

변압기 권선을 이용한 자속구속형 초전도 전류제한기의 전류제한 특성 분석

한태희¹, 임성훈^{2,a}

¹ 중원대학교 에너지자원공학부

² 숭실대학교 전기공학과

Analysis on Current Limiting Characteristics of Flux-Lock Type SFCL Using a Transformer Winding

Tae-Hee Han¹ and Sung-Hun Lim²

¹ Department of Energy Resources Engineering, Jungwon University, Goesan 367-805, Korea

² Department of Electrical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

(Received November 26, 2010; Revised January 5, 2011; Accepted January 13, 2011)

Abstract: The fault current limiting characteristics of the flux-lock type superconducting fault current limiter (SFCL) using a transformer winding were investigated. The suggested flux-lock type SFCL consists of two parallel connected coils on an iron core and the transformer winding connected in series with one of two coils. In this SFCL, the high- T_c superconducting (HTSC) element was connected with the secondary side of the transformer. The short-circuit experimental devices to analyze the fault current limiting characteristics of the flux-lock type SFCL using the transformer winding were constructed. Through the short-circuit tests, the flux-lock type SFCL using transformer winding was shown to perform more effective fault current limiting operation compared to the previous flux-lock type SFCL without the transformer winding from the viewpoint of the quench occurrence and the recovery time of the HTSC element.

Keywords: Flux-lock type superconducting fault current limiter (SFCL), Fault current limiting characteristics, Transformer winding

1. 서론

산업발전에 따른 전력공급설비의 증가는 전력계통의 복잡화와 송전용량의 증가를 야기시켜 왔으며, 이

로 인해 단락발생시 고장전류가 기존 차단기의 단락용량을 초과하는 전력계통내 구간개수가 증가되고 있다. 이와 같은 고장전류에 대한 대안으로 차단내력이 큰 차단기로의 교체나 고임피던스 전력설비 또는 직렬리액터 설치, 연계 선로의 분리운전 등을 제안하고 있으나 경제적, 기술적, 계통 안정도면에서 해결해야

a. Corresponding Author; super1sh73@ssu.ac.kr

할 문제점들이 남아 있다 [1].

고장전류를 보다 효과적으로 제어할 수 있는 신 개념의 전류제한기로는 초전도체 고유특성을 이용한 초전도 전류제한기가 가장 이상적인 대안으로 제안되면서 국내외적으로 초전도 전류제한기의 개발과 실용화 적용을 위한 노력들이 활발하게 진행되고 있다 [2-4].

현재까지 다양한 종류의 초전도 전류제한기가 개발되었으며, 그 중에서 자속구속형 초전도 전류제한기는 권선방향과 권선의 인덕턴스 조절을 통해 제한기 임피던스와 초전도소자의 부담을 감소시킬 수 있는 장점이 있는 반면, 일부 고장전류의 직접적인 초전도 소자를 통한 도통으로 인해 고장제거 후 더딘 회복시간을 포함한 철심의 포화 등으로 고장전류제한 효과가 저하되는 문제점이 발생하게 된다 [5-8].

본 논문에서는 자속구속형 초전도 전류제한기를 구성하는 초전도 소자의 직접적인 고장전류 도통을 피하기 위한 방안으로 자속구속형 전류제한기를 구성하는 초전도 소자를 변압기 권선을 통해 분리, 연결하였다. 변압기 권선을 통해 분리된 초전도 소자를 포함한 구조를 갖는 자속구속형 초전도 전류제한기의 전류제한특성을 단락모의 실험을 통해 분석하였으며, 고장전류 제한특성을 포함하여 고장제거 후 회복시간 및 초전도 소자의 전압, 전류 부담 등을 변압기 권선을 통해 분리되지 않는 초전도 소자를 갖는 기존의 자속구속형 초전도 전류제한기와 비교·분석하였다.

2. 실험 방법

자속구속형 초전도 전류제한기는 하나의 강자성체 철심 코어를 매개로 병렬 또는 직렬 연결된 두 코일로 구성되며, 초전도 소자는 두 코일중의 하나와 직렬 또는 병렬로 연결된 구조를 갖는다.

