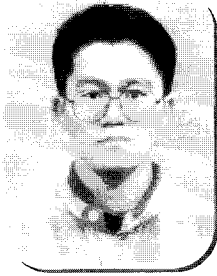
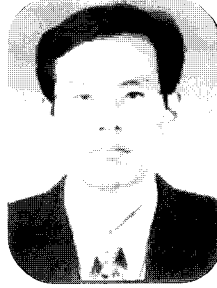


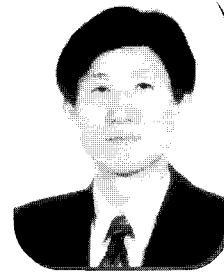
# 고온초전도체를 이용한 대전력응용 — 고온초전도 전류제한기를 중심으로 —



· 임성훈 ·  
전북대  
공업기술연구센터 전임연구원



· 최효상 ·  
조선대  
전기공학과 교수



· 한병성 ·  
전북대  
공과대학장

## 1. 서론

고온초전도체가 발견된 이후 이를 이용하기 위한 노력에 힘입어 개발된 분야는 크게 대전력응용 분야와 소전력응용분야로 나눌 수 있으며 초전도체를 이용한 대전력응용은 보다 저가인 냉매를 사용할 수 있는 고온초전도체가 발견되면서 더욱 박차를 가하게 되었다. 이와 더불어 산업기술 발달에 따른 기존의 전력기기가 갖는 한계를 극복하고 새로운 산업기기의 개발 및 대용량화 요구에 따른 부피, 무게증가의 문제 해결, 기존의 기기가 갖는 환경오염을 줄이고 한계에 도달한 에너지 효율을 보다 높일 수 있는 효율적인 기기개발에 대한 필요성이 고온초전도체를 이용한 대전력응용을 가속화시켜왔다. 선진국의 경우, 일찍부터 초전도체를 이용한 초전도응용과 기술개발에 대한 투자가 이루어져 기술적인 패권을 쥐고 있는 반면, 국내의 경우 이에 대한 연구가 비교적 짧은 연구기간임에도 불구하고 지속적인 관심과 지원에 힘입어 응용분야의 연구인력과 기술을 확보하여 선진국과의 경쟁에서 뒤지지 않은 위치에 올라와 있다. 본 투고에서는 고온초전도체를 이용한 대전력응용 분야 중에서 고온초전도 전류제한기를 중심으

로 필요성, 종류, 특징 그리고 연구동향의 순서로 기술하고자 한다.

## 2. 고온초전도 전류제한기의 필요성

전력수요의 급격한 증가와 더불어 대단위 발전설비의 증가는 전력계통의 복잡화와 계통임피던스 감소와 함께 단락사고로 인한 고장전류의 증가를 낳게 되었다. 이와 같은 현상은 전력선로를 포함한 관련 전력기기 설비에 대한 전기적 및 기계적 충격에 있어 보다 높은 안정성이 요구되고 있으며, 계통에 설치된 기존의 차단기가 차단한계용량에 접근하고 있거나 이미 차단용량을 초과하고 있어서 심각한 보강을 요구할 뿐 아니라, 무엇보다 기존 차단기의 차단내력의 초과를 가져왔으며 이에 대한 대책으로 차단내력이 큰 차단기로의 교체나 연계선로의 분리운전이 시행되고 있는 실정이다. 이에 따라 증가된 단락전류로 인한 계통 보호방안으로 차단용량이 큰 차단기로 교체하는 방안과 사고시 모션분리방안이 시도되고 있으나 차단기 교체와 같은 고장전류 대책은 대용량 차단기 교체에 따른 경제적인 부담이 따르며, 현실적으로도 차단기 구성요소를 포함한 차단기 동작의

기술적인 한계에 부딪히게 된다. 또한 모선분리를 통한 사고전류 저감대책은 인접 전력계통의 과부하, 전압변동, 계통안정도 저하 등의 부작용을 유발하고 있는 실정이다[1]. 표 1은 점차 증대되고 있는 고장전류의 증가를 해결하기 위한 방안과 이에 수반되는 문제점을 보여준다.

