

초전도 전력기술

산업 제어 기술 원
공학박사 고 요

1. 프로그램의 개요

가. 개발기술의 개요

전력 수요의 폭발적인 증가 추세에 대한 새로운 에너지 생성과 에너지절약기술의 필요성이 절실히 요구되고 에너지 관련 기술의 확보는 향후 국운을 좌우할수 있는 중요한 열쇠로서 오늘날의 WTO나 GR 협정하에서는 반드시 환경문제를 고려한 새로운 에너지기술의 확보가 필요하게 되었다.

어느 일정 온도 이하에서 전기저항이 제로가 됨으로서 Compact하고 고효율, 고성능, 경제성 있는 응용기기를 실현할 수 있는 초전도기술이 향후 전력시스템 및 에너지의 문제를 해결할 수 있는 수단으로 대두되고 초전도 전력시스템의 구축과 각종 초전도 전력설비의 국산화 기술확보로 고 에너지 생성과 전력 손실의 절감을 도모할 수 있다.

나. 전기에너지의 사용현황

산업문명의 고도화와 에너지 사용에 따른 환경 오염문제로 인하여 전체 사용 에너지중 전기에너지

가 차지하는 비율이 크게 신장하고 있으며(2030년경 전체 사용에너지 중 전기에너지의 비중이 50%로 육박), 그 수요 또한 폭발적인 증가가 예측됨에 따라(2010년 현재의 3.3배로 증가 예상) 가까운 장래에는 다음과 같은 5가지 문제점이 대두될 것으로 보여 이 문제를 해결할 수 있는 기술의 확보여부가 향후 국가적인 에너지문제 해결의 열쇠가 될 것으로 예상된다.

- ① 전원설비 용량의 대용량화 문제 : 전기에너지의 안정적인 공급을 위해 원자력을 중심으로 한 대용량 발전소의 확충과 전력설비의 대용량화 → 기존 발전기의 한계를 극복할 수 있는 기술 필요(현재 기술로는 1,500MW가 제작 한계이나 향후에는 발전기 1기당 용량이 2,000MW 이상까지도 필요)
- ② 전원 및 송전입지의 확보 문제 : 전원설비의 대용량화, 지역적인 편재화, 전력수송의 장거리화, 대용량화에 따른 부지확보 문제 해결 → 전원 설비의 Compact화 기술 필요
- ③ 전기의 품질저하 문제 : 전원설비의 대용량화, 지역적인 편재화, 전력수송의 장거리화, 대용량화에 따른 전력계통의 안정도, 수요지에서

의 전압안정성 저하가 예상되는데 비해 미래에는 컴퓨터, 통신, 정밀제조업 등과 같은 고품질의 전기를 요구하는 부하가 더욱 급증할 것으로 보임 → 전력계통의 안정도 향상을 위한 신기술 필요

- ④ 지구환경의 오염문제 : 현재의 원자력을 제외한 화석에너지를 사용한 전기에너지의 생성에 있어서는 반드시 CO₂ 가스가 배출되는데 전기에너지 사용의 증가는 더 많은 CO₂ 가스의 배출을 의미(지구환경 보전을 위한 Green Round에서는 전 산업분야에서 환경을 오염시키는 생산기술은 배제 예상) → 전기에너지 공급계의 효율향상을 위한 기술이 필요(효율향상은 에너지소비의 억제 및 이로 인한 CO₂ 가스의 배출억제에 기여)
- ⑤ 발전 원가상승으로 인한 전기요금 상승 문제 : 전원설비확충 및 용량 증대, 고가의 전 원입지 확보 등으로 인해 전기요금이 상승할 것으로 예상(이것은 국민생활에 직접적인 영향을 줄 뿐만 아니라 제조업의 제조단가 상승으로 국제경쟁력 저하를 초래) → 전원설비의 Cost 절감을 위한 신기술 필요

다. 국내 기술현황

한국전기연구소를 중심으로 대학 및 관련 연구소에서 UPS용 소형 SMES, 초전도 변압기, 사고 전류제한기, 초전도 발전기, 초전도 송전케이블 개발을 위한 연구가 진행되고 있거나 종료된 것도 있으며, 상용화를 위한 본격적인 연구보다는 핵심 기술의 확립차원의 연구수준에 머물러 있고 초전도 전력응용을 위한 기반기술로서 초전도선의 개발이 필수적이며 선진국에 비하여 전력응용을 위

한 교류용 초전도선의 개발이 전혀 이루어지지 않고 있으나, 직류응용을 위한 Nb-Ti 초전도선의 제조 및 생산기술이 확보되어 있다.

