

초전도 기술과 환경 보호

현 옥 배

한전 전력연구원 전력계통연구실 책임연구원

1. 머리말

초전도는 일정 온도(임계온도 Critical Temperature, T_c) 이하에서 전기 저항이 제로(Zero, 0)로 되는 현상이다. 전기적 현상이므로 전기 전 분야에 걸쳐 응용이 가능한데 크게 전자소자 및 전기기기 응용이 있다. 이 중 전자소자 응용은 본 기사의 주제인 환경문제와 직접적으로 연관되어 있지 않다. 환경에의 기여는 주로 초전도 전기기기 응용 분야인데, 여기서 초전도 전기기기란 초전도체를 사용해서 제작 및 운용되는 전기기기를 말한다. 이를 전력분야에 응용한 것이 초전도 전력기기이고, 그 외 초전도 자석의 응용 등 다양한 응용분야가 있다.

초전도 자석은 상전도 자석의 한계를 극복하고 새로운 응용 분야를 만들어 내었다. 예를 들면 병원에서 쓰이는 MRI용 자석처럼, 강자장 자석의 응용은 다양하다. 강자장 자석은 초전도 자석인 경우가 대부분으로, 초전도체의 저항 Zero는 자석 운용에 필요한 전력소비를 줄인다. 또한, 현존하는 발전기, 변압기 등의 상전도 전력기기의 효율향상이 한계에 다다랐다는 점을 고려하면, 초전도 전력기기는 현재의 상전도 기기의 기술적 한계를 극복하는 새로운 기술이다. 이렇게 초전도 전기기술은 새로운 전기기술의 패러다임을 제시할 21세기의 기술로 여겨지고 있다.

초전도 전기기기의 특징으로는 흔히 ① 저항제로(혹은 낮은 교류손실)에 따르는 효율향상을 들 수 있다. 강자장 자석의 경우처럼 직류전류의 경우 저항이 0(Zero)이므로 손실이 없다. 저항 Zero에 의해 영구전류가 가능하여 강자장 초전도 전자석은 흔히 영구자석처럼 운용되고 있다. 교류전류에 대해서는 교류손실이 있음에도 상전도 기기의 손실에 비해 아주 작아서 전력 손실이 크게 줄어든다. ② 초전도 물질은 또한 대전류 수송에 적합하므로 기

기의 소형화 및 용량증대를 도모한다. 이로 인해 도심지 및 지중공간 확보가 용이하고, 신규전력설비와 신규 토목 공사를 절약케 한다. ③ 아울러, 임피던스 저하에 따르는 전력계통 안정 및 운용상의 유연성 등이 초전도 기기의 장점이다.

여기에 더하여 최근에 부각되고 있는 것이 초전도 기술의 환경친화적 측면이다. 초전도의 환경에 기여하는 기기의 소형화로 인한 측면에 더하여, 전력기기의 효율 향상에 의한 화석연료 절감에 따르는 온실가스(CO₂ 등) 감소, 절연체인 절연유 및 SF₆ 대체 등을 들 수 있다. 또한 강자장 자석을 이용하여 오폐수 처리, 핵융합 발전 등 간접적으로 환경에 기여할 수 있다.

이러한 초전도 기기의 환경적 이득은 새로이 연구되는 분야로서 잘 연구되어 있지도 않고, 실제로 정량적 분석이 대단히 어렵다. 현재 초전도 전력기기의 온실가스 감축 효과는 세계 어디서도 정량적으로 계산되어 있지 않다. 다만 최근에 일본에서 시도된 연구 결과와 IEA 고온 초전도 프로그램 주관으로 조사한 자료 등을 토대로 하되, 초전도 기술이 어떻게 환경에 이득을 주는지 직접적으로 논의가 가능한 에너지 절약 및 온실가스(CO₂, SF₆) 감축, 그리고 절연유 등을 사용하지 않음으로 인한 환경적 이점 등에 관해 논의할 것이다. 이것을 정리하면 다음과 같다.