표 1에서 보는 것처럼 고임피던스의 전력설비나 직렬리액터와 같은 부가적인 장치를 설치하는 방법이 있지만 정상상태에서 전체시스템에 영향을 미치게 된다. 전력퓨즈를 사용할 경우에는 매사고 때마다 교체해야만 하는 번거로움이 따른다. 최근에는 전류제한 기능을 갖는 회로차단기가 발표되기도 했으나 제한된 범위에서만 동작할 뿐 이상적인 사고전류 제한기로서의 역할에는 어려움이 따른다[2-6]. 표 2는 이상적인 전류제한기로서 요구되는 조건들을 보여준다.

표 1. 고장전류 증가를 해결하기 위한 방안과 문제점.

종 류	이 점	문 제 점
차단기 교체	신뢰도 높음	고가 비용 영 전류에서 차단 최대 100 kA 한계 제한된 수명 선로 및 모선 등 직렬기기 내력 상승
고임피던스 기기 채용		손실 발생 비효율적인 시스템 구성
직렬리액터 설치	구조 간단	전압강하 발생 정상운전시 손실발생 넓은 설치 공간 필요 VAR 보상용 축전지 필요
모선분리 (재배치)	전력밀집지역	시스템 신뢰성 및 유연성 저하 CB 추가설치
퓨즈	간 편	수동교체 손실증가 시스템 효율 저하

표 2. 이상적인 전류제한기가 갖추어야 할 조건.

이상적인 전류제한기
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고속 전류제한</li> <li>• 자동 사고감지, 차단 및 회복</li> <li>• 정상 동작시 계통에 미치는 영향 없음</li> <li>• 부가적인 제어장치나 감지장치를 필요치 않음</li> </ul>

단락전류 증가로 인한 차단기 교체와 이에 따른 비용상승을 포함하여 모선분리에 따른 계통안정도 저하 및 정상운전시 계통에 미치는 영향 등의 문제를 해결할 수 있는 신 개념의 보호기기 개발에 대한 관심이 모아져 왔다. 이와 같은 관심과 함께 점점 증가하고 있는 단락전류를 제한할 수 있는 전류제한장치 개발을 위한 노력에 힘입어 사고전류를 보다 효과적으로 제어 및 제한할 수 있는 방안으로 고온초전도 전류제한기에 대한 기술에 초점을 두게 되었다[7-14]. 고온초전도체를 전류제한기로 이용하는 기술은 그림 1에서 보여주는 것처럼 정상운전시에는 전기저항이 없다가 사고가 발생하는 즉시 고저항 상태로 되는 켄치특성을 이용하는 것으로, 부가적인 제어장치나 감지장치 없이 사고전류를 고속 차단할 수 있을 뿐만 아니라 사고제거 후 자동 복구되는 특징 때문에 초전도체를 이용한 다양한 종류의 전류제한기가 개발되어 왔다[15-27].

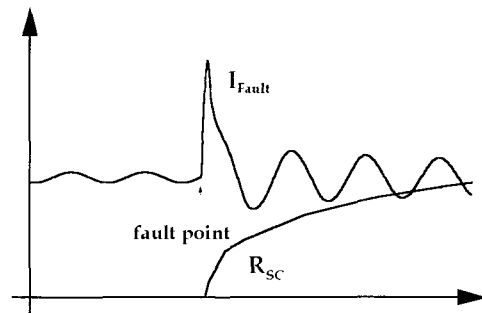


그림 1. 고온초전도 전류제한기의 개념.

### 3. 고온초전도 전류제한기의 종류

지금까지 개발된 고온초전도 전류제한기는 여러 기준에 따라 분류되기도 하지만 일반적으로 켄치여부에 따라 켄치형(Quench Type)과 무켄치형(Non-Quench Type)으로 분류할 수 있다. 켄치형은 정상상태에서는 영 저항(Zero Resistance)를 보이나 사고가 발생되면 초전도체의 상전이를 통해 발생하는 상전도 저항을 이용하여 사고전류를 제한하는 형

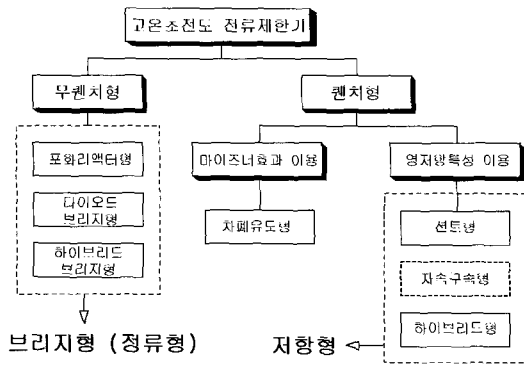


그림 2. 고온초전도 전류제한기의 분류.

