

Quench Behaviors of Superconducting YBCO film for Fault Current Limiters applying Protective Current Transformer

K. B. Park^{*,a}, B. W. Lee^{*,a}, J. S. Kang^{*,a}, I. S. Oh^{*,a}, O. B. Hyun^{*,b}

^a LG Industrial Systems, Cheong Ju, Korea

^b Korea Electric Power Research Institute, Dae jeon, Korea

Received 18 August 2003

변류기(p-CT)를 적용한 YBCO 초전도 저항형 한류기의 켄치특성

박권배^{*,a}, 이방욱^{*,a}, 강종성^{*,a}, 오일성^{*,a}, 현옥배^{*,b}

Abstract

The resistive superconducting fault current limiters (SFCLs) are very attractive devices for the electric power network. But they have some serious problems when the YBCO thin films were used for the current limiting materials due to the inhomogeneities caused by manufacturing process. When the YBCO films have some inhomogeneities, simultaneous quenches are difficult to achieve when the fault current limiting units are connected in series for increasing operating voltage ratings.

Magnetic field application is one of the prospective way of inducing simultaneous quenches for the series-connected resistive FCL components. Magnetic field was typically generated by the fault current through a coil, which is connected to components of the fault current limiter in series, leaving the problem, which provides significant inductance to the power line and suppresses critical current density of the superconducting components. In this article we investigated the possible application of the protective current transformer (p-CT), which is available current source to the magnetic coil. This system inductively coupled to the circuit, therefore, remarkably reducing impedance to the circuit. The current by the protective current transformer was directly fed to the coil, generating magnetic field large enough to reduce critical current density of the components. This successfully induced simultaneous quenches of the series-connected resistive FCL components.

Keywords : superconducting fault current limiter, magnetic field, YBCO film

I. 서론

초전도 저항형 한류기의 전압용량 증대는 직렬연결을 통하여 이루어지며, 직렬연결된 한류

소자의 동시켄치를 위한 방안으로 병렬저항 삽입 및 자기장을 이용하고 있다. 이전 연구에서는 특정 한류소자의 켄치시 동시에 자기장을 인가시키는 방으로 솔레노이드 코일을 직렬연결하여 모든 한류소자가 켄치에 이르도록 하였다[1]-[2]. 하지만, 계통에 직렬로 삽입된 자기장 발생부인 솔레노이드 코일의 인덕턴스가 계

^{*}Corresponding author. Fax : +82 43 261 6629
e-mail : kbparkd@lgis.com

통에 미치는 영향을 무시할 수 없으며, 정격전류가 흐르는 상황에서도 임계전류 저하를 피할 수가 없는 문제점을 가지고 있다. 이와 같은 문제를 고려하여 본 연구에서는 변류기(Protective current transformer)를 적용하여 직렬연결시 발생될 수 있는 두 가지 문제점을 최소화하고자 한다.

II. 실험방법

본 연구에 사용된 시험회로는 Fig. 1(b)와 같다. 참고로 Fig. 1(a)는 이전 연구에서 자기장 렌치에 미치는 영향을 조사하기 위한 결선도로써, 초전도 한류소자와 솔레노이드 코일은 직렬로 연결되어 구성되었다[1]. Fig. 1(b)에서 사용된 p-CT는 일반적인 계측용 변류기와 달리 2차측에 기생하는 일정부하에 전류를 공급이 가능한 것으로 protective current transformer(이하 p-CT)라고 부른다. Fig. 1(b)의 p-CT 정격은 시험 정격의 정상상태, 사고전류 및 사고제한 전

류를 고려하여 15/5A, 선형성은 20, 용량은 40 VA, 그리고 1차측과 위상차는 4"으로 매우 작은 특성을 갖는 p-CT이다. 이때 자기장 영향이 소자들간의 렌치에 미치는 영향을 조사하기 위해 자기장 발생장치인 공심 솔레노이드 코일에서 Fig. 2(a)와 같은 core magnet을 사용하여 코일턴수를 1200턴에서 100턴으로 줄임으로써 인덕턴스는 줄이고 보다 큰 자기장이 발생되도록 설계하였다. 본 연구에서 적용된 변류기의 1차측에서 정상전류 즉, 변류기 정격전류가 흐르게 되면 2차측은 5A로 일정하게 흐르며, 이때 발생자기장은 작은 값을 유지하게 되므로 임계전류 저하를 최소화 할 수가 있다. 또한 변류기는 주 회로인 1차측은 2차측과 자기적으로 결합되어 자속값은 상시 상쇄되어 인덕턴스의 영향이 극도로 줄어들게 되어 실제 계통상에 영향은 무시할 정도로 작다.

