

초전도 전력기술 개발동향과 발전방안

남궁도*, 장종근**, 김정부***

(*한전전력연구원 전력계통연구실 선임연구원, **동 연구원 동 연구실 책임연구원

***동 연구원 동 연구실 수석연구원)

1. 서론

전력에너지는 사용의 편리성, 제어의 용이성 및 생활 수준의 향상 등으로 그 수요가 증가되는 추세에 있으며, 전체 에너지 중에 차지하는 점유율도 계속적으로 증가되고 있다. 특히 대도시를 중심으로 한 전력수요는 한층 급증할 것으로 예상되며, 현재 전력회사로서는 전력에너지 공급에 따른 지구 환경(지구 온난화), 전원 및 전력설비 입지 확보의 문제도 심각하게 대두되고 있다. 전력 시스템의 대형화 및 전원의 원격화에 따른 단락전류의 증가와 전력계통 안정도의 악화, 고품질 전력 수요자의 증가, 도심지 전력공급의 지중화 요구, 대체에너지 개발에 의한 원가 절감을 해 나가야 하는 어려움이 있다. 이와 같은 다양하고, 복합적인 요구에 종래의 기술에만 의존한다면 효과적인 대응의 어려움은 물론 그 기술적이고 경제적인 한계에 곧 직면하게 될 것이다. 따라서 전력계통의 이러한 문제점을 해결하기 위해서 다양한 분야의 신 기술 적용은 현재 중요한 관심사로 부각되고 있으며, 특히 이중에서도 초전도 전력기기의 전력계통 적용 기술은 미래의 전력유통에 있어서 대단히 중요한 요소로 등장할 것으로 전망된다. 이와 같이 전력계통의 현황과 당면 과제를 본질적으로 해결하기 위한 방법중 초전도 기술을 전력시스템에 응용함에 있어서는 저손실, 고밀도화, 고성능 및 경제성 제고로 요약할 수 있으며, 지금까지 분석한 전력계통에서 대두되고 있는 문제점의 해결 방안으로 매우 중요한 역할을 할 것으로 확신한다. 이에 본 논문에서는 전력연구원에서 수행한 "초전도 전력기술 개발 기본 계획"연구 결과를 중심으로 초전도 전력기술의 국내외 현황과 동향을 알아보고, 초전도 전력기술의 효과적인 개발 전략과 발전 방안에 대하여 제시하고자 한다.

2. 초전도 전력기술 개발동향 및 실용화 전망

2.1 전력기기 응용현황 및 개발 동향

전력기기용 초전도기기는 크게 초전도 에너지 저장장치

(Superconducting Magnetic Energy Storage:SMES), 초전도 발전기(Superconducting Generator), 초전도 케이블(Superconducting Cable), 초전도 사고전류제한기(Superconducting Fault Current Limiter:SFCL)와 초전도 변압기(Superconducting Transformer)등으로 대별할 수 있으며 이들 기기로 구성된 미래의 전력시스템의 전체적인 구상도를 그림 2.1에 나타내었다. 이 구상도에서는 원거리에서 초전도 발전기를 이용하여 발전된 전력이 교류 또는 직류의 초전도 케이블을 통하여 대도시 주변의 초전도 케이블 외륜선으로 운반되고 이곳에 위치한 초전도 에너지저장장치에 의해 계통의 안정화 제어, 부하평준화 등이 행해지고 도심부까지 역시 초전도 케이블로 전력이 운송되는 것으로 구성된다.

선진국들의 초전도 전력기술 개발 동향을 간단히 살펴보면 초전도 선재가 고자장 마그네트의 개발에 응용되기 시작한 이래 가장 먼저 주목받는 분야는 SMES로 이는 1971년 미국 위스콘신 대학에서 연구를 시작한 후 미국 및 일본 등에서 지금까지 활발히 연구가 진행되어 오고 있으며, 현재 SMES의 연구 동향은 대형 SMES로 진전하기 위한 프로토타입 개념 설계 등은 계속하면서 마이크로 또는 소형의 SMES의 개발이 연구의 주류를 이루고 있고 최근에는 모듈화된 SMES의 개념이 부각되고 있다.

