

초전도전류제한기의 초전도 전력시스템에서의 운전방안

홍 원 표

대전산업대학교 실비공학과

The Operating Method of Superconducting Fault Current Limiter for Total Superconducting Power System

Won Pyo Hong

Dept. of Plant & Architectual Facility Eng.,
Teajon National University of Technology

Abstract

Design & operation of power system for meeting increase of electric power demands is becoming more difficult and complex. One of reasons is increase of fault current. As one of the most effective methods for suppressing the fault currents, installation of SFCL are expected. An image of future hybrid & total SC power system which have introduced SC generator cable transformer, fault current limiter, SMES & shunt reactor, etc. are presented. In the SC power system, it is pointed that a SFCL should play an important part of quenching current level coordination to prevent the other SC devices from quench.

1. 序論

정보화 사회 진전으로 대도시지역의 전기에너지의 수요의 양적이고 질적인 향상 요구는 급우 예도 높아질 것으로 예상된다. 장래 전력 시스템은 대용량 고신뢰도의 전력에너지 공급을 수행하기 위해서는 중대기술을 뛰어넘는 획기적인 속성을 가진 송전기술의 개발이 요망된다. 그 하나의 방안으로 초전도 전력기기에 의한 송전방식을 고려할 수 있다. 이는 현재의 고전압에 의한 송전 용량한계를 대전류에 의해 타파하는 것이며 이와 같은 초전도 전력 시스템은 전력수송의 대용량화가 가능하지만 대전류화가 필수적으로 동반하기 때문에 고장시 단락 전류 억제는 계통구성시 매우 중요한 요소가 되며 이를 적절히 억제하지 않으면 초전도체(고온, 저온)의 전력기기의 실용화에 어려움을 초래할 수 있다. 현재 우리나라의 전력시스템도 환상으로 대부분 구성되어 있어 일부 경인, 부산지역에서 고장전류가 최상위 차단전류인 50KA를 상회하고 있고 기존의 차단전류 31.5KA인 차단기를 교체해야할 시점에 있으며 앞으로 이 단락전류 억제를 위한 다각적인 연구가 진행되고 있다. 초전도전류제한기(Superconducting Fault Current Limiter ; SFCL) 교류초전도선체의 개발에 힘입어 단락전류의 효과적으로 억제할 수 있는 새로운 형태 전력기기로 현재 수십KA 정도의 기기가 개발되고 있다. SFCL은 계통사고시 고장전류에 의한 초전도선을 상전도화시켜 이 초전도체와 병렬 접속선 리액터 또는 저항 에 고장전류를 轉流시켜 고장전류를 억제하는 기기이다. SFCL의 시동은 초전도체의 S/N전이 현상을 이용하기 때문에 동작시간이 매우 짧고 또한 정상운전시 임피던스(저

항성, 유도성)가 매우 작고, 고장시에 高 임피던스를 발생시켜 고장전류를 억제함으로써 차단기의 책임을 경감할 수 있는 장치로 장래 전력계통에 새로운 기능을 가진 장치로 고려될 수 있다.

SFCL은 전력계통 도입시 차단기의 차단용량을 초과하는 사고에 있어서는 고장전류를 저감시켜 단락용량 대책을 효과적으로 수립할 수 있고 보호 대상기의 전류치를 지감시켜 경제적인 설계를 가능하게하며 고장전류를 제한시켜 유도문제를 완화하고 최종적으로 계통안정도 향상을 도모하는 등 공급신뢰도 향상에 기여할 수 있다.

또한 초전도 전력시스템의 구성시 이 SFCL의 역할은 초전도 발전기, 변압기, 초전도 케이블 등에 적용하여 단락 전류절감은 물론 퀘칭(Quench)전류레벨을 기기의 초전도체, 기기자체 및 전력계통 관점에서 어떻게 선정하느냐가 전체 초전도 전력시스템의 계획과 운전에 매우 중요한 역할을 하게 된다.

따라서 본고에서는 SFCL의 전력계통에서의 적용 개소의 방안을 개념적으로 분석하여 제시하고 그에 따른 특성과 문제점을 고찰하여 SFCL실용화에 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

2. 超電導 電力시스템의 運轉상의 特徵

초전도 전력기기의 기존 전력시스템에서의 적용여부는 이 기기들의 실용화 가능성 및 전력계통의 필요성등에 따라 2000년대초 기기별로 적용, 혼용 운전 가능성이 있지만 그 특성상 현재 전력 시스템에서의 기기의 자체 특성이 매우 다르기 때문에 보호 및 경제성 측면에서 많은 문제점이 있을 것으로 예상된다.

