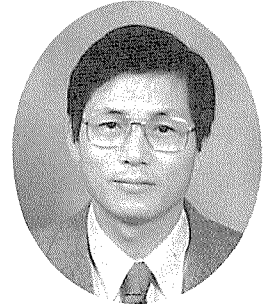


초전도 전력기술 응용연구 동향



韓電電力研究院
工學博 I: 劉源根

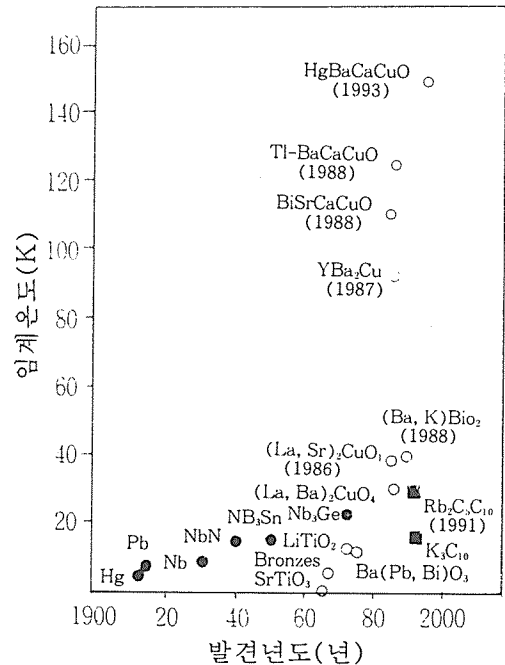
1. 초전도체의 발견과 응용

가. 초전도체의 발견

네덜란드 Leiden대학의 Kamerlingh Onnes가 1908년 -269°C (절대온도 4.2K)인 헬륨의 액화에 성공한 후, 액체 헬륨을 사용하여 극저온하의 각종 물질의 물성에 관한 실험을 행하던 중 4.2K에서 수은의 전기저항이 급격하게 영이 되는 초전도 현상이 발견되어, 초전도 메커니즘의 이론적 해명과 함께 재료특성이 우수하고 보다 높은 온도에서 초전도 특성을 갖는 물질의 탐색이 계속되어 (그림 1)에서와 같이 1913년에는 납(Pb), 1933년에는 니오븀(Nb), 1958년에 니오븀과 주석의 합금, 1960년대초 니오븀-티탄(NbTi), 납-비스무스 등의 합금계 초전도재료, Nb₃Sn 등의 금속간 화합물계 초전도 재료, 1970년대 초에는 현재의 금속계 초전도 재료 중에서 가장 임계온도가 높은 Nb₃Ge(23.2K)이 발견되었다.

또한 1986년에는 IBM 쥐리히 연구소의 Bednorz와 Muller박사가 금속계 초전도체와는 다

른, 30K 부근에서 초전도성을 나타내는 산화물계 초전도 물질을 발견한 이래, 높은 임계온도를 갖는 초전도물질 연구가 계속되어, 현재까지 Y-Ba-Cu-O(90K), Bi-Sr-Ca-Cu-O(110K), Tl-Ba-Ca-Cu-O(125K), Hg-Ba-Cu-O(150K) 등의



(그림 1) 초전도체의 임계온도

수많은 초전도 물질이 발견되어, 현재까지 발견된 초전도체는 약 천종 이상의 물질이 초전도 현상을 나타내는 것으로 알려져 있다. 그러나 대다수의 산화물계 초전도체는 금속계 초전도체와는 달리 재료적 불안정성이 나타나기 때문에 실용상 문제점을 갖고있어 응용이 가능한 재료는 극히 제한되어 있는 실정이다. 초전도 물성이나 재현성 면에서 비교적 우수한 YBCO계 산화물은 벌크나 박막의 형태로 전류도입선이나 전자device 등의 응용연구가, BiSrCaCuO 등은 선재의 형태로 개발하여 초전도 송전케이블이나 고자장 발생용 마그네트 등에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

나. 초전도 현상의 특징

(1) 초전도 현상은

① 전기 저항이 0이기 때문에 주울 열이 발생하지 않아 대전류를 흘릴 수 있고 강자장을 발생시킬 수 있다.

② 임계자장 이하에서는 자력선이 초전도체 내부에 침투하지 못하는 Meissner 효과가 있다.

③ 전류밀도, 자계밀도 및 온도의 임계치를 갖고 이를 초과하면 초전도성이 깨지는 특성을 갖는다.

초전도체의 사용온도와 재료에 따라 일반적으로 현재 상용화가 기대되고 있는 금속계 초전도체(일명 저온 초전도체)와 향후 상용화 될 것으로 기대되고 있는 산화물계 초전도체(일명 고온 초전도체)로 분류할 수 있다.

