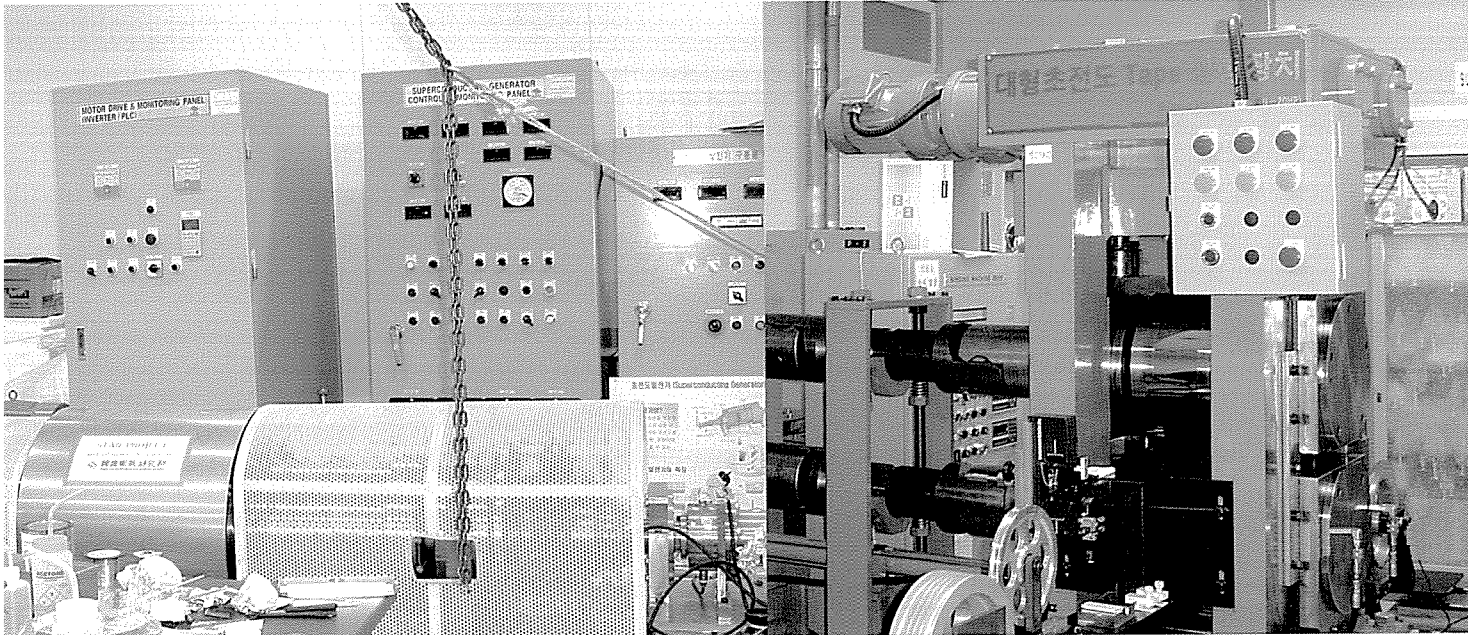


<21C 프린터 - 차세대 초전도 응용기술 개발>

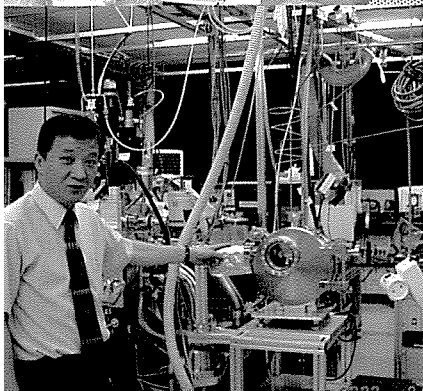
초전도 기술로 '산업혁명' 연다

글_ 장재열 한국과학기술자협회 미디어센터장 kpb11@hanmail.net



초전도선재를 사용하여 제작된 초전도 발전기(한국전기연구원)

고온초전도선재의 제조용 성형 압연장치(한국전기연구원)



제2세대 초전도선재인 CC(Coated Conductor)선재 제조시설. 류강식 단장이 제조방법을 설명하고 있다.

