

트리거와 리미팅 구성요소를 갖는 초전도 한류기의 전류제한 특성 분석

손상원\*, 왕순욱\*, 임성훈\*  
 송실대학교\*

Analysis on current limiting characteristics of SFCL with triggering and limiting components

Sang-Won Son\*, Soon-Wook Wang\*, Sung-Hun Lim\*  
 Soongsil University\*

**Abstract** - 본 논문에서는 트리거와 리미팅 요소를 갖는 초전도 한류기의 전류제한 특성을 분석하였다. 일반적으로 저항형 초전도한류기는 트리거동작과 리미팅동작이 초전도한류기 자체에서 모두 이루어지게 된다. 초전도 한류기의 구성요소를 트리거동작과 리미팅동작을 수행하는 요소로 분리시켜 보다 효율적으로 고장전류를 감지하고 제한할 수 있음을 등가회로와 모의실험을 통해 확인하였다.

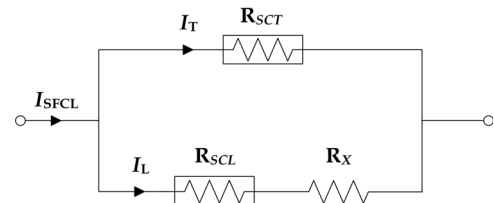
이로부터 동작전류의 변화를 예상할 수 있다.

$$Z_{SFCL} = \frac{(R_X + R_{SCL}) \cdot R_{SCT}}{R_{SCL} + R_{SCT} + R_X} \tag{1}$$

$$I_{OP2} = \frac{V_{SFCL}}{\frac{R_{SCT} \cdot R_X}{R_{SCT} + R_X}} \tag{2}$$

1. 서 론

산업발전에 따른 전력수요가 지속적으로 증가하고 전력수요자가 수도권에 집중되고 있다. 또한, 전력수요의 지속적인 요구와 전원설비의 증대는 전력계통의 고장전류 증가를 야기시키고 있다. 이와 같이 지속적으로 증가하고 있는 고장전류를 효과적으로 대응하기 위한 방안으로 모션분리를 수행하거나 대용량 차단기로서의 교체, 직렬리액터 채용 또는 변압기 누설임피던스를 증가시키는 방안들이 제안되어 왔다. 하지만 인접선로에 영향과 같은 계통의 안정도 저하와 비용상승, 평상시 손실발생 등의 문제점을 안고 있다. 반면에, 계통의 고장전류 증가 대안으로 초전도한류기를 도입할 경우 기존의 방안들이 갖는 문제점들을 해결할 수 있을 뿐 아니라, 기존 차단기 용량증대 효과를 기대할 수 있어 다양한 형태의 초전도한류기 개발과 함께 계통적용을 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다 [1-2].



<그림 1> 등가회로

일반적으로 초전도한류기는 고장이 발생했을 경우 고장전류를 감지는 트리거동작과 고장전류를 제한하는 제한동작이 초전도한류기 자체에서 모두 이루어지는 일체형이기 때문에 신속한 전류제한동작이 가능한 장점을 가지고 있지만, 초전도한류기 자체가 고장전류를 모두 감당해야 되는 부담과 고장전류크기에 따른 임피던스조절이 용이하지 않는 단점이 있다.

2.3 결과 및 고찰

그림 2는 트리거 요소에서 퀀치가 발생하고 리미팅 요소에서는 퀀치가 발생하지 않았을 경우  $R_X$ 값이 1, 3, 5, 7, 9 옴일때  $R_{SCT}$ 값이 0에서 30Ω까지 증가될 경우 한류기 임피던스 변화를 보여준다.  $R_{SCT}$ 값이 증가할수록 한류기 임피던스가 상승하지만 일정값부터는 더 이상 큰 증가없이 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 그림 3은 고장전류가 보다 크게 상승하여 트리거요소에서 퀀치가 발생한 후 리미팅요소에서도 임계전류값을 넘게 되어 퀀치가 발생한 경우로써 이때, 리미팅 요소의 발생저항이 10 옴인 경우  $R_X$ 값이 1, 3, 5, 7, 9 옴일때  $R_{SCT}$ 값이 0에서 30Ω까지 증가할 경우 한류기 임피던스 변화를 보여준다. 초전도한류기의 리미팅요소에서도 저항이 발생함에 따라 트리거요소에서만 퀀치가 발생한 경우보다 한류기 임피던스가 증가하는 것을 그림 2와 비교하여 확인할 수 있다.

