

저항형 초전도 한류기의 켄치 및 회복특성 분석

노상철, 김경수, 임성훈
 송실대학교 전기공학부

An Analysis on Quench and Recovery Characteristics of SFCL

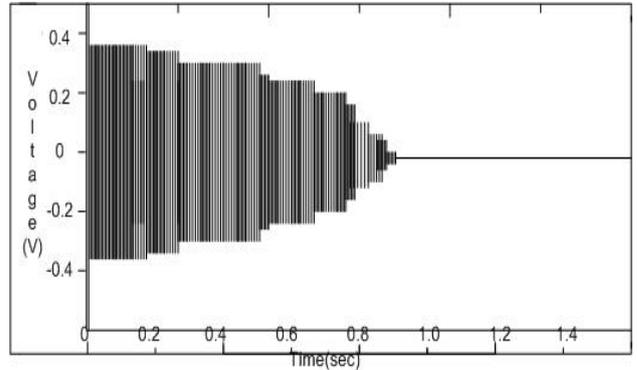
Sang-Chul Noh, Kyoung-Soo Kim, Sung-Hun Lim
 Soong-Sil University

Abstract - 고장전류를 억제하는 방법 중 우리나라에 가장 적합하고 효율적인 저항형 초전도 한류기의 성능을 결정짓는 중요한 요소인 켄치 및 회복특성을 분석하였다. 실험장치를 구성하여 모의 사고를 발생시켰다. 모의 사고시 사고주기와 부하저항 값에 따라서, 초전도 한류기의 켄치 발생시간과 회복시간에 대해 분석하였다. 본 연구를 통하여 사고주기가 짧아질수록 회복시간과 켄치 발생시간이 빨라진다는 사실과 부하저항이 클수록 켄치 발생시간이 늦어지는 반면에 회복시간은 빨라진다는 두 가지 사실을 알 수가 있었다.

달하게 된다. 이 때 초전도체는 초전도성을 잃고 상전도성의 물질이 되는 것이다. 하지만 일반적으로 사고가 발생한 후 사고요인을 제거하게 되면 더 이상 열이 발생하지 않으며 또한 주위의 액체 질소에 의한 계속된 열손실로 인하여 초전도 한류기의 온도는 액체 질소의 온도와 같아지게 된다. 이로 인해 저항 역시 감소하게 되는 것이다. 그래서 그림 1에서 보면 전압이 계속 감소하다 나중에 0 에 값에 수렴함을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

현재의 우리나라의 차단기 용량은 60년대 GE(General Electric)사가 산정하였다. 산정당시 차단기의 용량은 우리나라가 수십 년 후에도 사용할 수 있다고 생각하였지만, 오늘날 사회는 고도의 산업 발달 및 생활수준의 질적 향상으로 많은 전력을 필요로 하고 있으며 이에 따라 발전 및 송전 설비도 크게 확충되었다. 하지만 이러한 계통의 증가는 또한 단락고장전류도 증가시켜 계통의 안정성에 부정적 영향을 끼치고 관련설비 및 전력기기에 전자기적, 기계적, 열적으로 심각한 손상을 입힐 수도 있어 큰 문제로 대두되고 있다. 이러한 단락고장전류를 억제하는 방법들에는 여러 가지 방법들이 있었지만 크게 다섯 가지로 압축하여 볼 수 있을 것이다. 그 다섯 가지 억제 방법들에는 고 임피던스 전력설비의 채용부터, 계통전압 격상, 계통 사이의 직류 연계, 연계선로 분리 및 모선 분리, 초전도 한류기 리액터 설치 등의 방법 등이 있을 것이다.[1] 이 중에서 가장 주목받고 우리나라 전력계통에 적합하며 적용하기 좋은 방법이 모선을 분리하여 계통을 운전하다가 분리 된 모선 간에 초전도 직렬 한류리액터를 삽입하는 방법이다. 그렇기 때문에 현재 초전도 한류기는 한전의 6대 전력기술로 선정, 154kV 초전도한류기를 개발하고 있으며, 2010년까지 22.9kV급 실용화, 154kV급 기반기술 개발(초전도 한류소자 등)을 목표로 하고 있다. 본 연구는 고장전류 억제 방안으로 주목 받고 있는 초전도 한류기의 켄치 및 회복 특성에 대해 연구하였다. 초전도 한류기는 초전도체에 임계전류를 넘는 단락고장전류가 흘렀을 때 켄치가 일어나는 것을 이용하여 단락고장전류를 제한하는 기기이기 때문에 초전도체에서 켄치 특성은 초전도 한류기의 성능을 결정하는 중요한 특성이다. 또한 현재 사용되고 있는 초전도 한류기의 사고 시 차단기 체포로 시간은 최대 약 0.8초이다. 즉 이 시간 안에 초전도성을 회복해야 하는 것이다. 따라서 저항형 초전도 한류기를 실제 계통에 적용하기 위해서는 위의 규정에 적합하여야 한다. 본 연구는 여러 가지 조건에 대한 저항형 초전도 한류기의 켄치 및 회복특성을 비교 분석하여 저항형 초전도 한류기가 어떤 특징을 가지는지를 알아보는데 있다.