따라서 대도시 수오지에 상대적 저전압 대전류 시스템인 초전도 발전기, 변압기, SFCL 및 초전도 케이블로 이루어진 전 초전도 전력시스템을 구성 운전될 가능성이 높다. 따라서 대용량, 고신뢰도가 있는 전력공급시스템은 중대 시스템의 고전압에 의한 송전용량한계를 대전류화에 의하여 극복된다고 볼 때 새로운 환경하에 운영 기준을 설정하여 연구가 진행될 필요가 있다.

이 새로운 환경은 운전상 중요한 보호 및 계통 운영 기술이 어떻게 전류보호협조를 할 것인가 하는 새로운 개념의 퀘칭을 전제로한 계통계획, 운영, 보호 협조등이 이루어져야한다.

여기에 근간을 이루는 기기는 SFCL 각 기기의 정격전류와 고장시 최대전류와의 사이에 적정한 전류협조가 존재되어야만 초전도전력시스템의 효과를 발휘할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 초전도 전력시스템의 기기는 대응량(기존 시스템 10배 이상 정도)이기 때문에 기존 시스템에서 절연협조의 근간이 되는 뇌세서가 침입하는 기회를 의도적으로 무시할 수 있도록 설치하고 현 전류제한을 주제로한 전류변화의 완화하는 차단 방식을 가진 초전도 개폐장치를 설치하여 개폐서에 대한 절연도 고려할 필요가 없게되어 서지프리 환경을 달성할 수 있다.

이러한 환경하에서는 계통전압의 저레벨 절연구성도 가능하다. 한편 서지프리 환경의 초전도 전력 시스템의 경우 시스템내의 뇌침입이 없게 되고, 개폐 써지도 발생하지 않을 것을 목표로 하지만 단락 사고와 변압기 여자돌입등에 의해 과전류가 흐를 가능성이 남아있다. 초전도 송전시스템에서 권치전류치를 초과하는 전류가 흐르면 송전이 불가능하다. 따라서 전류순시치가 각 기기의 권치전류치를 초과하기 전에 속히 과전류의 억제하지 않으면 안된다. 이의 보호기로서 SFCL을 선로에 직렬로 접속하여 과전류를 소정의 레벨로 제한하여 변압기, 케이블등 피보호기의 초전도선의 권치를 방지하면 된다. 이때 문제가 되는 것은 초전도 선로와 초전도 전류제한기의 전류제한 개시레벨과의 상호관계의 설정이다. 초전도 전력시스템을 권치로부터 보호하기 위해서는 각 전류레벨간의 대소관계를 설정하여 다양한 조건에서 검토하여 운전하여야 한다 그 개념적인 크기와 협조관계가 그림1에 나타났다.

3. 초전도 전류제한기 도입장소 및 그 효과분석

초전도전류 제한기는 그림2에서 보는 바와 같이 대표적인 구조는 정상상태에서는 트리거 코일로 임피던스에 의한 전압강하 없이 전류가 흐르다가 사고시 트리거 코일에 사고전류로 권치가 발생, 고 임피던스로 전이하여 트리거 코일에 병렬로 연결된 코일 (또는 저항)으로 고장전류를 억제하는 것이다. 또한 리미트 코일(저항)은 사고시 트리거 양단전압이 급격히 상승하는 것도 억제할 수 있다. 이 리미트 소자가 저항인 것을 저항형 SFCL, 코일이면 유도형 SFCL라 한다. 이러한 SFCL의 전력계통 도입효과는 초전도 시스템의 단락전류 억제, 차단기의 차단용량 저감, 사고시 전초전도발전기의 가속억제, 및 계통안정도향상등으로 요약할 수 있으며 초기에 기존 전력시스템과 혼용운전이 이루어 질 하이브리드 시스템과 그후 전 초전도 시스템으로 구성될 것이라는 2가지 경우를 상정하여 초전도 SFCL과 각 기기와의 전류레벨 및 각 기기의 봉전전류와 고장시 최대전류 협조관계를 개념적으로 다음과 같이 분석할 수 있다.

