



차세대 초전도응용기술 개발사업

- 차세대 초전도응용전력기기별 소개 -

(초전도 전력케이블, 초전도 변압기, 초전도 모터, 초전도 한류기)

■ 박민원 / 차세대초전도응용기술개발사업단, 기술팀장

서론

초전도연구의 역사가 짧은 우리 나라이지만 지난 14여 년간 정부의 지속적인 관심과 지원에 힘입어 초전도의 기초연구분야 및 응용연구분야의 연구인력을 상당히 갖추게 되었고, 각 응용기기 개발을 위한 설계, 해석 및 특성평가 등의 기술 및 장비에 대한 인프라의 구성이 진척되고 있는 중에, 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발 사업의 하나로 차세대초전도응용기술개발사업(DAPAS program)이 2001년 7월 선정되었다. 기존에 구축된 인프라와 기 확보한 기초기술들을 효과적으로 활용하고 DAPAS program의 참여기업과 선진국(공동연구협약 외국연구기관 및 기구)과의 기술 교류를 통하여 최종목표인 세계시장을 주도할 수 있는 고성능·고효율·환경친화형 초전도응용기술을 우리 나라에서도 확보할 수 있는 디딤돌을 마련하게 되었다. 총 10년간의 DAPAS program 중점연구과제로 설정된 과제 중, 본고에서는 초전도응용전력기기(초전도전력케이블, 초전도 변압기, 산업용 초전도 모터, 초전도 한류기)에 대한 소개를 1) 초전도 전력기기별 필요성, 2)특징, 3) 국제동향, 4) 국내기술, 5) DAPS program상의 기술개발 목표와 같은 순서로 개략적으로 다루고자 한다.

초전도전력케이블

필요성

산업분명의 고도화와 에너지사용에 따른 환경오염문

제로 인하여 2030년경 전체 사용에너지중 전기에너지의 비중이 50%로 육박할 것으로 예상되고 있으며 그 수요 또한 폭발 적인 증가가 예측됨에 따라(2010년 현재의 3.3배로 증가 예상) 가까운 장래에는 다음과 같은 문제점들이 대두될 것으로 보여 이 문제를 해결 할 수 있는 기술의 확보 여부가 향후 국가적인 에너지문제 해결의 열쇠가 될 것으로 예상된다.

첫째, 전기에너지의 안정적인 공급을 위해 대용량 송전계통의 확충과 전력케이블의 대용량화와 기존 전력케이블의 한계를 극복할 수 있는 기술이 필요하다. 둘째, 전원설비의 대용량화, 도심부의 집중 및 지역적인 편재화, 전력수송의 장거리화에 따른 부지확보 문제 해결을 위해 전원 설비의 Compact화 기술 및 기존 전력구를 활용할 수 있는 기술이 필요하며, 셋째, 현재는 전원설비의 대용량화, 지역적인 편재화, 전력수송의 장거리화, 대용량화에 따른 전력계통의 안정도 및 수요지에 서의 전압안정성 저하가 예상되는데 비해 미래에는 컴퓨터, 통신, 정밀 제조업 등과 같은 고품질의 전기를 요구하는 부하가 더욱 급증할 것으로 예상됨에 따라 전력계통의 안정도 향상을 위한 신기술이 필요하다. 넷째, 화석에너지의 사용으로 인한 CO₂가스의 배출로 인한 환경오염을 줄이고 효율적인 전기에너지의 공급을 위한 기술이 필요하며, 다섯째, 전원설비확충 및 용량 증대, 고가의 전원입지 확보 등으로 인한 전기요금의 상승으로 인한 국민생활의 직접적인 영향 뿐만이 아닌 제조원가의 상승으로인한 국제경쟁력약화 등의 문제로 인한 전원설비의 비용절감을 위한 신기술이 필요하게



된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 방법으로 에너지 절약효과가 크고 대용량화 및 부지문제의 해결과 계통안정도와 효율 향상, 손실이 저감되는 새로운 기술인 고온초전도전력케이블 및 송전시스템의 개발이 필요하다.

초전도케이블의 특징

고온초전도 전력케이블은 헬륨에 비하여 가격이 매우 저렴한 액체질소를 냉매로 사용하기 때문에 액체헬륨을 사용하는 금속계 저온초전도 전력케이블에 비하여 외부와의 온도차이가 작아 극저온 관로의 구조를 단순화시킬 수 있으며, 작은 크기의 극저온 관로에서도 대용량의 고온초전도 전력케이블을 구성할 수 있다. 또한, 기존의 전력케이블에 비해 초전도케이블은 765kV 나 345kV의 초고압이 아닌 154kV 또는 22.9kV의 저전압으로 대용량 송전이 가능하기 때문에 기존 변전소의 고전압송전을 위한 주변기기를 간략화시킬 수 있으며, 송전손실이 극히 작고 컴팩트한 케이블에 의해 부지문제의 해결 등 초전도케이블의 특징을 열거하면 다음과 같다.

○ 대용량 · 저손실

초전도케이블은 기존의 케이블에 비해 큰전류를 흘릴 수 있고, 교류손실이 기존 케이블에 비하여 1/20으로 극히 작으며, 송전용량 또한 현재보다 3배 이상 증가시킬 수 있다.

○ 저전압 송전

현재의 전력케이블은 주로 송전전압을 상승시키는 방법에 의해 송전용량을 증대시키고 있으나, 초전도케이블은 대전류를 흘리는 것이 가능하기 때문에 동일용량을 송전할 경우 기존의 전력케이블보다 낮은 전압으로 송전이 가능하다. 즉 345kV, 765kV로 송입하여 송전하지 않고 154kV 또는 22.9kV로 수용가까지 저전압 · 대전류의 대용량송전이 가능하다.

○ 송전비용의 절감

지중계통 전압등급의 균일화가 가능하고, 도심의 345kV/154kV 초고압 변전소의 생략이 가능하여 송전비용을 줄일 수 있다. 또한, 절연전압레벨의 감소로 전력기기의 compact화 및 가격저하가 가능하고, 저전압

화에 의해 케이블의 충전전류가 크게 감소하기 때문에 보상용 리액터를 경감하여 계통전체에 걸쳐 송전비용을 줄이는 것이 가능하다.

○ 케이블의 소형화

초전도케이블은 1회선당의 송전용량이 대단히 크기 때문에 동일한 용량을 송전하는 경우 기존 케이블에 비해 소요 회선수가 대폭 감소된다. 그러나, 액체질소 온도의 극저온유지를 위한 진공단열구조가 필요하여 케이블의 크기가 다소 커지게 되지만 OF케이블, 금속계 저온초전도 케이블 및 고온초전도 케이블의 송전용량에 따른 단면 크기를 비교하면 그림 2.1과 같이 고온초전도케이블이 가장 작고 케이블의 송전

밀도가 높다.

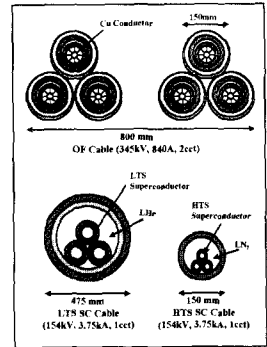


그림 2.1 1GV급 기존의 케이블과 초전도 케이블의 크기 비교

○ 케이블 관로의 소형화 ⇒ 건설비용의 절감

향후 전력계통은 전원설비의 대용량화, 도심의 집중 및 지역적인 편재화 등에 따른 부지확보와 기존 전력구의 확장이나 신규건설 등 전력계통의 확장에 따른 전력구의 확보 문제가 심각할 것으로 예상된다. 그러나, 고온초전도 케이블을 적용하면 그림 2.2에서 보는 바와 같이 동일 송전용량으로 비교할 때 케이블의 포설에 필요한 Tunnel의 직경을 60%정도 작게 할 수 있기 때문에 기존 관로나 전력구의 활용이 가능하여 건설비용을 대폭적으로 절감할 수 있다. 특히 케이블 회선수의 감소와 케이블의 소형화 가능성은 지중송전선의 총 건설비에서 Tunnel 건설비가 차지하는 비중을 고려할 때 경제성 측면에서 매우 중요하다.