- 저온 초전도체 : NbTi, Nb₃Sn, Nb₃Al 등(4.2K인 액체헬륨 온도부근에서 사용)
- 고온 초전도체 : Y계, Bi계, Tl계 산화물 등

(77K인 액체질소 온도부근에서 사용)

다. 초전도 응용

(1) 초전도 도체의 불안정성

초전도 현상이 발견된 연구 초기에는 초전도 마그네트를 구성하여 선재에 전류를 흘렸을 때 선재의 임계 전류치가 급격히 감소하여 초전도 특성을 공학적 이용에는 많은 문제점을 갖고 있었다. 그 후 초전도 도체의 불안정성이 해명되고 선재의 연구가 거듭되어 현재에는 선재로서는 100kA이상의 전류를 마그네트상에서는 수십테스라를 발생시킬 수 있는 전류를 흘릴수 있는 기술이 가능하게 되었다. 초전도의 불안정성을 없애는 것을 안정화라고하며 Steckly의 안정화 이론이 적용되면서 사실상 공학적 응용이 시작되었다고 볼 수 있다. Steckly의 안정화 이론은 선의 온도가 초전도 도체의 온도가 임계온도 이상 되지않도록 초전도체 주위에 안정재(Stabilizer)를 부가시킴으로서 초전도 도체에 임계전류치 이상의 전류치를 흘려도 전류를 안정재에 부담시켜 도체가 급격한 상전도 전이를 일으키지 않도록 하는 이론으로 완전 안정화 이론으로서 잘 알려져 있다. 완전안정화 이론에 의한 대형 마그네트의 구성이 가능해짐에 따라 이에 대한 실험 연구도 활발히 진행되어 수많은 안정화 이론이 정립되고 안정화 기준도 점차 새롭게 되었으며 의료기기, 물리실험장치, 초정밀 계측장치등 수많은 분야에 이르러 응용이 가능하게 되었다.

(2) 선재 개발

초전도 선재는 사용재료와 온도에 따라 고온초전도 선재와 저온초전도 선재로서 구분할 수 있으

며 사용전류에 따라 직류 선재와 교류 선재로 구분할 수 있다. 초전도 도체는 도체의 사용목적에 따라 요구되는 성능이 다르게 된다. 따라서 도체가 갖는 안정도 역시 다르다고 할 수 있다. 예를 들면 직류 통전시에는 고려하지 않았던 교류손실을 극소화하기 위하여 교류용 도체에는 안정재의 양을 줄이고 결합 손실을 줄이기 위하여 세심간의 축방향저항을 크게 하여야 한다. 이때 직류용 도체의 관점에서 본다면 안정재를 줄이게 되므로 당연히 안정재의 전류분담 능력이 떨어지고 세심간의 축방향저항이 크므로 분류 능력이 떨어져 도체의 안정도가 감소하여 통전 전류치가 낮게된다. 따라서 도체 구조 역시 다른 형상을 필요로 한다.

직류에 제한되었던 응용연구가 1980년도 초반에는 교류 초전도 선재가 프랑스에서 개발됨에 따라 초전도 발전기, 변압기, 교류송전 케이블 한류기 등의 교류기와 반도체산업의 급격한 발달에 힘입어 SMES연구가 장기간의 침체에 있던 전력기기 응용연구가 본격화 되었다. 그러나 초전도 교류 선재는 아직도 많은 연구과제를 남기고 있으나 머지않은 미래에 교류 초전도선재의 상용화가 이루어질 것으로 예상되고 있다. 또한 1986년에 발견된 고온 초전도체는 액체 질소 온도주위에서 사용 가능한 선재 개발의 가능성을 부여하게 됨으로서 초전도 응용연구 분야에 밝은 미래를 갖게 해주었다. 현재 고온 선재의 연구는 아직 초기단계이기는 하지만 비약적인 발전이 거듭되어 소용량의 마그네트와 발전기, 중형급의 모타, 단축 케이블 등의 선재가 개발되고 있다.

(3) 선재의 안정화

안정화 연구는 초전도 선재가 갖는 본질적인 불안정성을 안정화시킴으로서 초전도 선재개발의 기

준을 제시하고 초전도 도체의 대용량화를 가름하는 전초적 연구로서 초전도 응용의 폭을 넓히는 중요한 연구이다.

선재의 안정성을 확보하는 방법으로는 도체의 구조를 목적에 부합되도록 설계하는 직접적인 방법과 이미 개발된 도체를 목적에 부합되도록 적용시키는 간접적인 방법이 있다.

직접적인 방법은 초전도 선재의 본질적 특성을 파악하여 선재의 사용재료, 안정화재의 선택, 심수, Filament직경, Pitch, 심선배열구조와 통전전류, 경험최대장, 온도 마진 등을 고려하여 안정도를 확보하는 방법이며 간접적인 방법은 선재의 냉매의 선택, 냉각구조, 대체의 지지구조개선, 함침법, 전류리드 등의 도체의 안정도에 기여하는 요인을 완화시키는 방법이다.

금속계 초전도선재의 안정화 연구는 많은 연구가 진행되어 왔다. 현재 안정화 연구의 대부분은 교류 초전도 선재에 집중되어 진행되고 있으며 고온초전도 선재는 직류 도체가 실험연구 중심으로 고임계 전류밀도 연구가 진행되고 있다.

