

Diode를 이용한 박막형 한류기의 열발생 저감방안

Generated heat decrease of thin film superconducting fault current limiter using diodes

최효상*, 현옥배**, 김혜림***, 황시돌#

Hyo-Sang Choi*, Ok-Bae Hyun**, Hye-Rim Kim***, Si-Dole Hwang#

Abstract : We fabricated a resistive superconducting fault current limiter (SFCL) of meander type based on a YBCO film. In order to disperse the heat generated at hot spots in the YBCO film the film was coated with a gold shunt layer. When diodes were inserted in the parallel circuit to restrict the temperature increase in the SFCL element by reducing power supply cycles, the voltage could be increased to $\sqrt{2}$ times with the same quench resistance at a half and full cycles.

Key Words: superconducting fault current limiter (SFCL), YBCO film, temperature increase

도 한류소자의 quench 시작 시점은 일정하게 유지하면서 전압계급을 높일 수 있는 기술이 개발되어야 한다. 가장 쉽게 생각할 수 있는 방법은 한류소자를 직렬로 연결하는 방법을 들 수 있겠으나 동시 quench의 어려움등의 기술적 애로가 상존해 있다. 따라서 근본적으로 한 개의 한류소자에 대한 전압계급을 높이는 방법을 강구하는 것도 의미가 있을 것이다.

유도형 한류기에 비하여 저항형 한류기의 가장 큰 단점중의 하나는 계통 고장시 발생하는 power를 직접적으로 한류소자가 감당해야 한다는 점이다. 사고 후 한류소자에 초전도-상전도 전이가 발생하면 필연적으로 열이 발생하는데, 이러한 열에 의하여 초전도 한류기의 용량이 제한을 받게된다. 어떠한 방법을 통하여 열발생을 줄이거나 발생속도를 늦춘다면 한류 용량을 그만큼 늘릴 수 있게 된다. 본 절에서는 diode를 통하여 열발생을 줄이는 방법에 대하여 연구하였다.

1. 서 론

전력계통에서 송전선로의 고장은 회로에 순간적으로 매우 큰 고장전류를 발생시키는데 이러한 고장전류는 대개 차단기(CB, circuit breaker)가 제거하지만, 차단기의 동작한계시간인 3~5 cycle 동안 전력시스템에 연결되어 있는 각종 전기적 장치의 기계적, 열적 손상은 피할 수 없다. 기존에 사용된 과전류 차단장치에는 전력용 한류 리액터, 전력용 퓨즈 그리고 전력용 한류 와이어 등이 있고, 차단방법으로서 고임피던스 변압기 채용과 모션분리 운전등을 들 수 있다. 어느것도 경제성과 효율면에서 개선해야 할점이 많다.⁽¹⁾

초전도 한류기는 그 자체만의 빠른 동작 및 회복시간 그리고 수명이 반영구적인 점등 다른 장치로 대체할 수 없는 초전도만의 특성 때문에 그 효용가치는 대단히 높으며, 그 제한방식에 따라 크게 저항형과 유도형으로 나눌 수 있다. 이 중에서 저항형은 구조 및 원리가 간단하고 quench 시간이 빠른점 등 유도형과 차별화된 장점들 때문에, 독일의 Siemens AG 그룹^(2,3) 등에서 활발히 연구가 진행되고 있다. 특히 박막을 이용한 저항형 한류기는 소형화 및 적층구조를 포함한 compact화가 용이하기 때문에 관심을 불러 일으키고 있다.⁽⁴⁻⁷⁾

초전도 한류기를 실계통에 응용하기 위해서는 초전

2. 실험 방법

2.1 시편 제작

사고전류를 제한하기 위하여 사용된 한류소자에 대한 자세한 패턴모양 및 구성은 참고문헌 5에서 자세히 나타내었다. 이때 켄치시 발생하는 hot spot을 방지하기 위하여 초전도 박막을 입힌 직후 공기중에 나오기 이전에 200 nm의 금을 증착하였다. 시편은 diode에 의한 1/2주기 및 완전한 주기의 특성을 조사하기 위하여 그림 1과 같이 정확히 두 부분으로 나누어 제작하였으며 각각 독립된 한류소자로 구성하였다. 이때 각 한류소자의 길이는 26 cm, 폭 1 mm이고 그림처럼 meander 형태로 이루어져 있으며 상온에서 저항값은 43 Ω이었다.