3.1 하이브리드시스템과 전 초전도시스템에서의 역할

그림3은 가까운 장래에 초전도 전력 시스템과 기존시스템이 어떻게 운전이 가능한가를 보여주는 하이브리드 전력시스템을 개념적으로 나타낸 것이다.

1) 다른 회로정수를 가진 2시스템은 수전단에서 연결 시켜야하며 초전도 케이블은 BI-HTS 테이프로 구성된 형태이고 나머지 초전도 기기는 NbTi AC초전도 선재로 제작된 기기들이다. 여기에 사용될 SFCL은 고온초전도기술 진보 여하에 따라서 HTS로 제작되어 사용할 수도 있다. 특히 송전단에서의 연결운전하는 경우에는 초전도발전기와 기존발전기사이의 펄스가 흐르기 때문에 펄류보상장치가 필요하고 또한 병렬 운전중에 계통사고등의 고장에 의하여 계폐로가 행해 지는 경우에는 초전도 발전기는 한계송전전력이 크기 때문에 문제가 없지만 기존 발전기는 탈조로 이어질 가능성도 검토 되어야 한다.

2) 초전도 저중케이블 시스템은 뇌서지에 노출되지 않도록 설치, 서지프리 시스템을 구축해야 하며, 따라서 BIL은 대폭 줄일수 있어 케이블과 관련기기의 크기를 신뢰성을 확보 하면서 줄일수 있다.

3) 초전도 발전기는 탭퍼전선이 없는 전초전도 발전기를 선택하여 계자권선형 SC발전기보다 손실을 저감하고 구조를 간략화 시킨다. 이 때 고장전류를 억제하고 발전기의 안정도를 향상시키기 위하여 SFCL을 직렬로 연결 운전하거나 발전기 단자에 안정화용 SMES를 설치 운전한다.

4) SC케이블의 충전용량은 (154kV, 100MVA, 100km)는 약 300MVA로 추정되며(공급전력의 1/3)이는 수전단측에 그림 4와 같이 공심 단권변압기(Auto Tr)를 설치하여 발생되는 여자전류를 무효전력원으로 사용할 수 있다. 또한 계통상태에 따라서 초전도리액터를 케이블 양단에 설치하여 운영할수 있다. 초전도 전력시스템 운용시 공심 SCTr설치는 경제성측면에서도 매우 중요하다.

5) 기존시스템에서 차단기의 단락용량을 초과하는 경우에는 이를 효과적으로 억제하기 위하여 SFCL을 설치 운영할 수 있다. 또한 수전단측의 버스접속라인에 SFCL을 설치 최대고장전류를 1.5PU보다 작게 제한한다.

3.2 전 초전도시스템

3.1에서 설명한 하이브리드시스템의 운전경험을 통하여 운전기술을 확립한후 신뢰성이 실증된후 발전실비에서 변전설비에 이르는 전체의 기기를 초전도화하는 초전도전력시스템을 대도시 전력공급을 상정하여 개념적으로 구성한 모델이 그림5이며 교류방식의 전초전도 시스템의 상세한모델은 그림6에 나타났다.

초전도발전기는 전초전도 발전기를 도입하여 도시근교 대규모발전소로부터 SFCL과 66kV 또는 154kV SC 케이블로 대도시 근교, 외곽변전소까지 전력을 공급할 수 있다. 권원에서 부하평균화용 MES까지는 교류방식과 직류방식도입을 검토할 수 있다. 교류방식에 있어서 전초전도발전기 승압용 SCTr과 SFCL 그리고 154 또는 345kV급 고온 초전도케이블이나 기존의 가공송전선으로 도시근교 변전소(345kV/66kV 또는 154kV)까지 전력수송을 상정할수 있고 도심지는 66kV급 초전도 케이블을 설치하고 케이블 양단에 고장전류 억제를 위하여 SFCL과 무효전력 보상을 위하여 SC리액터를 설치한다. 2차 수전단변전소에 변동부하보상용 SMES를 설치하여 계통안정도 향상에 기여한다. 열설계의 합리적인 견지에서 차단기도 저온동작이 되도록 선정한다. 이 시스템은 기존 상전도시스템과 비교할때 50% 손실을 저감할 수 있다.