○ 장거리 송전의 가능

초전도케이블은 저손실 · 대전류송전이 가능하여 케이블 허용전류 중 충전전류가 차지하는 비중이 작기 때문에 기존의 케이블에 비해 충전전류가 송전 길이의 제약조건으로 작용하는 경우가 작아 장거리 송전이 가능하다. 또한, 초전도케이블의 구성은 크게 나누어 케이블 코어와 케이블 코어를 저온으로 유지시켜주는 극저

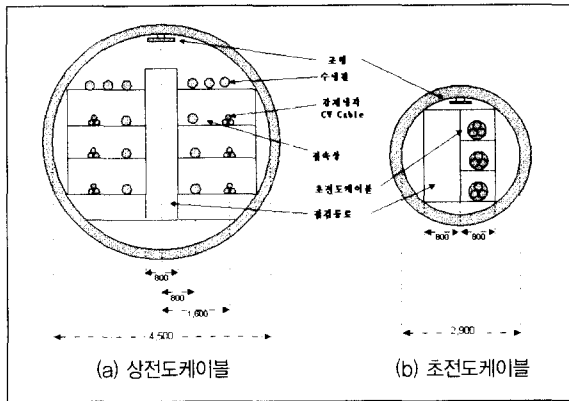


그림 2.2 전력구 규모의 비교

온 관로로 구성되어 있으며, 케이블 코어는 냉각 channel과 형상유지를 위한 Former, 통전용 초전도체, 전기절연체, 차폐용 초전도체 등으로 구성되며, 극저온 관로는 상온으로부터의 열 유입을 차단하기 위한 고진공층을 갖는 초열절연 관로와 냉매의 순환을 위한 냉각시스템으로 구성된다. 또한 주요 기술로서 초전도 전력케이블과 상온의 전력 계통과의 열적 전기적 연결을 위한 단말부, 케이블 접속재 및 송전 시스템을 감시 제어하는 감시제어장치 등의 기술이 있다.

국제동향

초전도케이블은 1961년에 McFee가 최초로 제안하여 80년대까지 유럽, 미국, 러시아, 일본 등에서 주로 금속계 초전도체인 Nb, NbTi, Nb3Sn등을 이용한 저온초전도케이블에 대하여 활발하게 연구개발이 진행되었으며, 세부적으로는 초전도체, 전기절연, 열절연 등의 케이블부품과 케이블 단말, 냉각시스템 등의 기술개발이 진행되어 미국의 Brookhaven국립연구소, 오스트리아의 Gratz 연구소를 필두로 하여 세계 각국에서 연구가 진행되었으며, 일본에서도 전자기술종합연구소, 나고야대학, 토요하시 기술과학대학 등에서 금속계 초전도체를 이용한 초전도송전시스템을 시제작하여 평가까지 마친 상태로 상당한 기술수준에 있다. 그러나 상용화를 위해서는 제조기술, 포설공법, 고장대책 등을 포함한 신뢰성 확보 및 경제성 등 아직도 많은 과제가 남아있다. 일본은 통산성의 New Sunshine 계획의 일

환으로 초전도케이블 개발을 정부, 동경전력, 중부전력 등 전력회사와 Sumitomo, Fujikura 등 일본내의 6대 전선업체 및 CRIEPI, ETL, ISTEK 등의 정부연구소가 공동으로 진행하고 있으며 2010년부터 시작하여 2050년까지 700~1000km의 실계통 설치를 계획하고 있다.

유럽에서는 BRITE/EURAM(Basic Research in Industrial Technologies for Europe/ European Research on Advanced Materials) project에 의해 저손실, 대용량 케이블개발을 진행하고 있다. 1986년에 약 90K의 임계온도로 초전도특성의 재현성이 양호한 Y-Ba-Cu-OrP 초전도체가 발견되어 고가의 액체헬륨이 필요가 없는 액체질소냉각 초전도케이블의 실현가능성을 기술적으로 검토하게 되었다.

미국을 비롯하여 일본 등에서 차세대 전력송전시스템으로서 고온 초전도 케이블을 이용한 송전케이블의 적용을 현실로 받아들이고 있으며 이에 따라 케이블 송전용량 증대 및 지중화 공사시 공사비 절감을 목적으로 초전도케이블의 계통 적용 기술개발에 매진하고 있다. 특히 고온초전도 케이블의 계통적용 시 그에 따른 신뢰성 및 경제성 평가를 통한 검토 등을 통해 초전도 케이블의 계통 도입 방안을 검토중이며 초전도 케이블의 대도시 도입에 따른 전력계통의 안정도 및 순시전압 저하 그리고 송전손실에 대한 평가와 관련된 연구를 추진중이다.

국내기술

1986년부터 한국전기연구원에서는 초전도케이블 개



그림 2.3 154kV 800MVA급 극저온 저항케이블 송전시스템



기획 시리즈 ②

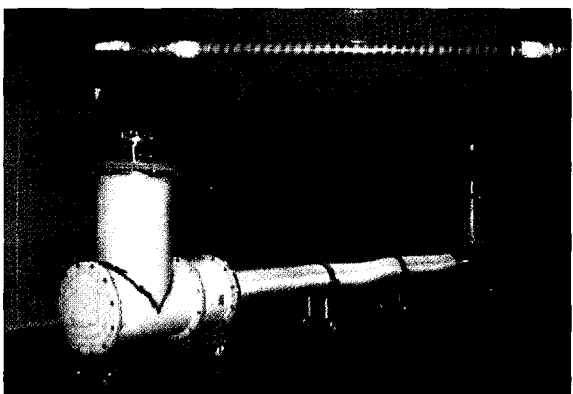


그림 24 고온초전도 케이블 코어 및 시험관로 (KERI)

발에 필요한 요소기술을 개발하여 왔으며 특히 1991년 액체질소에서 운전되는 “154kV 800MVA급 극저온 저항케이블” 개발을 완료하고 1997년 고온초전도선재와 유사한 기계적 특성을 갖는 Nb₃Sn 초전도도체를 사용한 “저온초전도 케이블시스템연구”를 진행하였다. 또한 한국전기연구원에서 기관고유사업으로 수행한 “고온초전도 송전케이블 설계기술 및 계통적용 연구”와 “신송전선 개발연구”의 수행을 통한 케이블 코어의 개념설계 및 700A급 고온초전도 케이블코어 제작 및

평가, 계통적용 검토 등의 기반기술을 확보하였다. 고온초전도도체 분야에서는 “초전도선의 신가공 및 코일응용기술 개발”에 의하여 고온초전도선재에서 가장 대표적인 Sheath Bi-2223 고온초전도선의 제조공정을 Modified Powder-In-Tube법으로 확립하였고 주요 핵심가공장치 및 평가장치를 제작하여 기반기술을 구축하였으며 250m 급의 선재를 제조하는 능력을 확보하였다. 현재 1000m급의 선재제조를 위한 연구개발을 진행하고 있으며 이의 실적을 요약하면 다음과 같다.

기술개발 목표

DAPAS program을 통한 고온초전도 전력케이블의 기술개발 목표는 다음과 같으며, 현재 초전도 케이블 코어의 개념설계가 완성되었고, 극저온 단말의 설계 해석을 포함한 본격적인 궤도의 연구단계로 진입하였다.