<그림 1> 켄치 이후의 초전도성 회복 특성

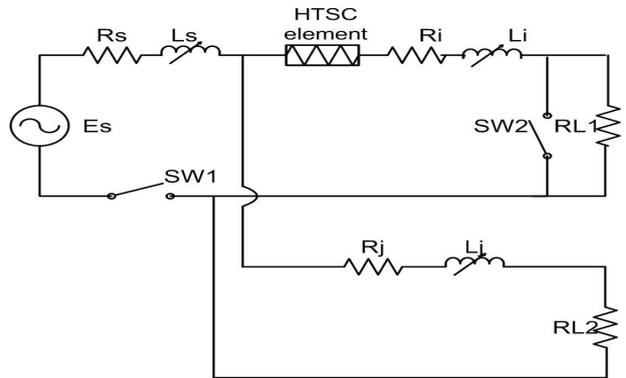
2. 본 론

2.1 켄치(Quench) 이후의 회복특성

초전도한류기는 실제 전력계통에서 사용 시 차단기와 연계하여 차단기의 차단 용량을 늘리는데 사용된다. 전력계통에서 사고가 발생하게 되면 초전도한류기가 단락고장전류를 차단기의 차단내력 아래로 감소시키고 이후 차단기가 투입되어 전력시스템에서 고장상태를 제거하게 된다. 그림 1은 초전도체의 회복특성에 관한 그림이다. 이미 서론에서도 언급했던 바와 같이 현재 한전에서 사용하고 있는 차단기의 체포로 시간은 최대 약 0.8초 이다. 즉, 초전도 한류기는 이 0.8초 안에 초전도성을 회복해야 그 기능을 안정적으로 수행할 수 있는 것이다. 그림 1에서 보면 초반에 보이는 전압의 곡선의 완만한 감소는 액화질소에 의한 냉각 과정을 나타낸다. 그리고 이후의 급격한 전압 곡선의 감소 부분은 사고 상태에서 다시 초전도 상태로 전이 되는 것을 나타낸다. 초전도체의 경우 급격하게 저항이 발생하게 되면서 접차 온도가 올라가게 되고 계속하여 더 많은 열이 발생하여 초전도체의 온도가 더욱 올라 ‘임계 온도’에 도

2.2 실험장치 구성

저항형 초전도 한류기의 켄치 및 회복특성 분석을 위해 모의계통을 구성하여 그림 2에 나타내었다. 저항 Ri는 실제 선로에서 선로임피던스에 비하여 무시할 정도로 작기 때문에 무시하였다. 고장전류는 발생 및 제거는 SW2를 이용하였고, 전원을 투입, 차단하는 것은 SW1을 이용하여 회로를 구성했다.

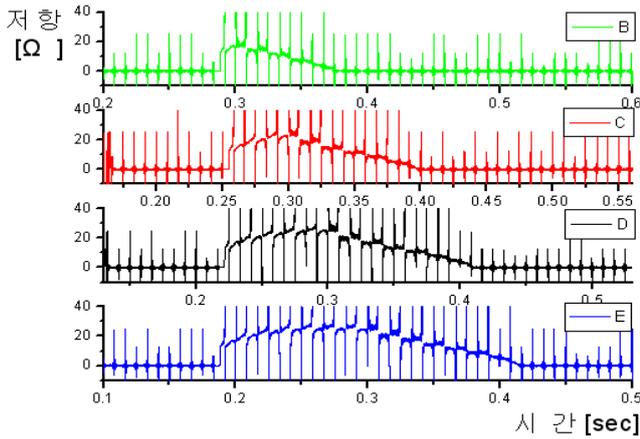


<그림 2> 실험 장치 구성도

2.3 실험 결과

2.3.1 사고 주기에 따른 켄치 및 회복 특성

사고단의 저항과 건전단의 저항을 각각 51.5 [Ω]으로 하고 사고 주기를 각각 1, 3, 5, 7 주기로 다르게 하여 사고시의 저항을 측정해 보았다. 직접적인 저항의 측정이 어려운 관계로 사고단의 전압과 전류를 구하여 옴의 법칙에 대입하여 저항을 구해보았다.