태로써 고온초전도체의 대표적인 현상인 영 저항 특성을 이용한 저항형(Resistive Type)과 마이즈너 효과(Meissner Effect)를 이용한 유도형(Inductive Type)으로 나눌 수 있으며 각 형태에 따라 다른 특성과 장단점이 있다(그림 2).

저항형은 구조가 간단하고 소형 경량화할 수 있는 장점이 있으나 사고시 사고전류가 초전도체에 직접 흐르게 되므로 신속한 사고전류제한 동작이 가능하지만 초전도체의 파손우려의 단점이 있다 [15-17]. 특히 박막을 이용할 경우, 켄치발생시 초전도체에 과도한 열발생에 따른 열분산이 필수적이며, 제한 용량 향상을 위한 직병렬 연결시 소자간의 동시켄치를 유도하기 위한 방안이 요구되고 있다[28-35]. 최근에 개발된 자속구속형은 직접적인 사고전류가 고온초전도체에 흘러 임계전류값 초과로 인한 켄치발생을 이용하여 사고전류를 제한한다는 점에서 저항형으로 분류할 수 있으며 고온 초전도 소자단독으로 동작하는 저항형에 비해 통전용량 증대와 동시켄치 유도에 유리한 동작을 수행할 수 있음이 보고된 바 있다[36-37].

유도형은 철심과 초전도 튜브 또는 링으로 구성되며 동작원리는 정상상태에서는 자기적인 차폐 현상으로 강자성체 코어의 투자율보다 작은 공기의 투자율이 적용되기 때문에 낮은 임피던스를 가지지만 사고시 자기 차폐현상이 없어지면서 권선에 자속이 쇄교됨으로써 임피던스가 크게 증가하여 전류를 제한하게 된다. 유도형의 장점은 초전도체에 직접 사고전류가 흐르지 않으므로 초전도

체의 파손우려가 적고 회복시간이 저항형보다 빠른 반면 전류제한용량 증가시 철심사용에 따른 부피증가와 튜브나 링 형태의 초전도체 제작의 어려움이 따른다[18-21]. 이에 반해 무켄치형은 초전도 코일의 인덕턴스를 이용하여 정상운전시 코일에 저장되었던 에너지에 의해 사고시 급격한 전류증가를 억제함으로써 사고전류를 제한하는 형태로 브리지 타입이 있으며 반복동작에 따른 초전도체의 성능저하를 방지할 수 있고 사고제거에 따른 초전도상태로 복귀특성이 필요치 않은 장점으로 고온 초전도체를 이용한 응용분야에 큰 관심의 대상이 되고 있다[22-25]. 무켄치형의 다른 형태인 포화 리액터형은 철심의 포화를 이용한 형태로 정상시에 초전도 권선에 직류 전원을 도입하여 철심에 포화를 발생시켜 낮은 투자율로 인해 낮은 임피던스를 가지지만 사고시에는 역으로 철심의 포화점 이하에서 동작하게 되어 높은 투자율이 적용되어 사고시 임피던스가 상승하게 됨으로써 사고전류를 제한하게 된다[26-27].

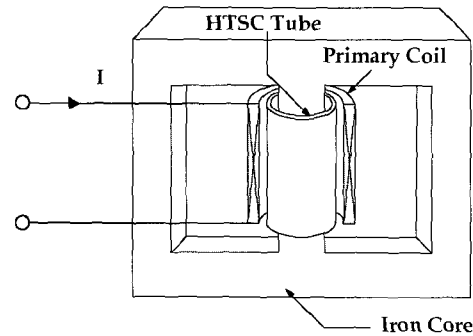


그림 3. 차폐유도형 고온초전도 전류제한기 구조.

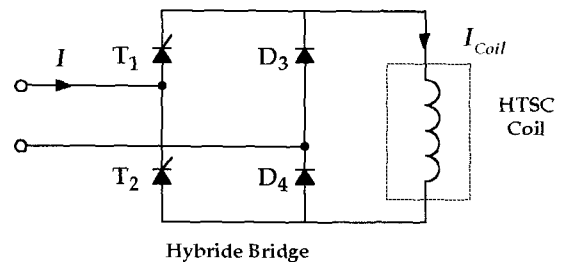


그림 4. 브리지 타입 고온초전도 전류제한기 구조.