본 연구에서 사용된 한류소자는 임계전류 특성이 매우 상이한 소자를 이용하였으며, p-CT를 삽입한 경우에 2차측 전류에 의해서 발생된 자기장이 2개 한류소자의 직렬연결시 렌치특성에 미치는 영향을 조사하였다.

III. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 core magnet의 길이가 40 mm인 공극 내에서 자속밀도 분포 및 위치에 따른 자속밀도 크기를 나타낸 것이다. 여기서, 2개의 한류소자는 Fig. 2 (b)에 나타낸 것과 같이 중심에서 10 mm 위치한 곳에 대칭적으로 배치하였으며, 이때 자속밀도 값은 대략 60mT 정도임을 알 수 있다. 이때, 60 mT의 자속밀도는 한류소자간 임계전류의 차이가 10 %정도로 매우 큰 경우에 동시에 상전도 전이에 영향을 주는데 충분한 값이다. 이것은 주회로에 직렬삽입된 솔레노이드 코일의 자기장의 값이 동시렌치에 미치는 영향을 조사한 실험적 결과이다[1]. 또한, core magnet의 인덕턴스는 5.9 mH 이다.

Fig. 3은 Fig. 1과 같이 core magnet을 사용한 경우이며, 주회로의 인가전압 200Vrms에서 단락사고 발생시에 변류기 1차, 2차 전류를 나타낸 것이다. Fig. 3의 결과에서 알 수 있듯이 변류기의 정격은 15/5A로 core magnet에 전류원

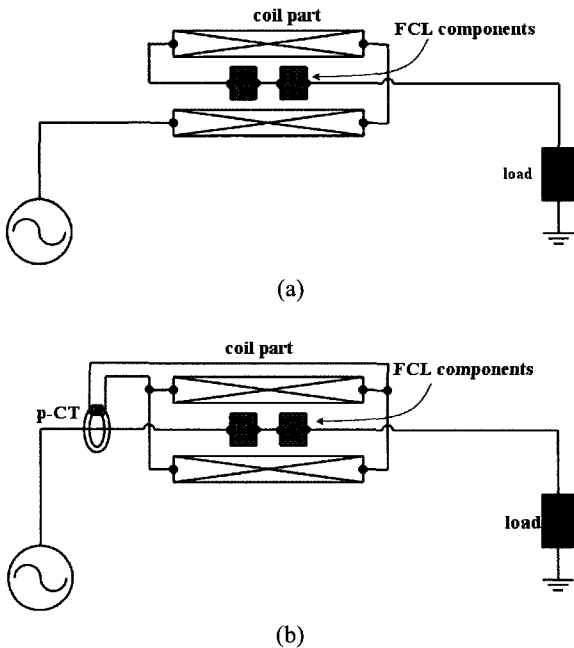
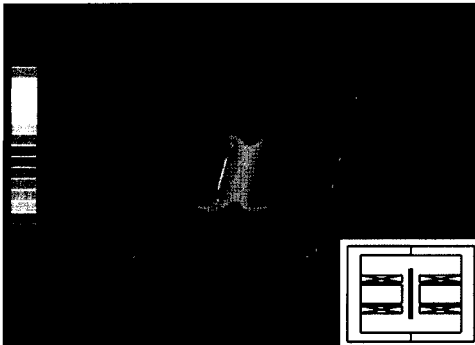


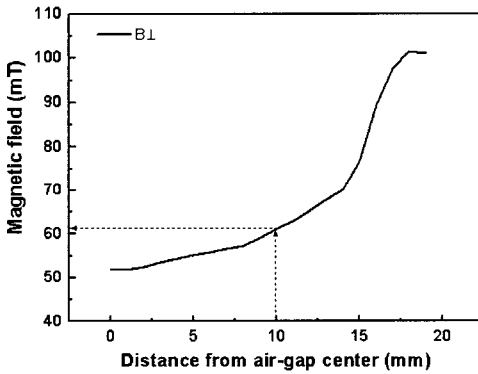
Fig. 1. Configurations of the system to apply magnetic field to the FCL components. (a) series connection with FCL components electrically. (b) independent connection with FCL components using a p-CT electrically.