초전도 전력응용을 위한 또 하나의 기반기술로서 극저온 운용 및 극저온 기기의 제작 및 운용기술이라고 할 수 있는데, 부분적으로 핵심기술이 확보되어 있고 선진국에서도 현재 급속계 초전도선을 사용한 액체헬륨온도의 초전도전력 응용기기의 개발과 병행하여 액체질소온도에서 운전이 가능한 고온초전도체를 사용한 전력응용기술의 개발에도 많은 연구를 진행하고 있는데 비하여 국내에서도 응용측면보다는 고온초전도체의 물성 등의 기초연구에 치우쳐 있다.

라. 국내 생산업체 및 보급 현황

초전도 전력응용기기는 단일품목의 정기적인 생산보다는 대형 플랜트설계 및 제작의 성격을 가지고 있으며, 현재 국내의 대기업에서는 외국의 경우와는 상반되게 초전도 전력응용기기의 개발에 연구개발 투자가 미미하고, 국내의 연구소 및 대학 등의 연구기관에서 연구용으로 부분적으로 제작되고 있는 시제품 개발에 참여하고 있는 실정이다.

보급 현황을 보면 초전도 전력응용기술은 현재 제품이 판매되고 있는 기술분야가 아니고, 2005~2010년경부터 본격적으로 실용화가 이루어질 전망이다므로 현 시점에서 보급현황을 논하기는 어려운 실정이다.

마. 선진국의 시장동향

선진국에서는 UPS용 소형 초전도에너지 저장장치(SMES)의 보급이 점차 늘어나고 있는 실정이

며, 부분적으로 계통 안정화용의 중형 SMES가 보급되기 시작하였으며, 2005년부터 초전도기술을 응용한 각종 전력 및 에너지기기가 2005년부터 본격적으로 보급될 것으로 예상되고 있다. 세계 초전도협의회(ISIS : The International Superconductivity

Industry Summit)의 통계자료에 따르면, 초전도 전력기기의 세계시장은 2000년 20조원, 2010년 240조, 2020년 320조원에 달할 것으로 전망하고 있다.

2. 기술개발

세부추진 프로그램	기술개발 목표
초전도 에너지 저장 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 계통안정화용 에너지저장 장치개발 ○ 부하 보상용 에너지저장 장치개발
초전도 선재 및 도체화 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 금속계 초전도선의 대용량화 기술개발 ○ 전력분야 응용을 위한 고온 초전도 선재화 기술개발
초전도 사고전류 제한 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초전도 단상 전류제한기 개발 ○ 초전도 3상 전류제한기 개발
초전도 변압기 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 중형 초전도 변압기 개발
초전도 Power Supply 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다목적 Power Supply 기술개발
초전도 송전 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ LH₂ 냉각에 의한 초전도송전 시스템 개발 ○ LH₂ 냉각에 의한 초전도케이블 개발
극저온 용기 및 냉각 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 극저온 용기 및 냉각 기술개발
고온 초전도 응용 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고온초전도 마그네트 응용기술개발 ○ 고온초전도 에너지저장 응용기술개발

3. 기술개발 세부내용

가. 초전도 에너지 저장기술

○ 기술의 개요

- 전기저항 제로로 인한 영구전류 발생특징을 이용 초전도선으로 코일을 만든 다음 자장으로 에너지를 저장하는 기술

- 전력용 부하보상용과 산업용인 국지부하보상, 각종 전원장치 등에 이용

○ 국내외 기술동향 및 수준

- 선진국 : 전력동요 억제용 계통 안정화 및 순간정전 보상용 등은 상용화

- 국 내 : 요소기술 연구단계

○ 연구개발 목표

- 1998년 : 요소기술개발

- 2001년 : 소형 SMES 시스템 개발
- 핵심기술 및 세부과제
 - 코일의 최적설계 및 제작기술
 - 대용량 초전도도체 설계 및 해석
 - 계통안정화용 에너지저장 기술개발
 - 부하보상용 에너지저장 기술개발
- 연구 개발 성격(초기 3년) : 응용
- 연구 개발 주역 : 연구소
- 보급방안의 개요
 - 산업용으로 이용할 수 있는 제품을 개발하여 정부관련 기관에 납품, 홍보한 후 점진적으로 용량증대와 함께 수요 창출
- 국내외 보급동향 및 시장 여건
 - 선진국 : 제한된 용도로 상용시장 형성
 - 국 내 : 요소기술 연구단계
- 보급 목표
 - 1998년 : 자체 연구용
 - 2001년 : 국가나 정부투자기관, 출연기관 등에 시험 납품용으로 200억
- 보급상 장애 및 세부대책
 - 인식부족
 - 연구인력의 집합력 부족
 - 실질적 예산 지원
 - 산업체의 적극적 투자 유도
- 보급방안 성격(초기 3년) : 인센티브
- 보급 주역 : 산업체/연구소
- 보급 자원 : 정부, 산업체

