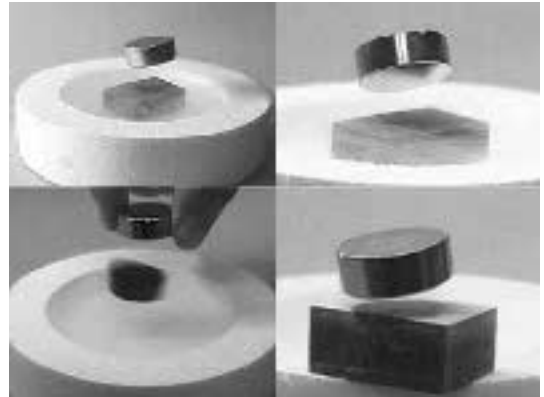


초전도현상과 그 응용기술 현황

글 _ 양배덕 · KISTI 전문연구위원 · ybd7926@resear.re.kr

1. 머리말



초전도현상이란 절대온도 0도(-273℃)근방에서 도전성 재료의 고유전기저항이 없어지는 현상으로 1911년에 네덜란드의 H.K.Onnes가 수은에서 이 현상을 처음으로 발견하였다. 전기저항이 없어지면 옴(Ω)의 법칙은 성립되지 않는다. 다시 말하면 초전도 현상이 나타나는 도체에 전류가 흐를 때 그 도체에서는 에너지 손실이 없다. 이를 이용하면 대전류를 손실 없이 흘릴 수 있다. 따라서 원거리에 대전류의 전송이 가능하고 솔레노이드에 적용하면 대단한 자장을 얻을 수 있는 것이다. 이러한 초전도는 강자장의 발생은 물론, 그 특성을 이용하여 MHD발전, 자기부상열차, 의료용 MNR, 입자 가속기, 전자기 추진 선박, 핵융합 기타 SOUID 센서 등, 광범위하게 이용될 수 있다. 그러나 100K이하의 저온 환경을 만드는 것은 대단히 어려울 뿐만 아니라 비용이 너무 많이 들기 때문에 연구가 주춤하였다. 1987년 미국에서 P. Chu 박사 등이 90K이상에서 초전도 특성을 보이는 YBaCaO를 개발하면서 고온 초전도체 시대가 열렸다. 이제 21세기 과학자는 이 초전도현상을 다루어 보지 않고는 학자가 될 수 없다는 말이 나올 정도이다. 초전도현상에 대한 현재의 공학위치를 알아보자.

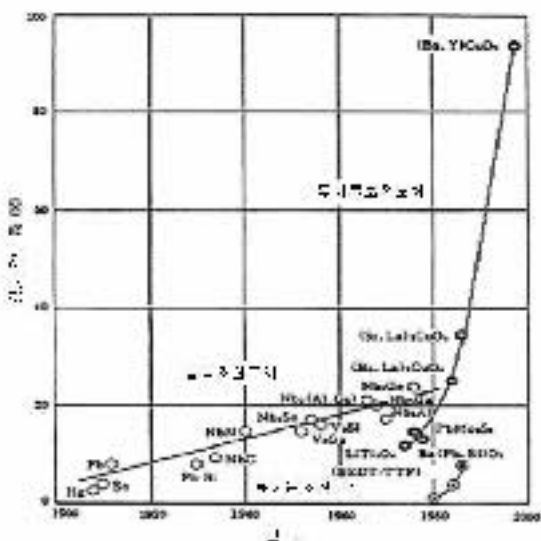
2. 초전도 상태와 고온 초전도체

초전도현상의 또 다른 발견은 1933년 독일의 Meissner와 Oschenfeld에 의해서 이루어졌다. 이들은 초전도체가 단순히 저항이 없어지는 것뿐만 아니라 반자성체로 된다는 것을 알아냈다. 이는 내부 자장을 밖으로 밀어내는 현상으로 마이스너 효과(Meissner effect)라고 한다. 초전도체 위에 자석을



두면 자석의 자장이 초전도체의 반자성에 의하여 초전도체로 침투하지 못하고 자석이 떠 있게 된다. 하지만 이때 주위 온도가 올라가면 즉 초전도체가 그 성질을 잃게 되면 자석은 더 이상 띄울 수 없다. 이때의 온도를 임계온도라고 한다. 이와 같이 어떠한 일정 온도 이하에서 전기저항이 완전히 사라지고 내부에 자기 저항이 존재하지 못하는 상태를 초전도 상태라고 한다.