1) 정상운용방법

초전도 케이블은 충전전류가 정격전류에 접하는 비율은 길이 100km(66kV/GW급)에서도 1%이하로 되지만 초전도송전에서는 상대적으로 송전길이가 증가되어 상시전압유지 및 무효전력제어를 위하여 조상설비를 선로중간에 적정 배치하여 운전하는 것이 중요하다. 이를 위하여 SC리액터나 수전단에 공심 SCTr을 설치하여 무효전력원으로 활용한다. 대전류송전에 문제가되는 것은 수요지의 전력분배이다. 현재의 변압기를 용량한계는 수송계하므로 부터 정하여져 단상 500-1000MVA로 5GW전력을 한 변전소로부터 분배 하려면 변압기 12대가 필요하다. 초전도 케이블 계통에서는 수전단측에 대규모용량의 SCTr을 설치하고 수전단측에는 변압기를 사용하지않고 직접 개폐소로 보내 개폐기조작으로 부하를 분담하는 방식을 고려할 수 있다. 현재 개발되고 있는 직렬기기 및 '모션의 정격전류는 12KA로 SC케이블의 30-50KA급 대전류를 잘 처리 하려면 전류협조와 보호방식을 포함한 충분한 검토가 필요하다.

2) SFCL과 SC케이블의 과부하 내량

케이블의 과부하내량은 냉각시스템의 능력에의하여 결정된다. 약 20-50%과부하내량을 높여 운전할수 있다. 그러나 SC케이블은 전류가 증대함에 따라 권치까지 발생할수 있기

때문에 과부하내량을 결정하는때는 초전도체의 안정성 및 SFCL과 협조하여 선정된 동작점선정이 중요하다.

4. 결론

본 논문은 장차 운전될 초전도전력시스템을 상정하여 초전도전류제한기의 운전방안에 대하여 개념적으로 검토하였다. 초기 적용시 기존시스템과 초전도시스템이 혼용된 하이브리드 시스템을 제한하여 SFCL을 정점으로한 전류제한협조방안과 운전특성을 분석하였으며 초전도기기의 모델과 특성등도 제안하였다. 또한 이 시스템의 운전경험을 토대로 전초전도 시스템의 운전방안도 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 초전도전류제한기의 켜치전류레벨은 선정은 초전도 시스템의 구성과 신뢰성 운전에 매우 중요하다.

2) 초전도 케이블운전에서 무효전력 보상을 위하여 SC리액터 나 수전단측에 공심(Air-Core) 초전도변압기의 설치가 필요하다. 이때 송전단측의 송입용변압기는 일반변압기와 같은 형태이다.

4) SFCL은 발전시스템에서 경제성과 신뢰성을 향상시키기 위하여 탭퍼전선을 가지지 않은 전초전도 발전기의 단락전류 억제와 가속방지에 필요하다.

5) SFCL의 전류제한선정에 있어서 변압기의 돌입전류를 제한하면 그 레벨의 여유를 증가시킬수 있다. 따라서 변압기의 돌입전류를 제한하기위하여 초전도변압기의 사용이 매우 중요하다.

SFCL은 단락전류억제, 차단기단락용량의저감, 계통의안정도 향상 및 초전도기기의 전류용량저감등 대전류 시스템인 초전도전력시스템의 운전과 보호관점에서 이 켜치전류레벨을 적절하게 선정하는 것은 기존 시스템의 절연레벨을 선정하는 것 못지않게 중요하다. 따라서 다양한 조건에서 운전이 가능하고 신뢰성 있는 SFCL의 개발이 우선 전제되어야 한다. 또한 교류초전도 시스템에서 사용이가능한 고온 초전도 SFCL의 개발도 초전도 전력시스템의 조기 구성에 중요 한 요소이다.

Reference

- 1) " 초전도 전력기술 개발 기본계획", 전력연구원 Report(KEPRI-95L45), 1995 11.
- 2) T. Verhaege, et al, "Progress on Superconducting Current Limitation Project for The French Electrical Grid", IEEE Trans. On Magnetics, Vol. 30, No. 4, July 1994.
- 3) T. Hara, et al., " Development of A New 6.6kV/1500A Class Superconducting Fault Limiter for Electric Power Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, NO. 1, Jan. 1993.
- 4) S. Sekine, et al., " On Fault Current Limiting & Specification of Superconducting Fault Current Limiters", IEEJ Trans., Vol.114-B, No. 9, pp.907-914,1994.
- 5) Technoba, " 超電導電力應用技術開發Total System等の研究", 1994年 New Sunshine計劃 報告書, 1995.
- 6) Y.J. Tang, et al., " Quenching Current Level Coordination in Superconducting Power Transmission System", IEEJ Trans., Vol. 113-B, No. 9, pp. 981-986, 1993.