2. 전력기술의 한계와 문제점

우리나라의 최대 전력수요는 29,878MW(1995. 8. 18)를 기록했으며, 2010년경 약 2배이상(65,642MW 예상)으로 증가할 것으로 전망된다.

이에 따라 전력 계통에 과급되는 영향은 다음과 같이 요약할 수 있다. 계통 단락전류 증대, 전원 원격화에 따른 계통안정도 감소, 전력계통 용량 증가로 인한 전압안정도 저하, 전기 고품질화 및 경제적이고 안정된 전력에 대한 사회적 욕구의 증대 등이다.

이러한 전력 계통의 문제점을 해결하기 위하여

종래 기술의 개선 및 신기술의 적용이 추진되고 있다. <표 1>은 이러한 기술상의 문제점을 송전 케이블에 대해서 제시하고 있다.

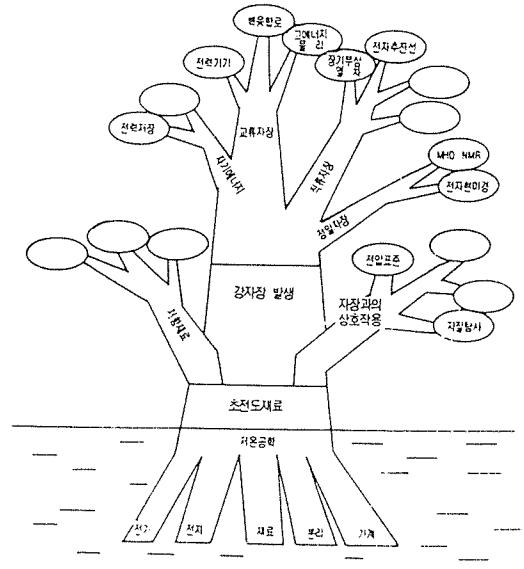
<표 1> 전압별 OF케이블 송전용량 한계 비교

송전전압(kV)	송전용량(MVA)	송전거리(km)
154	300~400	20
345	800~900	20
500	1,500~2,500	20

3. 초전도의 응용 분야

초전도응용 분야는 (그림 2)에서와 같이 초전도 재료와 저온공학, 전기, 전자공학 등의 복합 기술이 연계된 분야로서 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 에너지분야 : 에너지저장, 송전케이블, 발전기, 변압기, 환류기, MHD발전, 핵융합 등
- 교통분야 : 자기부상열차, 전자 추진선, 전자 발사 장치, 전기자동차 등
- 의료분야 : 자기공명 단층촬영장치, 초전도 사이크로트론, 중간자 암조사장치, 심장계, 뇌자계 등
- 산업응용분야 : NMR분석기, 고분해능 전자현미경, 고에너지 입자검출기, 자기차폐 등
- 자원·환경분야 : 자기광선, 자기분리(오염된 물의 처리), 자기지질탐사 등
- 정보처리분야 : 연산회로, 전자회로, 초고속 컴퓨터 등



(그림 2) 초전도 응용분야의 분류

4. 전력기기에의 초전도 응용

가. 초전도 에너지저장장치(Superconducting Magnetic Energy Storage)

(1) 특 징

초전도 에너지저장장치(이하 SMES라 칭함)의 주요한 특징으로는

- 저장 효율이 높다(99%).
- 응답성, 부하추종성이 우수하다.
- 정전류원이기 때문에 계통의 단락용량을 본질적으로 증가시키지 않는다.
- 소규모 용량에서도 실용화가 가능하다.

등을 들 수 있다.

(2) 현 황

SMES를 이용한 에너지 저장 연구개발은 주로 미국의 위스콘신대학과 로스알라모스 과학연구소

(LANL)에서 진행되었으며 본네빌 전력청 (BPA)에서는 30MJ급 계통 안정화용 SMES를 제작하여 세계 최초로 실계통시험을 실시하였다.

또한 미국 전력연구소(EPRI)에서는 SDI(Strategic Defence Initiative) 계획의 일환으로 1989년에 20MWh급 SMES개발 프로젝트를 시작하였다. 이것은 레이저빔용 전원(400MW-100초)과 전력 저장용(10MW-2시간)이라는 이중 용도로 설계되었으나, 1994년에 중단되었다. 미국 Superconductivity Inc.는 micro규모의(수 MJ-수 MW)SMES를 상용화한 바 있으며 1993년 워싱턴에서 열린 SMES UIG 미팅에서는 SMES를 전력계통 안정화용에 있어서 가장 유망한 장치로 선정한 바 있다.

일본에서는 1969년 구주대학에서 SMES의 이

론연구가 시작되어 1975년경에는 고에너지물리학 연구소, 전자총합연구소 등에서 본격적인 실험연구가 시작되었다. 그 후 ISTEC에서 통산성의 수탁연구로서 SMES의 연구 현황과 전력계통 적용 가능성을 검토한 결과 분산 배치형 다용도 SMES의 적용성이 가장 높은 것으로 평가되어 중소기업 SMES의 응용 연구가 진행되고 있다. 또한 1991년도부터는 100kw급의 소규모 SMES의 Pilot Plant 개발에 박차를 가하여 현재 NbTi연선 도체를 사용한 1MJ급이 제작되었다.