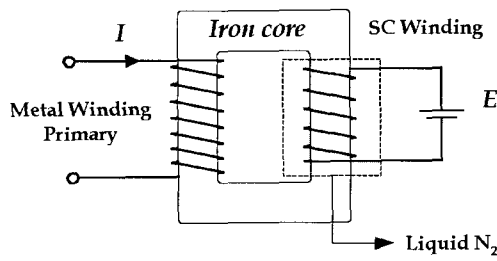


그림 5. 포화 리액터형 고온초전도 전류제한기의 구조.

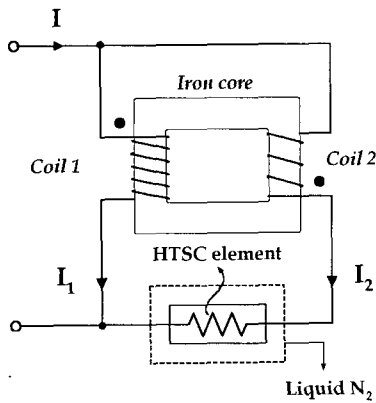


그림 6. 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 구조.

#### 4. 고온초전도 전류제한기의 특징

표 1에서 기술한 바와 같이 기존의 고장전류저감을 위한 방안들은 그에 따른 선결과제와 해결해야 할 문제점이 뒤따르게 된다. 이에 반해 고온초전도 전류제한기는 기존의 방안들이 안고 있는 문제들인 차단기 교체와 이에 따른 비용 상승, 모션분리에 따른 계통 안정도 저하 및 정상운전시 계통에 주는 영향 등의 문제들을 해결할 수 있는 신 개념의 보호 기기라 할 수 있다. 또한 현재까지 알려진 다른 보호 장치를 이용하여 구현할 수 없는 이상적인 전류제한기 특성을 가지고 있다. 이러한 이상적인 고온초전도체의 전류제한 특성은 사고시 동작을 위한 외부의 제어장치나 사고 감지장치 없이 동작한다는 점과 수 msec 이내에 사고전류를

제한하는 신속한 동작특성을 들 수 있는데, 이러한 점 때문에 기존의 회로차단기와는 비교할 수 없는 빠른 시간에 계통에 관련된 전력기기를 보호함으로써 기기가 견디어야 할 문턱 전류값을 현저히 감소시켜 주게 된다. 기존의 보호 장치를 보완하여 설치할 경우, 기존 차단기의 용량 증대효과, 전력기기 기준 완화 및 계통의 신뢰도 향상을 도모할 수 있게 된다. 이외에도 사고제거 후 빠른 응답과 자동복귀가 가능하다는 점, 정상운전시 제로 저항에 의한 저 손실, 과부하 등에 영향이 없으며, 고임계전류 밀도에 의한 기기의 소형화 및 환경친화적인 점 등이 고온초전도 전류제한기가 가지고 있는 장점이라 할 수 있다[8-14].

더불어 고온초전도 전류제한기는 냉매로서 액체질소를 사용하기 때문에 기존의 저온초전도체에 비해 경제성이 훨씬 높을 뿐 아니라 일반 금속계 초전도체보다 비저항값과 상전도 전파속도가 크기 때문에 고온초전도체를 이용한 다른 응용기기보다 상용화시 유리한 분야이다[12-14].

#### 5. 고온초전도 전류제한기의 실계통 적용을 위한 연구동향

지금까지 개발된 고온초전도 전류제한기를 실계통에 적용하기 위해서는 고임계특성을 갖는 고온초전도체의 제조기술이 먼저 선행되어야 한다. 선진국의 경우, 저항형 전류제한기에서 주로 이용되고 있는 박막의 경우, 실용화할 수 있을 만큼 고임계특성을 갖는 대면적의 박막제조기술이 확립되어 있고 벌크 또한 용융공정을 통해 고임계특성을 얻을 수 있음을 보고하고 있다[15-16]. 유도형의 경우, 원통 형태나 링 형태의 초전도체를 필요로 하기 때문에 별도의 제조기술을 필요로 한다. 이에 대한 연구는 저항형의 경우보다 원통형이나 링형의 초전도체 제작에 난점이 있어 별다른 진전을 보이지 못하고 있다. 또한 켄치를 이용하지 않는 정류형의 경우에도 대전류 수용을 위한 높은 임계특성을 갖는 고온초전도 선재제작이 선행되어야 하는데 다른 제조기술보다 현저한 제작경비를 요구하며 고전압 및 대전류에 대한 대책 등이 해결