◆ 켜치 전류레벨협조

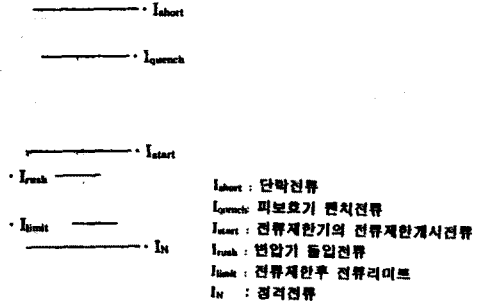


그림 1. 켜치전류레벨(전류협조)개념

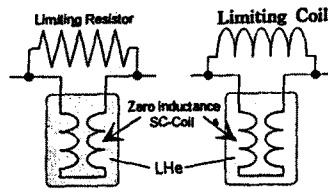


그림 2. SFCL의 개념구성도

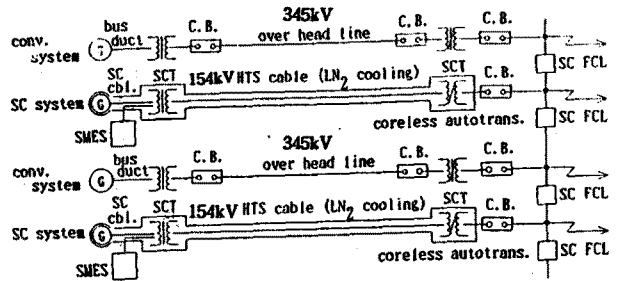


그림 3. 하이브리드 전력시스템

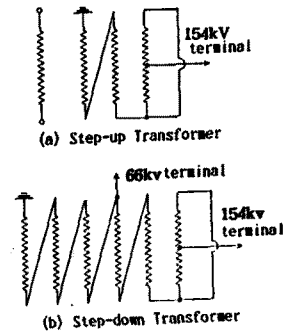


그림 4. 초전도변압기의 코일접속

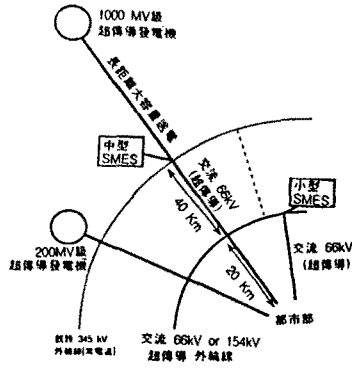
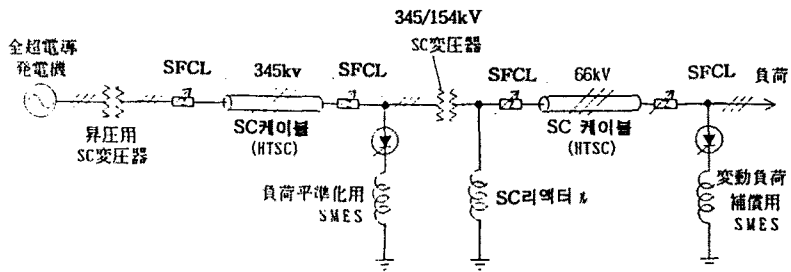
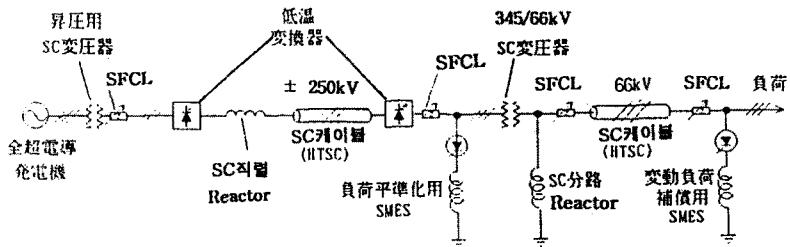


그림 5. 전 초전도 시스템의 도심지 적용모델



(a) 교류시스템



(b) 직류시스템

그림 6. 전 초전도 전력시스템