본 실험에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 병렬 연결된 두 코일과, 두 코일중 하나와 직렬 연결되는 초전도 소자를 별도의 변압기 권선을 이용하여 연결함으로써 고장전류 경로로부터 분리가 가능한 자속구속형 초전도 전류제한기를 구성하였다. 이와 같이 구성된 변압기 권선을 이용한 자속구속형 초전도 전류제한기의 고장전류제한 특성분석을 위한 모의단락회로를 그림 2와 같이 구성하여 모의단락실험을 실시하였으며, 실험장치의 구성요소와 각 파라미터를 표 1에 나타내었다. 초전도 전류제한소자는 직경 2인치의 사파이어 기판위에 300 [nm]의 두께로 증착된 YBCO

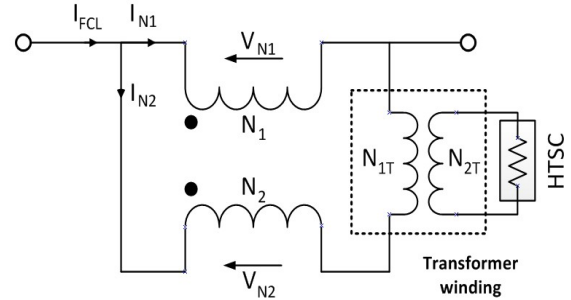


Fig. 1. Structure of a flux-lock type SFCL using a transformer winding.

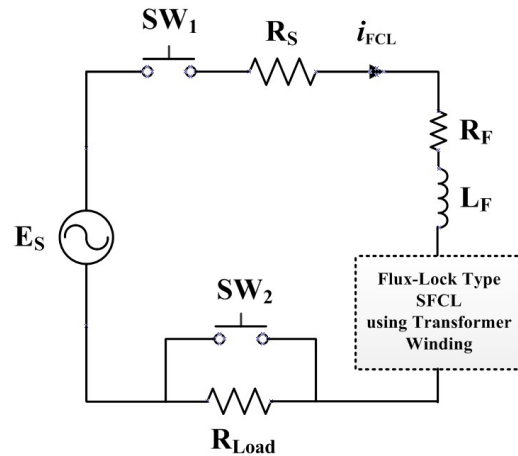


Fig. 2. Experimental circuit with a flux-lock type SFCL using a transformer winding.

고온 초전도 박막을 사용하였다. 고장발생시 주열 분산을 위하여 200 [nm]두께로 Au코팅을 하였고 식각공정을 통해 폭 2 [mm], 전체길이 420 [mm]로 14개의 라인을 갖는 meander 형태의 패턴을 형성하였다. 임계전류 값을 측정하기위해 기준전압을 1 [mV/cm]로 하였으며 실험에 사용한 초전도소자의 임계전류값은 19 [A]값을 나타내었다.

그림 2의 단락모의 장치에 전원전압 (E_S) 120 [V_{rms}]를 스위치 SW_1 을 투입하여 인가하고 스위치 SW_2 를 5주기동안 투입하여 단락회로를 모의하였다. 모의한 5주기동안 변압기 권선 및 초전도 소자를 비롯하여 자속구속형 초전도 전류제한기를 구성하는 각 권선에 유기되는 전압과 전류를 측정하여 전류제한 및 회복특성을 분석하였다.

Table 1. Specification of experimental circuit with a flux-lock type SFCL.

