

### 삼상 매트릭스형 초전도 한류기의 사고주기별 회복특성 분석

조용선\*, 정병익\*, 최효상\*, 정동철\*\*, 유병화\*\*  
 조선대학교\*, 우석대학교\*\*

#### Analysis on the Quenching Characteristics of Three Phase Matrix-Type SFCL according to Fault Duration

Yong-Sun Cho\*, Byung-Ik Jung\*, Hyo-Sang Choi\*, Dong-Chul Chung\*\*, Byoung-Hwa Yoo\*\*  
 Chosun University\*, Woosuk University\*\*

**Abstract** - 초전도 한류기의 회복특성은 상전도 상태로 켜진 초전도체가 다시 초전도 상태로 회복하는 시간을 나타내는 특성이자, 이러한 분석은 전력계통 내의 각종 시스템과의 보호협조를 결정하는 중요한 요소이다. 본 논문에서는 1×3구조를 갖는 삼상 매트릭스형 초전도 한류기를 구성하여 3선 지락사고의 주기에 따른 초전도체의 회복특성을 분석하였다. 사고 주기가 작아질수록 초전도체의 회복시간은 짧아진다는 것을 실험을 통해 확인하였다. 이는 사고 주기가 작을수록 초전도체가 받는 열에너지가 작아 회복시간도 작아진다는 것을 확인할 수 있었다.

#### 1. 서론

매트릭스형 초전도 한류기는 초전도체의 임계특성을 제어하기 위한 Trigger part와 사고전류를 제어하기 위한 Current-limiting part로 구성되어 있다. Trigger part는 초전도체를 감싸고 있는 병렬 리액터를 가지고 있어 초전도체의 켜치시 사고전류의 분류로 인해 초전도체로 자장을 인가하게 되며, 그 크기에 따라 초전도체의 임계특성을 제어할 수 있다. 또한 Current-limiting part는 병렬 리액터 및 저항을 가지고 있어 사고전류의 제한 역할을 수행하게 된다[1-3].

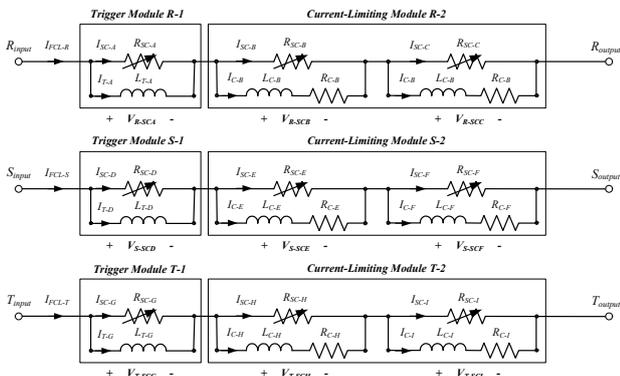
이러한 병렬 리액터 및 셉트 리액터는 초기의 큰 사고전류로부터 초전도체를 보호하게 되며, 또한 켜진 초전도체의 열에너지를 빠르게 소비할 수 있도록 도와준다.

본 논문에서는 전력계통에서 발생할 수 있는 사고 중 평형사고인 3선 지락사고를 모의하여 사고 주기에 따라 삼상 매트릭스형 초전도 한류기의 회복특성을 분석하였다.