초전도발전기의 경우는 기존에는 직류전류가 흐르는 계

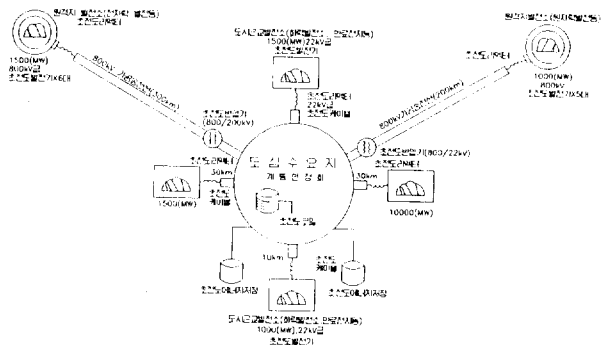


그림 2.1. 21세기의 초전도 전력시스템 구상도(예)

자권선(field winding)만 초전도화가 진행되어 왔으나, 교류용 초전도선재의 개발로 전기자 권선도 초전도화 하는 전 초전도발전기의 개발 노력이 경주되고 있다. 특히 일본의 경우는 초전도 발전기 및 재료를 위한 협의체(Super-GM)를 중심으로 1988년부터 1996년까지 70MW급 개발, 2005년까지 200MW급을 개발하여 실계통에 투입하여 운영할 계획이다.

초전도 케이블은 미국의 BNL국립연구소, 오스트리아의 Gratz 연구소를 필두로 하여 구미 각국에서 연구가 진행되고 있고, 또 일본에서는 전자기술 종합연구소, 나고야 대학, 도요하시 기술과학 대학 등에서 연구가 진행되고 있으며, 최근에는 비교적 용량이 적은 도심의 지중케이블의 초전도화를 목표로 고온초전도체를 도체로 하는 초전도 케이블의 연구가 활발하게 진행되고 있다.

초전도 사고전류제한기는 교류용 초전도 선재가 개발됨에 따라 연구에 활기를 띠고 있으며 이 기기에서는 기본적으로 전류가 고자장 환경 하에서 흐르지 않기 때문에 각종 초전도 전력기기에서 가장 먼저 실용화될 것으로 예측되고 있으며, 이에 교류용 선재를 최초로 개발한 프랑스의 알스톰사,CNRS, 미국의 웨스팅하우스, 일본의 Seiki, Saga대학 등이 활발하게 연구 활동을 하고 있다. 그 외에 초전도 변압기 및 고온초전도체를 초전도 전력기기에 응용하기 위한 연구로 변압기의 경우는 대형 과제로 진행되고 있지는 않지만 대용량화, 고압화, 3상 변압기의 개발 방향으로 나갈 것으로 예상되며, 고온 초전도체의 전력기기 응용 분야로는 초전도 벌크형태로 응용되는 플라이휠 전력저장장치, 선재형태로 응용되는 고온초전도 전류도입선, 고온 초전도 한류기 등의 연구가 활발히 진행되고 있다.

2.2 전력기기 실용화 시기 전망

전력계통에서의 당면 문제를 해결하기 위한 혁신적인 기술로서 초전도 전력기술 도입의 필요성에 따라 선진 외국에서는 실용화 계획을 추진하고 있으며, 이 계획에 따라 연구 및 실용화 준비를 착실히 하고 있다. 이와 같이 초전도 전력기기의 도입시기 및 용량을 정확히 예측하고 단계별 개발대상기술을 선정하여 기술개발을 하는 것이 바람직하나, 아직 국내에서는 국내 실정을 감안한 도입 시기의 예측, 경

표 2.1. 국내의 기술개발 내용 및 선진국의 실용화 시기

성 비 명	개발도입의 중요성	실용화 시기	국내의 기술개발내용및 수준
케 이 블	대	2005	저온 초전도케이블 개발중
에너지저장	대	2002	0.5mj급 계통안정화용 SMES 연구
발 전 기		2003	20kVA급 계자코일 초전도 발전기개발및 2단계연구중
변 압 기	중	2006	소형초전도 변압기 개발완료
전류제한기	대	2000	수 kA급 소형 초전도 한류기 제작을 통한 사전조사연구중