2. 초전도와 환경

(1) 초전도 기기는 손실이 없거나 낮은데서 오는 효율 향상에 의해 화석연료 발전을 감축한다. 이로 인해 연료의 연소 전에 CH₄, 연소 후에 CO₂ 발생을 줄인다. 예로서, 영구전류를 사용하는 초전도 자석은 최초 입력 에너지 이외에 전력을 소비하지 않는다. 발전-수송-부하 전선에 걸쳐 전력기기의 효율 향상은 그만큼 화력 발전을 절약케 하고 CO₂의 배출을 억제한다. 대개의 전력기기 또

한 저손실로 인해 그 비율이 작음에도 막대한 양의 전력 소비를 감축할 수 있다.

(2) 효율 향상으로 에너지 저장 경비를 줄일 수 있다. 발전된 전력을 저장하여 부하변동용으로 사용함으로써 막대한 양의 화석연료 사용을 억제할 수 있어 그 만큼의 온실가스 발생을 감축할 수 있다.

(3) 초전도 기기는 냉각 및 절연재로 액체질소(혹은 헬륨)를 사용하는데 이들 액체(혹은 가스)는 불활성이어서 존재상태에 관계없이 자연에 무해하다. 이로 인해 절연재인 절연유와 SF₆ 가스의 사용을 대체할 수 있다. 참고로 좋은 절연재인 SF₆ 가스는 강력한 온실가스로서 동량의 CO₂에 비해 발생 후 100년간 25,000배, 500년간 36,500배의 온실가스 효과를 갖는다.

(4) 교토 협약(Kyoto Protocol)은 선진국의 경우 2008~2012년의 5년 평균 온실가스 배출량을 1990~1995년 평균 배출량보다 5~8% 감축시키는 것을 목표로 하고 있다(CO₂ 가스의 경우는 2010년의 배출량이 1990년 배출량의 5.2% 감축된 양으로 되어 있다). 이 협약이 강력하게 지원하고 있음에도 온실가스 감축에 대한 목표달성은 2010년까지 현재의 기술로는 대단히 어렵다. 특히 뚜렷한 CO₂ 절감기술도, CO₂ 고정기술도 개발되어 있지 않다. 따라서 다양한 종류의 기술이 조금씩 기여함으로써 온실가스 감축이라는 성과를 달성할 수 있을 것으로 보인다.

(5) 강자장 자석의 응용으로는 오폐수 처리, 핵융합 발전을 통한 핵폐기물 감축 등 환경에의 기여가 있다. 더하여, 초전도 기기의 특징 중의 하나가 기기 소형화(Compactness)로서 공간 절약은 물론 도시 미관에 기여할 수도 있다.

이러한 환경친화적 효과를 주는 초전도 전력기기의 종류는 다양하며 전력기기, 산업용 기기, 전자 및 의료용 기기로 크게 나눌 수 있다. 표 1은 이를 종합한 것이다.

〈표 1〉 초전도 기기의 응용

초전도 전력기기	발전기, 변압기, 한류기, 케이블, SFES, SMES, 자기부상/리니어모터
산업용 초전도 기기	모터, 전자추진선, 자기분리(제련, 오페수정화 등), 베어링, 초전도자석(제철산업, Si 결정성장, 핵융합 등), SMES/SFES
전자 및 의료 응용	MRI용 자석, 자기차폐, SQUID, Super-Computer, 전자스위치보드, 이동통신, 원격감시

3. 초전도 전력기기의 효율 향상과 온실가스 억제

초전도 전력기기의 장점 중의 하나로 효율향상을 들 수 있다. 이는 주로 저항 제로 혹은 작은 손실로 인한 것이다. 이 효율 향상은 전기에너지 절약에 의한 경제적 이득으로 우선 생각되겠지만, 이와는 별도로 그 만큼의 발전 감소에 따르는 온실가스(CO₂) 배출 감소가 있다. 교토 협약 하에서 CO₂ 배출은 곧 경제문제로 환산됨에 주의하자. 즉, 작은 효율 향상도 막대한 양의 온실가스 배출을 줄일 수 있어 그에 상응하는 경제적 이득을 가져온다. IEA 고온초전도 프로그램 조사에 의하면 1GVA 석탄 발전소는 8,100Ct/year(Ct = Carbon ton)를 배출한다. 특히, 석유가 고갈된 다음의 주요 연료가 석탄임에 주의하면 막대한 온실가스 배출이 불가피하다. 여기에 초전도 전력기기를 적용함으로써 효율 향상 및 에너지 저장을 통해 온실가스 감축이 가능하다.