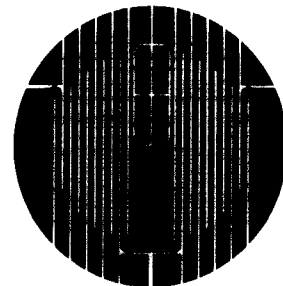


그림 1. 초전도 한류소자의 패턴모양
Fig. 1. The pattern of superconducting limiting elements

그림 2는 실험 및 측정을 위한 구성회로를 보여주

* 정 회 원: 전력연구원 전력계통연구실 선임보·공박

** 정 회 원: 전력연구원 전력계통연구실 책임·이박

*** 정 회 원: 전력연구원 전력계통연구실 선임·이박

정 회 원: 전력연구원 전력계통연구실 선임 연구원

원고접수: 2000년 08월 04일

심사완료: 2000년 11월 17일

여기서 V_0 는 전원전압, R_0 는 전체전류 측정을 위한 표준저항, 그리고 R_L 은 부하저항을 각각 나타낸다. SFCL은 초전도 한류기를 나타내며 상시 액체질소 용기에 담겨진 채로 실험하였다.

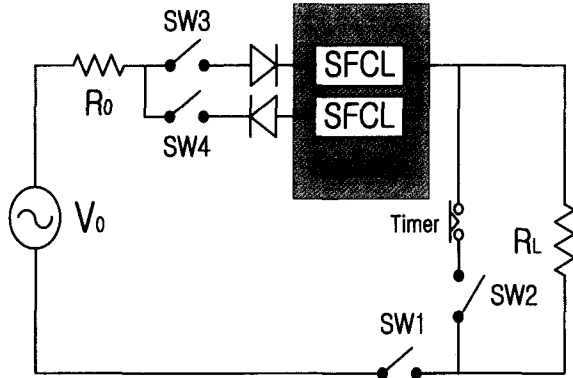


그림 2. Diode를 연결한 회로 시험장치
Fig. 2. A test circuit connected with diodes

2.2 1/2주기에 대한 실험

그림 2에서 인가전압 $V_0=100 V_{rms}$, 부하저항 $R_L=27 \Omega$ 에서 SW3을 폐로함으로써 1/2주기에 대한 실험(사각각 0°)을 하고 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 이때 R_0 의 값은 1Ω 이었다. 사고발생 후 2주기만에 초전도 한류소자의 전압이 $125 V_{peak}$, 전체전류 $I=5.5 A_{peak}$ 값을 나타내었다. 발생저항 및 소비전력으로 환산한 그래프를 그림 4에 보여준다. 국부적인 열발생의 편차를 고려하였을 때 사고발생 2주기 후 약 23Ω 의 저항값을 나타내었다. (화살표로 표시한 부분) 이값은 인가전압 $70 V_{rms}$ 이고 diode를 연결하지 않은 그림 5의 결과와 일치한다. 즉 초전도 한류소자의 전단에 diode를 연결함으로써 허용전압을 약 $\sqrt{2}$ 배 만큼 증가시킬 수 있다. 소비전력은 여전히 $100 V_{rms}$ 가 $70 V_{rms}$ 보다 높은데도 발생저항이 같은 것으로 보아 diode를 연결한 시점에서 비 통전 구간중 액체질소에 의한 냉각이 효과적으로 이루어졌음을 알 수 있다.