연구명	연구기간	연구내용 및 실적
154kV, 800MVA급 극저온 저항 케이블 개발 연구	1988~1991	· 154kV, 800MVA 극저온 저항 케이블 및 관로, 과·통전 단말 설계, 제작, 특성 평가 · 154kV, 800MVA급 모의 송전시스템 구축 및 운전특성 시험 · 단상 89kV, 3000A 과·통전시험 성공 (5m 액체질소 냉각 Si 도체 전력케이블)
초전도케이블용 전기절연재료 개발연구	1990~1993	· 초전도 케이블 절연구성기법 해석 및 설계 · 초전도케이블용 전기절연재료 선정 및 특성시험 · 최적 전기절연재료 가공법 및 성능향상기법연구
초전도케이블 및 송전 시스템 개발연구	1994~1997	· 액체헬륨냉각에 의한 154kV, 3GVA급 대용량 초전도케이블 및 모의송전시스템 연구 · Nb ₃ Sn 도체를 사용한 케이블 코어 시제작
Bi 고온초전도 선재 개발 연구	1989~현재	· 고임계온도 및 전류밀도의 Bi계 고온초전도 선재화기술 · ~104A/cm ² 의 전류밀도 값을 갖는 선재 개발 성공 · 현재 Bi계 고온초전도 선재의 기계적 성능보완과 최고 임계전류밀도를 갖는 최적 가공기법 연구
고온초전도 송전케이블 설계기술 및 계통적용연구	1998	· 고온초전도케이블 코어 설계기술 연구 · 고온초전도케이블 계통적용 검토
차세대초전도선 및 송전케이블 개발	1999~2000	· 고온초전도케이블용 고온초전도도체 개발연구 · 고온초전도케이블 코어 시제작 및 평가 · 고온초전도케이블 시험용 극저온관로 시제작

구 분	단계별 목표	주요 기술개발 내용
1단계(3년) (2001~2004)	50MVA/22.9kV급 초전도 케이블 시스템 개발	1) 50MVA/22.9kV, 30m급 케이블 코어 설계 및 제작기술 개발 2) 케이블용 고온초전도선재의 대전류 및 저비용 시스템화 기술 개발(Bi-2223, 50\$/kA·m @ 77K) 3) 22.9kV/1kA급 극저온단말 및 접속재 설계기술 개발 및 제작 4) 30m 극저온관로 및 초전도 케이블 냉각시스템 개발
2단계(3년) (2004~2007)	500MVA/154kV급 초전도 케이블 Pilot 시스템 개발	1) 500MVA/154kV, 100m급 모델 케이블 제작 및 평가 2) 케이블용 고강도 고온초전도 선재 (Bi-2223, 30 \$/kA·m @ 77K, 항복강도 > 200MPa) 상용화 개발 3) 154kV급 극저온 단말 및 접속재, 관로 제작기술 개발 4) 154kV, 500MA급 초전도 케이블 냉각시스템 및 극저온관로(100m) 설계·제작
3단계(4년) (2007~2011)	1GVA/154kV급 초전도 케이블 시스템 제작 및 field test	1) 1GVA/154kV, 200m급 케이블 시스템 양산 기술 확립 2) 154kV급 초전도 케이블 단말 및 접속재, 관로 생산기술개발 3) 1GVA/154kV급 초전도 케이블 냉각시스템 신뢰성 확보 및 양산체제 구축 4) 실증시험 및 현장적용기술, 선로감시 시스템 개발

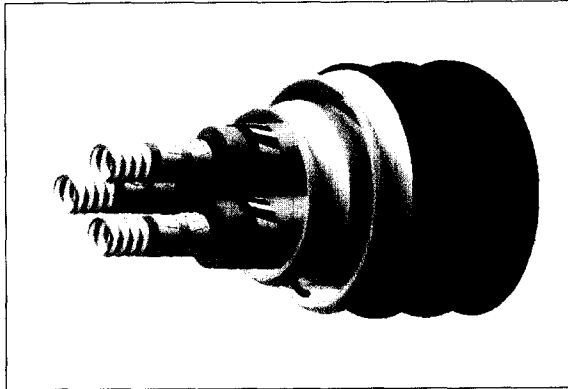


그림 2.5 개발중인 국산 고온초전도 케이블 개념도

초전도 변압기

필요성

고온초전도체가 발견되기 전인 1981년 미국의 Westinghouse 사는 저온 초전도 변압기의 경제성을 연구하였고 당시의 기술 수준에서 초전도 변압기가 일반 변압기보다 경제적인 용량을 대략 300 MVA 정도라고 발표하였다. 1997년에 미국 Waukesha Electric Systems 사는 중용량 변압기 중 대표적인 30MVA, 138kV/13.8kV 용량의 변압기를 고온초전도변압기로 대체할 때의 효과를 연구하였으며, 그 결과 현재는

30MVA 급에서도 고온 초전도 변압기의 가격을 일반 변압기보다 더 낮출 수 있다는 결과를 얻었다. 변압기 권선을 초전도 선으로 대체하면 손실이 줄뿐 만 아니라 실제로 30MVA 급 변압기에 사용되는 구리선은 수천 kg 정도인 데 비해 고온초전도변압기에서는 수십 kg의 초전도 선으로 충분한 것으로 밝혀졌다.

일반 변압기에서는 권선의 냉각과 절연을 위해 절연유를 사용하는데, 30MVA급 변압기에 들어가는 절연유는 대략 23,000 리터나 되며 이 절연유는 환경 오염과 변압기 과열시 화재나 폭발 위험이라는 문제점이 있다. 고온 초전도 변압기는 냉각을 위해 액체 질소를 사용하는데, 냉매인 액체 질소는 고온초전도변압기 권선의 절연도 담당한다.

중용량급 이상의 변압기 수명은 대략 30~40년 정도로 보고 있다. 변압기를 30년 이상 사용하기 위해서는 변압기 내부에서 온도가 가장 높은 지점이 110 를 넘어서는 안 된다. 만일 이 한계를 20 이상 초과해서 사용한 기간이 총 100일을 넘긴다면 변압기 수명은 25% 감소한다. 초과 사용 기간이 10%를 넘어서면 수명은 절반 이하로 줄어든다. 한 여름철의 전력수요는 이 기간을 제외한 일년 중 평균 수요의 2배 가까이 된다. 이 기간의 수요에 맞춰 용량이 결정된 변압기는 그 결과 일년 중 대부분의 기간동안 정격의 50% 정도밖에 사용하지

못하며 이에 따라서 운전 효율도 나빠질 수 밖에 없다. 그렇지 않고 변압기 용량을 낮추어서 설치한다면 변압기 수명이 급격히 감소하므로 현재의 일반 변압기로는 이 문제를 해결할 수 없다. 고온초전도변압기의 경우, 정격 전류를 넘어서는 부하 전류를 흘린다고 해서 일반 변압기와 마찬가지로 절연이 열화되는 일은 발생하지 않는다. 정격의 200% 정도인 부하 전류가 흘러도 변압기 수명에는 아무 영향이 없으므로 일년 중 몇 주밖에 되지 않는 피크 부하에 맞춰 변압기 용량을 결정할 필요가 없으며 이에 따라 연간 운전 효율은 일반 변압기보다 더 좋아지게 된다.

한편, 세계 변압기시장에서 고온초전도 변압기가 차지하는 비율은 2010년에 10%, 2015년에는 50%가 될 것으로 예측되고 있다. 이렇게 되면 실제 전력시스템에서의 효율향상은 2010년에 0.03%, 2015년에는 0.15%가 될 것이다. 이런 예측이 국내 전력계통에도 그대로 적용된다고 가정하면, 2010년 한해 동안 절감할 수 있는 전력생산량은 약 1억 1600만 kWh이고 2015년에는 약 6억 4400만 kWh 정도가 될 것이다. 이는 1998년 현재의 전력가격으로 계산했을 때 각각 84억원과 460억에 해당하는 금액이 절감된다. 만약 물가 상승률을

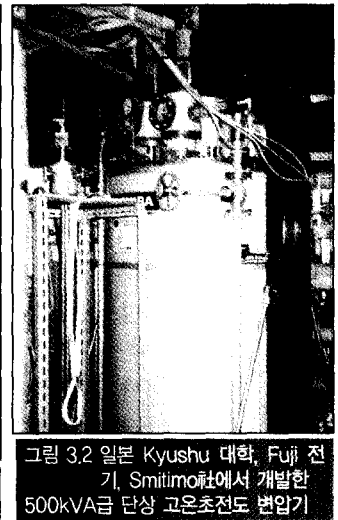
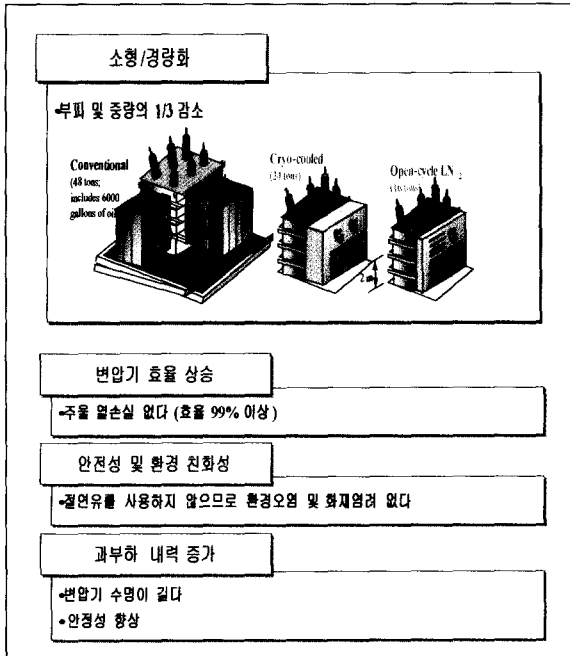
고려한다면 2015년 이후에는 연간 1000억원 이상을 절감할 수 있을 것이다.