으로 적용이 가능하며, 위상차도 거의 존재하지 않음을 확인 할 수가 있었다.

Fig. 4는 본 연구에 사용된 두 개의 한류소자의 V-I 특성을 측정한 결과이다. 결과에서 알



(a)



(b)

Fig. 2. Field analysis of the core magnet. (a) field distribution in the air-gap (b) Magnetic field on the center line in the air-gap.

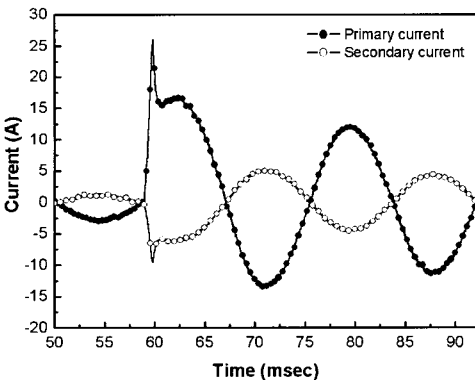


Fig. 3. Primary and secondary current of the protective CT.

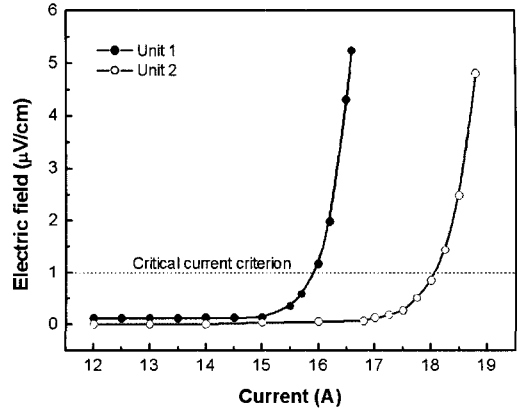


Fig. 4. Voltage-current characteristic of the two elements for fault current limiter.

수 있듯이 한류소자 1(unit 1) 및 한류소자 2(unit 2)의 임계전류는 각각 16 A, 18.1 A 로 임계전류특성 차는 대략 9 %정도이다. 그러므로 이 2개 한류소자 간 특성차이는 매우 큰 차이를 보이는 것으로 자기장을 이용한 동시퀀치 특성 파악에 적절한 시료임을 알 수 있었다.

Fig. 5는 p-CT 2차측 전류가 core magnet에 인가되어 자기장을 발생을 시킨 경우와 CT가 적용되지 않은 경우에 한류소자 1의 저항성장을 비교한 것이다. 결과에서 알 수 있듯이 저항성장은 p-CT를 적용한 경우에 더 빠른 저항 성장을 보이며, 이는 한류소자의 전 영역에서 자기장의 영향을 받아 동시에 모든 영역에서 상전도 전이를 시작하므로 저항 성장이 보다 가속화 되었다. 이와 반대로 자기장의 영향이 없는 경우는 일반적으로 알려져 있는 초전도 퀀치전과에 따른 상전이 진행이 진행된다. 즉, 단위 한류소자 내에서 임계전류 밀도가 제일 낮은 부위에서 퀀치가 시작되어 급박막, YBCO 박막 및 사파이어 기판을 통한 열전달에 의존하여 상전도 영역이 확산되는 현상을 말한다.

Fig. 6은 두 한류소자를 직렬연결한 경우에 퀀치특성을 나타낸 것이다. 여기서, (a)는 자기장의 영향이 없는 경우에 해당하며, (b)는 Fig. 1과 같이 p-CT를 적용하여 자기장을 한류소자에 인가되는 경우에 결과이다. 결과에서 알 수 있듯이 Fig. 6 (a)와 같이 자기장이 인가되지 않은 경우에는 우리가 알고 있듯이 임계전류밀도 특성이 나쁜 한류소자 1만이 상전도 전이됨을 알 수가 있다. 이와 반대로 사고 전류발생시