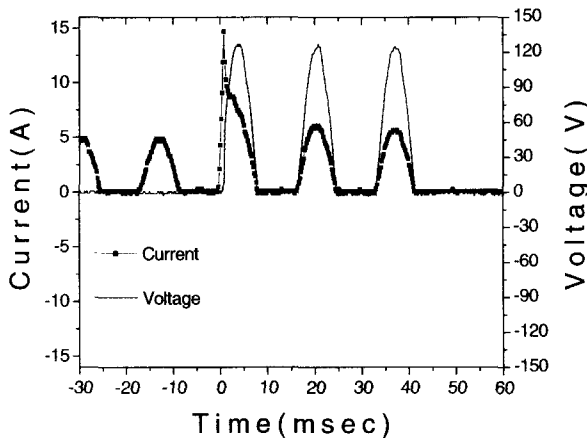


그림 3. 1/2주기의 전류 및 전압 특성곡선 ($100 V_{rms}$)
Fig. 3. Current and voltage waveforms at a half cycle ($100 V_{rms}$)

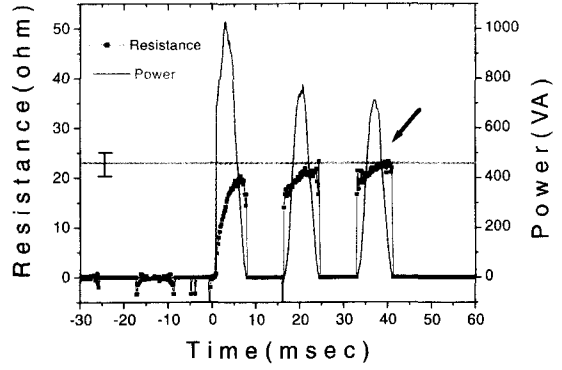


그림 4. 1/2주기의 저항 및 소비전력 곡선 ($100 V_{rms}$)
Fig. 4. The waveforms of resistance and power consumption at a half cycle ($100 V_{rms}$)

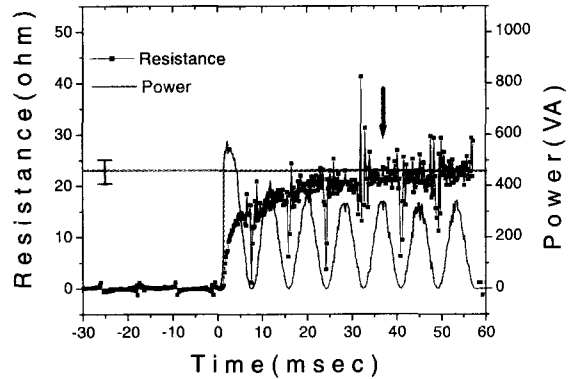


그림 5. 다이오드가 없는 완전한 주기에서의 저항 및 소비전력 곡선 ($70 V_{rms}$)
Fig. 5. The waveforms of resistance and power consumption of the SFCL without diodes at a full cycle ($70 V_{rms}$)

Diode에 의한 허용전압의 상승효과를 확인하기 위하여 이번에는 인가전압 $140 V_{rms}$, 사각각 0° 에 대한 실험을 수행하였다. 그림 6과 7에 전기적 특성을 나타내었으며, 예상한 바와 같이 사고발생 2주기후의 발생저항은 diode없이 $100 V_{rms}$ 를 인가한 경우와 같은 약 28Ω 이었다.

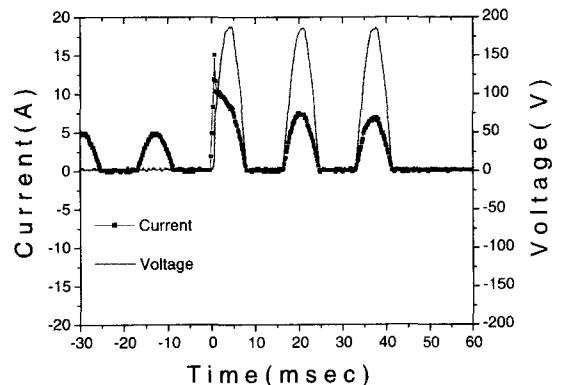


그림 6. 1/2주기의 전류 및 전압특성 ($140 V_{rms}$)
Fig. 6. Current and voltage waveforms at a half cycle ($140 V_{rms}$)