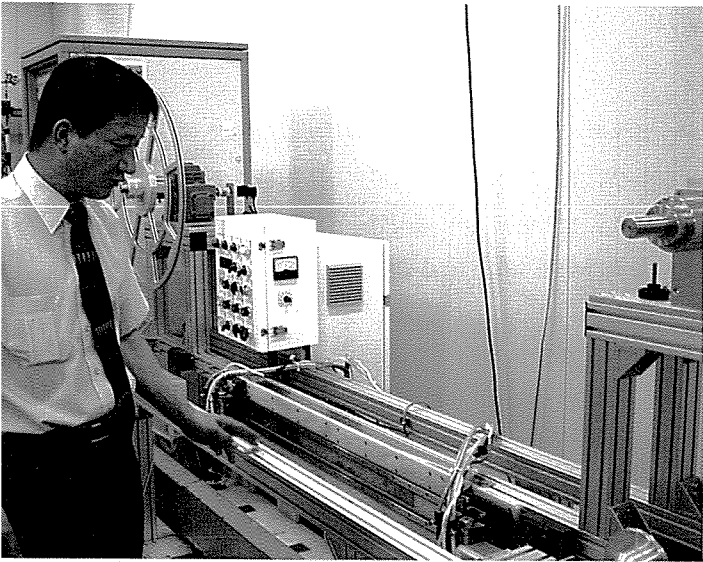
초전도의 꿈은 실현될 것인가

물질의 온도가 극저온으로 떨어지는 순간 갑자기 전기저항이 영(제로)으로 떨어지는 초전도 현상의 상용화는 어디까지 왔다. 1986년 세계 과학기술자들을 흥분시켰던 고온초전도 물질의 발견 이후 15년 가까이 흘렀다. 21세기 프린터 연구개발사업의 하나인 차세대초전도응용기술개발사업단(단장 류강식)은 초전도 현상을 응용한 초전도케이블 등의 실제 사용을 추진하고 있어 지난 10여 년의 세월이 헛되지 않았음을 보여준다.

현재 고온초전도 기술은 발견 당시의 기대에는 못 미치고 있다. 그러나 기술혁신의 잠재력이 무한해 선진국들의 개발경쟁은 더욱 뜨거워진 상황이다. 국내에서도 2001년7월부터 초전도 연구를 프린터 연구개발 과제로 선정해 연구의 불꽃을 밝게 하고 있다.

1986년 고온초전도체가 발견됐을 당시의 국내 학계는 상당히 당황했다. 기초학문 분야인 초전도 연구는 관심 있는 연구주제가 아니었기 때문이다. 당연히 국내 연구 상황이 열악했다.

“1980년대 세계를 흔든 고온초전도체에 대한 연구정보 수집차 일본의 한 박사를 방문했더니 연구이야기보다는 밥이나 먹고 가라는 말을 들었습니다. 그만큼 한국이 이 분야에서 팔시



사업단이 개발해 특허출원한 초전도 선재 연속 물성측정장치

를 받았습니다.” 한국전기연구원 윤문수 박사의 토로다.

그러나 15년이 지난 지금 사정은 달라지고 있다. 고온초전도체의 발견이 국내 학계에 큰 자극을 준데다 3년째 프런티어 사업단이 의욕적으로 연구를 수행하고 있어서다. 초전도사업단의 목표는 2011년까지 ▲차세대 실용 초전도선재를 개발하여 ▲발전소로부터 전기를 공급할 때 필요한 케이블, 변압기, 한류기(限流器), 모터를 상용화하며 ▲ 초전도 디지털 소자를 개발해 정보통신 분야의 기술혁신을 이룩하는 것이다. 사업이 완료되면 생활의 일대 변화가 실현된다는 것이다.