초전도변압기의 특징

고온초전도 변압기가 기존의 변압기와 대별되는 기능상·구조상의 특징은 권선 재료로 고온초전도 선재를 사용한다는 데에서 비롯된다. 전기저항이 제로인 초전도체를 사용하면 기존 변압기의 동손을 제거하여 변압기 자체의 전력효율을 향상시킬 수 있다. 그리고, 전류용량이 큰 초전도 선재를 사용하게 됨으로써 사용 선재의 무게를 줄여 변압기를 경량화 시킬 수 있고, 동시에 변압기의 소형화로 변압기 점유면적의 최소화를 달성할 수 있는 전력기기로 향후에 구축될 것으로 예상되는 초전도전력시스템을 구성하는 핵심 기기이다.

국제동향

미국은 DOE에서 수행하고 있는 SPI Project의 일환으로 1998년에 Waukesha, IGC, DOE, ORNL, RPI가 공동으로 1MVA, 13.8kV/6.9kV, 단상 고온초전도 변압기를 제작하여 20~30K에서 동작시켰고, 최종목표인 30MVA, 138kV 변압기 제작을 위한 기초적인 연구를 수행하였다. 현재는 Waukesha, IGC, DOE, ORNL이 공동으로 5/10MVA, 26.4kV/4.16kV 변압기를 개발하고 있다.



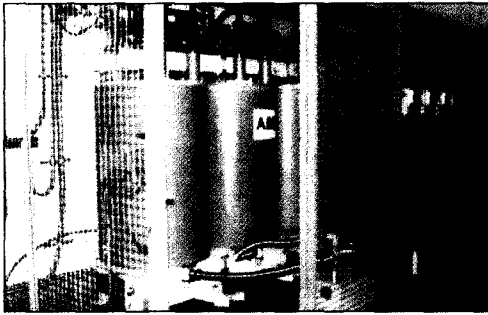


그림 3.3 스위스 ABB의 630kVA, 3상 고온초전도 변압기



그림 3.3-1 3상 10kVA 고온 초전도 변압기 (2001, 기초전력공학공동연구소)

고온초전도 변압기의 신뢰성과 안정성을 확인하였다. 독일은 1999년에 독일의 고속전철인 ICE에 탑재를 목표로 독일의 Siemens가 100kVA, 5.5kV/1.1kV 고속전철용 고온초전도 변압기를 개발하였다. 또한,

일본의 경우는 1996년 세계 최초로 Kyushu 대학, Fuji, Sumitomo가 공동으로 500kVA, 단상, 6.6kV/3.3kV 고온초전도 변압기를 개발하여 액체질소 온도인 77K에서 운전한 결과 현재의 고온초전도 선재로도 경제성이 있는 고온초전도 변압기 제작이 가능하다는 것을 확인하였다. 또한, 500kVA 고온초전도 변압기를 개발한 Kyushu대학, Fuji, KEPCO가 공동으로 1MVA, 22.9kV/6.9kV, 단상 고온초전도 변압기를 개발하여 Kyushu 전력의 실제 선로에서 실부하 시험을 거쳤고, 과전압 시험, 돌입전류 시험 등을 통해서 고온초전도 변압기의 안정성을 확인하였다.

유럽은 1997년 스위스의 ABB, EDF, ASC가 공동으로 630kVA, 18.7kV/420V, 3상 고온초전도 변압기를 개발하여 스위스의 Geneva에 위치한 변전소에서 1년 동안 실부하 시험을 완료하였고, 실부하 시험기간 동안에 신뢰성 있게 동작하였다. 이 변압기를 통해서

2001년 완성을 목표로 스위스의 ABB, EDF, ASC가 공동으로 10MVA, 69kV/13kV, 3상 고온초전도 변압기 개발을 진행하고 있고, 이 변압기를 개발한 다음 단계로는 경제성이 있는 30MVA급 고온초전도 변압기를 개발할 계획이다. 또한, 프랑스와 독일이 공동으로 진행하고 있는 Franco-German Project에 의해서 고속전철 탑재하는 것을 목표로 독일의 Siemens가 1MVA, 25kV/1.4kV 고속전철용 고온초전도 변압기를 개발하고 있고, 주요 개발목표는 부피와 무게를 줄이는 것이다

국내기술

1999년 기초전력공학공동연구소가 국내에서 최초로 3kVA, 220V/110V, 단상 고온초전도 변압기를 개발하여 교류에서 동작하는 고온초전도 전력기기의 개발 가능성을 확인하였다. 그리고, 2000년 기초전력공학공동연구소가 장래 고압변압기 개발에 대비해서 고압변

구분	단계별 목표	주요 기술개발 내용
1단계(3년) (2001~2004)	1MVA, 22.9kV /6.6kV, 단상 초전도 변압기 개발	1) 변압기용 초전도선재 최적화 제조 공정 개발 (1 km, Je = 5kA/cm ² @ 77K) 2) 22.9kV급 초전도 변압기 절연내력 및 권선절연기술 개발 3) 22.9kV급 초전도 변압기 권선설계 및 제작기술 개발
2단계(3년) (2004~2007)	5MVA, 154kV /22.9kV, 단상 초전도 변압기 개발	1) 변압기용 저손실 교류용 초전도선재 상용화 개발 (5 km, Je = 10kA/cm ² @ 77K, AC loss < 0.2mW/Am @ 60Hz, 0.1T) 2) 154kV급 초전도 변압기 고전압 인가부 절연설계 기술 개발 3) 154kV급 초전도 변압기 설계 및 제작기술 개발
3단계(4년) (2007~2011)	100MVA, 154kV /22.9kV, 3상 초전도 변압기 개발	1) 3상, 154kV급 초전도 변압기 절연기술 개발 및 실증시험 2) 송전용 초전도 변압기(100MVA, 154kV/22.9kV) 제작기술 개발 및 신뢰성 검증시험을 통한 운용기술 개발 3) 초전도 변압기 상용화 기술 개발

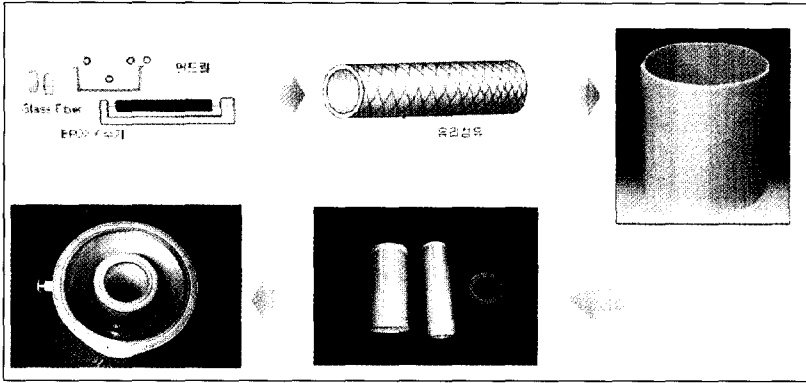


그림 3.4 고온 초전도 변압기용 극저온용기의 제작과정

압기에서 주로 사용하는 더블팬케이프형 권선방식을 사용해서 10kVA, 440V/220V, 단상 고온초전도 변압기를 제작하였고, 국내에서 제작한 FRP 극저온용기를 사용하는 등 국내 초전도 관련 산업의 발전에 기여하였다. 현재 기초전력공학공동연구소가 고온초전도 변압기의 신뢰성 확인 및 운전특성 수집을 주요 개발목표로 국내 최초로 10kVA, 440V/220V, 3상 고온초전도 변압기를 개발 중에 있다.