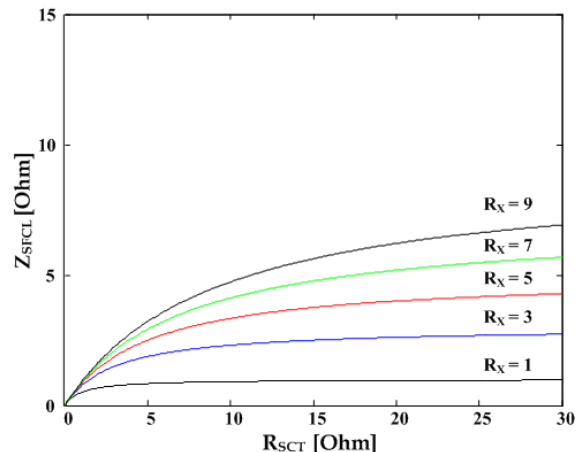
2. 본 론

2.1 동작원리

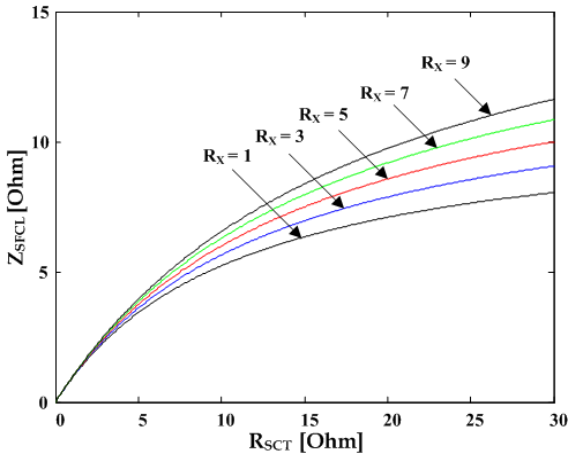
트리거요소와 리미팅요소가 분리된 초전도한류기의 등가회로를 그림 1에 도시하였다. 기본동작원리는 트리거 요소를 구성하는 초전도체의 임계전류( $I_{TC}$ )를 넘는 고장전류( $I_T$ )가 흐르면 트리거요소를 구성하는 초전도체 저항( $R_{SCT}$ )이 발생하게 되며, 저항발생으로 전체 고장전류의 일부가 리미팅요소로 분류되어 흐르게 된다. 이때, 리미팅요소로 분류되어 흐르는 전류  $I_L$ 의 값이 리미팅요소를 구성하는 초전도체의 임계전류( $I_{LC}$ )를 넘지 않을 경우 리미팅요소를 구성하는 초전도체는 영저항을 유지하게 되며 전체고장전류( $I_{SFCL}$ )는  $R_{SCT}$ 와  $R_X$ 에 의해 제한된다. 하지만, 고장전류가 보다 크게 발생할 경우 리미팅요소의 도통전류  $I_L$ 이 리미팅요소를 구성하는 초전도체의 임계전류값( $I_{LC}$ )을 초과하게 되어 리미팅요소를 구성하는 초전도체의 저항( $R_{SCL}$ )이 추가로 발생함에 따라  $R_X$ ,  $R_{SCT}$ 를 포함한  $R_{SCL}$ 에 의해 전체고장전류가 제한된다.

