

초전도 전력기술 동향과 개발전략

김 정부

한전 전력연구원 전력계통연구실

초전도는 임계온도(critical temperature) 이하에서 전기저항이 없어지는 현상으로, 그의 응용은 전기 전 분야에 있다. 현재 군사, 우주, 실험실용 등 특수한 경우뿐만 아니라 Magnetic Resonance Imaging (MRI)의 자석처럼 민수용으로든 이용되고 있고 초전도 자기부상 열차를 위시하여 전자 및 전력기기 등에서의 응용이 특히 기대되어 왔다. 특히 고온초전도(High-Tc Superconductor, HTS)는 냉각에 필요한 부가적 경비가 적어 산업에서의 응용이 특히 기대되고 있다. 현재의 초전도 응용은 응용 가능성을 탐구하는 실험실 단계 및 실증시험을 지나 상업화 단계로서 기기 개발 및 경제성을 논하고 있다.

초전도 기기란 초전도체를 사용해서 제작 및 운용되는 기기를 말한다. 이를 전력분야에 응용한 것이 초전도 전력기기이고, 그 외 초전도 자석의 응용 등 다양한 응용분야가 있다. 초전도가 저온 현상이므로 그의 응용 역시 저온에서 이루어지므로 냉동설비가 필요하다. 이러한 부가적인 설비 때문에 상전도 기기에 없는 설치 및 운용경비가 발생한다. 그럼에도 활용이 될려면 상전도 기기로는 불가능한 새로운 분야를 창조하지 않으면 안된다. 실제 고자장 자석기술은 상전도로는 기술적 및 경제적으로 불합리한 기술이다. 초전도 자석의 응용을 보면 상전도 자석의 한계를 극복하고 새로운 응용 분야를 만들어 내었다. 예를 들면 병원에서 쓰이는 MRI용 자석처럼, 강자장 자석의 응용은 다양하다. 일반 전력기기의 경우는 상전도 기기가 존재하나 기존기술이 한계에 있음을 고려하면 초전도 기술이 이 분야에 혁신을 가져올 것이다.

고자장 자석은 대형 가속기, NMR용 자석 등으로 연구분야에 광범위하게 응용되고 있음은 물론이나, 가장 광범위하게 이용되고 있는 것이 민수용으로 활용되고 있는 MRI

이다. 현재 세계 초전도 기기 시장의 대부분은 MRI 시장으로 1998년에 나온 유럽초전도관련산업조합(CONECTUS) 자료에 의하면 1997년 총 초전도 기기 시장규모는 18.1억\$이고, 그 중 MRI 시장이 14.0억\$이었다. (2000년은 각각 22.4억\$ 및 15.9억\$, 2003년은 각각 28.2억\$ 및 19.8억\$로 예측). 국내에도 약 300억원(=약 30대/년)의 초전도 MRI 시장을 포함한 초전도 기기 시장이 형성되어 있고 증가추세에 있다.

세계적으로 보면 전력기술은 일정규모, 예를 들어 배전급 기기를 제작하고 현장시험을 마친 상태로써 상용화급 개발에 앞서 경제성 제고 및 신뢰성 확보를 위해 연구개발을 수행하고 있는 단계이다. 국내를 보면 동 분야의 지원이 지금까지의 분산된 소규모에서 21C 프론티어 사업 등으로 확대될 것으로 보이는 바, 조직적인 연구개발을 위한 전략 수립과 주 개발자인 기업체의 적극적 참여가 요구되는 시기이다. 여기서는 초전도 전력기술의 세계적 연구동향과 선진국의 연구개발 구도를 살펴보고, 국내의 환경변화, 연구개발 전략의 필요성 및 기업의 역할 등을 논할 것이다.