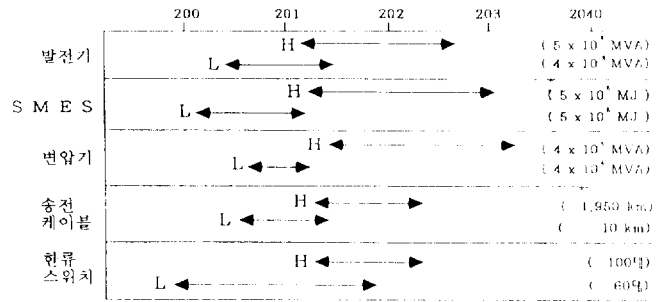


그림 2.2. 상용화시기 예측

제성을 고려한 실용화 적정 용량의 예측을 위한 사전 연구 등이 없는 우리로서는, 사회, 경제적 면에서 유사한 일본의 연구를 참고로 초전도 전력설비의 실용화 시기 및 용량을 예측하면 그림 2.2와 같다. 또한 이를 토대로 실용화 시기, 용량, 계통 도입의 중요성, 현재까지의 국내의 기술개발 내용을 표 2.1에 나타내었다. 이상과 같이 늦어도 2010년경에는 실용화될 것으로 예상되며, 우리도 이에 대비한 연구와 실용화 준비를 해야 할 것이며, 우리 전력계통 실정에 맞는 실용화 계획을 세워 추진해 나가야 할 것이다.

3. 초전도 전력기술의 효과적인 연구개발전략

초전도는 극저온이라는 특수한 환경 하에서 나타나는 현상이기 때문에 초전도 전력용용기기의 개발에는 기기의 대규모화를 통한 scale merit가 생기는 방향으로 추진되어야 하나 경제성의 문제에 봉착되어 어려움이 있다. 따라서 초전도 전력기술은 대규모화하는 것과 혁신적인 기술이라는 점에서 위험부담이 매우 큰 연구 개발이기 때문에 민간 기업이 자율적인 노력으로 개발해 나갈 수 있는 성격이 아니다. 따라서 초전도 전력기술 연구 개발을 위해서는 국가적인 차원에서의 연구 개발 목표를 설정하여 추진해 나가며 점진적인 관련 기업의 참여를 유도하는 것이 필요하고, 필요에 따라서는 국제 콘소시움등에 참여하는 방안도 검토되어야 한다.

현재까지 국내의 초전도 전력기술의 개발 현황을 살펴보면 전력연구원과 공동 연구로 한국전기연구소, 기초연을 중심으로 중,소규모의 원리 입증적 수준의 개별 기기개발 및 요소기술연구를 진행해 왔다.

그러나 현재 연구되고 있는 기술을 바탕으로 장차 실용화를 위한 대용량 초전도기기 및 시스템을 개발하기 위해서는 관련 산업체의 참여가 불가피할 것으로 여겨지는데 이를 위해서는 장기간 대규모의 연구 투자가 필요하다.

따라서 한정된 연구 예산과 인적 자원을 바탕으로 효율적인 연구개발의 계획입안과 실시를 위해서는 그 연구를 계속 수행할 대상과 도입에 따른 장점을 엄밀히 비교,검토