(1) 국내의 경우

1998년 국내 총 전력생산량은 215,300GWh로서 이 중 원자력 89,689GWh(41.7%), 수력 6,099GWh(2.8%)를 제외한 119,512GWh(55.4%)가 화석연료(무연탄, 유연탄, 증유, 경유, 가스 등)를 사용하여 생산되었다(이밖에 전체의 약 10%를 점하는 25,287GWh의 상용 자가발전량이 있으며 전부 화석연료를 사용하고 있



〈그림 1〉 운용중인 ABB의 고온초전도 변압기(1997). 절연유를 전혀 쓰지 않으며 효율이 상전도 기기에 비해 약 1% 높다.

다고 보아야 함). 화력발전으로 인한 온실가스 총 배출량은 약 234MCt으로, 이는 국내 총 CO₂ 배출량의 약 1/5에 해당한다. 이상에서 보듯이 국내 총 발전량의 약 절반이 화석연료를 태워서 발전되고 있으므로 1%의 전력 절감은 발전에 의한 CO₂ 배출량의 2% 감축에 해당한다.

초전도 발전기는 상전도 기기에 비해(보수적인 입장에서) 효율을 약 0.5% 높인다. 일본 Super-GM의 초전도 발전기(200MW급)는 최소 0.5~0.6%의 효율 향상을 기대하고 있다. 수치로는 작지만 상전도 발전기의 효율의 한계와 발전량의 크기를 고려하면 그 효과는 막대하다. 총 발전량의 약 절반이 화력임을 고려하면 최소 효율 향상인 0.5%의 발전기 효율향상이 CO₂ 배출을 약 1.0%만큼 감소시킨다.

초전도 모터 역시 약 2%의 효율향상(현재의 97.0~97.5%에서 99.0%로)을 기대하고 있는데 1000Hp(혹은 770kW) 이상의 대형 모터가 초전도화 대상이다. 미국의 경우 산업전기의 16%가 대형모터에서 소비되고 있다. 국내의 경우도 같은 비율을 적용하면, 제조업 전력소비(총 전력량의 54%, 1998년) 중 대형모터 점유비율을 16%로 보면 총 전력의 8%를 대형 모터가 소비하고 있

는 셈이다. 따라서 초전도 모터의 2% 효율 향상은 0.16%의 전기에너지를 절약하고, 따라서 0.32% 만큼의 온실가스 배출을 줄인다. 그리고 발전소는 그 자체로 약 5%(화력발전의 경우 3~9%)의 전력을 소비하는데, 그의 대부분이 대형 모터에서 소비되므로 초전도 모터를 채용할 경우 0.20%의 CO₂ 배출을 감소시킬 수 있다.

이에 더하여 초전도 변압기의 높은 효율은 송전손실을 감소시킨다. 여기서는 초전도 변압기가 송전계통에만 쓰인다고 가정한다. 전력수송 단계를 보면, 총 송배전 손실은 총 발전량의 약 5%이고(1998년 4.90%), 그중 송전 손실은 약 3%에 이른다. 이 중에 변압기 손실은 총 송전 손실의 대략 절반(그러므로 총 발전량의 1.5%)을 점하고 있는데, 초전도 변압기 손실은 기존 변압기 손실의 약 40% 정도여서, 송전계통의 변압기를 초전도 변압기로 대체할 경우 총 발전량의 약 0.9%를 절약할 수 있다. 이는 발전에 의한 총 CO₂ 배출량의 약 1.8%를 생략할 수 있음을 뜻한다. 이상은 전력사업 관련 기기에 국한되었거니와, 그 외의 기기, 특히 고자장 전력기기인 MRI용 자석, 자기분리용 자석 등에의 기여는 또 다른 온실가스 감축 이유이다(표 2 참조).