1. 초전도 전력기기 개발과 활용

현재 진행되고 있는 연구 개발 상황을 보면 고자장 자석 및 발전기와 Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)의 경우처럼 고자기장용 코일을 사용하는 경우는 고자장용 코일을 만들 수 있는 HTS 선재 개발이 미흡하여 저온초전도체 (Low-Tc Superconductor, LTS) 방식이 계속되고 있고, 범용 전력기기인 한류기, 변압기, 모터, 송전 케이블 및 Superconducting

표 2. 초전도 전력기기의 주요 개발 및 활용 상황

초전도 전력기기	경제적 이익/활용 분기점*	현재의 주요 개발 상황 (개발주체)	실증시험 상황
케이블 (HTS)	1 GVA	24 kV/2.4 kA (Detroit Edison/Pirelli)	변전소 설치, 시험 (2001)
		66 kV/1.25 kA, 100 m (東京電力)	CRIEPI 시험장 실증시험 (2001)
		12.5 kV/1.25 kA, 3상 (Southwire)	자체 계통 시험 계속
		일본 中電/古河, 덴마크 NKT 등	자체시험
모타 (HTS)	5,000 HP	1,000 HP (Rockwell Automation)	2000 현장시험 시작
발전기 (LTS)	200 MVA	70 MVA (Super-GM)	1999년 관서전력, 현장시험완료
변압기 (HTS)	30 MVA	1 MVA (Waukesha)	실험실 시험 중
		640 kVA (ABB)	1997 계통시험
한류기 (HTS)	배전급 이상	15 kV/765 MVA (General Atomics)	So. Cal. Edison 계통시험(1999)
		10 kV/1 MVA (Siemens)	박막형, 자체 시험
		12 kV/10 MVA (FZK)	2002년 완성
		10.5 kV/1.2 MVA (ABB)	발전소 보조전원 보호용(1996)
SFES (HTS)	100 kWh	2 kWh (Boeing)	2002년 10 kWh 시험 (계획)
		10 kWh급 (일본 四國電力)	시험중
		300 Wh급(독일 FZK)	자체 시험중(2000)
		300 Wh급(한전전력연구원)	자체 시험중
SMES (HTS)	-	1 kWh/1 MW (일본北九州電力)	九州 철도 전원 공급용, 운용중
		100 kWh/40 MW (일본 ISTEK)	개발중
		미국 ASC의 micro-SMES	상업화, UPS용
고자장 자석 (LTS)	-	연구용 자석 (NMR, 가속기용 등)	활용중
		MRI 자석	활용중(현재 초전도 시장 주도)
		자기부상열차(MLX01) (일본운수성)	실용화급, 시험선 시험 (1998)
		자기추진선(YAMATO I) (미츠비시)	소형선 시험 (1993)
		자기분리 (Carpco/SPI-DOE)	실용화급 시험중
		단결정 성장	활용중

Flywheel Energy Storage (SFES)에서 는 HTS 방식이 주로 연구되고 있다.

초전도 전력기기의 활용은 고효율(저손실), 기기의 소형화, 임피던스 저하에 따르는 계통안정, 환경친화 등에 기인한다. 특히 기기의 소형화는 용량증대 및 기존시설의 재사용을 뜻하여 특히 중요하다. 그럼에도 범용으로 활용되기 위해서는 두 가지가 만족되어야 하는 바, 경제성과 신뢰성의 확보이다. 경제성은 기존의 상전도 기기 대체시 이득

이 있어야 함을 뜻하는 바, 초전도 전력기기는 냉각설비라는 부가적인 장치 등으로 인하여 상대적으로 일정용량 이상에서 상전도 기기에 대해 경쟁력을 갖는다. 즉 개별 기기는 동급의 상전도 기기에 비해 비싸므로 용량증대, 교체에 따르는 추가설치비 절감, 운용비용의 절감 등으로 초기설치비를 상쇄시킬 수 있어야 한다. 표 1.의 경제적 이익/활용 분기점은 설치 및 운용비를 포함하여 상전도 기기에 대해 경제적 이득이 기대되는 분기점