기술개발목표

DAPAS program에서의 초전도 변압기의 기술개발 목표는 다음과 같으며, 현재 고온 초전도 변압기의 경제성평가가 진행되었다. 또한 고온 초전도 변압기의 권선부와 극저온 용기의 개념설계가 완료된 상태이다.

초전도모터

필요성

가. 기존 모터의 당면 문제

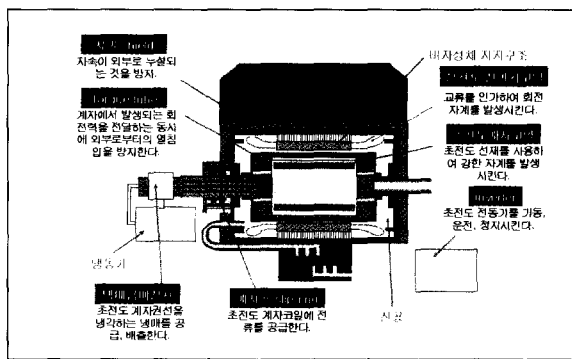
미국의 경우 전체 전기에너지의 사용량 중 64% 정도를 모터가 소비하고 있으며, 이 중에서 절반정도를 1000 마력이상의 모터들이 차지하고 있다. 기존의 대용량 모터의 효율을 약 2% 정도 향상시킬 경우, 미국은 연간 약 20억 달러의 에너지절약효과를 기대할 수 있고, 전기에너지 생산의 66%를 LNG, 석유, 석탄 등 화석연료가 차지하고 있기 때문에 지구온난화의 주원인인 CO₂의 배출량도 줄일 수 있다. 대형모터가 사용되

는 산업현장에서는 가공제품의 고품질화 및 생산량 증대를 위해 모터출력의 대형화가 요구되는데, 기존 모터의 대형화는 전기자 권선의 절연내력이나 과열 등의 문제로 인한 정지사고의 위험이 높고 발생시 산업재해의 규모가 크고, 부피증가로 인해 더 넓은 설치장소를 확보하지 않고서는 사실상 불가능하다. 따라서, 기존 모터에 비해 소형·경량이면서 절연내력이 뛰어난 대용량 모터

가 요구된다. 대형 유압선이나 군용선박 등의 추진시스템에 고효율모터를 장착할 경우 소음이 적고 기동성 및 안정성이 높아 많은 연구가 진행 중이지만, 기존 모터의 경우 출력에 비해 무게가 무겁기 때문에 어려움이 많아 기존 모터에 비해 소형·경량의 대용량 모터가 요구된다.

나. 고온초전도 모터 제시

초전도 모터는 기존의 발전기나 모터 등과 같은 회전기의 계자코일을 초전도화하여 계자의 발생자장을 크게 높임으로써, 기기의 효율과 출력을 높이고, 소형화 및 경량화, 안정도 향상 등의 많은 장점을 가지고 있다. 동급의 경우 무게를 1/3, 부피를 1/5이하로 줄일 수 있다. 전기자권선은 높은 전기절연능력을 갖는 재료로 지지되므로 대지와의 절연 전압용량을 증대시킬 수 있어 충분히 높은 전압에서 운전이 가능하며 과열이나 절

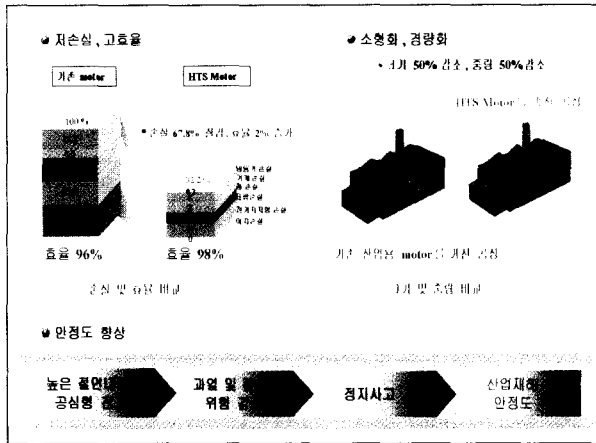


4.1 초전도 모터의 내부구조

연파괴로 인한 정지사고의 위험이 적다. 고장장을 발생하여 모터의 내부가 공심형의 구조이며, 기존의 철로 된 고정자의 슬롯 형상의 요철에 의해 발생하는 잡음 및 진동현상도 없어지기 때문에 초전도모터는 기존의 모터보다 더 조용하다.

초전도모터의 특징

초전도 모터의 특징으로는 다음과 같이 요약할 수 있다.



국제동향

미국은 1994년, Reliance Electric사가 단계 I로서 125hp 교류 동기모터의 개발하였다. 또한, 1996년 8월에 DOE는 SPI의 단계 II로서 5년 동안 2천만 달러를 상호 분담하는 고온초전도 모터 개발 프로그램을 허가하였다. 이것은 상업용의 전단계인 프로토타입 3.7MW(5,000hp) 정격의 고온초전도 모터 개발을 목표로 하고 있다. 모터 속도를 부하변동에 맞춘 가변속 구동장치와 결합하여 고온초전도 모터는 98%이상의 효율을 나타낼 것으로 예측하고 있고, 이것은 미래의 유도전동기 보다 2% 높은 값이다.

현재 SPI 단계 II의 한 과정으로 1,000 hp의 동기전동기를 설계 및 제작하고 있는 단계이며 BSCCO 2223를 사용한 고온초전도 계자코일을 부분별로 제작하여 그 극저온 특성시험을 마치고, 계자코일 보빈과 알루미늄 취부축을 설계·가공하여 이미 회전자 조립을 끝낸 상태이다. 또한 단계 I에서는 전기자코일 냉각방식으로

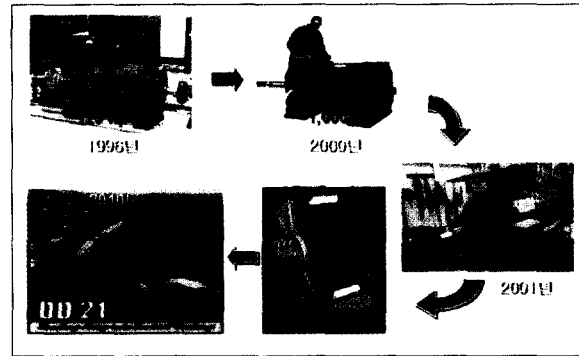


그림 4.2 미국의 초전도모터 개발

공냉식을 채용하였으나 현 단계에서는 수냉각 방식을 적용하여 전기자에서의 전류밀도를 훨씬 높이고 기기의 크기와 효율을 더욱 향상시키기 위한 연구가 진행 중이다. 한편, 미 해군에서는 선박추진용 단극(Homopolar) 모터를 개발하여 현재 BSCCO 2223 선재를 사용하여 계자코일을 제작(ASC, IGC 참여)한 후 167 hp, 11700 rpm의 출력 특성을 얻었으며, 이를 소형 구조함에 적용시키는 연구를 수행하였다. 이는 기존 단극 모터의 1/5 크기로 제작이 가능한 것이다. SPI의 2단계에서 개발한 5,000 hp급 모터가 성공적으로 개발되면 이 연구를 더욱 활성화시켜서 대형선박 추진용으로 25,000 hp 정도의 모터를 개발할 것이다.

일본의 경우에는 비교적 적은 용량의 모터를 개발한 실적이 있는데 NIPPON Steel은 1990년에 저온초전도를 이용한 초전도 선형 유도전동기 5 KVA급을 개발하였고, 1995년에는 50 Hz와 35 mm간격에서 98 N의 힘을 가진 강철가공용 초전도 선형 유도전동기를 개발하였다.

Saga대학에서는 역시 저온초전도를 이용하여 1992년에 회전 전기자형 30 kVA 동기모터를, 그리고 1995년에는 동급의 회전계자형 동기모터를 개발하였다. 극저온 단열 구조에 문제가 발생하여 초전도 구현은 하지 못하였다. 현재 저온초전도를 이용한 모터에 관한 연구는 진행되고 있지 않다. 1988년 Osaka 대학에서 처음으로 고온초전도 벌크의 Meissner 효과를 이용한 모델을 처음으로 선보였으나 토오크가 5 gf-cm로 미약하였고, 원리구현에 그쳤다. 그 뒤 강력한 pinning force를 가진 고온초전도 벌크가 제조되면서 모터에 대한 연구

가 활발해 졌다. 비교적 소형인 모터의 회전자에 벌크 재를 적용하면 선재와 달리 초전도체로의 전류공급이 필요 없고, 구조의 간이화, 고출력화 등의 이점이 기대되는데, 1995년에 Nagoya 대학에서 940 W의 고온초전도 벌크모터를 개발하였다.

