

전력계통내 사고방지용 변압기형 초전도 한류기의 중성선에 따른 켄치특성 분석

조용선, 이주형, 정병익, 최효상, 정동철*
 조선대학교, 우석대학교*

Analysis on the quenching characteristics of transformer type SFCL with neutral line for protection in the power system

Cho Yong-Sun, Lee Ju-Hyoung, Jung Byung-Ik, Choi Hyo-Sang, Chung Dong-Chul*
 Chosun University, Woosuk University*

Abstract - 초전도 한류기의 용량증대를 위해서는 초전도 소자의 직병렬 연결이 필요하다. 저항형 초전도 한류기는 초전도 소자의 불균형 켄치로 인해 초전도 소자의 전력분담이 불안정하다. 변압기형 초전도 한류기는 2차측 코일과 초전도 소자 2개를 중성선을 이용하여 직병렬로 연결하였다. 중성선 연결을 통해 사고전류에 따른 초전도 소자의 켄치 특성이 개선되었다. 초전도 소자의 동시 켄치는 전력 부담을 각 소자에 동일하게 부담시킴으로써 한 소자에 편중되는 것을 방지한다. 또한 전압분배도 동일하게 할 수 있게 된다. 결론적으로 변압기형 초전도 한류기의 용량증대를 위해서는 2차측 코일과 초전도 소자 사이에 중성선 연결을 함으로써 그 답을 얻을 수 있다.

1. 서 론

전력계통에서 사고가 발생했을 때 초전도 한류기는 사고전류를 신속하게 차단한다. 이러한 동작은 전력계통의 신뢰도와 안정도를 향상시킨다. 우리는 변압기의 원리를 이용한 변압기형 초전도 한류기의 용량증대 방안에 대해서 연구했다. 변압기형 초전도 한류기의 용량증대를 위해서는 2차측 코일과 초전도 소자의 연결을 증가시키면 된다. 하지만 초전도 소자의 직렬 연결시 불균일 켄치로 인한 문제점을 안고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 2차측 코일과 초전도 소자 사이에 중성선을 연결하였다. 이러한 결선에 따른 변압기형 초전도 한류기의 초전도 소자 켄치 특성을 분석해 보았다.

2. 본 론

2.1 구조 및 이론

그림. 1은 중성선 유무에 따른 변압기형 한류기를 보여준다. V_0 는 인가전압을 나타내고, I_{SCA} , I_{SCB} 는 초전도 소자에 흐르는 전류, L_p , L_{SA} , L_{SB} 는 1차측과 2차측의 코일 임피던스를 나타낸다. R_{SCA} , R_{SCB} 는 초전도 소자가 켄치되었을 때의 발생한 저항값을 나타낸다.

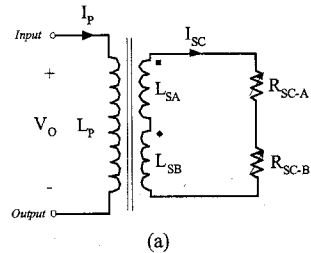
변압기형 초전도 한류기가 제한된 사고전류(I_p)와 발생한 저항(Z_{lim}), 초기 사고전류(I_{ini})를 표현하기 위해 아래와 같은 가정을 세웠다.

1. $R_{SC-A} = R_{SC-B} = R_{SC}$
2. $L_{SA} = L_{SB} = L_S$
3. $I_{SC-A} = I_{SC-B} = I_{SC}$

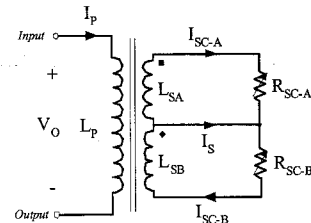
중성선에 흐르는 전류(I_S):
 $I_S = I_{SC-A} - I_{SC-B}$

- 1) 중성선이 없을 때의 I_p , Z_{lim} , I_{ini}

$$I_p = \frac{j\omega L_S + 2R_{SC}}{j\omega M_p} \cdot I_{SC} \quad (1)$$



(a)



(b)