전력기술 심포지엄 특집

이다. 상기 초전도 전력기기중 SMES와 고자장 자석 등은 상전도 기기로는 불가능하므로 저온초전도 기기로도 경제성 있어 현재 활용중이다. 한편, 케이블, 변압기, 한류기, 모타 및 SFES는 고온초전도 기기라야 경제성 있다고 판단되고 있다. 여기서, 경제적 이익이 되는 한계용량은 선진국에서 평가된 수치이다. 이러한 경제적 분기점은 선재개발 등의 기술 진보와 더불어 낮아지는 경향이 있다. 또한, 초전도 전력기기는 기존 기술로 대체하기 힘든 분야부터 적용될 것이다. 한류기가 그렇고, 관로증설 문제로 케이블이, 에너지 저장에서 SFES가 그렇다.

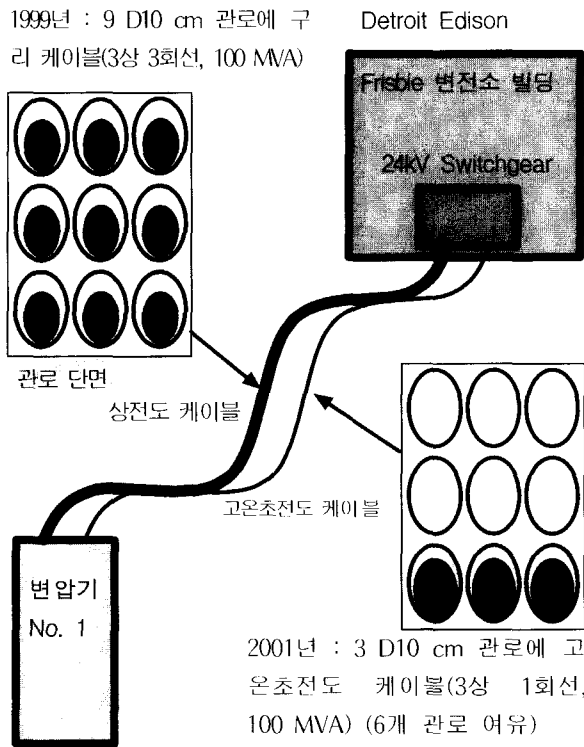


그림 1. Detroit-Edison은 Detroit 시내의 Friesbie 변전소에 설치중인 3상-1회선 100 MVA 고온초전도 케이블 (120 m, Pirelli사 제작) diagram으로 113 kg의 고온초전도 선재가 8,165 kg의 구리선을 대체한다.

초전도 전력기기를 범용으로 활용하는 데 또 하나의 관건이 신뢰성 확보이다. 전력기기는 통상 20년 이상 운용되는 바, 이 동안 최소한의 정비(maintenance)로 운용이 확보되어야 한다. 이 신뢰성에 가장 핵심부분

이 냉각설비인 바, 고온초전도 전력기기 동작 온도인 40 K ~ 80 K 사이에서 전력기기의 수명인 20년 이상 고장 없이 운전하는 것이 관건이다. 전력기기의 정기적 보수를 감안하여도 적어도 3년 이상의 무보수 운전을 확보하여야 하는데, 이 기술은 아직 범용 단계에 있지 않아서 해결되어야 할 가장 중요한 주변기술일 것이다.