(2) 일본의 경우 : ISTECS의 예측

에너지 절감 효과를 예측하기 위해서는 각종 초전도 기기에 대한 분석이 우선되어야 한다. 우선 미래의 전력 수요를 추정하고, 전력 생산의 종류별 생산량을 통해 온실가스 배출량 및 kWh당 CO₂ 배출량을 계산한다. 다음 초전도 기기가 종류별, 사용별로 상전도 기기에 비해 효율 향상 및 에너지 절감 효과를 결정한다. 여기에 어떤 형태로, 언제, 얼마만큼의 상전도 기기가 초전도 기기로 대체되는지에 대한 시나리오를 작성한다. 그리고, 상전도 기기에 대한 초전도 기기의 효율 향상분을 예측한다. 예로서 발전의 경우 비교대상은 상전도 발전기에 대한 초전도 발전기의 효율 향상분이다. 한편, 자기부상/리니어 모터의 경우는 항공기가 비교 대상이 된다. 이를 토대로 에너지 절감량이 계산되고, 총 온실가스 절감량 및 kWh당 CO₂ 감소량을 계산할 수 있다. 이 대부분의 단계가 정량적으로 취급되기 쉽지 않으며, 증명되지 않은 효율향상에 대한 추정치가 개입하는 것이 불가피하다. 따라서 최대 효율향상과 최소 효율 향상치로 나누어 계산하는 것이 바람직하다. 표 3은 일본 ISTECS(International Superconductivity Technology Center)이 예측한 것으로

〈표 2〉 초전도 전력기기에 대한 국내 환경적 효과 예측
(1998년 기준으로 해당 분야에서 초전도 기기가 범용화 되었다고 가정)

초전도 전력기기	국내 환경에 기여	에너지 절약 (총발전량 대비)	결 과
한류기	L-N ₂ 사용으로 질연유, SF ₆ 대체		질연유, SF ₆ 대체
변압기(송전계통)	L-N ₂ 사용으로 질연유, SF ₆ 대체 효율 향상	0.9%	질연유, SF ₆ 대체 CO ₂ 발생 억제 약 1.8% ¹⁾
케이블	L-N ₂ 사용으로 질연유, SF ₆ 대체		질연유, SF ₆ 대체
발전기	효율 향상	0.5%	CO ₂ 발생 억제 약 1%
모터(대형)	효율 향상	0.26%	CO ₂ 발생 억제 약 0.52%
SMES, SFES ²⁾	전력 저장(부하평준화용) 양수발전 대체	미 정	CO ₂ 발생 억제

1) 전력 생산과 관련된 CO₂ 발생에 대한 감축량
 2) SMES: Superconducting Magnetic Energy Storage(초전도 자기 에너지 저장장치),
 SFES: Superconducting Flywheel Energy Storage(초전도 플라이휠 에너지 저장장치). 기술적 완성도는 여타 기기에 비해 떨어지나, 부하평준화 급으로 실현되면 최대수요에 따른 발전설비를 줄이거나 예비율을 높일 수 있다.

〈표 3〉 일본의 경우 초전도 기기에 의한 에너지 절감 및 온실가스 감축(ISTEC 예측)