유럽 또한 일본과 같이 소용량 고온초전도 벌크모터 개발 중에 있다. 프랑스 CRNS에서는 YBCO 벌크를 사용한 모터를 1997년에 개발하였는데, 출력이 0.7 N-m으로 1995년에 개발한 전자기결합장치의 최대출력 2.6 N-m에도 못 미치는 결과이었으며, 성능향상을 위해서는 전기자의 개선이 요구된다고 결론지었다. 영국의 경우에는 Durham 대학과 Manchester 공대가 공동으로 1995년 20MW급 선박 추진용 DC 초전도모터를 설계하였으며, 실험실 데모용으로만 제작하였다. 그리고, Oxford 대학에서는 YBCO 벌크를 이용한 초전도 히스테리시스 모터에 대한 기초연구를 1997년에 하였다.

국내기술

국내의 고온초전도모터의 연구개발은 1996년부터 1997년까지 "고온초전도 모터의 설계 및 제작에 관한 연구" 과제를 수행하여 0.7마력 고온 초전도 동기모터를 설계 제작하여 특성시험을 수행한 것이 전부이다. 그러나 구조적으로 유사한 초전도발전기의 연구개발은 1988년에 "20kVA 초전도 교류발전기의 개발에 관한 연구" 과제를 수행하면서 기초연구가 시작되었다. 1998년 "차세대 고효율 발전플랜트 기술개발" 과제를 수행하는 과정에서 순수 국내기술로 30kVA급 초전도 동기발전기 개발에 성공하면서부터 연구가 활성화되었고, 현재 1MVA급 초전도 동기발전기의 개념설계까지 완료한 상태이다. 현재까지의 연구개발은 초전도 동기모터의 제작 가능성을 타진하기 위한 초전도 동기발전기 및 동기모터의 원리구현에 치중한 연구개발이 주를 이루었기 때문에 요소기술별로 체계적인 연구가 이루어지지 못했으나, 초전도 동기모터 기술개발의 필수요소인 인프라 구성은 대부분 구축된 상태로서 초전도 동기모터 기술은 기존 기술에 초전도기술을 접목한 것으로서 기존기술 대부분을 그대로 사용하기 때문에 공통기술분야인 전기자 기술, 시스템운용기술, 성능평가기술 등은 국내에서 다년간의 동기기 제작 운용 경험을 바탕



그림 4.3 한국전기연구원에서 제작된 30kVA 초전도발전기

으로 이미 어느 정도의 상용기술을 확보한 상태에 있다. 따라서 2005년 경으로 전망되는 초전도 동기모터 시장에서 기술 경쟁력을 갖기 위해서는 시장형성 이전에 체계적인 연구개발을 한다면 상용화급의 대용량 초전도 동기 모터 개발을 성공적으로 수행 가능할 것으로 생각된다.

기술개발목표

DAPAS program에서의 초전도 모터의 기술개발 목표는 다음과 같으며, 현재 100마력급 초전도 모터의 기본설계, 제자권선 요소기술, 및 회전자 요소기술 연구를 진행중이다.

초전도 한류기

필요성

가) 급증하는 고장전류

전력수요의 지속적인 증가로 인해 전원설비가 증대되고 전력계통이 확충되면서 계통 임피던스가 낮아져 고장전류 또한 급속히 증가하고 있다. 특히, 국내의 경우 수도권 지역의 전원밀집화 현상이 심화되고 있고, 345kV 전력계통의 고장전류는 기존 차단기의 차단내력을 넘어설 것으로 전망되며, 154kV 전력계통의 경우 설치된 차단기(31.5kA) 중 35%가 이미 차단용량을 초과하고 있어 차단내력이 큰 차단기(50kA)로 점차 교체하고 있으며, 아울러 지금까지 망상(Mesh Network) 형태로 되어 있는 계통구조를 방사상(radial) 형태로 분리하여 운전하고 있는 실정이다. 차단기의 용량증대 혹은 교체는 기술적 및 경제적으로 비합리적이며, 이러한 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 신개념의 보호기기



구분	단계별 목표	주요 기술개발 내용
1단계(3년) (2001~2004)	100 마력급 초전도 모터 및 핵심기술 개발	1) 초전도 모터 설계 및 모델기 제작기술 개발 2) 초전도 계자코일 권선기술 개발 3) 극저온 회전자의 온도분포 해석 기술 개발
2단계(3년) (2004~2007)	1000 마력급 산업용 초전도 모터 개발	1) 대용량 초전도 모터 설계 기법 개발 2) 극저온 냉매공급 장치의 최적화 연구 3) 공극형 전기자의 전류밀도 최적화 및 구조설계 기술 개발 4) 1000 마력급 초전도 모터 제작 및 성능평가
3단계(4년) (2007~2011)	3000 마력급 초전도 모터 상용화 개발	1) 3000 마력 상용화급 초전도 모터 개발 2) 3000 마력급 초전도 모터 정밀가공 제작기술 개발 3) 초전도 모터의 성능평가 시험 및 상용화 기술 개발

나) 고온 초전도 한류기 제시

한류기라는 용어는 전력계통에서 바람이나 비, 뇌 산불 등의 자연재해와 수목, 새, 짐승 등의 이물 접촉, 기기 불량, 선로 불량 등과 같은 단락 및 지락사고로 인해 발생하는 고장전류를 제거하거나 줄이는 기기라는 뜻이며, 초전도한류기는 이러한

로서 1973년 Falcone 등이 초전도 한류기의 필요성을 처음으로 역설한 이래 지난 20년 동안 여러 형태의 초전도 한류기가 전 세계적으로 활발히 연구되어 왔다.

한류기에 자발적으로 상태변화가 가능한 초전도기술을 접목시킨 새로운 형태의 한류기로서 정상 시에는 전력 손실 및 전압강하 발생이 없고, 사고 시에는 스스로 사고를 감지해서 자동으로 계통의 임피던스를 증가시켜, 사고전류를 허용치 이하로 제한함으로써 전력계통의 기기를 보호하는 장치로 기존 차단기의 용량문제나 전력계통의 안정도 문제를 해결할 수 있는 환경 친화적인 새로운 사고전류 대책기술이다.

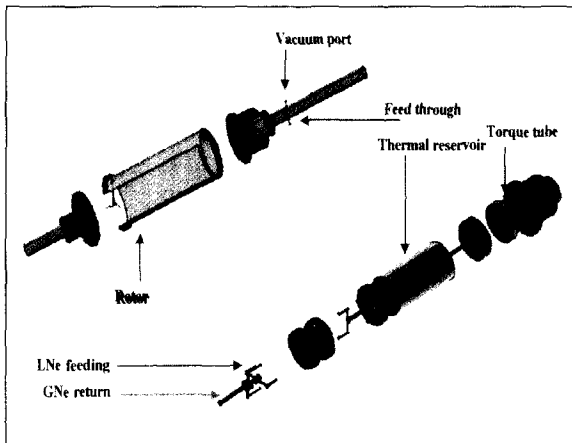


그림 4.4 고온 초전도 모터 모의 회전자 조립 개념도
(자료제공 : 한국전기연구원 초전도응용연구그룹)

초전도한류기의 특징

초전도 한류기의 특징은 다음과 같이 요약할 수 있다.