하여 우선 순위를 정한 후 순차적으로 연구 개발을 진행하는 것이 바람직하다. 이상을 요약하여 보면

- 가. 현재까지의 국내기술수준 및 개발 성과, 가능성, 전문 연구원 확보 수준, 연구 설비, 계통 도입의 시급성, 실용화 시기, 계통에 미치는 영향, 국제 협력 관계 등을 고려하여 설비별로 중점 추진 연구와 기초 요소 기술로 분류하여 우선순위 및 연구 규모를 결정한다.
- 나. 각 설비별 연구 개발 목표는 실용화 위주로 최종 및 단계별 개발 목표와 연구 범위를 정하되, 중간 단계별 목적성 연구결과물을 설정하여 해당 기업에서 제작케 함으로써 개발되는 기술들을 산업계로 이전될 수 있도록 유도한다.
- 다. 초전도 전력계통 시스템 구축을 위한 연구 개발은 한전 주도하에 수행하되
 - 범 국가적 차원에서 기초 기술, 시스템 기술, 적용 기술 등으로 분류하여 정부와의 유기적인 연구 분담을 연구 개발 정책 수립의 기본 방향으로 하고,
 - 반드시 산·학·연 협조 체제를 구축하여 개발 기기별 적정 해당 기업을 선정하여 단계별 end item을 산업체에서 제작하게 하여 개발 기술이 원활하게 산업계로 이전되게 유도한다.
 - 연구 기관별로 연구성격 및 연구 능력에 맞는 연구분담하에 유기적인 협조 체제를 구축한다.
- 라. 각 설비별로 기술 우위에 있는 선진기술국과 국제 공동 연구를 추진하되 연구내용 및 범위는 서로가 보유 또는 개발 가능한 기술 중심으로 상호 필요에 의해 역할 분담하고 연구비는 각각 분담함을 원칙으로 하되, 우리 나라만의 필요한 기술에 대해서는 선진국과 공동연구 및 위탁 연구를 수행하여 초전도 전력기술에 대한 자립화를 꾀하여야 한다.

4. 초전도 전력기술의 발전 방안

4.1 초전도 전력기술 개발에 한전이 선도적 역할

최근 전력 수요의 증가로 볼 때 전력설비의 대형화, 전원의 원격화, 편재화, 지역간 전력 수급의 불균형 확대, 도심지의 전력 수요 밀도의 증대, 부하율의 저하등의 사회적인 과제와 전력계통의 안정도 향상, 고품질화, 환경 조화성의 향상, 코스트 다운 및 단락전류 억제 등의 기술적인 과제를 해결하기 위한 방안으로 선진국에서 초전도 전력기기의 전력계통 도입이 적극 검토되고 있으며, 우리 나라에서도 기기의 전력계통 적용 기술 개발 및 기기개발에 관심을 기울여야 할 시점에 와 있다. 또한 초전도 전력기기 개발과 연구는 사회에 미치는 파급효과가 크고 앞으로 전력계통의 새로운 니드를 충족시킬 수 있는 대안으로서 전력계통적용이 확실시된다. 따라서, 초전도 전력기기의 최종니드이며, 또한 우리 나라 유일한 전력회사인 한전은 초전도 전력기기 개발 및 이의 계통 적용 연구를 기기의 실용화 시기를

정확히 예측하여 이에 대한 계획과 실용화 준비를 정부와 공동으로 대비하여야 한다. 연구 개발 추진 방법으로는 기초 및 요소 기술 분야를 한전의 주도하에 산·학·연의 특성에 맞게 역할을 분담하여 수행해 나가고, 그 다음 단계로 실용화를 대비한 규모의 기기를 국가 주도하에 산·학·연과 연계하여 초전도 전력기술 개발을 하여야 하며, 또한 한전은 전력회사이며 최종유저로서 연구개발 및 기술개발에 선도적 역할을 해 나가야 한다.

4.2 연구 개발에 대한 기업의 적극적인 참여

현재까지 국내의 초전도 연구는 주로 대학과 국책연구소 위주로 진행되어 왔으며 국내 기업의 초전도 연구 실적은 극히 미약하다고 할 수 있다. 기업 측면에서 초전도 기술개발에 참여시 선결 조건은 무엇보다도 초전도 사업에 대한 확신을 갖는 것이다. 초전도 전력기기는 많은 장점이 있음에도 불구하고 기존의 전력기기를 대체할 수 있는 경제성이나, 안정성에 대한 평가가 엇갈리는 현실이기에 선진국의 경우처럼 대형 국책 과제의 추진으로 기업의 참여를 유도하면서, 전반적인 인식의 전환 분위기를 조성하여 개발에 대한 확신을 갖도록 하는 것이다.