초전도선 세계에서 3번째로 개발 성공

초전도 현상을 실제 사용하려면 전류가 흐르는 선재의 개발이 우선이다. 그러나 고온 초전도체로 쓰이는 세라믹은 잘 부서지고 변형이 일어나 이를 선형으로 만드는 작업이 쉬운 일이 아니다. 고온 초전도체가 발견된 후 아직도 실제 활용이 미흡한 것이 이 때문이다.

초전도 선재는 구리보다 100배 이상의 통전(通電) 효율을 갖고 있어 에너지 손실을 50% 이상 줄여준다. 연구팀은 금속관에다 초전도체를 넣는 방식으로 초전도 선재를 만들었다. 이 초전도 선재는 1세대로 액체질소의 온도에서 작용한다. 현재 2004년 7월까지의 1단계 연구 목표를 99% 달성하고 있어 당초의 목표치를 상향조정했다.

사업단 소속인 오상수 박사팀(한국전기연구원)이 벅상스코리아와 공동 개발한 1km급 초전도선은 세계에서 3번째로 개발에 성공한 것으로 단위면적 1mm²당 전기저항 없이 흐르는 최대 전류인

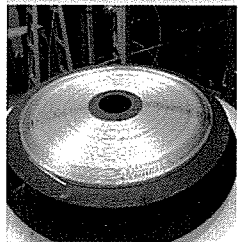
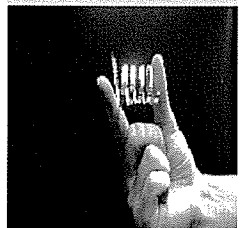
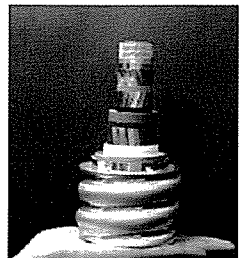
임계전류가 50A에 달한다. 이 선재의 재료는 세라믹 산화물로서 고도의 가공기술이 필요하다. 이는 1세대 선재로 2004년 하반기면 사용이 가능할 것으로 예상된다. 1세대보다 100배 기능이 좋은 2세대 초전도선재인 CC(Coated Conductor) 선재는 물리적이나 화학적 방법으로 금속에 초전도 물질을 코팅하는 것이다. CC선재는 그 경제성이 뛰어나 앞으로의 연구 성과가 기대된다.

2004년 초전도 케이블 송전실험 예정

초전도 케이블은 사업단이 심혈을 기울이는 과제로 2011년부터 본격 상용화를 노리고 있다. 초전도 케이블은 여러 층의 금속 파이프 안에 진공, 액체질소, 절연물질 등이 들어있어 제조가 쉽지 않다.

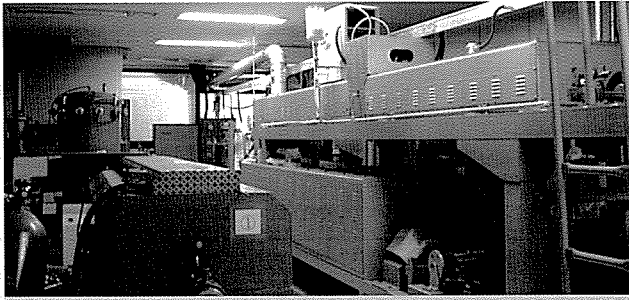
기존 동축케이블은 구리선을 다발로 묶어 놓은 것으로 고열로 인한 전력 손실이 상당하다. 이는 구리케이블은 대량 전력에 맞춰 765kV로 송전하나 초전도 케이블은 154kV면 가능하기 때문이다. 이렇게 되면 전력 손실은 50%, 발전비용은 10%를 줄일 수 있다. 또 선로의 확장 없이 더 많은 전기를 송전할 수 있는 이점이 있다. 이 초전도 케이블이 도심의 전력구에 설치되면 전기 송전에서 일대 변혁이 일어날 전망이다. 선진국에서는 초전도 케이블의 설치를 활발히 추진하고 있어 기존 동축케이블이 대체될 날이 멀지 않았다. 생산 가격과 케이블의 안정성을 확보하는 것이 과제다.