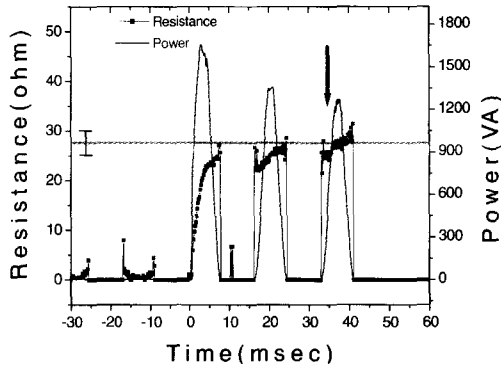


그림 7. 저항 및 소비전력 특성 (140 V_{rms})
 Fig. 7. The waveforms of resistance and power consumption (140 V_{rms})

2.2 완전한 주기에 대한 실험

그림 2에서 SW3과 SW4를 모두 폐로함으로써, 인가전압 100 V_{rms}, 부하저항 R_L=27 Ω에 대한 완전한 주기(full wave)의 전기적 특성을 그림 8, 9에 나타내었다. Diode에 의하여 1/2주기동안 신호를 끊어 주기 때문에 액체질소에 의한 냉각이 충분히 이루어져서 quench 후 한류소자의 온도발생에 의한 저항상승이 둔화되는 것으로 생각된다. 1/2주기인 경우의 결과와 마찬가지로 발생 저항 측면에서 인가전압 70 V_{rms}(diode 없는 경우)의 결과와 동일함을 확인할 수 있었다.

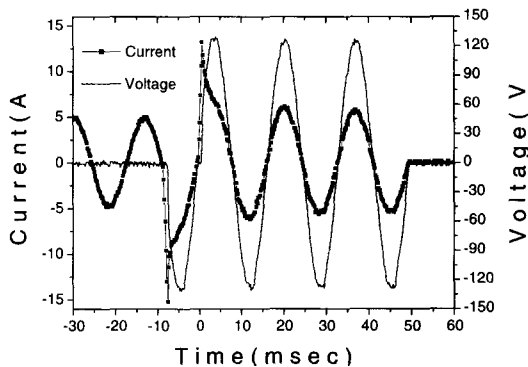


그림 8. 완전한 주기의 전류 및 전압특성 (100 V_{rms})
 Fig. 8. Current and voltage waveforms at a full cycle (100 V_{rms})

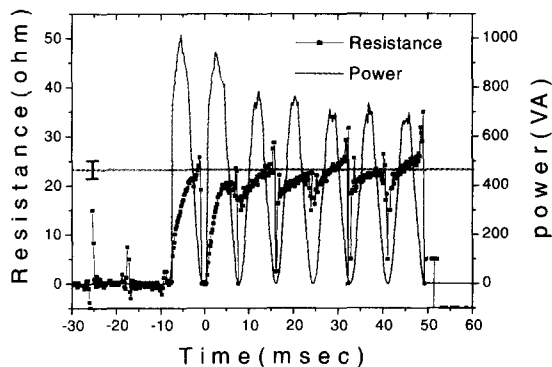


그림 9. 완전한 주기의 저항 및 소비전력특성 (100 V_{rms})
 Fig. 9. Resistance and power consumption waveforms at a full cycle (100 V_{rms})