나. 초전도선재 및 도체화기술

- 기술의 개요
 - 전력기기의 초전도화를 위해서는 임계특성이 우수하고 장척화된 실용 초전도선이나 이들

- 초전도선을 복합가공한 초전도도체 필요
- 저 손실의 교류용 초전도선의 개발로 교류 전력기기의 실용화 가능성을 한층 높임
- 국내외 기술동향 및 수준
 - 선진국 : 초전도응용에 필요한 어떠한 초전도선이나 도체도 상용화되고 있음
 - 국내 : 일부 핵심기술 확립 단계
- 연구개발 목표
 - 1998년 : 가공기술 확립
 - 2001년 : 실용 선재개발
- 핵심기술 및 세부과제
 - AC Loss 저감을 위한 도체해석
 - 성능향상을 위한 제조, 가공기술
 - 금속계 초전도선의 대용량화 기술
 - 전력용 고온초전도선재화 기술
- 연구개발 성격(초기 3년) : 응용
- 연구개발 주역 : 연구소
- 연구 자원 : 정부, 산업체
- 보급방안의 개요
 - 각 연구기간에서 초전도응용 연구시 필요한 초전도선을 자체 충당하여 전력기기의 국산화에 기여한 후 점진적으로 국외 시장에도 수출, 보급
- 국내외 보급동향 및 시장 여건
 - 선진국 : 2000년 2조시장 예상
 - 국 내 : 2000년 상용화될 MRI용 수급
- 보급 목표
 - 1998년 : 자체 연구용
 - 2001년 : 연구용 및 상용화기기용으로 연 500억
- 보급상 장애 및 세부대책
 - 연구인력 부족과 제한된 연구범위
 - 기업의 연구능력 전무
 - 정부차원의 강력한 지원의지 표방



- 산업체의 적극적 투자 유도
- 보급방안 성격(초기 3년) : 인센티브
- 보급 주역 : 산업체/연구소
- 보급 재원 : 정부, 산업체

- 다. 초전도 사고전류 제한기

- 기술의 개요
 - 전력 수요 급증에 따른 전력 수송 용량의 급증으로 고장용량 또한 급격히 증가 추세로 에너지손실이 많아짐
 - 전력기기의 보호와 기존의 차단기의 부담을 감소시키는 초전도 사고전류 제한기의 필요성 증대
- 국내외 기술동향 및 수준
 - 선진국 : 2000년초 상용화를 목표로 현재는 실용화 전단계인 실증시험단계
 - 국 내 : 일부 요소기술 확보(6.6/100A)
- 연구개발 목표
 - 1998년 : 단상 전류제한장치 개발
 - 2001년 : 3상 전류제한장치 개발
- 핵심기술 및 세부과제
 - 시스템 해석기술 확립
 - 계통연계 기술개발
 - 초전도 냉각시스템 개발
- 연구개발 성격(초기 3년) : 응용
- 연구개발 주역 : 학교/연구소
- 연구 재원 : 정부, 산업체
- 보급방안의 개요
 - 시험소에서 실제 사용전압에 가까운 상태에서 단락시험후 실계통에 적용
- 국내외 보급동향 및 시장 여건
 - 선진국 : 2000년 1,000억 시장 예측

- 국 내 : 응용연구 단계
- 보급 목표
 - 1998년 : 자체 연구용
 - 2001년 : 실 전력계통의 일부분인 3상 초전도 전류제한 장치를 현장에 적용후 시험 운전
- 보급상 장애 및 세부대책
 - 전문 연구인력의 부족
 - 선진기술도입의 어려움
 - 산업체의 적극적인 투자방안 강구
 - 초전도 응용기기중 현실성이 높은 기술임을 홍보
- 보급방안 성격(초기 3년) : 인센티브
- 보급 주역 : 산업체/학교
- 보급 재원 : 정부, 산업체