그림 1. 중성선 유무에 따른 변압기형 한류기의 등가회로도
 (a) 중성선이 없는 경우 (b) 중성선이 있는 경우

$$Z_{lim} = \frac{V_0}{I_p} = \frac{2j\omega L_p R_{SC}}{j\omega L_S + 2R_{SC}} \quad (2)$$

$$I_{ini} = \frac{L_S}{M_p} \cdot I_C \quad (3)$$

- 2) 중성선이 있을 때의 I_p , Z_{lim} , I_{ini}

$$I_p = \frac{2j\omega L_S + R_{SC}}{j\omega M_p} \cdot I_{SC} \quad (4)$$

$$Z_{lim} = \frac{V_0}{I_p} = \frac{j\omega L_p R_{SC}}{2j\omega L_S + R_{SC}} \quad (5)$$

$$I_{ini} = \frac{2L_S}{M_p} \cdot I_C \quad (6)$$

식 1의 2차측 전류가 2차측 권선에 직렬로 연결된 초전도 소자의 임계전류값을 넘을 경우 켄치가 발생하게 된다.

그러나 증가된 2차 전류는 적은 임계전류값을 갖은 초전도 소자를 먼저 켄치시키며, 이렇게 켄치된 초전도 소자에서 발생하는 저항에 의해 사고전류는 제한된다. 그러므로 나머지 초전도 소자는 켄치가 안된 상태로 남아

있게 된다. 이것은 초전도 소자간의 임계전류값 차이 때문이며, 이 차이는 제작상 불가피하게 발생한다.

그러나 초전도 소자와 2차권선 사이에 증성선을 연결하면, 식 4와 같이 1, 2차 권선비에 의해 유도된 각각의 2차측 전류(I_{SC-A} , I_{SC-B})는 각각의 초전도 소자에 전류원으로서 작용하게 된다. 그러므로 증성점을 이용하여 직렬로 연결된 초전도 소자는 소자간의 임계전류 차이에 상관없이 모두 동작하게 되어 초전도한류기의 신뢰도가 향상된다.

식 3과 6을 통해 초기제한 사고전류(I_{ini})는 1차와 2차 권선비에 의해 제어할 수 있다는 것을 알 수 있다. 이는 초전도 한류기의 적용을 유연성하게 해 준다.

표 1은 실험에 사용된 철심 및 리액터의 사양을 나타낸 것이다.

표 1. 변압기 설계 파라미터

Reactor Inductance	Value	Unit
Primary Reactor		
$L_p (N_p)$	505.7(292)	mH (Turns)
Secondary Reactors		
$L_{SA}, L_{SB} (N_{SA}, N_{SB})$	32.9(73) 127.4(146) 285.6(219)	mH (Turns)

2.2 실험방법

증성선을 이용하는 변압기형 초전도 한류기의 실험회로도는 참고 문헌(1)을 참조한다. 실험을 위해 인가한 전압은 $240/\sqrt{3}(V_{rms})$ 를 인가하였으며, 1차측과 2차측 인덕턴스는 표 1에 나타난 것과 같이 변화를 주었다. 그리고 실험에 사용된 초전도 소자의 사양과 다른 실험 조건은 참고 문헌(1)과 같다.

각 초전도 소자의 임계전류의 크기는 각각 19.1, 22, 21.5, 20.4(A)이었다. 각 소자마다 임계값이 다르다는 것을 알 수 있다. 이것은 제작상 불가피하게 발생하는 차이이다.

2.3 실험결과 및 의견

그림 2는 실험을 통해 두개의 초전도 소자를 직렬연결한 저항형 SFCL과 증성점 유무에 따른 변압기형 초전도 SFCL의 전압-전류 특성 곡선을 나타낸 것이다. 1, 2차 권선의 턴수비($N_p:N_s$)는 292:73이다. 초전도 소자가 직렬연결된 저항형 SFCL의 제한된 전류 I_{FCL} 은 38.9A이었다. 그러나 증성선 유무에 따른 변압기형 SFCL의 경우 각각 8.9A로 동일했다. 2차측 권선에 흐르는 전류 I_{SC-A} 는 증성선이 없는 경우 35.6A로서 초전도 소자에 흐르는 전류와 같다. 그러나 증성선이 있는 변압기형 SFCL의 경우 2차측 권선에 흐르는 전류 I_{SC-A} 와 I_{SC-B} 는 34.6과 36.7A로서 약간의 차이가 있다. 이것은 초전도 소자에서 발생하는 저항의 차이 때문이다. 만약 소자에서 발생하는 저항의 크기가 같다면 증성선에 흐르는 전류 I_s 는 0일 것이다. 그러나 2개의 초전도 소자에 흐르는 전류의 차이만큼의 전류가 흐른다는 것을 그림 4-c를 통해 알 수 있다. 또한 저항형과 변압기형 SFCL이 사고전류를 제한하는 I_{FCL} 의 차이는 1, 2차측 턴수비에 의해 사고전류가 제한되기 때문이다. $I_{FCL} = (N_s/N_p) \times I_{sc}$ 방정식에 의해 증명된다.