인가전압 140 V_{rms}, 부하저항 R_L=39 Ω 일 때 전기적 특성을 그림 10, 11에 보여준다. Diode를 연결하지 않은 인가전압 100 V_{rms}의 경우(그림 12)와 비교해 볼 때 전체전류 및 초전도 한류소자의 전압이 높게 나타나지만 발생저항은 약 27 Ω으로 비슷한 값을 보여준다. 발생저항 측면에서 특기할 만한 사항은 저항이 발생하는 반주기동안 진폭이 diode를 이용한 시편에서 그렇지 않은 시편보다 상대적으로 크게 나타남으로써 온도상승을 둔화시키고 있음을 알 수 있다. 다시 말해 초전도 한류소자에 diode를 연결함으로써 quench 시작시점은 일정하게 유지하면서 적용가능한 전압계급을 √2배 만큼 향상시킬 수 있었다. 이는 이론적으로 diode를 가진 초전도 한류기 하나가 감당하는 에너지가 diode가 없는 초전도 한류기의 1/2을 차지함을 의미하며, diode 2개를 통한 완전한 주기의 소비전력과 같아진다. 이러한 사실은 그림 4와 그림 12의 소비전력값이 거의 동일한 결과와도 일치한다. 또한 주지하는 바와 같이 직렬연결시는 한류소자간 동시퀀치 문제가 심각하다. 다이오드를 사용하여 병렬연결하면 같은 용량을 만들기 위한 직렬연결에 비하여 동시퀀치 문제가 없어지는 장점이 있다.

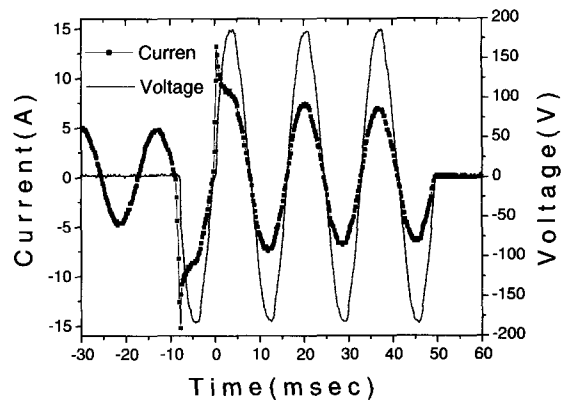


그림 10. 완전한 주기의 전류 및 전압파형 (140 V_{rms})
 Fig. 10. Current and voltage waveforms at a full cycle (140 V_{rms})

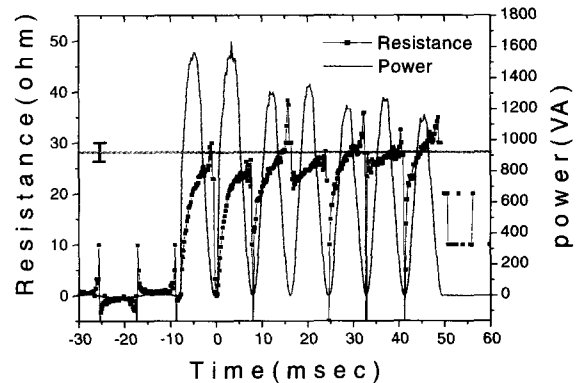


그림 11. 완전한 주기의 저항 및 소비전력특성(140 V_{rms})
 Fig. 11. Resistance and power consumption waveforms at a full cycle (140 V_{rms})

한편, 인가전압 100 V_{rms}에서 diode가 있는 초전도 한류기와 없는 초전도 한류기의 소비전력량을 그림

4와 그림 12를 통하여 비교하여 보면, diode가 있는 초전도 한류기의 소비전력량이 그렇지 않은 경우의 거의 1/2임을 확인할 수 있다. 이는 diode에 의하여 초전도 한류기에 발생하는 저항이 감소한 만큼, 양단에 흐르는 전류값이 증가함을 의미한다.