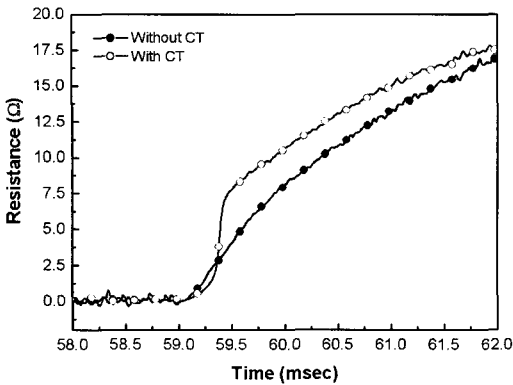


Fig. 5. Comparison of the resistance rise in case of applying the CT and without CT.

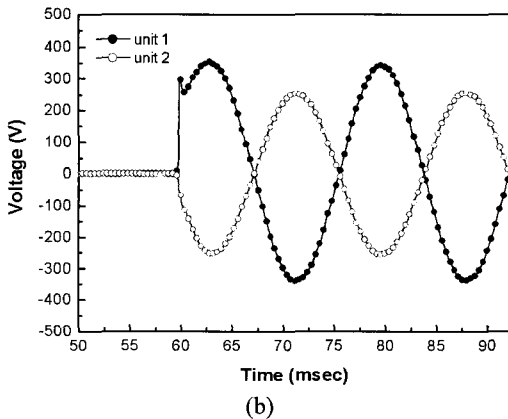
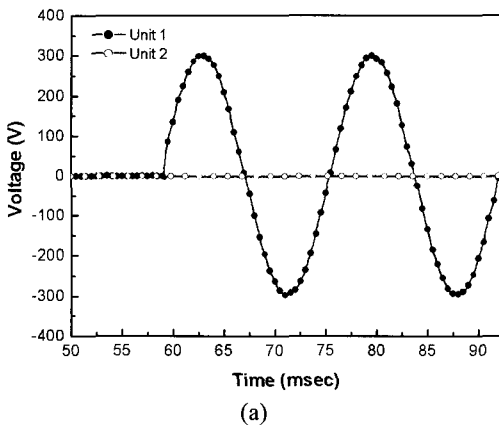


Fig. 6. Voltage drops of two elements connected in series. (a) without magnetic field. (b) with magnetic field.

p-CT의 큰 2차 전류에 의한 자기장의 영향이 있는 Fig. 6 (b)의 경우는 두 한류소자가 동시에

상전도 전이함을 알 수가 있으며, 이것은 솔레노이드 코일을 회로에 직렬 삽입한 경우 결과와 동일함을 알 수가 있었다[1], [2].

IV. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 초전도 저항형 한류기의 전압 등급 향상을 직렬연결시 동시퀀치에 대한 해결 방안을 제시하였으며, 이를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 초전도 저항형 한류기의 단위한류소자 직렬 연결시, 비교적 큰 임계전류 특성 차이를 갖는 한류소자라도 동시퀀치에 자기장이 매우 효과적임을 알 수가 있었다.
- 2) 초전도 저항형 한류기에 직렬로 삽입된 코일방식의 자기장 인가는 전력계통에 매우 큰 임피던스를 제공하여, 임계전류의 저하의 원인이 되므로 이를 해결하기 위해 주회로와 자기결합된 p-CT를 사용하여 주회로에 임피던스 제공 및 임계전류 저하를 최소화에 기여할 것으로 사료된다. 그러나, p-CT에서의 손실문제는 여전히 해결해야 할 문제이다.

Acknowledgments

This research was supported by a grant from Center for Applied Superconductivity Technology of the 21st Century Frontier R&D Program funded by the Ministry of Science and Technology, Republic of Korea.

References

- [1] 박권배, 이방욱, 강종성, 오일성, 최효상, 현옥배, “자기장인가에 따른 YBCO 박막형 한류기의 동시퀀치연구”, 한국초전도·저온공학회논문지, 2 권 1호, pp.84-87, 2002.
- [2] K.B. park, J.S. kang, B.W. Lee et al., “Quench Behavior of Y-Ba-Cu-O Films for Fault Current Limiter under Magnetic Field”, IEEE Trans. Appl. Supercon. Vol. 13, no. 2, 2003.