국내에서도 SMES의 연구개발의 중요성을 인식하고 한전(연), 기초(연), 원자력(연), 전기(연)을 중심으로 1980년대부터 연구개발을 시작하였다. 1985년 서울대학교와 한전 전력연구원이 공동으로 25kJ급 SMES연구를 시작하여 전력계통 연

〈표 2〉 SMES 도입량의 전망

분류	규 모	도입시기	설 치 장 소	도 입 효 과
소규모	0.1MWh급 (360MJ)이하	SMES : 2010년경	<ul style="list-style-type: none"> · 장거리 송전 발전단 · 1, 2차 변전소 · 태양광, 풍력발전 도입개소 · 철강부하, 전철부하 등 부분 안정화가 필요한 개소 	<ul style="list-style-type: none"> · 안정도 향상 · 소규모 변동부하 평준화, 전압 변동 억제 · 간헐전원의 출력 평준화
중규모	10MWh급 (36GJ)이상	BES : 1999년부터 SMES : 2020년부터	<ul style="list-style-type: none"> · 배전용 변전소(154kV변전소) 	<ul style="list-style-type: none"> · 부하평준화에 의한 송변전설비 건설의 지연 · 대형 변동부하 평준화, 전압변동 억제 · 무효전력 조상설비 삭감, 계통 주파수설비 삭감, 순동예비력 삭감
대규모	1GWh급 (3600GJ)이상	SMES : 2020년이후	<ul style="list-style-type: none"> · 분산형(345kV 변전소) · 대형 입지조건을 만족할 수 있는 지점 	<ul style="list-style-type: none"> · 부하평준화에 의한 Peak용 전 설비 삭감, 송변전 건설 지연 · 송전손실 저감, 발전설비 열효율 향상, 일일기동정지 운전에 따른 기동정지 손실 저감

계 운전특성 및 계통안정화 특성을 검토하였으며 1988년부터 0.5MJ급 SMES를 설계한 후 러시아에 제작을 의뢰하여 제작완료된 시스템을 한국전기연구소에 설치하여 정격시험연구를 1994년 완료하였다.

(3) 전 망

여기에서는 에너지저장장치의 도입 가능성에 대하여 전망하고, 또 그것을 도입하였을 때 도입 가능량을 소·중·대규모인 경우로 나누어서 도입 시기, 도입 효과 등에 대하여 <표 2>에 정리하여 나타내었다. 소규모급의 계통 안정화용 SMES는 2000년대 초에 부분적으로 실용화 될 것으로 전망되며, 최근 미국에서는 1MJ의 Micro SMES가 반도체제조용 전압변동대응 예비전원으로 상용화된 바 있다. 중·대규모급은 2020년 이후에 실용화되리라고 전망된다.

나. 초전도 발전기

(1) 특 징

전력계통에 초전도 회전기의 응용으로서는 초전도 발전기, 초전도 동기조상기 등을 들 수 있다. 어느 것이건 회전기로서의 전기특성이 우수한 것 외에도 경제적 효과도 매우 클 것으로 기대되고 있다. 그 대표적인 특징으로는 아래와 같은 점을 들 수 있다.

- (가) 발전기의 제작 한계용량(1,500MVA)의 확대(출력계수가 종래 기의 2~5배로 증가)
- (나) 소형 경량화(동일 용량의 중량 : 50%, 축길이 : 60%)
- (다) 효율의 향상(2극 1,200MVA의 경우 종래기의 손실의 39%로 감소)

(라) 계통 안정도 향상

(매) 발전기 단자 전압의 고압화 가능성

이와 같은 점은 에너지 자원이 점차 고갈되어 감에 따라 앞으로 그 중요성이 더욱 더 증가될 것으로 예상된다.

(2) 현 황

초전도 회전기의 개발은 1960년대부터 활발히 이루어져 1971년에 영국에서 3,250마력의 단극 직류 전동기가 시작되어 시운전에 성공하였다. 또한 일본에서도 1974년에서 1976년에 걸쳐 3,000kw의 단극 직류발전기가 시작되었다. 초전도 동기기에 관해서는 미국의 MIT에서 45kVA 회전자계형 초전도 발전기의 실험에 성공한 이래 선진 각국에서 초전도 동기기의 연구개발이 적극적으로 진행되어 현재 일본에서는 70MVA급이 시작되고 있는 단계에 이르고 있다.

한편 발전기의 회전자뿐만 아니라 고정자까지 초전도화한 전초전도 발전기는 1991년 프랑스의 Alstom사에 의해 20KVA급이 최초로 제작되었다. 그 후 일본 요코하마대학을 중심으로 1992년 30KVA급 전초전도 발전기가 개발되었다. 국내에서는 20KVA급 초전도계자형 발전기가 1988~1994까지 개발되었으며, 1995년부터 기초전력공학공동연구소와 전력연구원이 전초전도 발전기에 관한 기초연구를 수행중에 있다. (그림 3)에 세계 각국의 초전도 발전기의 개발 현황을 그래프로 나타내었다.