- 라. 초전도 변압기 기술

- 기술의 개요
 - 변압기의 동손을 줄이고 소형, 경량화를 목적으로 초전도체를 이용하여 효율을 증대
 - 일괄 초전도전력시스템 구축을 위해 초전도 기기들간 협조 필요
- 국내외 기술동향 및 수준
 - 선진국 : 모델기 제작 단계(700kVA급 제작, 성능시험)
 - 국 내 : 기초연구단계
- 연구개발 목표
 - 1998년 : 요소 특성시험
 - 2001년 : 요소기술 확립
- 핵심기술 및 세부과제
 - 대용량 변압기 요소 설계기술
 - 최적 운영기법
 - 타 초전도 전력기기와의 연계운전 특성 해석

- 연구개발 성격(초기 3년) : 기초
 - 연구개발 주역 : 학교/연구소
 - 연구 재원 : 정부
 - 보급방안의 개요
 - 선진기술의 적극적 도입을 통해 기반 기술을 축적후 실 계통 전단계로서의 초전도변압기 모델기 시험 제작
 - 국내외 보급동향 및 시장 여건
 - 선진국 : 2010년 1조2천억 시장 예측
 - 국 내 : 기초 연구단계
 - 보급 목표
 - 1998년 : 자체 연구용
 - 2001년 : 실 계통 전단계로서의 모델기 제작 후 특성시험
 - 보급상 장애 및 세부대책
 - 전문 연구인력의 부족
 - 선진기술 도입의 어려움
 - 산업체의 적극적인 투자방안 강구
 - 적절한 예산 투입으로 장기적 투자요망
 - 산·학·연 공동연구 지향
 - 보급방안 성격(초기 3년) : 홍보
 - 보급 주역 : 산업체/학교/연구소
 - 보급 재원 : 정부, 산업체
- 마. 초전도 Power Supply 기술
- 기술의 개요
 - 유도성 부하를 위한 극저온 전원장치의 개발 이 시급
 - 높은 전류를 요하는 초전도 부하에 다목적으로 사용되는 초전도 Power Supply 연구가 활발히 진행
 - 국내외 기술동향 및 수준
 - 선진국 : 브러쉬 없는 초전도 전류 발전기의 개발 연구중(일부상용화)
 - 국 내 : 기초연구단계
 - 연구개발 목표
 - 1998년 : 소형 초전도 Power Supply 개발
 - 2001년 : 다목적 중형급 개발
 - 핵심기술 및 세부과제
 - 특성해석 및 설계기술
 - 최적 운영 기법
 - 타 초전도기기와의 연계특성 해석
 - 연구개발 성격(초기 3년) : 기초
 - 연구개발 주역 : 학교/연구소
 - 연구 재원 : 정부
 - 보급방안의 개요
 - 선진기술의 적극적 도입을 통해 기반기술을 축적후 실 계통 전단계로서의 다목적 초전도 Power Supply 시험, 제작
 - 국내외 보급동향 및 시장 여건
 - 선진국 : 현재 국부적 상용화
 - 국 내 : 기초연구단계
 - 보급 목표
 - 1998년 : 자체 연구용
 - 2001년 : 실 계통 전단계로서의 전 초전도 전류발전기 시작품 제작후 특성시험
 - 보급상 장애 및 세부대책
 - 전문 연구인력의 부족
 - 선진기술 도입의 어려움
 - 국내 제작 경험 전무
 - 해외 관련 우수기관과의 연구 교류
 - 보급방안 성격(초기 3년) : 인센티브
 - 보급 주역 : 산업체/학교
 - 보급 재원 : 정부, 산업체

