스가 작은 경우 제한된 전류는 각 상에서 269.4, 204.85, 132.41 A_{peak} 이고, 2차측 인덕턴스가 큰 경우는 268.87, 178.62, 93.49 A_{peak} 로 2차측 인덕턴스가 작은 경우 전류제한 특성이 우수한 것을 확인할 수 있었고, 가극 결선 시에는 2차측 인덕턴스가 작은 경우 제한된 전류는 각 상에서 378.27, 368.19, 343.83 A_{peak} 이고, 2차측 인덕턴스가 큰 경우는 498.22, 485.91, 478.24 A_{peak} 로 2차측 인덕턴스가 큰 경우 전류제한 특성이 우수한 것을 확인할 수 있었다. 또한 각 초전도

선재에서 발생하는 저항은 감극 결선과 가극 결선 모두 2차측 인덕턴스가 작을 경우에 더 많이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 교육과학기술부의 재원으로 한국학술진흥재단(KRF-2007-521-D00177)의 지원 받아 수행된 연구임.

참고 문헌

- [1] 김준환, 이강완, "고장전류 증대와 대응 방안", 전기저널, 통권 257호, p. 24, 1998.
- [2] 심정욱, 김혜림, 박권배, 강종성, 이방욱, 오일성, 현옥배, "YBCO 박막을 이용한 3상 6.6 kV 저항형 초전도 한류기 제작 및 시험". 한국초전도·저온공학회논문지, 6권, 3호, p. 50, 2004.
- [3] 두호익, 김민주, 박충렬, 두승규, 김용진, 한병성, "안정화 층을 갖는 YBCO coated conductor와 BSCCO 선재의 결합이 과전류 통전 특성에 미치는 영향", 전기전자재료학회논문지, 21권, 10호, p. 950, 2008.
- [4] 박충렬, 임성훈, 박형민, 최효상, 한병성, "자속구속형 고온초전도 전류제한기의 인덕턴스 변화에 따른 전류제한 특성 분석", 전기전자재료학회논문지, 18권, 9호, p. 856, 2005.
- [5] 최효상, 임성훈, 조용선, 남궁현, 이나영, 박형민, "직,병렬연결시 리액터를 이용한 초전도 소자의 켄치 특성", 전기전자재료학회논문지, 18권, 9호, p. 863, 2005.
- [6] H.-S. Choi, H.-M. Park, Y.-S. Cho, S.-H. Lim, and B.-S. Han, "Quench characteristics of current limiting elements in a flux-lock type superconducting fault current limiter", IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 16, No. 2, p. 670, 2006.