1986년 IBM의 Bednorz 와 Muller 에 의해서 개발된 란타늄 계열의 초전도체를 필두로 1987년 미국 과학자 P. Chu 박사에 의해 77K이상에서 초전도 현상을 보이는 물질이 개발 되었다. 현재 고온 초전도체로 주목받고 있는 것은 희토류 산화물인 란타늄계(임계온도 30K)와 이트륨계(임계온도 90K), 비스무스 산화물계, 탈륨계 수은계(임계온도 134K) 등이 있다. <그림 1>은 년도별 초전도체의 발전현황이다.



<그림 1> 임계온도-초전도체 발전 현황

3. 응용기술의 현황

초전도체의 응용은 크게 나누어 대규모 응용과 소규모 응용으로 구분된다. 전자는 주로 전기저항이 없어지는 것을 이용하여 큰 전류를 흘리거나 이를 이용한 큰 자장을 만들어 응용하는 것이며 후자는 주로 초전도체 박막을 만들어 사용하는 전자공학적인 이용에 있다.

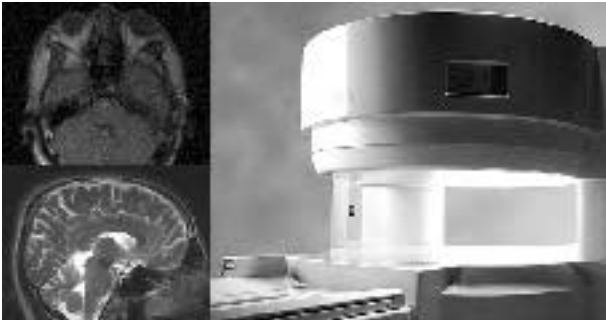
가. 대규모 응용

(1)에너지 관련 응용

초전도 응용 분야 중에서 가장 파급효과가 클 것으로 예상되는 것은 에너지 분야로 발전, 송전, 전기저장, 동력기기 등 전기에너지의 모든 분야에서 그 응용이 가능하다. 초전도 발전기와 대형 전동기는 도선 전류를 크게 할 수 있기 때문에 발전기의 크기를 30%이상 줄일 수 있다 따라서 기기의 규모와 중량을 줄일 수 있다. 현재 미국과 일본에서는 집중적으로 연구하고 있다. 초전도에너지저장시스템(SMES)은 초전도자석 내에 자기장의 형태로 전류를 직접 저장할 수 있다. 이는 고온초전도체의 이용 중에서 가장 각광 받을 것으로 예상되는 분야로 일본과 구라파에서 활발하게 연구되고 있다. 이 밖에 저온초전도체(Nb-Ti, Nb3Sn)를 이용하는 대규모 초전도자석은 핵융합실험로(ITER)와 MHD발전 등에 응용되고 있다.

(2)교통 운송 분야

초전도체를 응용한 교통기관에는 잘 알려진 자기부상열차(maglev)와 대형선박을 추진하는 전자력 추진(MHD propulsion system)이 있으며 물체를 쏘아 올릴 수 있는 전자력발사장치(Rail gun)를 들 수 있다.

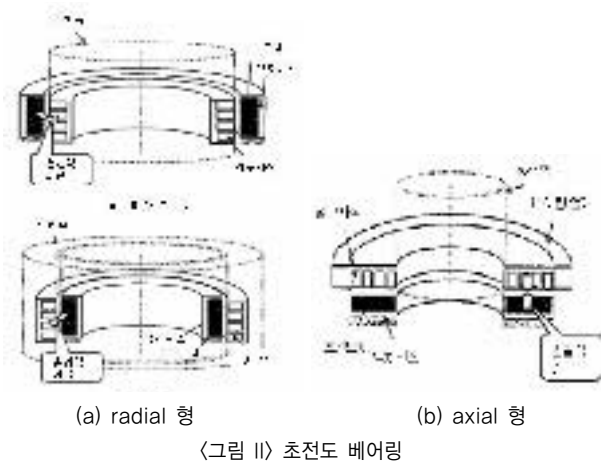


(3) 의료 분야

자기공명영상장치(MRI)를 들 수 있으며 이러한 자기공명영상장치는 넓은 범위에 걸쳐 균일한 자기장이 요구되고 저온 초전도체 코일을 사용한 초전도자석이 현재 응용되고 있다.