Component	Parameter	Value	Unit
Power	Line Voltage	E_S	120 V_{rms}
	Power Resistor	R_S	1.2 Ω
Line	Resistor	R_F	0.108 Ω
	Inductance	L_F	2.655 mH
Load	Load Resistor 1	R_s	1 Ω
	Load Resistor 2	R_{Load}	50 Ω
Flux-Lock Type SFCL	Two Coils Connected Parallel	N_1	60 Turns
		N_2	15 Turns
	Turn Number of Two Coils	N_{1T}	60 Turns
		N_{2T}	15 Turns
	Critical Current of HTSC	I_C	19 A

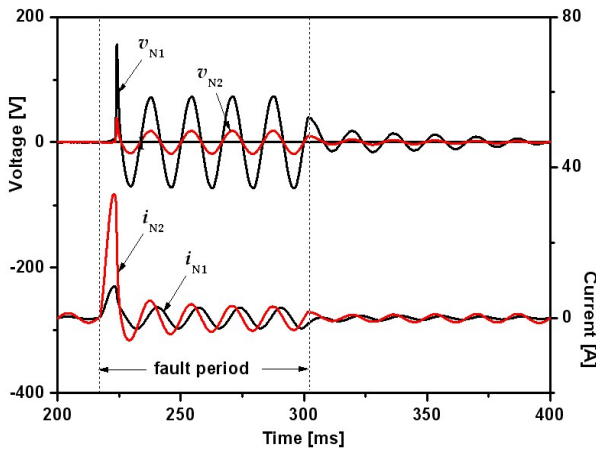


Fig. 3. Fault current limiting and recovery characteristics of a flux-lock type SFCL without a transformer winding.

3. 결과 및 고찰

고장발생시 변압기 권선 설치 유·무에 따라 자속 구속형 초전도 전류제한기의 고장전류제한 및 회복특성을 비교분석하였다. 그림 3은 변압기 권선을 이용하지 않고 초전도소자를 사용한 경우, 자속구속형 초전도 전류제한기를 구성하는 두 코일에 유기되는 전압과 도통전류 파형을 보여준다. 고장발생과 동시에 두 코일 특히, 코일 2에 흐르는 전류가 급격히 상승하는 것을 볼 수 있으며, 초전도소자의 켄치로 인한

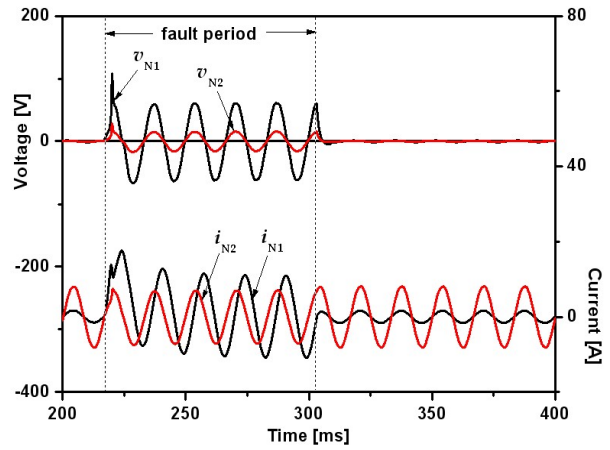


Fig. 4. Fault current limiting and recovery characteristics of a flux-lock type SFCL with a transformer winding.

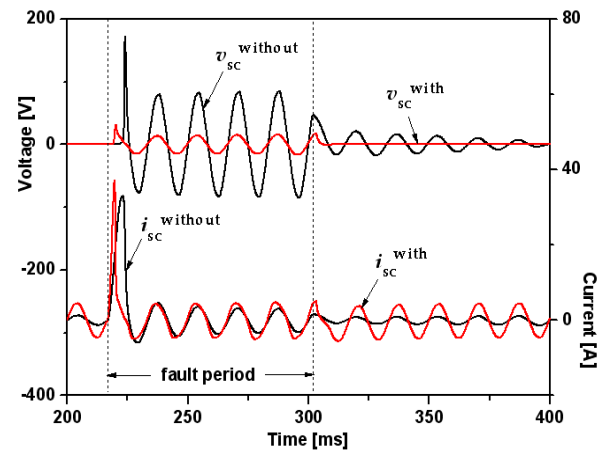


Fig. 5. Voltage and current waveforms of HTSC element comprising a flux-lock type SFCL.