#### 2. 본론

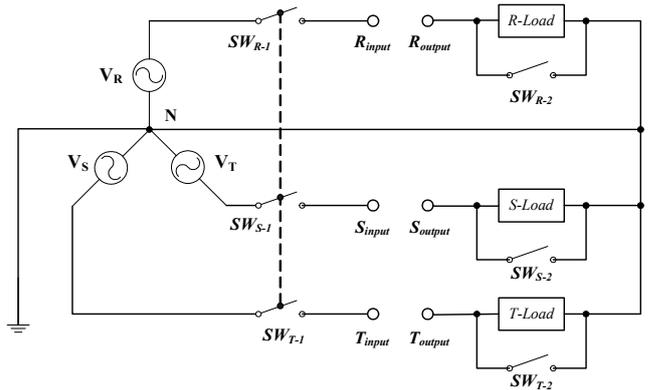
##### 2.1 삼상 매트릭스형 초전도 한류기의 구조 및 원리

매트릭스형 초전도 한류기는 초전도 소자에 자장을 인가하기 위한 Trigger Module과 사고전류를 제한하기 위한 Current-Limiting Module로 구성되어 있다. Trigger Module은 전력계통에서 발생하는 사고를 감지하기 위한 낮은 임계전류를 갖는 초전도 소자와 초전도 소자에 자장을 인가하여 임계특성을 개선하기 위한 리액터가 병렬로 연결되어 있다. Current-Limiting Module은 사고전류를 본격적으로 제한하기 위한 것으로서 직렬연결된 셉트리액터 및 셉트저항이 초전도 소자와 병렬로 연결되어 있다. 전력계통에서 과도 상태가 발생하게 되면 Trigger Module에 있는 초전도 소자가 감지하게 되고, 병렬로 연결된 리액터에서 초전도 소자의 임계자장을 조정하기 위한 자기장이 발생하게 된다. 이 자기장은 초전도 소자의 임계전류밀도를 낮춤으로써 소자간 임계특성의 차이가 개선된다.



〈그림 1〉 삼상 매트릭스형 초전도 한류기의 등가회로도

##### 2.1.1 삼상 매트릭스형 초전도 한류기의 실험 방법



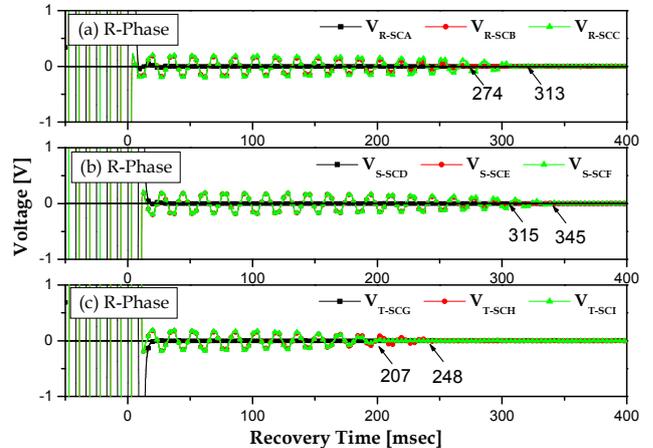
〈그림 2〉 3선 지락사고 모의를 위한 실험회로도

그림 2는 전력계통에서 발생하는 3선 지락사고를 삼상 매트릭스형 초전도 한류기에 적용시키기 위한 모의 실험회로도이다. 실험회로도에서 각 상에 있는 input-output 단자는 삼상 매트릭스형 초전도 한류기를 연결시키기 위한 것이다. SW<sub>1</sub>을 ON하여 시스템에 삼상 전원을 인가하고, 각 상의 부하저항(Load)을 SW<sub>2</sub>로 단락시켜 제거함으로써 3선 지락사고를 모의하였다. 사고 발생 주기는 SW<sub>2</sub>가 ON되어 있는 시간으로서 본 실험에서는 5주기, 3주기, 1주기로 하였다. 초전도 소자의 회복특성은 초전도체에 인가되는 전원을 완전히 차단한 상태에서 분석하여야 하므로 사고 발생주기 이후 SW<sub>1</sub>을 OFF하여 전원을 차단하였다[4-5].

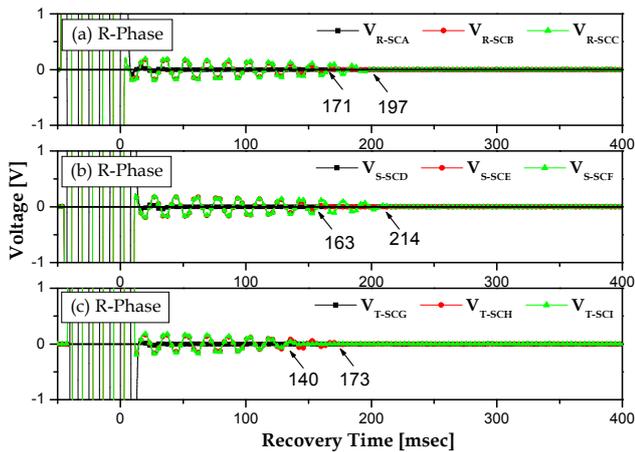
##### 2.2 회복특성 실험 결과 분석

삼상 매트릭스형 초전도 한류기의 회복특성을 분석하기 위해 전원전압은 400/√3 [V]로 하였다. 회복특성은 초전도 소자가 켜짐으로 인해 상전도 상태로 상전이된 후 다시 초전도 상태로 상전이되는 시간을 나타내는 것이다. 다시 말해서 초전도 소자가 초전도 상태에서 받은 에너지를 초전도 상태로 복귀하기 위해 소비하는 시간을 나타낸다.