적용 분야	기정(효율, 투입 장소 및 시기) 등	효과(연)
초전도 발전기	-2005년 후 신설 및 대체 -효율향상 0.5%	-2050년 총전력 수요의 0.3~0.4% 절감 -CO ₂ 발생 0.9~1.6Mct 감축
초전도 변압기	-2005년 후, 66kV 계통에 적용 -효율향상 0.1%	-1kWh의 전력은 3~4대의 변압기 통과 -2050년 전력수요 0.4% 절약 -CO ₂ 발생 0.23~0.26Mct 감축
초전도 케이블	-275kV 계통(지중선)에 적용 -손실 70W/m	-2050년 총 전력의 0.15% 절약 -CO ₂ 발생 0.08~0.18Mct 감축 -지하관로 건설 생략으로 간접적 감축
SMES/SFES	-전력수요 증가율 및 원자력발전량의 추이에 따름	-CO ₂ 발생 최대 44Mct 감축 ¹⁾
MAGLEV	-2010년에 동경-대관간 투입 -모든 항공수송이 MAGLEV로 이전	-CO ₂ 발생 0.08~0.1Mct 감축
초전도 모터	-2006년부터 1MW 이상에 적용 -효율향상 3%(SPI 예측) -운용률 65%	-2050년 0.34~0.37% 에너지 절약 -CO ₂ 발생 0.21~0.44Mct 감축
자기 분리	-오페수 정확에 응용 -2000년 도입, 2050년 100% 사용	-2050년 0.39~0.55% 에너지 절약 -CO ₂ 발생 0.24~0.51Mct 감축
초전도 베어링	-수력발전소에 응용 -효율 1.75% 향상	-2050년 0.10~0.15% 에너지 절약 -CO ₂ 발생 0.45Mct 감축 ²⁾
제철 공정	-2000년 50개의 연속주물공장 -품질 향상으로 CO ₂ 절감에 기여	-매년 CO ₂ 0.24Mct 감축
결정 성장	-EMB(Electric Magnetic Break) -2000~2050년 중 2~10% 증가	-2050년 0.18~1.2% 에너지 절약 -CO ₂ 발생 0.12~1.11Mct 감축
MRI	-1998년 4331대의 MRI 운용중(일본) -2010년까지 4550대로 증가	-에너지 0.15~0.17% 절약 -CO ₂ 발생 0.13~0.15Mct 감축
SQUID	-NDE 등에 응용	-CO ₂ 발생 0.9~1.7 Mct 감축 가능
Super-컴퓨터	-모든 Main-frame 컴퓨터 및 서버에 적용	-에너지 0.15~0.17% 절약 -CO ₂ 발생 0.13~0.14Mct 감축
전자 스위치	-2010년 8000 스위치 보드	-2010년까지 에너지 0.25~0.28% 절약 -CO ₂ 발생 0.21~0.24Mct 감축

1) SMES/SFES를 부하평준화용으로 사용할 때 에너지 절감이 기대된다. 단 원자력 발전 비율에 상당히 의존하고, 전력 수요 증가율이 클 때 더 효과가 크다. 전력수요 증가율이 작으면 현재의 양수발전으로도 원자력발전의 잉여 전력을 감당할 수 있다.

2) 초전도 베어링이 초전도 모터와 결합되면 2050년 0.17~0.19% 에너지 절약 및 CO₂ 발생 0.11~0.23Mct 감축이 예측된다.

일본에 있어서 초전도 기기를 범용으로 사용할 경우에 대해 에너지 절감 및 온실가스 감축효과를 보여주고 있다.

이상은 주요 기기에 대한 에너지 절약 및 그에 따르는 CO₂ 감축량이다. 다른 전력기기 또한 감축에 기여하는데, 초전도 한류기는 신뢰성 향상을 통해서, 전자추진선은 발전 및 모터의 향상을 통해, μ -SMES 및 SFES가 UPS 등으로 사용되면서 전력 품질 및 신뢰도 향상을 통해 온실가스 감축에 기여한다. 더하여, 자기차폐는 초전도 케이블 등에서 교류손실을 저감시키며, 초전도 필터,

원격 Sensing 등도 다른 이유에서 온실가스 절감에 기여할 것으로 예측하고 있다.

4. 물질 대체—도체, 절연유 및 SF₆

현재는 도체로서 구리(Copper)가 쓰이고 있거니와, 구리 생산에는 원광 채굴에서부터 정련에 이르기까지 막대한 에너지가 소비된다. 1ton의 구리를 생산하는데는 대략 90GJ의 에너지를 소비하게 되는데, 전력을 포함하

여 대부분 화석연료를 태워서 얻어지고, 따라서 그만큼의 온실가스를 배출하게 된다. 초전도 도체도 구리 및 다른 금속을 포함하고 있으나 초전도체의 특징인 고전류밀도에 의해 같은 전력을 수송하는데 구리보다 훨씬 적은 양의 초전도체로도 충분하다. 실제 현재의 고온초전도체의 전류밀도를 사용하여도 1ton의 초전도 선재는 60ton의 구리의 통전능력을 가진다. 이로 인해 그만큼의 구리정련에 필요한 에너지를 절감하고, 온실가스도 줄인다. 송전선의 가공지선에는 구리대신 알루미늄도 쓰이나 같은 이유로 초전도 선재로 대체될 수 있다.