초전도 케이블의 송전실험은 2001년부터 미국과 일본에서 활발히 진행 중이다. 일본의 경우 2001년 6월 도쿄전력이 100m 초전도 케이블을 이용한 송전실험을 한 바 있다. 우리도 2004년 사업단이 개발한 30m 22.9kV의 초전도 케이블 송전 시스템 실험이 실시될 예정이다.



사업단이 개발한 초전도 케이블. 테이프 모양의 초전도 선재가 층층이 감겨 있다.(맨위)

코일 모양으로 둥글게 말린 초전도선재. 세계에서 3번째로 개발된 1km/50A급 선재다.(가운데, 아래)



고온초전도 선재의 절연재 코팅장치

초전도 변압기는 현재의 대형 변압기를 소형화·경량화하는 최선의 방법으로 개발되고 있다. 일본은 이미 초전도 변압기를 고속전철에 탑재하는 방안을 추진하고 있으며 미국은 군함에 설치할 변압기를 개발중이다. 초전도 변압기는 수천kg의 구리선이 필요한 기존 변압기에 비해 수십kg의 초전도선을 이용하므로 항공기·선박·도심의 변전소 등에 유용하다. 따라서 초전도 변압

기는 다른 분야보다 앞서 실용화가 이루어질 것으로 예상된다.

사업단의 초전도 변압기 개발은 미국, 일본에 비해 2년 정도 뒤진 것으로 평가받고 있어 해외연구진과의 협력을 통해 단기간에 기술 격차를 해소하는데 주력하고 있다.

세계 수준에 도달한 초전도 한류기

한류기는 과잉전류가 흐르거나 정전이 일어났을 때 순간적으로 과전류를 방지하는 시스템으로 전기기기의 보호에 꼭 필요하다. 1998년 미국에서 과전류로 정전이 발생했을 때의 피해가 760억 달러에 달했다고 한다. 초전도 한류기는 연세대 연구팀과 한전 전력연구원에서 이미 세계 수준의 기술을 확보하고 실용화 테스트를 진행중이다. 이 한류기는 초전도 분야에서 유일하게 세계 수준에 도달한 분야로 꼽힌다.

소형이면서 큰 출력이 가능한 초전도 모터는 군용으로 제격이

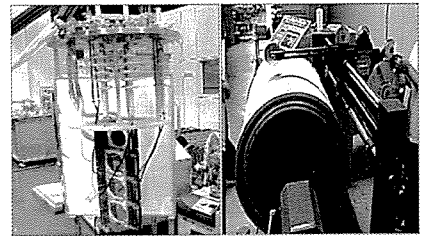
기술혁신의 주역, 초전도(超傳導) - 그 역사와 의의

1911년 네덜란드 라이덴 대학 저온연구소의 카멜링 온네스 교수는 영하 269도에서 갑자기 수은의 전기저항이 제로로 떨어지는 현상을 발견했다.

전기저항은 온도가 내려가면 줄어들어 영하 273도(정확히는 영하 273.15도)에서 이론적으로 제로가 된다. 이 온도를 절대온도 0도라 한다. 절대온도 0도는 단위로 0K(켈빈)로 표시한다. 그런데 영하 269도(4K)에서 저항이 없어지는 현상이 나타난 것이다. 온네스 교수는 이를 초전도 상태라고 이름 붙였으며 이 발견으로 1913년 노벨물리학상을 수상했다. 물질의 초전도 상태는 온도뿐 아니라 전류, 자기장의 조건에도 영향을 받는다. 그러나 초전도 현상이 나타나는 영하 269도는 액체 헬륨의 온도로 실용화하기에는 너무 저온이었다. 이후 보다 높은 온도에서 초전도 현상을 실현하고자 하는 것이 물리학계의 대숙제였다. 이 온도를 20도 높인

물질을 발견한 것은 초전도 현상이 발견된 후 60년이 지난 1970년대였다.