2.2 임피던스 및 동작전류

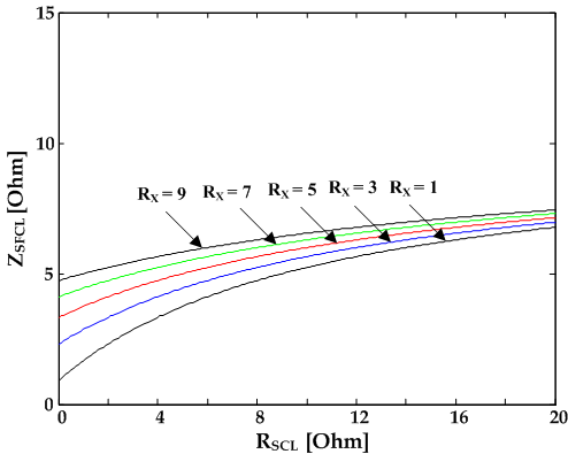
그림 1의 초전도한류기 등가회로로부터 한류기임피던스는 식 (1)과 같으며 고장전류크기에 따라 트리거요소 또는 트리거요소와 리미팅요소 모두에서 퀀치발생시 한류기 임피던스변화를 분석할 수 있다. 또한, 고장전류가 상승하여 트리거요소 또는 리미팅요소를 구성하는 초전도체의 퀀치직전 초전도한류기의 동작전류를 식 (2)와 같이 유도할 수 있으며,



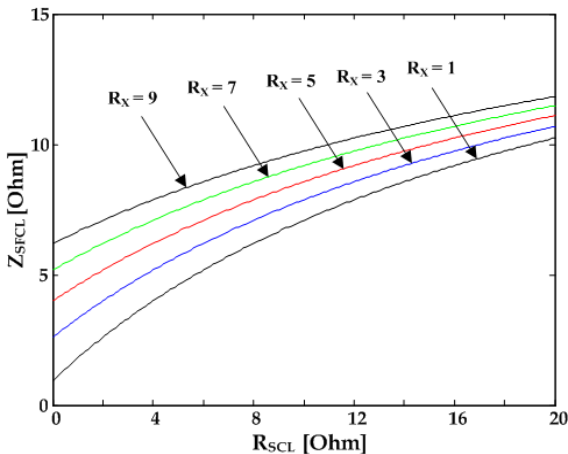
<그림 2> 트리거요소의 저항크기에 따른 한류기 임피던스 변화 (리미팅요소의 저항 = 0 [Ω])



〈그림 3〉 트리거요소의 저항크기에 따른 한류기 임피던스 변화 (리미팅요소의 저항 = 10 [Ω])



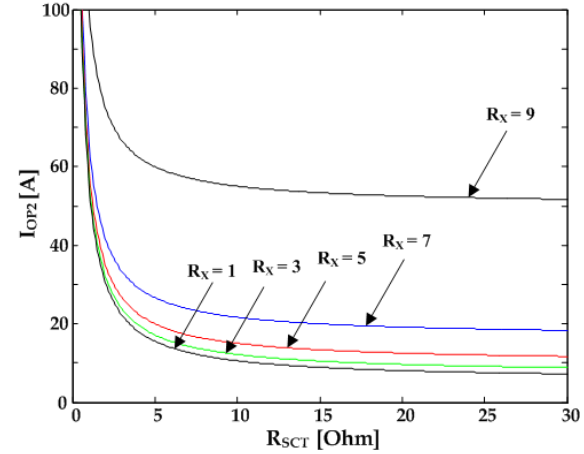
〈그림 4〉 리미팅요소의 저항크기에 따른 한류기 임피던스 변화 (트리거요소의 저항 = 10 [Ω])



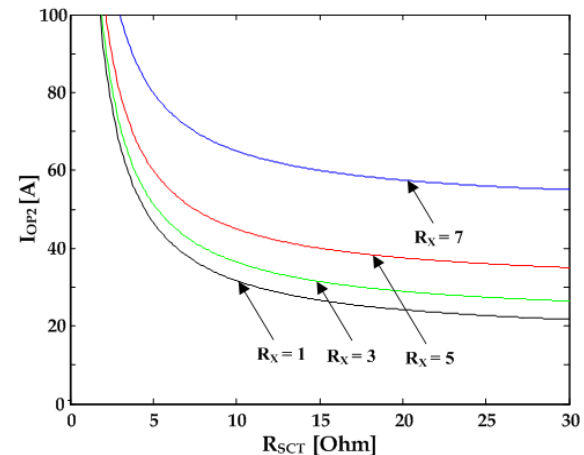
〈그림 5〉 리미팅요소의 저항크기에 따른 한류기 임피던스 변화 (트리거요소의 저항 = 20 [Ω])