저항발생으로 고장발생후 약 반주기이후부터는 일정한 크기로 제한되어 감소되는 것을 볼 수 있다. 고장발생과 동시에 자속구속형 초전도 전류제한기를 구성하는 두 코일에서 발생하는 자속이 상쇄되지 않게 됨에 따라 두 코일에서도 전압이 유기되는 것을 볼 수 있으며, 반면에 고장이 제거된 이후 일정기간동안에도 두 코일에 유기된 전압이 영전압으로 회복되지 않는 것을 볼 수 있다.

그림 4는 초전도소자를 변압기 권선 2차측에 연결하여 자속구속형 초전도 전류제한기에 설치한 경우, 자속구속형 초전도 전류제한기를 구성하는 두 코일에 유기되는 전압과 도통전류를 보여준다. 변압기 권선을 사용하지 않은 경우와 달리, 고장발생 초기에 두

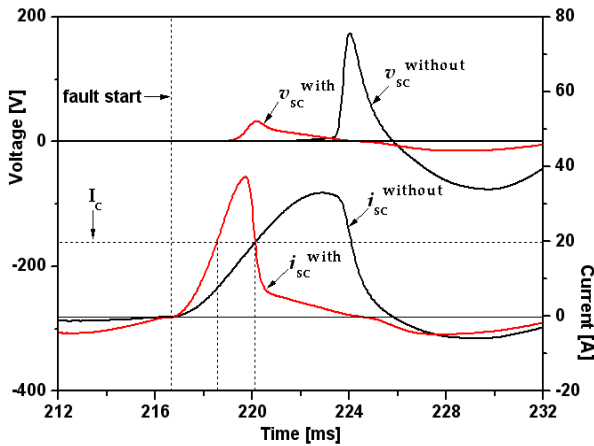


Fig. 6. Voltage and current waveforms of HTSC element comprising a flux-lock type SFCL immediately after the fault occurs.

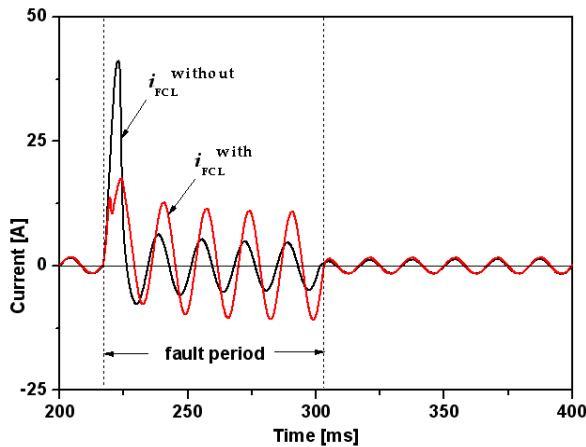


Fig. 7. Fault current waveform of a flux-lock type SFCL.

코일에 흐르는 전류가 급격히 상승하지 않는 것을 볼 수 있으며, 고장제거와 동시에 두 코일에 유기되었던 전압이 영전압 상태로 회복이 신속히 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

그림 5는 고장발생동안 변압기 권선 사용유무에 따른 초전도소자에 유기되는 전압과 도통전류를 보여준다. 그림 5에서 비교할 수 있는 것처럼, 평상시 초전도소자로 도통되는 전류는 변압기 권선을 사용한 경우에 보다 크게 흐르는 것을 볼 수 있지만, 고장기간 동안에 초전도소자로 흐르는 전류는 변압기 권선유무에 관계없이 비슷한 크기로 제한되는 것을 볼 수 있으며, 고장발생기간동안 초전도소자에 유기되는 전압

은 변압기 권선을 사용한 경우에 보다 감소되는 것을 비교할 수 있다. 즉, 변압기 권선을 사용할 경우, 고장기간동안에 자속구속형 초전도 전류제한기를 구성하는 초전도소자의 부담을 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 6은 고장발생직후 변압기 권선 사용유무에 따른 초전도소자에 유기되는 전압과 도통전류파형을 보여준다. 변압기 권선을 사용한 경우에는 고장발생직후 초전도소자에 흐르는 전류가 변압기 권선을 사용하지 않은 경우보다 급격히 상승하는 것을 볼 수 있으며, 이로 인해 고장발생시 변압기 권선을 사용하지 않은 경우보다 초전도소자의 켄치가 먼저 발생하는 것을 비교할 수 있다.