(3) 전 망

초전도 발전기는 원리적으로 극복 곤란한 기술적 문제는 없으나, 착실한 연구개발 단계와 실증 단계를 거친다면 대용량 발전기로 실용화 될 것으

로 기대되어 진다. 특히 초전도 발전기는 고밀도, 고효율, 계통의 전기특성의 개선에 있어서 이점을 구비하고 있기 때문에 2000년대 초반에는 실용화가 출현할 것으로 추측되어 진다. 특히 일본에서 추진되고 있는 200MW급 파일로트기 개발을 목표로 하는 70MW급 모델기 개발계획은 세계의 주목을 받고 있다(Super-GM에서 수행).

그러나 종래기에 비하여 초전도 발전기는 다양한 요소기술의 베이스를 필요로 하고 발전기에서 요구되는 실용화 기기로서 요구되어지는 신뢰성과 무보수성이 보증되어야 하므로 향후의 대용량 시작기의 개발에 있어서는 이러한 점에 초점을 맞추어 점진적인 실증시험 연구로 진행되어야 할 것으로 예상된다.

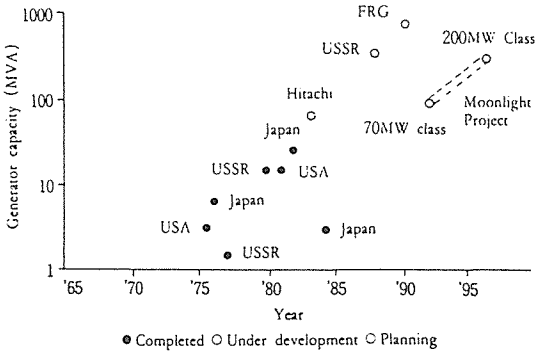
- (다) 케이블의 compact화
- 등이며 그 이외의 장점으로,
 - Surge free와 절연 절감
 - 자연으로부터의 사고요인 배제
 - 계통 전체로 본 운용전력의 저감
 - 순시 전압 저하의 저감
 - 전압 안정성의 향상
 - 저장 기능에 의한 안정화
 - 절연 열화 속도의 저감
 - 선로 점유율의 축소 및 운전기술의 단순화, 도시 경관에의 기여 등

으로 평가되고 있다. 특히 초전도 케이블은 저손실, 대전류송전이라는 특징으로부터, 케이블 허용전류에서 충전전류가 접하는 비중이 작기 때문에 케이블에 비해 충전전류가 송전길이의 제약조건이 되는 경우가 작다.

(2) 현황

초전도를 이용한 전력수송의 개념은 초전도 현상 발견의 초기부터 시작되어, 매우 작은 손실로 대전류를 송전하는 것이 가능한 초전도 케이블은 송전시스템에 혁명을 가져올 것으로 기대되어 왔다. 현재의 고도경제성장 시대에 있어서 전력수요의 증대에 대처하기 위해서 UHV송전과 병행하여 대용량의 지중 케이블의 연구개발이 세계 각국에서 진행되었으나 지금은 소강 상태이다. 관로기중 케이블이나 액체 질소 냉각 상전도 케이블과 함께 액체 헬륨 냉각 초전도 케이블의 연구가 진행되어 많은 결과들을 얻었다.

초전도 도체, 전기절연, 열절연 등의 케이블 부품과 케이블 단말, 냉각시스템 등의 기술개발이 진행되어 미국의 BNL국립연구소, 오스트리아의 Gratz연구소를 필두로 하여 구미 각국에서 연구가



(그림 3) 초전도발전기의 개발현황

다. 초전도 송전 케이블

(1) 특징

초전도 송전 케이블의 특징으로는

- (가) 대용량, 저손실화
- (나) 저전압송전

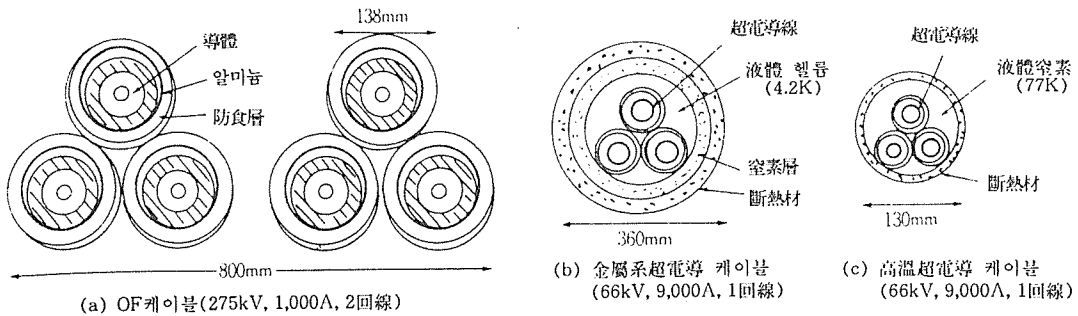
진행되었다. 또한 일본에서도 전자기술종합연구소, 나고야대학, 도요하시기술과학대학 등에서 요소 기술연구가 소규모로 진행되고 있으나 장시간 운전에 대한 신뢰성과 경제성의 검증이 필요하며, 고온 초전도체의 개발에 기대를 걸고 있다.