다시 초전도의 한계를 깬 대발견이 이루어진 것은 1986년. 스위스 IBM연구소의 베드노르츠와 뮐러는 35K에서 초전도 현상이 나타나는 세라믹 물질을 발견해 세계를 흥분시켰다. 이는 고온초전도체라고 불리며 이후 이 온도는 액체 질소의 온도인 77K(영하 196도) 이상으로 올라갔다. 77K는 상당히 의미 있는 온도다. 왜냐하면 공기 중에 풍부히 포함된 질소를 액화하는 온도이기 때문이다. 액체질소를 사용해 쉽게 초전도 현상을 이용할 수 있는 것이다(액체질소의 가격은 리터당 500원 수준으로 청량음료보다 저렴한 편임). 그러나 고온초전도체의 상용화는 소재의 가공이 힘들어 본격화하지 못하고 있다. 다만 선진 각국이 경쟁적으로 그 상용화에 나서고 있어 2010년 이후에는 초전도에 의한 기술혁신이 벌어질 것으로 예상된다.



한전전력연구원이 개발한 초전도 저항형 한류기(좌)에 들어갈 코일을 만드는 작업. 이 코일은 냉동용기 안에 들어가 초전도 기능을 발휘한다. 연세대 연구팀은 또다른 한류기를 개발해 실험을 계속하고 있다.(우)

또한 초전도체 사이에 박막(두께 1백만분의 1mm 정도)의 절연체를 끼워 두고 접합시키면 전류의 세기에 따라 전류가 흐르거나 불통되는 현상이 나타난다. 이 현상은 1962년 영국의 브라이언 조셉슨이 발견해 '조셉슨 효과'라고 불린다. 조셉슨 효과는 반도체의 기능을 하고 있어 이를 이용한 회로소자의 연구가 계속되고 있다.

이같은 초전도기술은 ▲전력 ▲의료 ▲교통·운송▲정보통신 분야 등에 응용돼 기술혁신을 일으킬 것으로 예상된다.

다. 미 해군은 이를 추진체로 하는 전함을 개발하고 있다. 미국 AMSC사와 해군은 세계 최대의 5천 마력의 초전도 모터의 개발을 끝내고 이를 3만3천500마력까지 늘려 2010년에는 초전도 함선을 선보인다는 것이다. 사업단은 2011년까지 수천마력의 산업용 초전도 모터를 개발한다는 목표를 정했다. 1단계인 2004년에는 100마력의 초전도 모터를 원천 기술로 개발해 세계 시장을 공략할 방침이다.

초전도 모터, 2004년 세계 시장 공략 예정

초전도 모터는 용도가 다양해 고속전철·잠수함·대형 유람선 등에 활용될 것이다. 연구팀은 이미 선진국의 모터와는 다른 설계로 동급의 일반 모터에 비해 무게와 부피를 최대 50%까지 줄인 초전도 모터를 개발하고 있다. 국내에서는 현대중공업이 초전도 모터 추진선 연구에 참여하고 있다.

초전도기술은 전자소자의 개발에도 응용된다. 초전도박막을 이용한 초고속 디지털소자를 개발하면 현재보다 100~1천배의 회로 속도가 빨라진다. 사업단은 초전도 디지털소자 연구를 선도하고 있는 미국 HYPRES사와 협력관계를 맺고 연구를 진행하고 있다. 초전도 디지털소자는 조셉슨 효과 등 초전도의 특성을 응용한 것으로 디지털정보의 고속 처리에 획기적 향상을 가져올 것으로 기대된다.