그림 4와 5는 트리거요소의 켄치발생으로 트리거요소 저항이 각각 10 Ω, 20 Ω일 경우 리미팅요소의 저항크기에 따른 한류기 임피던스 변화를 보여주며 리미팅요소의 저항이 증가함에 따라 한류기 임피던스 크기가 증가하는 것을 볼 수 있으며, 일정한 리미팅요소저항부터는 한류기 임피던스 크기가 수렴되는 것을 분석할 수 있다. 특히, 트리거요소의 저항이 클수록 한류기 임피던스 크기가 보다 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 다음으로, 초전도한류기 임피던스분석과 더불어 초전도한류기의 동작전류변화를 분석하였다. 그림 6은 초전도한류기의 트리거요소에서 켄치가 발생한 후 리미팅요소에서 켄치발생직전 트리거 요소의 저항크기에 따른 한류기 동작전류변화를 보여준다. 그림 6에서 보는 것처럼 트리거요소의 저항이 작을 경우에는 한류기 동작전류가 큰 값으로 나타나는 반면, 트리거요소의 저항이 증가함에 따라 한류기 동작전류가 급격히 감소

하여 일정한 값으로 수렴하는 것을 관찰할 수 있다. 또한, 식 (2)에서 보는 바와 같이 리미팅요소에서 켄치발생직전의 초전도한류기의 동작전류가 트리거요소에서 켄치발생으로 저항이 발생했을 경우 초전도한류기에 인가되는 전압크기에 비례하여 증가되는 것을 볼 수 있으며 이를 분석하기 위해 인가전압을 150 [V]로 증가시켰을 경우 리미팅요소에서 켄치발생직전 트리거요소의 저항크기에 따른 초전도한류기 동작전류변화를 그림 7에 도시하였다. 그림 6과 7에서 비교할 수 있는 바와 같이 트리거요소에서 켄치가 발생하여 초전도한류기에 인가되는 전압이 증가할수록 리미팅요소에서 켄치발생직후 초전도한류기의 동작전류크기가 보다 증가되는 것을 분석할 수 있다.



〈그림 6〉 트리거요소의 켄치발생후 리미팅요소의 켄치발생직전 트리거요소의 저항크기에 따른 한류기 동작전류 변화 (한류기 인가전압 : 50 [V])



〈그림 7〉 트리거요소의 켄치발생후 리미팅요소의 켄치발생직전 트리거요소의 저항크기에 따른 한류기 동작전류 변화 (한류기 인가전압 : 150 [V])

### 3. 결 론

본 논문에서는 초전도한류기의 구성요소를 트리거요소와 리미팅요소로 분리시켜 동작할 수 있는 초전도한류기의 임피던스와 동작전류를 등가회로로부터 유도한 식으로부터 분석하였다. 트리거요소의 저항발생으로 유기된 초전도한류기 임피던스 크기가 보다 큰 전류로 인해 리미팅요소에서 저항이 추가적으로 발생할 경우 한류기 임피던스가 보다 크게 증가되는 것을 확인할 수 있었으며, 한류기 동작전류는 트리거요소의 저항이 증가함에 따라 감소되는 반면, 트리거요소의 저항발생시 한류기의 인가전압이 증가함에 따라 상승하는 것을 분석할 수 있었다. 향후, 실험을 통해 분석한 결과를 검증하고자 한다.

### [참 고 문 헌]

[1] 이강원, "전력계통 고장전류 문제와 초전도 한류기", 초전도와 저온공학, 3권 1호, pp. 8-12(5), 2001.  
 [2] Lin Ye, Liangzhen Lin, Klaus-Peter Juengst, "Application Studies of superconducting Fault Current Limiters in Electric Power Systems", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 12, No. 1, pp. 900-903, 2002.