2. 선진국의 개발 구도 : 정부-산업체-수요자 연합

이상에서 세계적인 초전도 전력기술의 연구동향을 살펴보았거니와, 현재 prototype 제작 및 실계통 시험을 넘어 실용화급 기기 개발, cost down 등 경제성 제고, 장기 무보수 운전을 위시한 신뢰성 제고 등이 주요 관심이다. 이렇게 초전도 전력기기 개발은 현재 기술적 검토를 넘어서서 경제성 제고, 시장창출 등의 단계로서, 연구개발이 대학 혹은 연구소를 벗어나 제작자(기업) 위주로 진행되게 된다. 세계적으로 주요 초전도 전력기기 개발은 주로 기업이 중심이 되어 수행되고 있고 대학 및 연구소가 이를 뒷받침하는 구도로 되어 있다. 다만 coated conductor 개발에서 Los Alamos National Laboratory (LANL) 및 Oak Ridge National Laboratory (ORNL)이 주축이 되었듯이, 아직 기술이 미숙한 분야에서는 국립연구소가 주축이 되어 연구를 수행하고 있다.

여기에 정부의 initiative 역할이 있다. 초전도 전력기기 개발은 장기투자를 요하는 것으로 대개의 경우 정부자금의 유입이 주요 역할을 담당하고 있다. 제작자는 시장조성이 뚜렷하게 가시화되지 않는 이상 본격적으로 개발에 투자하지 않은 경향이 있다. 그리고 수요자는 기술 자체에 대한 확신 문제 등으로 개발자가 개발해 놓기를 기다려 사용여부를 결정하려 한다. 이 두 경향은 서로 상반된 것으로 그 자체로서는 아무 일도 일어날 수 없다. 여기에 정부가 주도적으로 투자의 상당부분을 담당함으로써, 개발자와 수요자의 가교 역할은 물론 개발에 따르는 투자비를 경감시켜 개발의지를 고취시키고, 수요자에게 신기술의 가능성을 확실히 보여줌으로써 수요창출 촉진을 담당한다. 이렇게 정부의 initiative

를 바탕으로 선진국에서는 주로 다음의 2가지 유형으로 개발됨이 이루어지고 있다.

그 하나는 정부-산업체(기업, 제작자)-수요자 연합의 구도이다. 정부의 지원을 핵심으로 하여 제작자 등의 산업체와 수요자(전력회사 등)가 연합하고, 이를 연구소/대학 등이 뒷받침하는 구도이다. 대표적으로 미국 DOE - 기업 공동 고온초전도 전력기기 개발 프로그램인 SPI (Superconductivity Partnership Initiative), NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization, 일본 상무성 산하의 新에너지産業技術開發機構) 지원에 의한 연구개발 계획 등이 있다. 예로서, SPI의 초전도 한류기 개발을 보면 DOE의 지원하에 전력기기 제작자인 General Atomics가 개발을 주도하되, Intermagnetics General Co. (IGC)가 초전도 코일을 공급하고, LANL이 핵심기술을 제공하며, Southern California Edison사가 수요자로서 환경설정 및 계통시험을 제공하는 구도로 되어 있다. 다른 기기개발도 비슷한 구도로 운영되고 있다. 한편, 일본의 경우는 NEDO 지원을 바탕으로 주로 전력회사의 조합연구소인 ISTE (International Superconductivity Technology Center, 國際超電導産業技術研究센터)과 또 다른 연구조합인 Super-GM(Superconducting Generation Equipment and Materials, 超電導發電機關聯機器·材料技術研究組合)을 통해 연구개발이 이루어지고 있다. 표 2.는 SPI의 개발 구도이다.

또 다른 개발구도로 산업체 - 수요자 컨소시엄을 들 수 있다. 이는 제작자인 기업과 수요자인 전력회사의 컨소시엄 형태로서 수요자가 개발 동기 및 환경을 제공하고 산업체가 이에 부응하여 기기 개발을 진행하는 형태이다. 대표적으로 일본의 東京電力과 住友電工이 합작으로 개발하는 고온초전도 케이블을 들 수 있다. 동경전력이 케이블의 수요를 제공하여 개발동기를 부여하고, 케이블 회사인 住友電工이 개발을 담당한다. 이 컨소시엄은 66 kV급 고온초전도 케이블을 電力中央研究所 (Central Research Institute of Electric Power Industry, CRIEPI)의 시험장에서 2001년부터 시험을 실시한다. 비슷한 구도로서 일본의 中部電力과 古河電氣工業이 공동으로 고온초전도 케이블 개발,

ABB - ASC(선재회사) - EdF(프랑스 전력, 수요자)가 공동으로 수행하는 변압기 개발 등이 있다.