차단기 등에서 절연체로 쓰이는 SF₆(Sulfur Hexa-fluoride)는 대단히 좋은 유전체로서 차단기, 축전지, 고압 케이블(GIL, Gas Insulated Line) 등에 절연체로 쓰이고 있다. 그런데, 이 SF₆ 가스는 현재 알려진 가장 강력한 온실가스로서 CO₂와 비교하여 배출 후 100년 동안 25,000배, 500년 동안 36,500배의 온실가스 효과를 준다. SF₆는 1995년에만 미국에서 약 6000ton이 생산되었고, 전세계적인 생산량은 그의 약 3배가 될 것으로 추정되고 있고, 증가추세에 있다. 이 양은 438~657Mt의 CO₂를 매년 생산하는 것과 같다(이만한 양의 온실가스는 146~220개의 500MW 석탄발전소(Capacity Factor 75%)에 의한 CO₂ 배출에 해당한다. 최근, 선진국을 시작으로 SF₆를 가스의 재활용을 시작했으므로 모두가 공기중으로 배출되지는 않을 것이다). 특히 다른 대안이 없는 한 CV 케이블은 SF₆를 사용하는 GIL로, 변압기 또한 SF₆를 채용한 것으로 대체될 추세이다. 초전도 전력기기는 이를 대체하여 SF₆ 사용을 감축시키고자 하고 있다. 초전도 전력기기가 범용으로 사용되면 SF₆ 사용량의 약 10~20%를 감축시킬 수 있을 것으로 예측되고 있다. 이는 15~30개의 석탄발전소가 생산하는 온실가스를 생략한다는 것을 뜻한다.

초전도 기기는 상전도 차단기, 변압기, OF 케이블에서 이용하는 절연유를 사용하지 않는 관계로 절연유에

의한 환경문제를 생략할 수 있다. 이는 초전도 기기에 쓰이는 냉매 액체질소(L-N₂)(혹은 액체헬륨 L-He)가 좋은 유전체이면서 무해하고 불활성이므로 환경오염을 남기지 않으면서 SF₆ 및 절연유를 대체하기 때문이다.

국내에서 변압기 등에 쓰이는 절연유에는 광유(鑛油)와 합성유가 있다. 이 중 합성유는 방향족 계열의 유기화합물로서 환경유해 물질에 속한다. 이 합성유는 1970년대까지 사용하였으나 그 후는 광유로 대체되어 사라지는 추세에 있다. 현재 대부분의 변압기, 차단기 등에 쓰이는 절연유는 광유로서 포화탄화수소계 화합물이다. 이 절연유는 적어도 110°C까지는 열화가 발견되지 않고 있다. 실제로 20여년 된 변압기 속에 있는 절연유도 원래의 상태를 간직하고 있다. 최근의 연구에 의하면 변압기 열화의 원인은 절연유의 열화에 있지 않고 대개 코일에 있는 절연재가 어떤 이유에서건 열화되기 때문이다. 그 영향으로 절연유 속에 CO, CO₂ 등의 가스가 포함되게 되고 마치 절연유가 손상된 것처럼 보이게 된다. 이 광유는 클레이, 진공 필터링 등을 거쳐서 대부분 재생되어 다시 쓰이고 있다.

환경에의 문제는 사용중 유출(Leak) 및 폐기된 광유이다. 더하여 절연유는 항상 화재의 위험을 내포하고 있고, 실제로 드물게 과열된 변압기 화재가 발생한다. 초전도 기기를 냉각시키는 액체질소(혹은 액체 헬륨)는 불활성 물질로서 화재의 위험이 전혀 없으며, 인체에 무해하고 환경 오염이 없어 절연유 및 SF₆에 대한 대안이 된다.