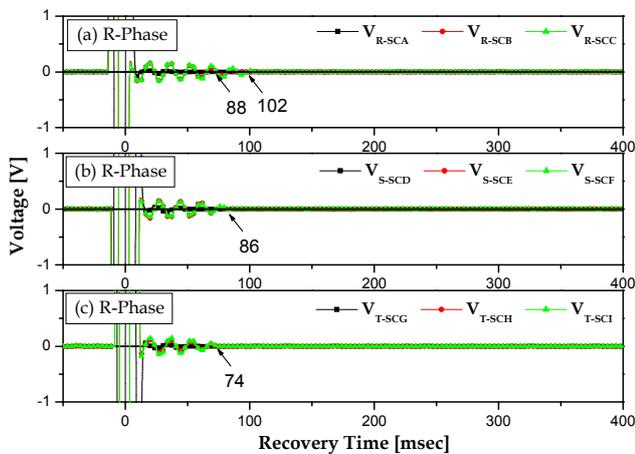
그림 3, 4, 5는 회복특성 실험을 위해 사고를 5, 3, 1주기 동안 발생시켜 3선 지락사고를 모의한 경우의 회복시간을 나타낸 그래프이다.



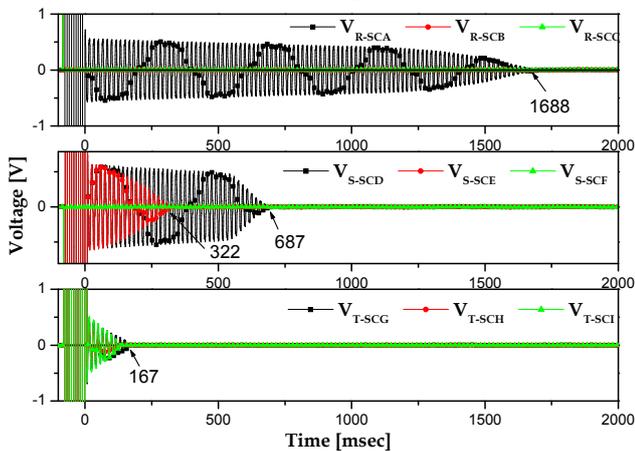
〈그림 3〉 5주기의 사고발생시 삼상 매트릭스형 초전도 한류기의 회복특성



〈그림 4〉 3주기 사고발생시 삼상 매트릭스형 초전도 한류기의 회복특성



〈그림 5〉 1주기 사고발생시 삼상 매트릭스형 초전도 한류기의 회복특성



〈그림 6〉 5주기 사고발생시 삼상 저항형 초전도 한류기의 회복특성

사고 발생 주기가 길수록 초전도 소자에 분담되는 전력량은 많아진다. 이 전력량은 초전도 소자에서 열에너지로서 소비된다. 5주기의 사고가 발생한 경우 R상 초전도 소자는 313과 274 [msec] 동안에 초전도 상태로 회복된다. T상과 S상의 초전도 소자는 345와 315 [msec], 207과 248 [msec] 동안 각각 회복된다. 동상에 있는 초전도 소자간 회복시간에 차이가 있는 것은 초전도 소자의 임계특성에 따라 켄치특성이 각각 다르게 되고, 또한 소비되는 에너지의 양도 다르게 되기 때문이다. 이러한 회복특성의 차이는 그림 6의 삼상 저항형 초전도 한류기의 회복특성과 비교하여 큰 차이가 없다 할 수 있다. 저항형 초전도 한류기는 초전도 소자간 불균형 임계특성 때문에 켄치특성이 상이하게 되고, 회복특성에도 큰 차이가 발생하게 된다.