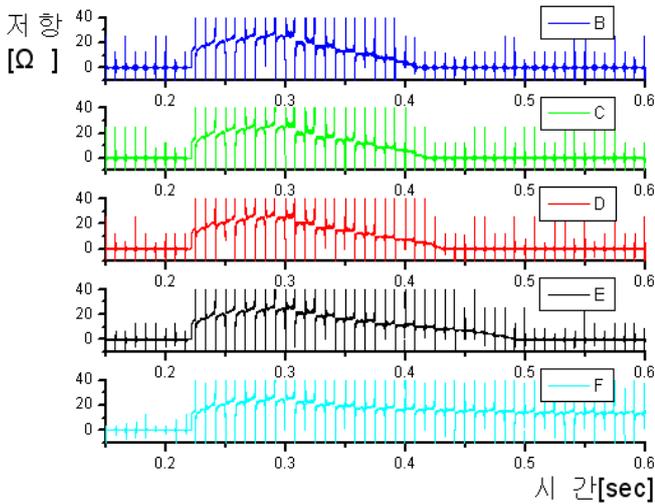


〈그림 3〉 사고 주기에 따른 시간-저항 그래프
B:1주기 C:3주기 D:5주기 E:7주기

옴의 법칙을 이용하여 저항을 구한 결과 전류가 '0'일 때와 같이 저항이 급격하게 발생하였다. 하지만 우리가 원하는 저항 값을 구하는데 문제가 없었다. 사고가 나기 전에는 저항의 값이 0[Ω]이고 사고 발생 후에는 회복속도에 따라서 어느 정도 시간이 경과된 후 저항 값이 다시 0 [Ω]으로 되는 것을 확인 할 수가 있었다. 실험을 통해서 두 가지의 사실을 확인 할 수가 있었다. 첫 번째는 주기의 값이 작을수록 저항 값 역시 작게 나타난다는 것이다.(1주기 사고의 경우: 약 20 [Ω], 7주기 사고의 경우: 약 28 [Ω]) 두 번째로는 사고주기가 증가할수록 회복속도가 늦어지는 사실도 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

2.3.2 사고단의 부하저항에 따른 켄치 및 회복 특성

그림 4는 사고 주기를 5로, 건전단의 저항을 모두 51.5 [Ω]으로 동일하게 설정 후, 사고단의 부하저항을 각각 10.3 [Ω], 20.6 [Ω], 30.9 [Ω], 41.2 [Ω], 51.5 [Ω]으로 하여 고장전류가 흐를시 초전도 한류기의 켄치 및 회복시간을 분석하였다.

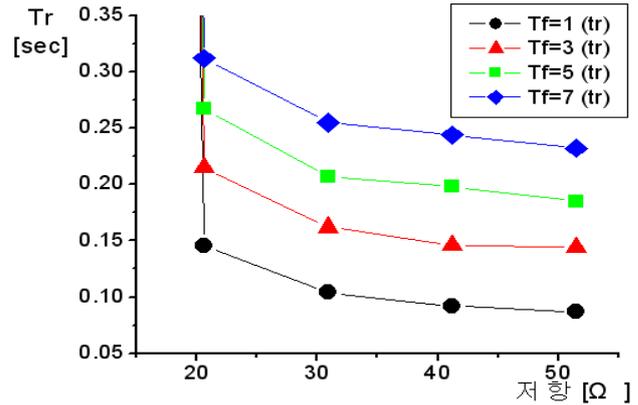


〈그림 4〉 사고단 부하저항에 따른 시간-저항 그래프
B:51.5, C:41.2, D:30.9, E:20.6, F:10.3 (단위 : [Ω])

실험 결과 앞의 실험 2.3.1과의 차이점을 발견할 수 있었다. 사고단의 저항이 10.3[Ω]일 때 회복을 하지 못하는 것을 발견할 수 있었다. 즉 초전도 한류기가 회복되지 못한다면, 전원의 제페로시, 초전도 한류기는 전압강하를 일으켜서 전력손실이 발생한다.