이렇게 에너지 절감에 따르는 온실가스 배출 감소나 절연유 혹은 SF₆ 가스 감축은 초전도 전력기기 응용에 의한 직접적 효과이다. 이 이외에 강자장 자석의 응용에 의한 환경에의 간접적 효과도 있다.

5. 기타

강자장 자석은 그 응용 분야가 크게 확장될 것이 확실하다. 그러므로 환경에의 기여도 그만큼 가능성이 높다.

그 하나가 핵융합 발전이다. 토카막 방식 핵융합 발전은 국내의 KSTAR Project, 세계적으로는 ITER Program에 의해 연구가 진행되고 있다. 핵융합에 의한 발전은 현재의 핵분열 방식의 원자력 발전에 비해 방사성 폐기물 발생량에 있어 3%에 불과하다. 핵융합 발전 방식에는 여러 가지 있으나 가장 가능성 있는 방식이 토카막 방식이다. 초전도 자석은 이 토카막의 핵심부분인 바, 핵융합 발전이 이루어지면 핵폐기물 발생은 현저히 줄어들 것으로 초전도 기술은 간접적으로 환경에 이바지하게 된다.

비슷한 기여가 자기분리에도 있다. 강력한 자석은 특히 철 등 자성물질이 함유된 물질을 분리하는데 탁월하여 오폐수 처리에 응용됨으로써 환경 보호에 이바지한다. 예를 들면, 제철공정에서 나오는 철강폐수의 정화, 고령토(Kaolin) 점토 중의 철분 분리 등이 대표적인 경우이다. 또한 일부 미생물이 자성물질을 흡착하는 성질이 있음을 이용하여 자기분리에 의해 오염물질을 제거한다.

이 밖에도 강자장 자석의 응용은 앞으로 크게 확장될 분야이며, 그 중의 하나가 MHD(Magnetohydrodynamics) 발전이다. 이 기술은 과거 시도되었으나 응용으로 이어지지 않은 기술이다. 주 이유는 가스를 고온에서 이온화시킴으로써 전도성 유체(Conducting Fluid)를 만들었는데, 고온이기 때문에 부식이 심하고



Industrial scale low-temperature superconducting reciprocating magnetic separator.

〈그림 2〉 초전도 자석을 이용한 자기분리 장치(미국 Carpcos사). 이러한 자기분리는 선광, 고체 및 기체상의 폐기물 처리, 동위원소 분리, 수질정화 등에 쓰인다.

시스템이 복잡해지는 등의 문제를 들 수 있다. 최근에 고온 대신 In-Sn-GA 등의 합금(300°C 이하에서 액체)을 유체로 하여 고자장 자석을 이용하여 저온에서 가능한 MHD 발전이 시도되고 있다(그림 2 참조).

이상과 같이 초전도 전력기기는 효율 향상을 통해 에너지를 절감하고, CO₂ 발생을 억제시키며, 절연유를 피하고, SF₆ 가스의 생산을 감축시킨다. 향후 온실가스 등 환경문제가 더 중요시 될 것으로 보여진다. 초전도 전력기기는 환경적인 면에서도 상전도 기기의 한계를 극복하는 대안이 되고 있는 바, 국내에서도 정량적 분석이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. "Response to IEA-HQ Request for Input to the CERT Ministerial Paper" by A. Wolsky(IEA HTS Programme, 18 Dec. 1998).
2. "Survey of Effects of Superconductive Applications on Energy Conservation and Environmental Issues", prepared by ISTE(21 Apr. 1999).
3. "Survey of Energy Conservation and Environmental contribution Effects of Superconductive Products, Summary", prepared by ISTE(21 Apr. 1999).
4. 경영통계(1999년판, 한국전력공사)
5. 전기연감 2000(1999년, 대한전기협회)
6. "초전도 마그네트를 사용한 마그네이트 미립자의 자기분리", 전학련(일본) B, 11권, (1999) PP. 1181.
7. "The Likely Future Impacts on Environment, Safety, and Health from the Power Sector's Future Widespread Use of Superconducting Equipment", by A. Wolsky(IEA HTS Programme, 21 Dec. 1999)