해야 할 문제점으로 남아 있다. 그러나 국내의 경우 고온초전도 전류제한기 개발을 위한 재료의 개발이 이루어지지 않아 이의 수입의존에 따른 가격상승을 감수하고 있는 실정이다. 전력연구원의 경우는 국토면적이 협소하고 전력밀도가 높은 국내의 전력상황을 고려하여 용량증대시 적층구조를 통한 밀집화로 소형화가 가능한 YBCO 고온초전도 박막을 이용한 저항형을 한국형에 적합한 모델로 선정한 바 있다. 고온초전도 박막을 이용한 저항형을 향후 2010년까지 154kV급 고온초전도 전류제한기에 대한 실증시험을 목표로 현재는 6.6kV급 고온초전도 전류제한기 개발을 진행하고 있다.

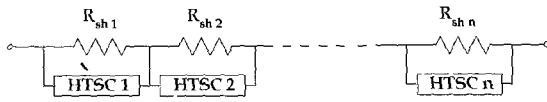


그림 7. 션트(Shunt)저항을 이용한 동시켄치 유도방안.

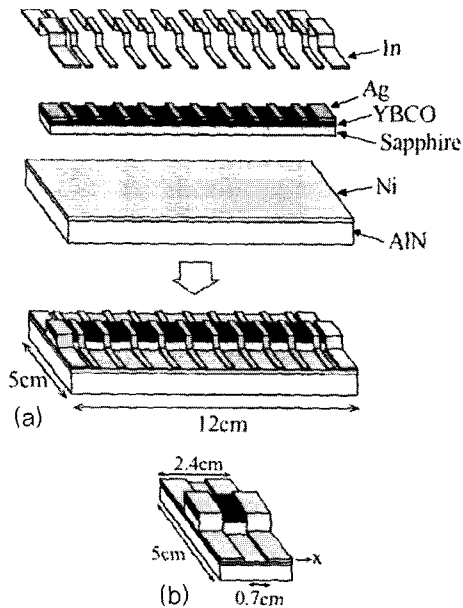


그림 8. 금속성 물질을 코팅하거나 금속성물질이 코팅된 기판을 이용한 동시켄치 유도방안.

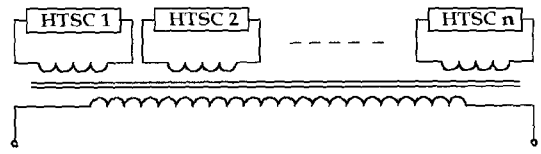
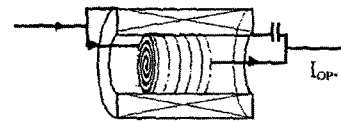
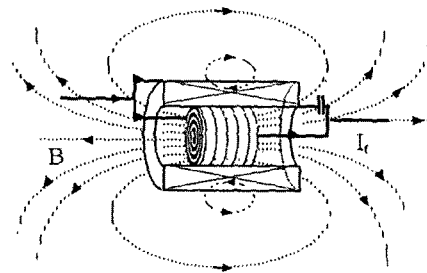


그림 9. 변압기를 이용한 동시켄치 유도방안.



a) 사고전



b) 사고시

그림 10. 자계 코일을 이용한 동시켄치 유도방안.

저항형 고온초전도 전류제한기의 용량증대를 위해서는 단위전류 제한소자의 직?병렬연결이 필수적이다. 특히 직렬연결시 개개의 단위전류 제한소자의 열 발생에 따른 열 분포를 전체소자에 분산시키기 위한 동시켄치 유도문제가 해결해야 할 과제이다. 이의 해결방안으로 켄치지연이 필요한데 션트저항을 이용하는 방법, 변압기를 이용하는 방법, 병렬단위로 소자를 이용하는 방법 그리고 자기장 또는 히터를 이용하는 방법 등이 보고된 바 있다 [28-35].