국내에서는 전력연구원과 한국전기연구소가 공동으로 1994~1999까지 15kV, 3GVA, 10m급 초전도케이블시스템 개발을 목표로 연구진행중에 있다.

(3) 전망

초전도 케이블의 냉각 형태로는 실제 계통에서 요구되는 대용량의 초전도 케이블을 만들기에는 적합한 성능을 가진 고온 초전도 선재가 개발되고

있지 않기 때문에 현 시점에서는 금속계 액체 헬륨 냉각 초전도 케이블을 실용화 목표로 상정해 연구하고 있으나 액체 헬륨 냉각형은 냉각 효율로 인한 경제성 때문에 기존의 전력케이블과 비교할 때 약 2GVA이상의 용량에서 경제성을 갖고 있으므로 인해 실증시험 연구가 완료된 현재에도 계통에 투입되고 있지 않은 실정이다. 그러나 기술의 발전속도가 빨라 1~2GVA 정도에서도 경제성을 갖는 초전도 케이블 개발이 기대되며 실용화 시기도 많이 단축되리라 여겨진다. 또한 고온 초전도 케이블을 직류용으로서 송전전류 2000~3000A, 길이 5~6m의 단축시료를 개발하여 송전 케이블의 고온화 시험연구가 진행되고 있다.



(그림 4) 1000MW 송전에서의 각종 케이블 단면형상

그러나 일반적으로 고온 초전도의 적용은 재료 자체와 가공성 상의 문제 때문에 직류형만 검토되고 있다. 그 이유는 초전도 선의 교류손실 때문이며, 액체 질소 냉각형 고온 초전도 선이 액체 헬륨 냉각형 초전도 선에 비해 경제성을 가지려면 저온 초전도 선에 비해 40배 이하의 교류 손실을 가질 때만이 가능하는데 현재는 약 300배 이상의 값을 갖

고 있다.

이것은 매우 중요한 의미를 가지는 것으로 교류 손실의 저감을 위해서는 극세 다심화와 아주 짧은 연선 폭을 가져야 하는데 현재 고온 초전도체는 세라믹계 산화물 초전도체를 선재의 형태로 가공하기 때문에 세라믹이 갖는 독특한 취성 즉 가공의 어려움 때문에 현실적으로 이 문제의 해결은

상당한 기간을 요할 것으로 예상되고 있다.

라. 초전도 사고전류 제한기(SFCL)

(1) 특징

1970년부터 전력 계통의 용량이 크게 늘어남에 따라 사고 전류가 변전소나 발전소에 있는 차단기의 용량을 초과하게 되자 이에 대처할 여러 가지 방법들이 연구되었다. 차단기의 용량과 변전소의 규모를 키워 새로 건설하는 것은 장기적으로는 가능하나 경비가 많이 들며 전력 수요가 늘면 동일한 문제에 부딪히게 된다. 고속 차단기를 이용해서 단계적으로 차단하거나 직렬리액터를 설치하는 방법도 현실적으로는 많은 어려움을 안고 있다. 이에 따라 사고 전류 자체를 미리 설정한 값으로 제한할 필요성이 대두되어, 비선형 저항기와 스위치를 이용한 사고전류제한기가 실제로 제작되어 사고후 반주기내에 사고 전류를 제한할 수 있음을 보여 주었다. 그러나 이 전류제한기는 장치가 복잡하고 부가 설비가 많다는 점이 문제로 나타났으며, 그 대안으로 초전도체에 흐르던 전류가 임계 전류를 넘어서면 상전도체로 바꾸어 저항을 띠는 성질을 착안해 1970년대 말부터 전류제한기의 연구가 시작되었다.

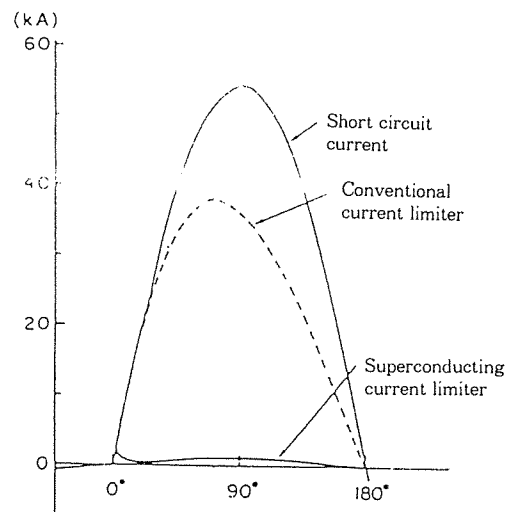
이 중 대표적인 구조는 초전도 선을 인덕턴스가 없도록 길게 권선하여 정상상태에서는 임피던스에 의한 전압강하가 없이 전류가 흐르고, 사고로 전류가 증가하면 Quench가 그에 따라 나타나는 저항으로 전류를 제한하는 방식이다. 사고전류로 Quench가 발생하는 권선을 트리거(trigger)라 하며, 사고시 트리거의 양단 전압이 급격히 상승하는 것을 억제하기 위해 병렬로 션트(shunt)저항을 연결하거나 코일을 연결하며 이것을 리미터

(limiter)라 한다. 리미터에는 정상시 거의 전류가 흐르지 않으며, 사고시에는 리미터의 임피던스로 사고전류를 제한한다. 션트저항이 연결된 형태인 저항형 초전도 전류제한기는 사고발생 후 1ms이내에 사고전류를 효과적으로 제한할 수 있음이 확인되어 초전도 현상을 이용한 전력기기로는 실현 가능성이 가장 높은 것으로 나타났다.