(4) 기타 응용분야

송배전선로 사고시의 이상전류를 제한하는 한류기와 냉동기에 전류를 공급하기 위한 전류리드, 에너지 저장에 사용되는 fly wheel이나 중량물의 회전용 초전도베어링 등이 있다. <그림 II>는 초전도 베어링의 기본 구성을 보여주고 있다.

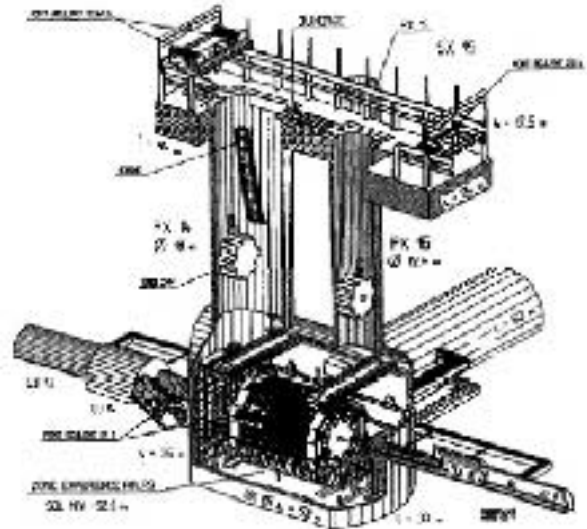


(a) radial 형 (b) axial 형
<그림 II> 초전도 베어링

이 밖에 입자가속기에 사용되는 기존의 자석이 초전도자석으로 대체되고 있으며 소규모 방사광가속기 및 자기분리기에도 초전도자석이 사용될 전망이다. <그림 III>는 초전도체 자석의 이용 예이다. CERN(유럽 합동 소립자 핵물리 연구소)에 있는 Hadron Collider에 초대형 전자석을 설치하고 있다. 이는 입자의 분리와 소립자 검출에 사용할 목적으로 2005년부터 설치할 계획이다.

초전도 자석 시스템 규모는 20m직경에 길이가 26m나 되는 세계 최대의 초전도체 자석 시스템으로 BT(barrel Toroid)는 8개의 코일이 방사형으로 돌아가면서 회전 자계를 만들고 중앙부에는 CS(Center Solenoid)가 놓이게 되는 구조이다. 그리고 2개의 ECT(End Cap Solenoid)가 양

쪽 끝에 하나씩 놓이게 된다. 이 자석은 지하 100m에 설치되게 된다.



<그림 III> CERN에 설치되는 대형 초전도 자석시스템

나. 소규모 응용

(1) SQUID

초전도 양자간섭장치(SQUID)는 조셉슨 효과와 자속의 양자화를 이용한 자기센서로 사람의 심장이나 뇌에서 발생하는 미세한 수 피코 가우스(pico Gauss) 정도의 자기장을 감지할 수 있다. 따라서 현재 병원에서 사용되는 심전도나 뇌전도보다 훨씬 더 정확하게 환자의 심장이나 뇌의 상태를 진단할 수 있다.

(2) 각종 센서

조셉슨 소자를 사용하여 고주파검출기, 광검출기를 제작할 수 있으며 필터, A/D변환기, 공진기, 안테나 등에 응용도 가능하다.

(3) 컴퓨터 소자

조셉슨 소자를 기억소자로 이용하려는 노력으로 FET 반도체 기술에 연구가 진행 중으로 향후 반도체 기술과 초전도 기술이 결합된 슈퍼컴퓨터가 개발될 것으로 예상되고 있다.