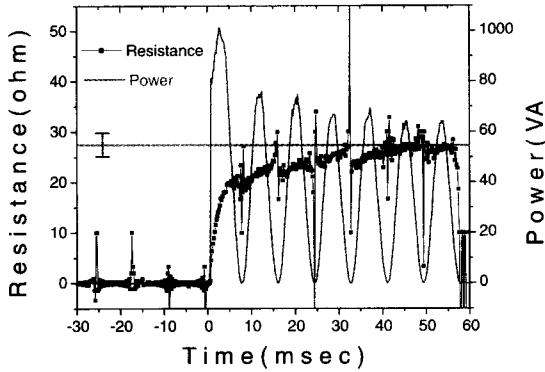


그림 12. 다이오드가 없는 완전한 주기에서의 저항 및 소비전력곡선 (100 V_{rms})
 Fig. 12. The curves of resistance and power consumption of the SFCL without diodes at a full cycle (100 V_{rms})

3. 결 론

YBCO 박막을 이용하여 저항형 초전도 한류기를 설계 및 제작하고 quench 시 발생하는 열을 분산하기 위하여 초전도체 위에 금층을 코팅하였다. 초전도 한류소자의 quench 시작시점은 일정하게 유지하면서 개별 한류소자의 전압계급을 높이기 위하여 직렬로 diode를 삽입하였다.

1/2주기인 경우 diode를 연결하고 인가전압 100 V_{rms}인 경우와 diode를 연결하지 않은 상태의 인가전압 70 V_{rms}일때의 3주기후 발생된 저항이 동일하였다.

완전한 주기인 경우에도 인가전압 140 V_{rms}와 100 V_{rms}에서 동일한 효과를 나타내었다. 즉 초전도 한류소자를 병렬연결한 회로에 직렬로 diode를 삽입한 결과 1/2주기와 완전한 주기 모두에서 $\sqrt{2}$ 배 만큼 전압계급을 높일 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Eddie Leung, "Surge protection for power grids," IEEE Spectrum, July, pp. 26-30, 1997.
 [2] W Schmidt, *et al.*, "Preparation of YBCO thick films by pulsed laser deposition for a superconducting fault current limiter," Inst. Phys. Conf. Ser. No. 148, pp. 631-634, 1995.
 [3] B. Gromoll, *et al.*, "Resistive fault current limiters with YBCO films," paper LJA01 presented at ASC '98, Palm desert, CA, USA
 [4] G Ries, *et al.*, "Development of resistive

HTSC fault current limiters," Inst. Phys. Conf. Ser. No. 148, pp. 635-638, 1995.

[5] 최효상, 현옥배, 김혜림, 황시돌, 김상준, 한병성, "분로저항이 초전도 한류기의 전류제한 효과에 미치는 영향", 한국초전도·저온공학회논문지, 1권, 2호, pp. 49-53, 1999.
 [6] 최효상, 현옥배, 김혜림, 황시돌, 김상준, 문승현, 한병성, "YBCO 박막의 저항형 초전도 한류기에 대한 동작 특성", 전기학회논문지, 48B권, 10호, pp. 537-543, 1999.
 [7] 김혜림, 현옥배, 최효상, 황시돌, 김상준, "저항형 초전도 한류기에서의 퀘칭 전파", 한국전기전자재료학회논문지, 제 13권, 4호, pp. 337-342, 2000.

저 자 소 개



최효상(崔孝祥)

1966년 02월 21일생, 1989년 전북대 공대 전기공학과 졸업, 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 2000년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 현재 한전 전력연구원 전력계통연구실



현옥배(玄錡培)

1953년 02월 11일생, 1976년 연세대 물리학과 졸업, 1987년 Iowa State Univ. 대학원 물리학과 졸업(이학박사), 현재 한전 전력연구원 전력계통연구실



김혜림(金蕙林)

1957년 03월 15일생, 1979년 서울대학교 물리학과 졸업(이학사), 1981년 미 아이오와 주립대학교 대학원 물리학과 졸업(석사), 1991년 미 코넬대학교 대학원 물리학과 졸업(이학박사) 현재 한전 전력연구원 전력계통연구실



황시돌(黃時玟)

1957년 01월 12일생, 1981년 연세대학교 전기공학과 졸업, 1986년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1980년 한국전력공사 입사, 현재 한전 전력연구원 전력계통연구실