국제동향

미국은 DOE의 전폭적인 지지로 고유의 모델인 SMVA급 modified bridge DC reactor type 고온초전도 한류기를 개발하였다. 이 모델은 1993년부터 General Atomics사에서 개발하기 시작하여 1995년에 단상 2.4kVrms급을 제작되었다. 이 장치는 세계 최대의 고온초전도 Bi-2223 코일(직경 1m, 길이 0.75m) 3개로 구성하였고, 9대의 극저온냉동기에 의해 냉각된다. 이 한류기는 최신 초전도자석 기술과 96개의 사이리스터와 제어회로를 포함한 최신 전력전자 기술의 결합에 의해 완성되었다. 이 한류기의 동작 메카니즘은 정상 상태에서는 교류 부하전류가 특별 제작된 브릿지 회로를 아무런 저항 없이 통과한다. 사고가 발생하면 고온초전도 코일이 계통에 직렬로 연결되어 계통의 임피던스를 증가시키고 그 결과 사고전류는 줄어들게 된다. 컴퓨터에 의해 제어되는 사이리스터는 필요한 경우

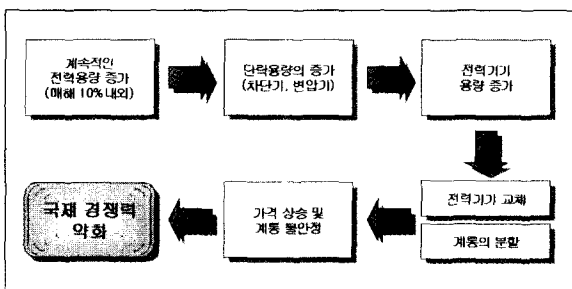
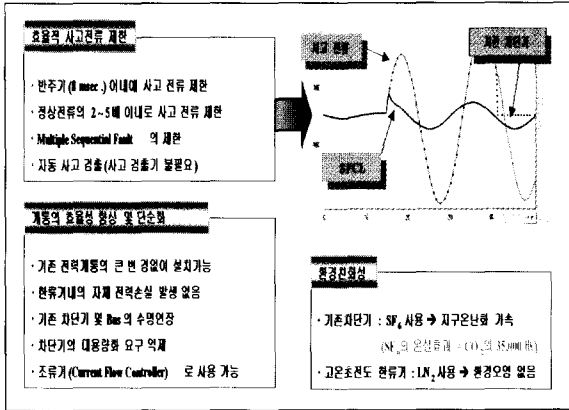


그림 5.1 현재 전력 계통이 당면한 문제



급속히 고장전류를 차단하여 회로를 완전히 개방한다. 그래서, 이 한류기는 고속차단기를 겸한다고 볼 수 있다(차단속도 1 cycle 이내). 사실상 이것은 유도/전자식 초전도한류기인 것이다. 또한, 이 한류기는 전자부나 유도부 어느 하나만으로도 사고전류를 제한할 수 있다. 개발된 한류기는 40피트 길이의 트레일러에 설치하여 캘리포니아에 있는 SCE (Southern California Edison) 전력회사에서 12.5kV로 시험운전을 하였고, 1995년에 성능시험이 완료되었으며, 상세 시험은 Los Alamos 연구소에서 수행될 예정이며, 2002년까지 현장시험을 완료할 계획이다. 그 외에 General Atomics 주관 하에 상업화 전단계 모델인 765MVA급 한류기가 개발된 것으로 알려져 있다.

일본은 1980년대 중반 이후 저온초전도 한류기 개발을 시작하여 Seikei, Saga 등의 대학과 도시바 연구소가 공동으로 1992년에 NbTi 선재를 사용한 6.6kV/2kA급 저온초전도 한류기를 개발, 10분간 연속 통전시험에 성공하였다. 현재는 이 기술을 바탕으로 고온초전도 한류기의 연구에 박차를 가하고 있다. 저항형 한류기 개발로는 미쓰비시 전기가 SuperGM과 공동으로 YBCO 박막을 사용한 400V급 저항형 고온초전도 한류기를 개발하였다. 도시바와 SuperGM은 YBCO 박막을 이용한 200V/580A급 고온초전도 한류기를 개발하였고, 전력중앙연구소에서는 이를 모의계통에 적용하여 시뮬레이션을 통해 고온초전도 한류기의 한류 특성을 확인하였다. 또한, 도쿄 도립대와 신일본 제철은 YBCO 벌크를 이용하여 400A에서 3사이클을 통전

할 수 있는 저항형 고온초전도 한류기를 개발하였다.

유도형 한류기 개발로는 전자기술 종합연구소와 전력중앙 연구소가 공동으로 Bi-2212 원통을 이용한 6.6kV/400A급 자기차폐형 고온초전도 한류기를 개발한 상태이고, 전자유도형 모델로 나가타 대학에서는 하나의 초전도 리액터를 이용한 3상의 정류

형 한류기를 제안하여 6.6kV/2kA 계통용 한류기를 설계하여 1직류 리액터형 3상 한류기와 3직류 리액터형 3상 한류기의 성능을 비교하였고, Bi-2223 은피복선을 이용한 0.8mH의 리액터를 만들어 한류동작을 확인하였다. 자기차폐형의 경우 2개의 철심을 사용하기 때문에 용량증대시 부피와 무게가 크게 증가하며, 저항형의 경우 현재기술로는 송전계통의 적용을 위해 요구되는 크기의 박막을 만들 수 없다. 또한, 두 형태 모두 관치시 발생하는 저항열에 의해 초전도체가 손상되기 전에 신속하게 냉각을 해야 하는 난제가 있다. 이러한 이유에서 최근에는 관치를 일으키지 않는 전자유도형 한류기에 매우 치중하고 있으며, 6.6kV급 한류기를 도시바에서 개발하여 2000년 시험 운전 중에 있다. 이것은 3상 전체를 모두 한 개의 코일로 제한한 것으로 경제성이 매우 높을 것으로 예상되고 있다. 또한, 직류 전원을 사용하지 않기 때문에 정상 상태의 직류 전원에 의한 손실이 적은 편이다.

유럽의 경우, 1980년대 후반 교류용 극세사심선재를 개발한 Alstom사를 주축으로 한 프랑스의 연구진들이 미국 아르곤 국립연구소의 개념을 실현한 7.2kVrms/1kArms급의 저항형 저온초전도 한류기를 개발하였다. 1997년 스위스의 ABB사는 약 1.2 MVA/10.5 kV급의 자기차폐형 고온초전도 한류기를

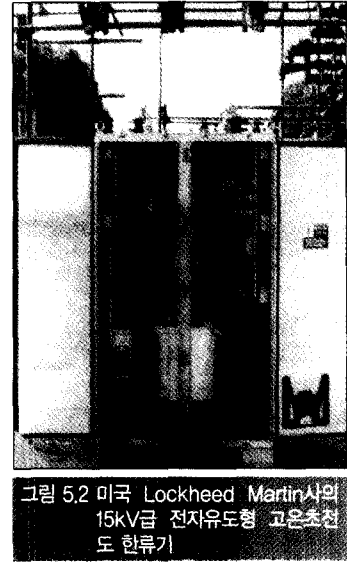


그림 5.2 미국 Lockheed Martin사의 15kV급 전자유도형 고온초전도 한류기



그림 5.3 스위스 ABB사의 10.5 kV급 자기차폐형 고온초전도 한류기

개발하였다. 이 기기는 일반도체로 권선된 코일, Bi-2212 재질의 초전도 튜브, 그 튜브를 수용하고 있는 저온용기, 철심 등으로 구성되며, 이러한 부품들은 동축으로 배치되어 있다. 이 한류기는 기본적으로 2차 권선이 초전도체이고 1차 권선이 한류기의 보호대상인 전선로와 직렬로 연결된 "변압기"이다. 정상 운전시는 초전도체가 바깥쪽의 코일에서 만들어지는 자계로부터 철심을 차폐함으로써 부하전류에 대하여 아주 낮은 임피던스를 나타내게 한다. 초전도체의 임계전류값을 초과하는 사고전류가 발생하는 경우에는 즉시 자기차폐 효과는 없어지고 아주 큰 임피던스가 만들어져 사고전류를 감소시킨다. 초전도체에 발생하는 열로 인하여 초전도체의 저항은 더욱 증가하게 되고 그것은 고장전류를 신속히 감소시키는데 도움을 준다. 개발된 한류기는 단상형으로서 스위스에 있는 한 수력발전소 구내에 설치하여 8.3kVrms/200Arms로 1년간의 내구성 시험을 마쳤다. 이 시험에서 13.2kA의 고장전류를 첫 번 사이클에 최고치 4.3kA로 줄였으며, 20ms 후에는 1.4kA로 감소시킬 수 있었다. 20번 이상의 시험에서 대칭사고와 비대칭사고 모두에 대하여 한류기가 잘 작동하는 것을 확인하였다. 시험동안 고온초전도체의 열화는 나타나지 않았고, 과거의 개발품 체적이 2.0m³에 이르렀으나 이번 시제품은 0.5m³로 줄어들었다.