첫 번째 션트저항을 이용하는 방법은 개개의 단위전류 제한소자에 맞는 적절한 션트저항 선정과 이의 사용에 따른 부피증가의 문제점이 발생된다 [28]. 최근에는 적절한 션트저항을 선정할 경우, 동일한 션트저항을 개개의 단위소자에 적용하는 방안이 보고 된 바 있다[33]. 션트 저항을 이용하는 방법과 유사하게 고온초전도체 위에 금속성 물질

을 코팅하거나 금속성 물질이 도포된 기판과 고온 초전도 박막을 병렬로 연결함으로써 사고시 고온 초전도체내에 발생하는 국부적인 열을 전체로 분산시키는 방안이 제시되기도 하였다[31, 34-35]. 두 번째 방법은 변압기 2차 측에 단위전류 제한소자를 병렬로 개별적으로 연결하는 방법으로 병렬 연결된 단위 개별소자들이 자기적으로 결합되어 있어 직렬 연결되는 효과를 얻게 된다[34]. 그러나 변압기 사용에 따른 부피 및 무게 증가와 변압기 손실이 발생되어 고온초전도 변압기 사용이 요구된다. 세번째 방법으로 자기장 또는 히터를 이용하여 사고시 자계 인가코일 또는 히터 코일에 전류가 흐르도록 함으로서 전체전류 제한소자에 자계 인가 또는 온도상승을 통해 동시퀀치를 유도하는 방법이다. 그러나 코일에 사고전류가 직접 흐르게 되고 정상운전시 코일로 인한 전압강하의 문제가 발생된다[29-30].

## 6. 결론

본 투고에서는 고온초전도체를 이용한 대전력 응용분야 중에서 고온초전도체를 이용한 전류제한기 개발의 필요성, 특징, 종류 및 연구동향에 대하여 기술하였다. 본문에서 언급한 바와 같이 국내의 고온초전도 전류제한기 개발은 실계통 적용을 위해 노력하고 있으나 단위소자의 수입의존성에 따른 가격상승과 용량증대시 직·병렬 연결된 단위소자들의 동시퀀치 유도방안들이 해결해야 할 과제이다. 이의 해결방안으로 전압, 전류등급 증대 및 임계특성 한계를 극복할 수 있는 새로운 고온초전도 전류제한기 토폴로지 개발이 요구되며 고온초전도 전류제한기의 분야에서 선진국과의 경쟁에서 앞서기 위해서는 고온초전도체 제조를 위한 연구와 함께 고온초전도체만이 갖는 장점을 극대화할 수 있는 전력전자기술을 활용한 방안이 강구되어야 될 것으로 예상된다.

## 참고 문헌

- [1] 김준환, 이강완, “전력계통 고장전류 증대와 대응방안”, 전기저널, Vol. 1, p. 1, 1998.
- [2] 현옥배, 황시돌, 김혜림, 최효상, “초전도 사고 전류 제한기술개발 보고서”, 한국 전력 공사 전력 연구원(KEPRI), Vol. 1, p. 1, 2002.
- [3] C. A. Falcone, J. E. Beehler, W. E. Mekolites, and J. Grazen. “Current limiting device-a utility's need?”, *IEEE Trans. on PAS*, Vol. 93, p. 1768, 1974.
- [4] E. Leung, “Surge protection for power grids”, *IEEE Spectrum*, Vol. 34, p. 26, 1997.
- [5] R. K. Smith, P. G. Slade, M. Sarkozi, E. J. Stacey, J. J. Bonk, and M. Mehta, “Solid state distribution current limiter and circuit breaker: application requirements and control strategies”, *IEEE Trans. on Power Del.*, Vol. 8, No. 3, p. 1155, 1993.
- [6] C. W. Brice, R. A. Dougal, and J. L. Hudgins, “Review of technologies for current-limiting low-voltage circuit breakers”, *IEEE Trans. on Indus. Appl.*, Vol. 32, No. 5, p. 1005, 1996.
- [7] 임성훈, 최명호, 이현수, 한병성, “차폐유도형 고온초전도 전류제한기의 설계 및 특성 시뮬레이션”, *전기학회논문지*, Vol. 48C, No. 3, p. 173, 1999.
- [8] Willi Paul and Makan Chen, “Superconducting control for surge currents”, *IEEE Spectrum*, Vol. 35, No. 5, p. 49, 1998.
- [9] Thuries E., Pham V. D., Laumond Y., Verhaege T., Fevrier A., Collet M., Bekhaled M., “Towards the superconducting fault current limiter”, *IEEE Trans. on Power Del.*, Vol. 6, No. 2, p. 801, 1991.
- [10] 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, p. 900, 2002.
- [11] M. Noe and B. R. Oswald, “Technical and economical benefits of superconducting fault