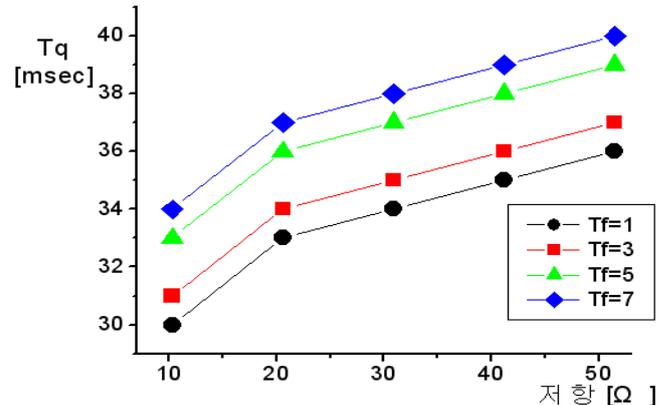
2.3.3 켄치 및 회복특성

앞의 두 가지의 실험을 통해서 켄치 및 회복특성이 대하여 연구하였다. 우선 회복 특성에 대해서 살펴보면, 고장주기가 늘어날수록 회복속도가 늦어진다는 사실을 그래프를 통해서 알 수가 있었다. 같은 주기 내에서 사고단의 저항이 감소할수록 회복 속도가 늦어지지만, 비례관계가 아닌 저항이 감소하면서 더욱 더 늦어지다가 회복하지 못하는 것을 알 수 있었다.



〈그림 5〉 사고주기와 저항에 따른 회복시간

다음으로 고장발생 후 초전도 한류기의 켄치 발생시간에 대해서 분석해 보았다. 앞에서 분석한 것과는 정반대로 사고단의 저항이 낮을수록 발생 시간이 빠르다는 것을 알 수가 있다. 또한 저항 값이 증가할수록 처음에는 급격히 늦어지다가 서서히 늦어지는 현상을 발견할 수가 있었다. 또한 사고주기가 짧을수록 고장전류 발생시간이 빠르다는 것을 알 수 있다. 즉 저항이 작을수록 고장발생 후 초전도 한류기의 켄치 발생시간이 빠르지만, 회복시간은 늦어진다는 것을 알 수 있다. 하지만 사고주기는 주기가 짧을수록 켄치 발생시간이 빠르며 회복시간도 빠르다.



〈그림 6〉 고장발생 후 주기에 따른 켄치 발생시간

3. 결 론

본 연구에서 단락모의 실험을 통하여 저항형 초전도 한류기의 켄치 및 회복특성에 관한 기본적인 특성에 대하여 실험을 하였다. 부하 저항의 값이 작을수록 고장 발생 후 초전도 한류기의 켄치 발생시간이 빨랐지만, 회복속도는 점점 더 늦어진다는 것을 알 수가 있었다. 초전도 한류기가 사고단의 부하저항의 일정수준 이하로 적어지면, 회복하지 못한다는 것을 알 수 있었다. 이로서 전압강하를 일으켜 전력손실이 발생한다. 이 실험에서는 계통을 모의로 구성하여 실제 계통을 같은 조건으로 구현할 수가 없어서, 좀 더 정밀한 결과를 얻지는 못하였지만, 저항형 초전도 한류기의 켄치 및 회복특성에 대한 전반적인 특징과 회복되지 않은 저항형 초전도 한류기는 계통에서 전압강하를 일으킬 수 있다는 것을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 대한전기학회 저, "최신배전시스템공학", 1-599, 2008
- [2] 김준환 이광원, "전력계통 고장 전류 중대과 대응방안", 전기저널, 10-25, 1998
- [3] S.W. Yim, H.R. Kim, O.B. Hyun, J. Sim, "Quench and recovery characteristics of Au/YBCO thin film type SFCL", Physica, C 463-465, 1172-1175, 2007
- [4] Elsevier Science Ltd. "Operating properties of superconducting fault current limiters based on YBCO thin films", 163-167, 2001
- [5] Will Paul Chen, Superconducting control fo surge currents, 0018-9235, 1998