그림 2-a에서 저항형 SFCL은 2개의 초전도소자 중 1개의 소자만 켜지 된다(그림 3-a). 이것은 초전도 소자의 임계전류 차이 때문이다. 켜지된 소자에서 발생하는 전압은 178.6V로서 1개의 소자가전체 소비전력을 부담하게 된다(그림 3-a). 그림 2-b에서 증성선이 없는 변압기형 SFCL의 경우 또한 1개의 소자에서만 켜지가 발

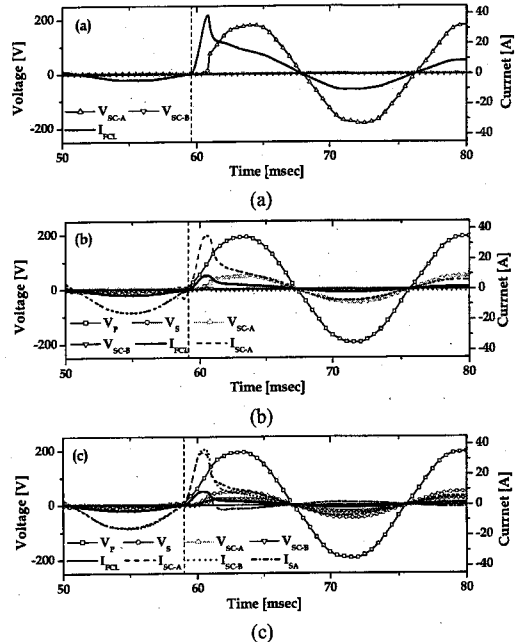


그림 2. 초전도 한류기의 전압 전류 곡선
(a) 저항형 SFCL (b) 변압기형 SFCL (증성선 無)
(c) 변압기형 SFCL (증성선 有)

생한다(그림 3-b). 켜지된 소자의 전압은 48.1V로서 정적식 $V_{sc} = (N_s/N_p) \times V_p$ 에 의해 줄어든다. 그러므로 전체 소비전력이 어느 정도 줄어든다는 것을 그림 3-b를 통해 확인할 수 있다. 그림 2-c에서 증성선을 이용한 변압기형 SFCL의 경우 2개의 초전도 소자가 모두 켜지되어 각각의 초전도 소자에서 발생하는 전압은 23.2V로 동일하였다(그림 3-c). 증성선에 의해 분리된 3차측 권선은 초전도 소자에 분리된 전류원으로 동작하기 때문이다. 2개의 초전도 소자가 켜지됨으로써 전체 소비전력은 분담되어 확실히 줄어든다는 것을 그림 3-c를 통해 확인할 수 있다.

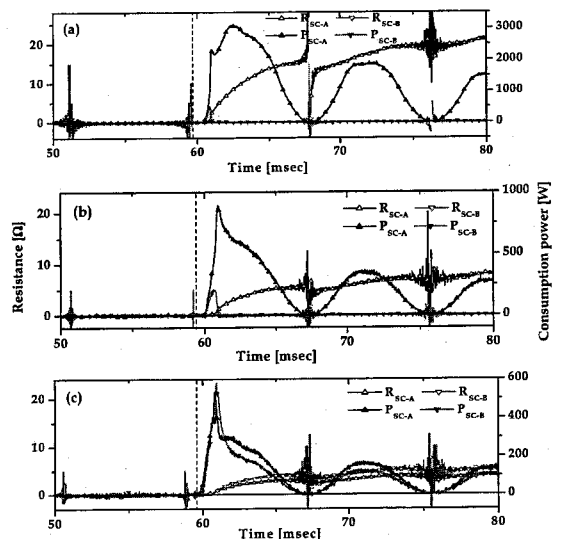


그림 3. 초전도 한류기의 소비전력과 저항 곡선
(a) 저항형 SFCL (b) 변압기형 SFCL (증성선 無)
(c) 변압기형 SFCL (증성선 有)