4. 연구현황

고온초전도체가 발견된 이후 미국, 일본 등 선진국들은 국력을 기울여 초전도사업에 대한 연구 경쟁이 치열하다. 미국은 21세기 가장 중요한 기술의 하나인 초전도기술에서의 우위를 지키기 위해 대기업과 국립연구소 그리고 대학간 연

구 컨소시엄을 구성하여 연구를 수행하고 있으며 일본의 경우는 1990년 이후 NEDO를 중심으로 20년 계획으로 고온 초전도 재료는 물론 SMES, 대형 발전기, 기타 전력계통의 초전도기기 개발에 심혈을 기울이고 있다. 독일과 프랑스를 중심으로 하는 유럽연합도 오랜 전통을 바탕으로 초전도 연구를 진행하고 있으며 러시아의 경우 경제적 어려움에도 불구하고 고온초전도분야의 연구를 계속 진행하고 있다.

초전도관련 연구동향은 크게 전력교통분야(발전기, 변압기, 한류기, 케이블, SMES, 자기부상열차 등), 산업응용분야(자기분리장치, 전기추진선, 자기베어링, 반도체인상용용장치, 산업용SMES 등) 그리고 의료/전자분야(MRI, SQUID, 슈퍼컴퓨터, 전자교환기, 이동통신소자 등)의 3개 분야로 나뉘어 상용화를 목표로 그 연구가 활발하고 이미 상용화가 된 것도 상당수에 이르고 있는 실정이다.

국내에서는 표준과학연구원, 전기 연구소, 한국전력 기술연구원과 서울 대학교 부설 전력 연구원에서 장기 연구과제로 각기 특색별로 연구가 수행되고 있다. 소규모 응용분야로 '고온초전도SQUID 개발/초전도전자디지탈소자 개발/초전도 고주파소자 설계/YBCO tape 선재 개발' 등이 있으며 21세기 프론티어 연구사업으로 '초전도자석 개발/전력용 한류기 개발 /변압기/모터에 관한 연구'가 수행 중에 있다.

5. 향후 동향

현재 상용화를 위한 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 의료분야에서는 MRI가 상용화되고 있으며 뇌질환과 심장질환과 같은 것을 비파괴검사를 통해 매우 신속하고 정확하게

진단할 수 있게 되었다. 고압 송전선이 초전도선재로 대체가 되면 저항에 의해 전선에서 열이 발생하지 않게 되므로 전력손실이 없게 된다. 또한 각종 기계류의 플라이휠(fly wheel)의 경우 초전도 베어링을 이용하게 되면 마찰손실 없이 회전에너지를 극대화 할 수 있게 된다. 이밖에 낮은 잉여전력을 밤에 활용할 수 있는 전기저장장치(SMES) 또한 많은 관심을 끌고 있으며 기타 초전도 발전기, 전동기, 한류기와 대형 선박을 추진시킬 초전도 추진기관은 기술적으로 파급효과가 대단히 크므로 이 분야에 연구가 집중될 것이다. 디지털 신호를 처리하는 정보통신 소자 분야에도 초전도 기술의 중요성이 인식되고 있다. 향후 중후하고 거대한 시스템 보다 소규모적인 이용이 중점이 될 것 같다.

6. 맺음말

현재 진행되고 있는 초전도체 실용화 연구들의 성공은 결국 초전도체를 임계온도 이하로 냉각시키는데 달려있다. 특히 저온 초전도체의 경우는 최소한 30K이하로 냉각 시켜야 하기 때문에 냉각기술과 또 그 환경을 보존시킬 밀폐기술이 문제된다. 이는 기술적으로도 어려울 뿐만 아니라 비용문제가 대단하여 실용적이지 못하였다. 그리하여 액체 질소(77K)를 사용할 수 있는 고온 초전도체의 개발에 지금까지 심혈을 기울였다. 현재의 고온 초전도체는 부서지기 쉽고 유연성이 없다는 것이 단점이다. 이러한 관계로 실용화의 연구가 주춤한 상태에 놓이고 있다. 초전도체의 응용연구는 결국 근본적인 것 즉, 유연성이 있는 고온초전도체(임계온도 77K이상)의 개발과 저온초전도체의 응용을 위한 초저온 연구와 밀폐공학과 같은 주변 기술과 병행하여 발전하게 될 것이다. 