표 3. SPI의 초전도 전력기기 개발 구도

전력기기	개발구도	
	주요기관	참여기관 (역할)
초전도 한류기	General Atomics	IGC (초전도 코일) LANL (보조 연구) Southern Cal. Edison (계통적용시험)
초전도 플라이휠 에너지 저장장치	Boeing Phantom Works	ANL (보조 연구) Ashman Technology (motor/generator 부분) IGC (초전도체) Mesoscopic Devices (냉동기 부분) Praxair Specialty Ceramics (공정) Southern Cal. Edison (계통적용시험)
초전도 모타	Rockwell Automation /Reliance Electric	Air Product & Chemicals (산업체 사용자) ASC (초전도 wire) Centerior Energy (전력회사, 사용자) Sandia National Lab. (보조 연구)
초전도 케이블 (I)	Southwire Company	ANL(고온초전도 테이프 개발) Georgia Transmission (전기계통 설계) IGC (초전도 wire) ORNL (보조 연구) Plastronics, Inc. (고온초전도 테이프 개발) Southern Company Services (전기계통 설계)
자기분리	Dupont Superconductivity	Carpco (mineral processing equipment) NHMFL (저온장치 및 자석 설계)
초전도 변압기	Waukesha Electric	IGC (초전도 wire) ORNL (보조 연구) Rensselaer Polytechnic Institute (보조 연구) Rochester Gas & Electric (전력회사)

3. 기업의 역할과 개발 전략

이상에서 선진국의 연구개발 동향과 구도

를 살펴보았다. 정부의 연구개발에 대한 initiative가 있어서 기업(제작자)의 일방적 투자에 대한 위험부담을 경감시키고, 수요자에 대해서는 기술에 대한 단기적 확신을 제공하고 있다. 이와 유사하게 국내의 환경도 기업의 역할증대를 절실히 요구하는 방향으로 변하고 있다. 국내의 초전도 전력기기와 같은 신기술 응용에 대한 인식은 선진국의 경우보다 일반적으로 더 열악한 것이 사실이다. 우선은 그동안 소규모로 지원되어 왔던 초전도 전력기술에 대한 정부의 지원이 21C 프론티어 사업 선정 등을 계기로 규모가 확대될 것으로 보이는 바, 정부의 초전도 기술 개발에 대한 initiative를 바탕으로 기업의 개발전략 수립이 절실히 요구된다.

현재의 초전도 전력기술 개발이 상용화를 목표로 하고 있음을 전제로, 개발의 주체로는 산업체를 중심으로 하는 것이 적절하다. 기기 개발은 종합 엔지니어링으로 system integration을 비롯하여, 경제성 제고, 시장 창출 등 능력이 필요한데, 이는 연구소/대학의 역할로는 적절치 못하고 산업체의 영역에 속한다. 예로서, 국내의 연구소/대학의 연구개발을 보면 주로 시장을 목표로 하고 있지 않으며, 왕왕 단일 목표달성에 익숙해 있다. 이는 연구용 활용에는 문제가 없으나 시장에서 받아들여지기에는 너무 많은 문제를 안고 있다. 시장은 기기의 단일 성능뿐만 아니라, 경제성, 장기신뢰성, 정비문제, 주변기기와 조화, 사용법, 산업디자인 등등 현장의 문제를 쉽게 해결해줄기를 바란다. 따라서 기업만의 특징을 살릴 수 있도록 기업을 중심으로 하여 개발이 이루어져야 한다. 다만, 국내의 초전도 전력기술 개발은 현재 주로 연구소 중심으로 진행되어 왔고, 초전도 전력기기에 관심을 가진 기업들도 동 기술 분야에서 기반을 채 갖추지 못한 상태이므로 단기적으로는 연구소가 연구개발에 큰 역할을 해야 할 것으로 보인다. 따라서 기업은 자신의 특성을 살리고, 집중투자에 의한 인프라 구축에 성공한다면 수년 후 기업 주도에 의한 개발진행이 이루어 질 수 있을 것이고, 또 그렇게 이루어져야 연구개발의 상용화 목표가 달성될 것이다.