그림 7은 자속구속형 초전도 전류제한기를 구성하는 초전도소자의 부담을 감소시키기 위해 변압기 권선을 사용하여 구성한 경우와 사용하지 않는 경우의 고장전류파형을 보여준다. 자속구속형 초전도 전류제한기에 변압기 권선을 이용하여 초전도소자를 구성한 경우에는 고장발생과 동시에 선로전류제한이 이루어지는 것을 볼 수 있다. 반면에, 변압기 권선을 사용하지 않고 초전도소자를 직접 자속구속형 초전도 전류제한기에 구성하여 동작시킨 경우에는 그림 6에서 분석한 바와 같이 고장발생후 초전도소자의 켄치발생이 지연됨에 따라 반주기동안에는 고장전류 제한효과가 작게 발생하는 것을 관찰할 수 있으며, 고장발생후 반주기 이후에 비로소 고장전류 제한동작이 이루어지는 것을 분석할 수 있다. 고장기간동안의 고장전류 저감효과는 변압기권선을 사용하지 않는 경우가 변압기권선을 사용한 경우보다 크게 발생하는 것을 그림 7로부터 분석할 수 있다. 위의 분석을 통해, 자속구속형 초전도 전류제한기를 구성하는 초전도 소자를 변압기권선을 이용함으로써 고장기간동안 부담 감소와 고장제거시 회복시간도 단축시킬 수 있는 반면, 고장전류저감 효과는 변압기권선을 사용하지 않는 경우에 비해 감소되는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 자속구속형 초전도 전류제한기를 구성하는 초전도 소자의 부담을 감소시킬 뿐 아니라 직접적인 고장전류 도통을 피하기 위한 방안으로 자속구속형 전류제한기를 구성하는 초전도 소자를 변압기 권선을 통해 분리연결한 구조에 대한 고장전류 제한

및 회복특성을 단락모의실험을 통해 분석하였다. 변압기 권선을 이용하여 구성되는 자속구속형 초전도 전류제한기는 고장발생직후 초전도소자의 부담감소와 함께 초전도소자의 퀘치발생이 1.57 [ms]로 변압기 권선이 없는 경우 3.10 [ms]보다 신속히 이루어져 고장 전류제한 동작을 수행하였다. 고장기간동안 고장전류 저감효과는 변압기 권선을 사용하지 않는 경우보다 감소되는 것을 분석할 수 있었다. 변압기 권선을 이용한 자속구속형의 경우 신속한 고장전류제한과 초전도 소자의 전력부담 감소측면에서 유용한 방안이 될 수 있음을 실험 분석을 통해 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 2009년 정부 (교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구 (과제번호 : 2009-0075355)로서 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- [1] B. W. Lee, J. S. Kang, K. B. Park, I. S. OH, *Superconductivity and Cryogenics*, **5**, 10 (2003).
- [2] H. Kado and M. Ichikawa, M. Shibuya, M. Kojima, M. Kawahara, and T. Matsumura, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, **15**, 2051 (2005).
- [3] H. Shimizu, Y. Yokomizu, T. Matsumura, and N. Murayama, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, **12**, 876 (2002).
- [4] H. Shimizu, Y. Yokomizu, and T. Matsumura, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, **14**, 807 (2004).
- [5] S. H. Lim, T. H. Han, S. W. Yim, H. S. Choi, and B. S. Han, *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, **17**, 1827 (2007).
- [6] S. H. Lim, *Physica C*, 468, 2076 (2008).
- [7] H. S. Choi, and S. H. Lim, *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, **17**, 1823 (2007).
- [8] S. H. Lim, J. F. Moon, and J. C Kim, *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, **19**, 1900 (2009).