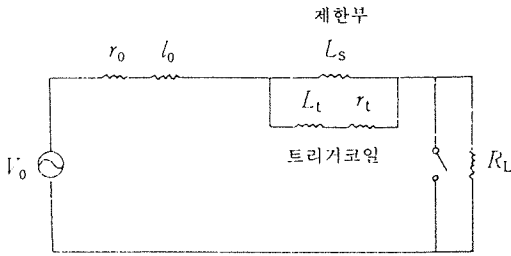
다음의 (그림 5)에 기존의 사고전류제한기와 초전도 사고전류제한기와의 전류제한능력을 비교하였다.

초전도 전류제한기의 특징은

- (가) 사고 전류를 미리 설정한 값으로 제한
- (나) 초전도 전력 계통의 필수 요소
- (다) 기존 전류제한 장치로는 이를 수 없는 동작 특성
- (라) 사고의 빠른 감지에 의한 시스템 보호
- (마) 사고전류를 제한하여 기존의 차단기를 그대로 사용



(그림 5) 초전도 한류기의 한류특성



(그림 6) 유도형 초전도사고전류제한기 회로

(2) 현황

(가) 일본, 프랑스의 경우

일본의 경우 도시바와 동경전력이 공동연구로 6.6kV/1.5kA급의 유도형 초전도 사고전류제한기를 개발, 시험하였다. 시험은 200MVA급의 발전기에 단상의 사고전류제한기를 연결하여 행하였으며, 이를 근거로 실용화할 수 있는 3상 초전도 사고전류제한기를 제안하였다.

프랑스의 경우 GEC Alsthom사와 Marcoussis Lab.의 공동 연구로 25kVA급의 트리기코일만 있는 사고전류제한기와 7.2kV/1kA/3kA_{peak}급의 저항형 사고전류제한기를 GEC Alsthom-DTDE의 600MVA 발전소에서 실험하였다.

(나) 국내의 경우

직류용 초전도선을 이용해서 직류전류제한기에 관한 연구를 1988년 서울대학교에서 수행한 바 있는데, 스위칭 요소로는 NbZr 박막을 사용하였다. 교류용 초전도 선재가 국내에 도입된 이후에는 리미터로 인덕턴스가 큰 코일을 사용한 유도형 전류 제한기가 주로 연구되어 1993년에는 35V의 프로토타입(prototype)이, 1995년에는 220V/100A급의 초전도 전류제한기가 제작된 바 있다.

마. 초전도 변압기

(1) 특징

전력기기 중에서도 변압기는 초전도화가 비교적 용이한 기기의 하나로 인식되어 왔는데, 그 이유는 변압기가 정지기이며, 구조가 간단하고, 철심을 이용할 경우 권선의 경험자계가 적고, 설계 냉각 체적이 타 기기에 비하여 비교적 작은 점 등 개발상 유리하기 때문이다.

한편 현재의 상전도 변압기의 효율은 상당히 높아져 소용량기인 수십 kVA급은 97%이상까지, 대용량기인 수십 MVA급은 약 99.5%이상까지 달하고 있다. 이러한 변압기를 초전도화 함으로써 얻을 수 있는 손실 저감에 의한 효율 향상은 0.15~2.0% 정도로 평가되고 있고, 손실 저감에 대한 연구로서, 275kV/1000MVA기의 개념 설계에서는 총손실이 종래기의 35.8%로, 275kV/300MVA기의 개념 설계에서 40.8%로 4kV/200kVA기의 시 작품에서는 54.2% 등으로 용량이 클수록 손실이 줄어드는 경향을 보인다.

초전도 변압기는 전류 밀도가 큰 초전도선을 사용하여 절연을 포함한 권선부의 전류 밀도는 종래기의 10~20배로 증가되기 때문에 권선부 단면적이 작게 되고, 또한 암페어턴이 크게 되므로 철심의 단 면적도 작게 할 수 있어서 소형화가 용이하다. 1981년 미국의 Westinghouse사의 1000MVA기의 개념 설계에 의하면, 초전도기의 중량은 전 용량에 걸쳐서 36%나 절감되는 것으로 보고 하고 있다.