연구개발 전략수립에 있어 주요 사항을 보면, 개발전략은 선진국의 제품과의 경쟁을

전제로 하여야 한다. 열린 시장으로 인해 수요자가 국산 제품을 특히 선호할 이유가 없는 데다, 국내시장이 그리 크지 않아 해외시장 진출이 필연적이기 때문이다. 이러한 조건하에서 기업은 어떤 구도로 개발할 것인가에 대한 전략을 수립해야 한다. 예로서, 기초기술부터 개발하는 방안, 부족할 수 있지만 국내의 수준을 바탕으로 하여 기술도입 등을 통하여 중간진입하는 방안, 그리고 독자적 기기개발 혹은 외국과의 협력(partnership)을 바탕으로 개발할 것인지, 어느 부분을 국내 개발하고 어느 부분을 외국에 의존할 것인지 등에 대한 방향을 가져야 할 것이다. 더하여, 초기 국내시장 진입 시 국내개발품의 활용이 절실히 요구된다. 초기 제품설치시의 투자, 그에 맞게 훈련된 인력, 설치기준 등의 문제로 초기투자의 이점은 대단히 크다. 이런 연유로 초기에 외국 제품이 사용되면 계속 대외의존이 계속될 가능성이 높기 때문이다.

4. 전력산업 구조개편과 초전도 기술

전력사업에 대한 세계적인 추세중의 하나로서 전력산업 구조개편, 혹은 deregulation이 있다. Deregulation의 내용은 전력산업에 경쟁을 도입하고, 민영화를 지향하며, 발전과 송배전을 분리운영하고, 전력 pool제를 통하여 시장진입을 자유롭게 하는 등의 내용을 담고 있다. 이러한 추세에 맞추어 국내에서도 2000년 12월 전력산업구조개편 특별법 제정을 시작으로 전력산업 전반에 걸쳐 대규모 변화가 일어나고 있다. 우선 국내 대부분의 전력을 담당하고 있는 한국전력공사의 발전부문을 원자력 및 5개 수화력 발전회사로 분할하는 것을 필두로, 전력거래소를 설치하여 실시간 입찰을 통한 전력거래, 그리고 전력 pool제를 운용하며 독립발전사업자의 송전망 진입을 자유롭게 하고 있다. 여기에는, 추후 배전부문까지 분할 경영되거나 민간 발전회사 - 송전망회사(한국전력공사) - 배전회사의 체제로 재편되는 등 1961년 한국전력공사 창설 이후 최대의 격변이 일어나고 있다. 여기서 우리의 관심은 이러한 변화와 관련하여 초전도 전력기술의 전력산업에의 응용시 어떤 영향이 있겠는가에 예측하는 것이다.

우선 관심가는 부분으로써 경쟁체제 도입의 결과로 나타난 경영효율 향상에 대한 압력을 들 수 있다. 지금까지 국내의 전력사업은 국가 기간산업으로서 이윤극대화 보다는 전력의 안정적 공급이 주요 목적이었다. 그러나 민영화는 필수적으로 원가절감을 통한 이익 극대화, 그리고 투자자본의 조기회수에 관심을 둘 것이다. 이 결과로 신규설비의 증설 회피, 특히 위험부담이 상대적으로 큰 신기술의 도입에 소극적이게 된다. 이는 상대적으로 신개념인 초전도 전력기기의 도입에 적지 않게 부정적 영향을 줄 수 있어 조기부터 대응방안을 강구할 필요가 있다. 한편, 경영효율 향상 요구 증대로 인해 초전도 기기에 긍정적 측면도 있다. 전력기기에 반드시 따르는 손실 절감이 더욱 절실해지는 바, 저손실 전력기기의 요구가 증대될 것으로 보여 저손실 초전도 케이블, 변압기 및 모터에 관심이 증대될 수 있어 이를 잘 활용할 수 있어야 할 것이다.