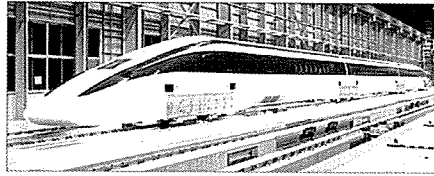
1986년 충격 이후 초전도 연구의 확산과 프린티어사업단의 발족으로 국내의 초전도 연구 수준은 빠르게 상승하고 있다. “이제는 우리와 함께 일하고 싶어 하는 해외 연구팀이 많습니다. 지금처럼 치열한 의욕과 경쟁으로 연구를 지속하면 희망이 있습니다.” 류 단장은 사업단의 18개 세부과제를 국내의 최고 전문가의 평가를 받는 연구관리시스템을 구축, 항상 세계 1~2위의 성과가 나오도록 이끌고 있다. ㉔

초전도 기술이 만드는 신세계

초전도 기술은 전 산업에서 광범위하게 응용되는 '기술의 인프라'라고 할 수 있다. 그 대표적인 것이 전력 에너지 분야이다. 의료, 교통, 정보통신 분야에도 초전도 기술이 응용돼 미래를 꿈꾸게 한다.

초전도 발전기는 에너지 손실을 지금보다 40% 이상 줄여주며 초전도 자기(磁氣)에너지저장장치(SEMS)는 전기를 높은 효율로 저장해 필요시 꺼낼 수 있도록 해준다. 밤에 남아도는 전기를 저장했다가 활용하는 것이다. 초전도를 이용한 자기부상열차는 선로위 10cm까지 떠올라 시속 500km로 달린다. 초전도양자간섭장치(SQUID)는 사람의 뇌나 심장 등에서 나오는 극미세한 자장을 측정해 진단과 치료에 새 장을 열게 된다. SQUID는 지구 자기장의 150억분의 1에 해당하는 자기도 감지할 수 있어 잠수함 탐지, 비파괴 검사 등 다양한 용도로 개발될 전망이다.

현재 상용화된 자기공명영상장치(MRI)는



초전도열차-일본이 제작해 1999년부터 실험중인 초전도 자기부상열차. 초전도자석을 이용한 이 열차는 시속 548km를 기록했다.

강력한 자장을 발생시키는 초전도자석을 사용하여 물질의 자기적 특성을 측정하는 장비로 뇌, 골격 등 인체의 깊은 곳의 영상을 보여주어 진단하는데 중요한 역할을 한다. MRI는 인체단층 사진을 찍는데 가장 많이 쓰이는 의료기기로 X선과 같은 위험이 없으며 장기적으로 세포나 분자의 측정에도 이용될 전망이다. 2003년도 노벨생리의학상에 MRI를 개발한 미국의 폴 로터버 박사와 영국의 피터 맨스필드 박사에 돌아간 것도 MRI의 유용성을 말해준다.

류 단장은 초전도 연구개발 사업이 성공했을 경우 우리의 실생활이 어떻게 변화할지

이렇게 묘사했다.

“2020년 가정주부 김유리 씨는 아침에 일어나자 디지털 전력량계를 체크한다. 이 전력량계는 소형 초전도에너지저장장치(SEMS)와 태양광발전시스템을 연계한 것으로 일종의 초전도자기발전저장시스템이다. 이 시스템으로 전기의 저장과 알뜰사용이 가능해져 주부들에게 인기가.

유리 씨의 남편이 근무하는 건물은 초전도케이블로 전력을 공급받는다. 빌딩내 전기 공급은 초전도 변압기를 통해 들어오므로 화재의 위험이 없고 안정적이다. 이런 시설 덕분에 회사는 별도의 지하 전력구 공사 없이 30년간 전력 수급을 할 수 있게 됐다. 사무실로 올라가는 엘리베이터는 크기가 3분의 1로 줄어든 초전도 모터를 써 소음이 거의 없다. 상쾌한 기분으로 사무실에 도착한 그는 개인용 초전도 슈퍼컴퓨터를 사용해 업무를 시작했다.”