그 다음으로는 연구 개발 과제의 지속성이다. 초전도 사업의 경우 많은 인원과 연구비를 지속적으로 투자하여야 하므로, 연구인력 및 제조 능력 확보 차원에서 연구 과제가 지속적으로 보장되어야 한다.

이러한 환경이 조성되면 기업들은 단기적으로 산·학·연계를 통한 연구수행 및 연구 인력 확보, 선진국 개발추이 및 개발 사례 수집, 기본 요소 기술 습득, 기기 제작 기술개발 등 대형 프로젝트에 대비한 기초 기술 확보에 주력하여야 하며, 중장기적으로는 연구인력수급 및 자체 인력 양성, 초전도 재료 개발, 초전도 선재 상품화, 전력기기 개발 등으로 기업 특성에 맞는 상품을 특성화시켜 나가야 하고, 기존의 중전기기를 대체할 수 있는 시점에선 실계통시험을 준비하여야 하며, 이런 요소 기술을 통합하는 기술, 시험 및 계측 장비의 국산화를 이룩하고 기업이 주도적으로 초전도 전력 기술 응용 상품을 발굴하여 상품화해 나가야 한다.

4.3 정부의 중장기 기술개발 정책 수립 기대

미국, 일본, 유럽 등 선진국에서는 21세기 초전도 기술의 세계 주도권 확보를 위해 중장기 기술개발 전략을 수립, 국가 주도 사업으로 산·학·연, 공동 연구 체제를 구축하여 전략적인 차원에서 지원하고 있다. 특히 미국의 경우 1980년대 후반 레이건 대통령의 "초전도 주도 정책"의 공표 및 "국가 초전도 경쟁력법" 제정 등을 통한 기술 개발비를 지원하고 있으며, 일본의 경우 통산성의 "초전도 전력응용개발 계획" 등에 의해 대규모의 연구 개발비가 지원되고 있다. 이와 같이 초전도 전력기술은 미래 국가적으로 볼 때 중요한 기술이며, 개발비 규모가 크고 장기적인 연구가 필요한

사업으로 장기적이고 안정적인 정부 지원이 필요하며, 초전도 부문의 기술개발을 이끌어 갈 정부 차원의 종합 계획을 수립하여 장기적이고 안정적인 개발 지원이 이루어져야만 보다 효과적인 초전도 기술 향상과 발전을 꾀할 것이다.

5. 결 론

전력계통에서 대두되고 있는 사회적 과제와 기술적인 과제를 해결하기 위한 방안으로 초전도 기기를 개발하고 전력시스템을 구축하여 초전도 기술을 전력계통에 도입하기 위해서는 기술축적 및 경험이 부족한 우리로써는 연구 인력

의 저변 확대와 전력기기의 최종 유저인 한전을 중심으로 산,학,연과 연계하여 기초 요소 기술개발에 우선 순위를 두고, 우리 전력계통 실정에 맞는 실용화 계획을 세워 이에 따라 기술개발을 해 나가야 할 것이다. 또한, 대형 프로젝트성 과제는 정부 차원의 종합 계획과 에너지 개발 정책에 의해 콘소시움을 구성하여 공동으로 연구 개발을 추진함이 효과적이며, 연구 개발 시작품의 제작, 기업 특성에 맞는 상품의 특성화 등으로 기업의 기술개발 참여를 또한 유도하여야 한다. 따라서 정부, 전력 회사, 산,학,연이 공동 연계하여 기술개발에 참여할 때 보다 효과적으로 초전도 기술이 발전할 수 있을 것으로 생각된다.

저 자 소 개



남궁도(南宮都)

1956년 12월 25일생. 1983년 숭실대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 충남대 대학원 전기공학과 박사과정 및 한전전력연구원 전력계통연구실 선임연구원.



김정부(金正夫)

1945년 11월 14일생. 1971년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 한전전력연구원 전력계통연구실 수석연구원(부처장).



장종근(張種根)

1947년 4월 29일생. 1975년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 연세대 대학원 산업대학원 전기과 졸업(석사). 현재 한전전력연구원 전력계통연구실 책임연구원.