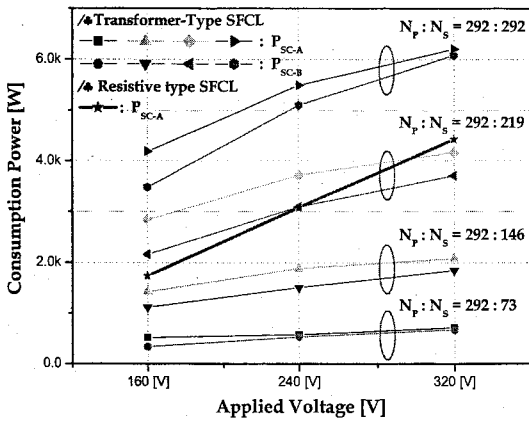


그림 4. 턴수 및 인가전압에 따른 소비전력 비교

그림 4는 중성선을 이용한 변압기형 SFCL의 턴수비와 전압증가에 따른 초전도 소자의 소비전력을 그래프로 나타낸 것이다. 턴수비에 따른 초전도 소자전력은 증가하게 된다. 이것은 2차 권선의 턴수가 감소하면서 방정식 $I_{FCL} = (N_s/N_p) \times I_{sc}$ 에 의해 초전도 소자에서 발생하는 전압이 증가하기 때문이다. 그러므로 저항형 SFCL의 소자 소비전력과 비교하였을 때, $N_p:N_s = 292:146$ 인 경우의 소비전력이 더 적다는 것을 확인할 수 있다. 이 조건은 중성선을 이용한 변압기형 SFCL을 적용할 경우 저항형 SFCL보다 초전도 소자의 부담을 적게하는 조건으로 유리하다. 턴수비가 작아질수록 두 초전도 소자에서 소비되는 전력의 차이가 증가한다는 것을 그림 4를 통해 확인할 수 있다. 이것은 초전도 소자 사이의 전압분담이 잘 이루어져 초전도 소자사이의 전력 부담을 최소화 시켜주는 것이다.

3. 결 론

우리는 중성선을 이용하는 변압기형 SFCL의 동작 특성을 저항형과 중성선이 없는 변압기형 SFCL과 비교하여 분석하였다. 변압기형의 용량증대를 위해서는 2차 측 권선에 있는 초전도 소자의 다수 직렬연결 하여야 한다. 그러나 이러한 직렬연결은 저항형과 같이 작용하여 소자의 불규칙 켄치를 유도하여 켄치된 소자의 부담이 증가하게 된다. 그러나 중성선을 이용하는 변압기형 SFCL은 중성선으로 분리된 2차권선이 초전도 소자에 각각 전류원으로 작용하기 때문에 모든 초전도 소자가 켄치된다. 그러므로 초전도 소자에서 부담하는 소비전력은 분배되어 작아지게 된다. 변압기형 SFCL의 턴수비는 작을수록 초전도 소자의 부담이 감소한다는 것을 확인하였다. 이것은 초전도 소자에서 발생하는 전압은 $V_{sc} = (N_s/N_p) \times V_p$ 방정식에 의해 결정되기 때문이다. 우리는 중성선을 이용한 변압기형 SFCL이 초전도 소자의 켄치 작용 향상으로 한류기의 용량증대에 유리하다는 것을 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Hyo-Sang Choi, Yong-Sun Cho, and Sung-Hun Lim, "Operational characteristics of Hybrid-Type SFCL by the Number of Secondary Windings with YBCO Films", 19 International conference on Magnet Technology, 2005.
- [2] 조용선, 최효상, 박형민, 남금현, 이나영, "3개의 2차 권선을 갖는 하이브리드형 초전도 한류기의 켄치특성", 초전도 저온공학회 학술대회 논문집, pp. 186~189, 2005.

- [3] Y.S. Cho ,N.Y. Lee ,H.S. Choi ,D.C. Chung ,S.H. Lim. "Operational characteristics of hybrid-type SFCL with closed and open cores", Physica C, Superconductivity, vol. 463-465, pp. 1204-1208, 2007