바. 초전도 송전기술

- 기술의 개요
 - 향후 급속히 요구되는 환경문제와 전력수요의 급증에 따라 대용량 지중송전기술의 필요성 급증
 - 전기저항이 제로인 초전도특성을 이용하여 Compact하고 저손실, 대용량인 신 케이블 개발
 - 국내외 기술동향 및 수준
 - 선진국 : 저온 초전도분야는 실용화 기술 확보 단계이나 고온분야는 모델 케이블 연구 단계
 - 국 내 : 요소기술 연구단계
 - 연구개발 목표
 - 1998년 : 대용량(3GVA) 단축케이블 개발
 - 2001년 : 실증 시스템개발 전단계
 - 핵심기술 및 세부과제
 - 최적설계 및 시스템 제작기술
 - 초전도 도체 설계, 제작기술
 - 고효율 냉각 및 극저온 절연기술
 - LH₂ 및 LN₂ 냉각에 의한 초전도 케이블 개발
 - 연구개발 성격(초기 3년) : 응용
 - 연구개발 주역 : 연구소/산업체
 - 연구 재원 : 정부
 - 보급방안의 개요
 - 대용량의 케이블을 필요로 하는 시점에서 초전도케이블을 필요로 하는 장소에 점진적으로 기존 케이블과의 교체 또는 기존 계통과의 협조
 - 국내외 보급동향 및 시장 여건
 - 선진국 : 2010년 시험구간 1조 예상
 - 국 내 : 요소기술 연구단계
 - 보급 목표
 - 1998년 : 자체 연구용
 - 2001년 : 실증 플랜트 건설
 - 보급상 장애 및 세부대책
 - 기존 케이블과의 경제성 문제
 - 대용량 송전의 필요시기 상조
 - 대용량 도체의 수급 어려움
 - 경제성 있는 케이블의 개발
 - 대용량 도체의 자체 개발능력 확보
 - 보급방안 성격(초기 3년) : 인센티브
 - 보급 주역 : 산업체/연구소
 - 보급 재원 : 정부, 산업체
- 사. 극저온 용기 및 제작기술
- 기술의 개요
 - 초전도기술은 극저온 냉매를 사용하기 때문에 외부와의 열 차단과 극저온 상태의 유지가 중요
 - 초전도기기의 경제성은 냉각기술에 의해 좌우되며, 실용화를 위해서는 반드시 고효율 냉각 기술이 필요
 - 국내외 기술동향 및 수준
 - 선진국 : 상용화
 - 국 내 : 일부 상용화단계이나 고효율화 기술연구 포함
 - 연구개발 목표
 - 1998년 : Cryostat의 저손실 기술 확립
 - 2001년 : 초임계헬륨 발생기술 확립
 - 핵심기술 및 세부과제
 - 극저온 특성해석 및 최적 설계기술
 - 정밀가공 및 고 진공, 최적 단열 기술
 - 초 임계헬륨 발생기술
 - 연구개발 성격(초기 3년) : 응용

- 연구개발 주역 : 연구소/산업체
- 연구 자원 : 정부
- 보급방안의 개요
 - 가까운 시일안에 상용될 것으로 예상되는 MRI용 Cryostat를 자체 조달후, 초전도 응용기기 개발시 필요한 전 분야의 Cryostat를 완전 국산화
- 국내외 보급동향 및 시장 여건
 - 선진국 : 현재 완전 상용화
 - 국 내 : 일부 자체 조달하나 거의 수입에 의존
- 보급 목표
 - 1998년 : 자체 연구용
 - 2001년 : 국내 수입품 전량 국산화 대치
- 보급상 장애 및 세부대책
 - 선진국의 예에서 보면 중소기업 품목
 - 이 분야만의 연구 지원책 전무
 - 선진기술도입의 어려움
 - 정부차원에서의 강력한 지원 의지
- 보급방안 성격(초기 3년) : 인센티브
- 보급 주역 : 산업체/연구소
- 보급 자원 : 정부, 산업체

아. 고온 초전도 응용기술

- 기술의 개요
 - 냉각비용의 감소로 경제성이 기존의 저온 초전도에 비해 75% 정도 우수
 - 직류 초전도마그네트를 이용하는 응용분야와 Bulk 초전도체를 이용하는 Fly Wheel 분야의 응용 가능
- 국내외 기술동향 및 수준
 - 선진국 : 실험실적 연구 단계

(요소기술 확립 등)

- 국 내 : 기초연구 단계
- 연구개발 목표
 - 1998년 : 형태별 마그네트 요소기술 확립
 - 2001년 : 소형 마그네트 및 Fly Wheel 개발
- 핵심기술 및 세부과제
 - 고성능 고온초전도 선재 개발
 - 고온초전도 마그네트응용 기술개발
 - 고온초전도 에너지저장 기술개발
- 연구개발 성격(초기 3년) : 응용
- 연구개발 주역 : 연구소/학교
- 연구 자원 : 정부
- 보급방안의 개요
 - 기술개발 및 기초연구를 토대로 여러 기기의 응용 가능성 타진후 실제 응용분야의 적용은 점진적으로 추진
- 국내외 보급동향 및 시장 여건
 - 선진국 : 응용분야 개척 단계
 - 국 내 : 기초연구단계
- 보급 목표
 - 1998년 : 자체 연구용
 - 2001년 : 응용 가능분야로의 대체
- 보급상 장애 및 세부대책
 - 연구방향의 불균형
 - 편향된 연구 조직
 - 산·학·연 공동연구 미진
 - 응용연구의 전폭적인 확대, 지원
 - 산업체 참여의 적극적인 유도
- 보급방안 성격(초기 3년) : 홍보
- 보급 주역 : 학교/산업체/연구소
- 보급 자원 : 정부, 산업체