전력산업 구조개편의 또 다른 측면으로 중앙통제기능의 약화, 그로 인한 계통 불안울 들 수 있다. 이로 인해 전력계통에 대한 보호제어 필요성이 더욱 증대될 것이며, 전력기기 자체의 자기보호 필요성도 증대될 것이다. 또한, 시대상황과 맞물려 전력품질 개선에의 요구는 더욱 강조될 것으로 예측되고 있다. 이에 대응하여 한류기능을 갖는 초전도 전력기기, 초전도 한류기 및 변압기의 활용을 조기 실현하고, 그리고 전력품질 개선에 초전도 코일의 활용을 제시할 수 있어야 할 것이다. 더하여, 전력저장 요구가 증대될 것으로 예측된다. FACTS의 일부분이기도 하지만, 1주기 이내의 외란(disturbance) 극복 능력, 특히 수초간의 정전에 대처할 수 있는 전력저장이 빠른 시일 안에 필요하다 하겠다. 기존의 전력저장 요구의 하나였던 부하평준화의 필요성은 peak cut 요구의 절실함, 전력시장의 가격변동에 대처하기 위해서도 더욱 증대될 것으로 예측되고 있어 초전도 전력저장 장치의 공급이 절실히 요구된다.

5. 요약

이상으로 초전도 전력기술의 동향을 살펴 보았듯이 세계는 기술가능성 입증을 지나 배전급 기기를 개발하여 실계통 시험을 마친

상태로서, 상용화급 개발에 앞서 경제성 및 신뢰성 제고를 위해 노력하고 있는 단계이다. 그 개발 전략을 보면 정부의 개발 initiative를 중심으로 기업 - 수요자 연합이 주도적으로 개발을 수행하고 있다. 이와 비슷하게 국내에서도 21세기 프론티어 사업을 비롯하여 초전도 전력기술 개발에 대한 정부의 지원이 확대될 것으로 보이는 바, 이는 산업체 - 수요자에게 위험부담을 줄이면서 개발 의욕을 고취시킬 것이므로, 산연학 협력으로 기기개발을 수행하고, 시장을 공동으로 개척하면서 개발이 이루어질 것으로 보인다. 전력기기 종류에 따라 그 경제적 용량과 활용시기가 다르겠지만, 세계적으로는 2005년부터 시작하여 2010년이면 응용이 확대될 것으로 보이며, 국내도 약 5년 시차를 두고 활용이 이루어질 것으로 예측된다. 초전도 전력기술의 개발이 상용화를 목표로 하는 이상 시스템 integration, 경제성 제고, 현장이해 및 시장창출 등의 특장을 가진 산업체가 주도적으로 연구개발을 수행할 때 성공을 기대할 수 있다. 이를 위해 기업의 연구개발 전략이 필요한데, 특히 초기의 초전도 전력기기 설치시 국내 개발에 의한 시장진입과 해외시장에의 참여를 목표로 하여야 할 것이며, 이를 위해 독자개발 혹은 외국과의 전략적 제휴 등의 개발전략을 수립하여야 할 것이다.

저자이력



김정부

1943년 11월 14일 생, 1971년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업(공학사), 1985년 2월 동대학원(공학석사), 1990년 2월 동 대학원(공학박사), 1971년 4월~현재 한국전력공사, 1982년 11월~현재 전력연구원, 1998년 12월~현재 전력계통연구실장