(2) 현황

초전도 변압기에 대한 연구는 1961년 미국의 R. Mcfee가 120MVA 초전도 변압기의 개념 설 계를 한 이래, 1970년대에 활발한 연구개발이 행

해졌다. 그 결과 종래 변압기와 비교해서 신뢰도, 효율, 크기, 중량 및 경제성 면에서도 초전도화에 의해서 얻어지는 장점이 크지 않은 것으로 결론지었다. 그러나 1981년 미국의 Westinghouse사에서 1000MVA 용량의 초전도 변압기의 개념 설계를 통해서 그 당시의 통설을 깨고 초전도 변압기의 우위성을 밝혔다. 이와 더불어 1983년 프랑스의 Alsthom사에 의해 50/60Hz용 교류손실이 극히 적은 극세다심 초전도 선이 개발된 이래, 이에 힘입어 초전도 변압기에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 1988년 프랑스 Alsthom사는 220kVA인 초전도 변압기를 개발한 바 있고, ABB에서는 1992년 330kVA 단상 변압기를 개발하였다. 일본에서는 1993년 1000kVA급 초전도 변압기를 제작한 바 있다.

(3) 전 망

초전도 변압기의 연구개발은 고효율, 소형, 경량화를 위하여 세계 각국에서 꾸준히 진행되고 있다. 초전도 선의 교류응용기술이 급속도로 개발됨에 따라 향후 전력시스템의 초전도화에 대비하기 위한 송변전 기술로서 정착될 것으로 예상된다.

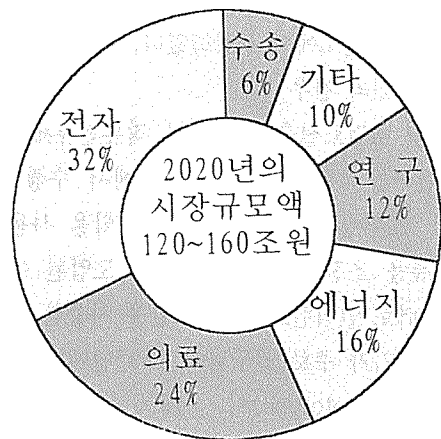
5. 결 론

지금까지 초전도 기술의 전력기기에의 응용의 관점에서 초전도 현상 및 특징에 관하여 간단히 살펴보고, 각종 전력기기의 초전도화에 필요한 기술적 특징과 연구 동향에 대하여 언급하였다.

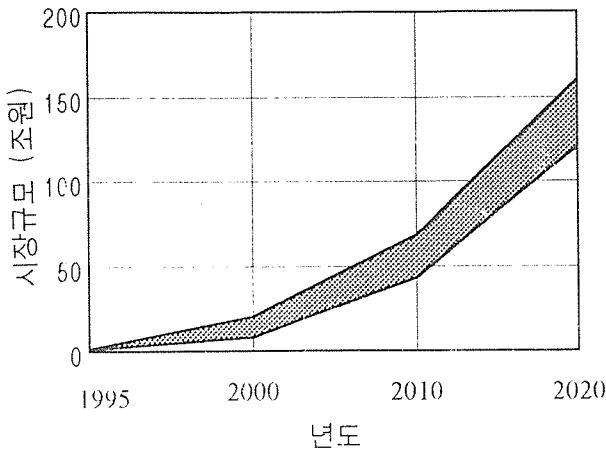
세계적으로 초전도 기술의 산업응용에 관한 연구가 본격적으로 시작될지, 이미 20년 이상 경과되었고, 산업사회의 발달에 따라 기존의 방식으로 해결하기 어려운 새로운 요구와 변화가 계속되

고 있는 가운데 기존의 방식을 초월하여, 이에 능동적으로 대처하기 위하여 초전도 응용분야의 비중이 여러 분야에서 계속 확산될 것으로 예상되고 있다. 향후 초전도 산업의 세계시장 규모는 현재의 1조 6,000억원 규모에서 2000년에는 8조~12조원, 2010년에는 42.8조~68조원, 2020년에는 120조~160조원으로 성장될 것으로 전망되고 있다.

특히 산업발달에 의한 전력수요의 급격한 증가에 대응하기 위한 발전설비, 송변전설비의 증설과 확충과 전원의 대용량화, 원격화에 따른 송전선의 용지확보, 전력계통의 안정도확보 등의 문제가 심화되고 있으며 송전 전력손실의 저감이 전력기술의 중요 현안으로서 대두되고 있고, 전기품질의 고급화에 대한 사회적 요구도 커지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 전력계통에 다양한 신기술의 도입이 추진되고 있다. 특히 초전도 전력기기의 적용은 미래의 전력 운용기술상에 문제점을 근본적으로 해결할 수 있는 기술로 전력계통



(그림 7) 2020년의 세계 초전도시장 구성비



(그림 8) 2020년까지 세계 초전도시장 예상추이

의 고효율화, 고밀도화, 고안정도화를 이룰 수 있는 대단히 중요한 요소로서 자리잡을 것으로 예상된다.

전력시스템에 초전도 발전기, 에너지 저장장치, 변압기, 케이블과 한류기 등이 도입될 경우, 전력시스템에는 획기적인 변화가 예상된다. 장기적 시장규모 면에서도 (그림 7), (그림 8)에서 보는 바와 같이 에너지 분야에 큰 규모를 차지하고 있어 실용화에 더욱 박차를 가할 것으로 예상된다.



지적재산권 보호만이
기술개발을 앞당깁니다