- current limiters in power systems", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 9, No. 2, p. 1347, 1996.
- [12] Thomas L. Mann, John C. Zeigler, and Thomas R. Young, "Opportunities for superconductivity in the electric power industry", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 7, No. 2, p. 239, 1997.
- [13] Y. J. Tang, Y. Yokomizu, N. Hayakawa, T. Matsumura, H. Okubo, and Y. Kito, "Current limiting level-time characteristic of a superconducting fault current limiter", *Cryogenics*, Vol. 35, No. 7, p. 441, 1995.
- [14] W. T. Norris and A. Power, "Fault current limiters using superconductors", *Cryogenics*, Vol. 37, No. 10, p. 657, 1997.
- [15] B. Gronoll, G. Ries, W. Schmidt, H.-P. Kraemer, B. Seebacher, B. Utz, R. Nies, H.-W. Neumueller, E. Baltzer, and S. Fischer, "Resistive fault current limiters with YBCO films-100kVA functional model", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 9, No. 2, p. 656, 1999.
- [16] E. Floch, D. Buzon, D. Isfort, L. Porcar, X. Chaud, P. Tixador, D. Bourgault, and R. Tournier, "Current limitation based on bulk YBaCuO meanders", *Cryogenics*, Vol. 41, No. 8, p. 531, 2001.
- [17] 최효상, 현옥배, 김혜림, 황시돌, 김상준, 문승현, 한병성, "YBCO 박막의 저항형 초전도 한류기에 대한 동작 특성", *전기학회논문지*, 48B권, 10호, p. 537, 1999.
- [18] 이찬주, 이승제, 강형구, 배덕권, 안민철, 현옥배, 고태국, "30kVA급 유도형 고온초전도 한류기의 특성연구", *한국초전도저온공학회논문지*, 4권, 1호, p. 110, 2002.
- [19] Min seok Joo and Tae Kuk Ko, "The analysis of the fault currents according to core saturation and fault angles in an inductive high-Tc superconducting fault current limiter", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 6, No. 2, p. 62, 1996.
- [20] 이재, 임성훈, 강형곤, 고석철, 한병성, "자기 차폐형 전류제한기의 전류제한 특성해석연구", *Progress in Superconductivity*, Vol. 3, No. 2, p. 235, 2002.
- [21] Chanjoo Lee, Seungje Lee, Ok-Bae Hyun, and Tae Kuk Ko, "Design and characteristic analysis of a rod type high-Tc superconducting fault current limiter through electromagnetic analysis", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 11, No. 1, p. 2102, 2001.
- [22] Tsutomu Hoshino, Khosru Mohammad Salim, Massanori Nishikawa, Itsuya Muta, and Taketsune Nakamura, "Proposal of saturated DC reactor type superconducting fault current limiter(SFCL)", *Cryogenics*, Vol. 41, No. 7, p. 469, 2001.
- [23] Toshifumi Ise, Nguyen Hong Nguyen, and Sadatoshi Kumagai, "Reduction of inductance and current rating of the coil and enhancement of fault current limiting capability of a rectifier type superconducting fault current limiter", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 11, No. 1, p. 1932, 2001.
- [24] M. Yamaguchi, S. Fukui, T. Satoh, Y. Kaburaki, T. Horikawa, and T. Honjo, "Performance of DC reactor type fault current limiter using high temperature superconducting coil", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 9, No. 2, p. 940, 1999.
- [25] K. Yokoyama, T. Sato, T. Nomura, S. Fukui, and M. Yamaguchi, "Application of single DC reactor type fault current limiter as a power source", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 11, No. 1, p. 2106, 2001.
- [26] Tsutomu Hoshino, et al., "Design of 6.6 kV, 100 A saturated dc reactor type superconducting fault current limiter", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 13, No. 2, p. 2012, 2003.
- [27] Seungje Lee, et al., "Design and test of modified bridge type superconducting fault current limiter with reverse magnetized core", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 13, No. 2, p. 2016, 2003.
- [28] 최효상, 현옥배, 김혜림, 김상준, 한병성, "분로저항이 초전도 한류기의 류제한효과에 미치는 영향", *한국초전도저온공학회논문지*, 1권, 2호, p. 49, 1999.