동일한 사고주기에서 각 상의 회복특성은 약간의 차이가 발생한다. 이러한 차이는 각 상의 120° 위상차이로 인해 사고 발생 시점이 다르게

된다. 그러므로 초전도 한류기가 사고전류를 제한하는 중에 받은 전력량에 차이가 발생하게 된다. 이로 인해 초전도 상태로 복귀시 소비되는 에너지의 양이 다르게 되고, 또한 초전도 소자간 임계특성의 차이로 인해 상이하게 된다. 그림 6의 삼상 저항형 초전도 한류기의 S, T상의 경우 켄치된 초전도 소자가 각각 2개, 3개가 되므로 초전도 한류기의 전체 전력량이 분배된다. 그러므로 회복시 각 초전도 소자에서 소비되는 에너지의 양이 적어 빠르게 회복된다는 것을 확인할 수 있다.

삼상 매트릭스형 초전도 한류기의 사고 주기에 따른 회복특성은 주기가 짧아질수록 회복시간 또한 짧아진다는 것을 확인할 수 있다. 이것은 켄치된 사고주기에 따라 초전도 소자의 전력량이 적어지게 되어 회복시에 소비되는 에너지의 양이 적기 때문이다. 주기에 따른 각 상의 초전도 소자의 회복시간은 그림에 나타나 있다. 사고 주기가 짧아질수록 두 초전도 소자간 회복시간의 차이가 줄어들어가는 것을 확인할 수 있다. 이것은 켄치시 받는 초전도 소자의 전력량이 적기 때문에 회복시간의 차이가 줄어드는 것이다. 다시 말해서 사고 발생시 초전도 소자의 전력량이 많아질수록 회복시간이 길어지고, 또한 동상에 있는 초전도 소자의 회복시간의 차이도 길어지게 된다. 이것은 초전도 한류기가 전력계통으로의 적용시 초전도 소자의 전력량을 최소화하여 설계해야 회복특성 또한 개선된다는 것을 예상할 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서 우리는 삼상 매트릭스형 초전도 한류기의 회복특성을 삼상 저항형 초전도 한류기와 비교하여 분석하였다. 전력계통에서 발생하는 사고중 3선 지락사고를 모의하여 5, 3, 1주기의 사고가 발생하도록 하였다. 동일한 사고주기에서 상별 초전도 소자의 회복특성은 사고 발생 시점에서 전원전압의 위상차로 인해 차이가 발생한다. 또한 초전도 소자의 회복특성은 켄치된 초전도 소자가 받은 에너지를 소비하는 시간이기 때문에 사고 시점이 다른 각 상의 초전도 소자는 동시에 켄치되더라도 회복시간이 상이하게 된다. 삼상 저항형 초전도 한류기는 불균일한 켄치특성으로 인해 초전도 소자의 전력량이 불균형 분배되어 회복시간이 길어진다는 것을 확인할 수 있다. 사고 주기가 짧아질수록 초전도 소자의 회복시간은 짧아진다. 이것은 사고 주기에 따라 초전도 소자가 받은 전력량이 결정되기 때문이다. 어떠한 시점에서 사고가 발생하더라도 전원전압의 위상차로 인해 상별 초전도 소자의 회복특성이 상이하게 된다. 또한 초전도 소자의 전력량을 최소화시킬 수 있다면 회복특성을 개선할 수 있게 된다. 초전도 한류기를 전력계통에 적용하기 위해서는 초전도 소자의 회복특성이 충분히 고려되어야 한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 정동철, 최효상, 이나영, 남극현, 조용선, 성태현, 한영희, 한병성, 임성훈, "Optimum design of matrix fault current limiters using the series resistance connected with shunt coil", Physica C, Vol. 463, pp. 1193-1197, 2007.
- [2] 조용선, 최효상, "The current limiting effects of a matrix-type SFCL according to the variations of designed parameters in the trigger and current-limiting parts", Physica C, Vol. 468, pp. 2054-2058, 2008.
- [3] 산업자원부, "10kVA급 매트릭스형 초전도 한류기 개발(연구보고서)", 2007.
- [4] 오금근, 한태희, 조용선, 최효상, 최명호, 한영희, 성태현, "전압증가에 따른 자속구속형 초전도 한류기의 전류제한 및 회복특성 분석", 한국조명전기설비학회, Vol. 21, No. 8, pp. 107-112, 2007
- [5] 정수복, 조용선, 최효상, 최명호, "결선방향에 따른 자속구속형 전류제한기의 켄치 회복 의존도 해석", 한국조명전기설비학회, Vol. 22, No. 1, pp. 113-117, 2008