독일의 Siemens에서는 100kV급 저항형 고온초전도 한류기의 개발의 성공단계에 있으며, 곧 배전반에서 field test를 할 예정이다. Siemens의 박막저항형 한류기는 사파이어 기판 위에 두께 250nm의 YBCO 박막을 입힌 것으로서 임계전류밀도는 77 K, 자기자계 하

에서 $2 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ 이다. 한류소자가 균일하게 관치될 수 있도록 하기 위해 YBOC 층위에 100nm 두께의 금박막을 입혔다. 각 소자는 넓이 7mm, 길이 80cm의 스파이럴 형태로 가공하였다. 100kV급을 제작하려면 이러한 소자 10개를 직렬로 연결하면 된다. 이 한류소자에 전류 리드선을 연결한 다음 액체질소를 채운 극저온 용기에 넣으면 한류기가 완성된다. 정격전압 750Vrms, 정격전류 135Arms인 시제품으로 시험한 결과 666A의 고장전류를 108A로 감소시킬 수 있었다. 이러한 개념의 한류기는 초전도 소자 내의 저항이 갑자기 증가하는 현상을 이용하여 사고전류를 감소시킨다. YBCO 박막에 금박을 입히는 일은 어려운 작업이고 가격도 비싸기 때문에 현재로서는 고가의 접근방법이라고 할 수 있으나, 기기의 소형화가 가능하다는 것이 장점이다. Siemens는 이 형식으로 1MVA급 초전도 한류기의 제작을 계획하고 있다.

국내기술

국내 초전도한류기기술동향을 살펴보면, 유도형한류기는 1993년 이후부터 연세대학교에서 연구를 수행하여 왔으며, 현재는 자기차폐형과 전력소자를 이용한 DC 선재용 고온초전도한류기의 연구에 주력하고 있다. 저항형 초전도 한류기의 경우 한국전력공사 전력연구원 에서 1998년 부터 과학기술부 및 한국전력공사 자체 연구개발비로 1kV급 저항형 초전도한류기의 개발을 목표로 연구개발을 수행해오고 있다. 초전도 한류소자를 설계제작하고 관치 및 한류특성을 조사하여 저항형 초전도 한류기 연구의 기반을 구축하였고, 현재 초전도 한류기

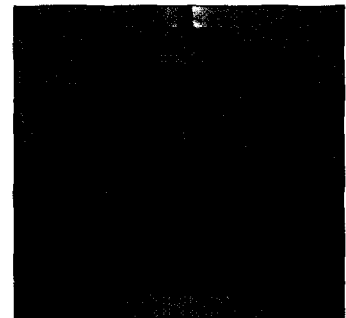


그림 5.4 연세대에서 개발한 440V급 자기차폐형 고온초전도 한류기

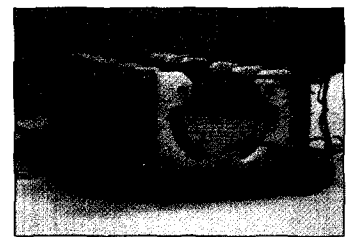


그림 5.5 한전전력연구원에서 연구중인 저항형 한류기의 초전도박막



기획 시리즈 ②

의 용량 증대에 역량을 모으고 있다. 최근 1.2kV급을 제작하여 한류효과를 확인하였고 독일 카스루 연구소(Forschungszentrum Karlsruhe)와 저항형 한류기와 관련하여 국제연구협력을 시작하였다.

기술개발 목표

DAPAS program을 통한 고온초전도한류기의 기술 개발목표는 다음과 같으며, 현재, 유도형 초전도 한류기의 경우에는 고온초전도 마그넷의 설계, 전력변환시스템의 설계가 완료되고, 저항형 초전도 한류기의 경우에도 초기단계로서 4인치 박막 가공공정 기술의 연구와 한류소자에 대한 전자계 해석 연구가 완료되는 등 본계획도의 연구로 진입된 상태이다.

결 론

앞에서의 설명과 같이 초전도 전력기가 개발되면, 현재의 전력기기 보다 혁신적인 성능향상을 꾀할 수 있습니다. 즉, 전력기나 송전선로에서 대폭적인 손실저감이 가능하고, 높은 전류밀도와 자속밀도를 달성할 수 있어 지금까지의 기술로는 불가능했던 전력기기의 소형화, 경량화를 이룰 수 있습니다. 또한 현재는 환경오염 물질로 지적되고 있는 SF₆ gas 및 oil을 질소로 대체할 수 있어 고효율 환경친화형 전력수송이 가능하게 됩니다.

초전도기술은 그림 6.2에서와 같이 물리, 전기, 전자, 재료 및 기계공학 등 다양한 학문이 집대성된 복합기술이기 때문에 기술적 파급효과가 매우 큰 핵심기술로

DAPAS program의 성공 여부가 국가 에너지 산업 및 신 산업 창출에 결정적으로 이바지할 것임에 의심의 여지가 없습니다. 여러분의 많은 관심과 협조를 부탁드립니다. 짧은 문장을 마치도록 하겠습니다.

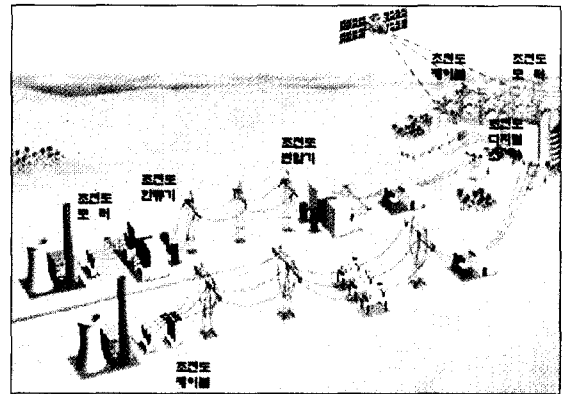


그림 6.1 초전도 응용기술의 Image도

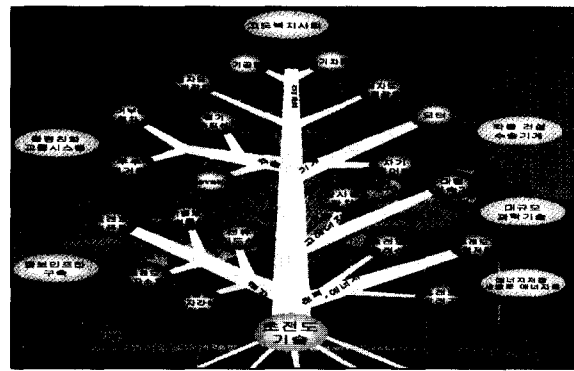


그림 6.1 초전도 응용기술의 Image도

구 분	단계별 목표	주요 기술개발 내용
1단계(3년) (2001~2004)	6.6kV/200Arms (정상운전시)급 초전도 한류기 개발	1) 유도형 초전도 한류기 설계 및 제작기술 개발 2) 저항형 초전도 한류기 설계 및 제작기술 개발 3) 초전도 한류기용 Cryostat 설계 및 제작기술 개발 4) 초전도 한류기 성능평가 및 고속차단 설계기술 개발
2단계(3년) (2004~2007)	22.9kV/630Arms (정상운전시)급 초전도 한류기 개발	1) 초전도 한류기(22.9kV/630Arms) 설계 및 제작기술 개발 2) 22.9kV급 초전도 한류기용 냉각시스템 개발 3) 배전급 초전도 한류기(22.9kV/630Arms) 성능평가 및 고속차단기술 개발
3단계(4년) (2007~2011)	154kV/2kArms (정상운전시)급 초전도 한류기 개발	1) 초전도 한류기(154kV/2kArms) 상용화기술 개발 2) 154kV급 초전도 한류기용 냉각시스템 개발 3) 송전급 초전도 한류기(154kV/2kArms) 실증시험 및 고속차단기술 개발