[29] 박권배, 이방욱, 강종성, 오일성, 최효상, 현옥배, “자기장인가에 따른 YBCO 박막형 한류기의 동시켄치 연구”, 한국초전도저온공학회 논문지, 4권, 1호, p. 84, 2002.

[30] K. Tekletsadik, M. P. Saravolac, and A. Rowley, “Development of a 7.5 MVA superconducting fault current limiter”, *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 9, No. 2, p. 672, 1999.

[31] D. Ito, C. Yang, O. Miura, M. Morita, and T. Tokunaga, “kA class resistive fault current limiting device development using QMG HTC bulk superconductor”, *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 9, No. 2, p. 1312, 1999.

[32] Toshitada Onishi, Masahiro Kawasumi, Ken-ichi Sasaki, and Ryo Akimoto, “An experimental study on a fast self-acting magnetic shield type superconducting fault current limiter”, *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 12, No. 1, p. 868, 2002.

[33] Ok-Bae Hyun, Sang-Do Cha, Hye-Rim Kim, Hyo-Sang Choi, and Si-Dol Hwang, “Shunt-assisted simultaneous quench of resistive SFCL components in series”, *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 13, No. 2, p. 2060, 2003.

[34] Hyo-Sang Choi, Ok-Bae Hyun, Hye-Rim Kim, and Kwon-Bae Park, “Switching properties of a hybrid type superconducting fault current limiter using YBCO stripes”, *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 14, No. 3, p. 1833, 2002.

[34] Yuki Kudo, Hiroshi Kubota, Hisashi Yoshino, and Yoshihiro Wachi, “Improvement of maximum working voltage of resistive fault current limiter using YBCO thin film and metal thin film”, *Physica C*, Vol. 372-376, p. 1164, 2002.

[35] K. Shimohata, S. Yokoyama, T. Inaguchi, S. Nakamura, and Y. Ozawa, “Design of a large current-type fault current limiter with YBCO films”, *Physica C*, Vol. 372-376, p. 1643, 2002.

[36] T. Matsumura, T. Uchii, and Y. Yokomizu, “Development of flux-lock type fault current limiter with high-Tc superconducting element”,

*IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 7, No. 2, p. 1001, 1997.

[37] Sung-Hun Lim, Hyeong-Gon Kang, Hyo-Sang Choi, Seong-Ryong Lee, and Byoung-Sung Han, “Current limiting characteristics of flux-lock type high-Tc superconducting fault current limiter with control circuit for magnetic field”, *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 13, No. 2, p. 2056, 2003.

· 저 · 자 · 약 · 력 · . . . . .

성명 : 임 성 훈

❖ 학 력

- 1996년 전북대 전기공학과 공학사
- 1998년 전북대 대학원 전기공학과 공학석사
- 2003년 전북대 대학원 전기공학과 공학박사

❖ 경 력

- 2003년 9월 - 현재 전북대 공업기술연구센터 전임연구원

성명 : 최 효 상

❖ 학 력

- 1989년 전북대 전기공학과 공학사
- 1994년 전북대 대학원 전기공학과 공학석사
- 2000년 전북대 대학원 전기공학과 공학박사

❖ 경 력

- 2003년 한전 전력연구원 선임연구원
- 2003년 - 현재 조선대 전기공학과 교수

성명 : 한 병 성

❖ 학 력

- 1981년 전북대 대학원 전기공학과 공학석사
- 1988년 프랑스 루이파스퇴르 대학 공학박사

❖ 경 력

- 1988년 - 1989년 CNRS(프랑스국립과학연구소) 초빙연구원
- 1989년 - 1989년 UNESCO 재료연구소 연구원
- 1990년 - 1990년 일본 동경공업대학 전기전자공학과 객원교수
- 1991년 - 1991년 미국 IBM, T. J. Watson 연구소 연구원
- 2002년 - 현재 전북대 공대학장