

## 초전도에너지저장(SMES)장치의 연구개발 동향 및 전망

김해종<sup>1</sup>, 성기철<sup>2</sup>

한국전기연구원 초전도연구센터<sup>1</sup>, 차세대초전도응용기술개발사업단<sup>2</sup>

### 1. 서론

전력의 품질을 개선하면서 경제성을 확보하기 위해서는 기존의 전력시스템에 여러 가지 부수적인 장치들을 필요로 하는데 그 핵심적인 구성요소로 에너지 저장장치를 꼽을 수 있다. 기존의 대표적인 에너지 저장장치로는 battery array나 양수발전 시스템을 들 수 있다. 이러한 장치들은 전력에 대한 보상은 가능하지만 파형의 이상 (swell, sag, outage 등)을 보상하기에는 적당하지 않은데 그 이유는 반응 속도에 있다. 파형을 깨끗하게 하여 전력의 품질을 현격히 높이는 일은 반응 속도가 매우 빠른 초전도에너지저장(이하 SMES)장치를 사용하면 가능한데 SMES는 저온초전도(이하 LTS)선재와 고온초전도(이하 HTS)선재로 제작이 가능하다. 저온초전도 선재 (NbTi, Nb3Sn 등)는 고온초전도 선재와 비교할 때 상대적으로 가격이 싸다는 장점을 가지지만 본 연구에서 주어진 용량을 저온초전도 선재로 제작할 경우 냉각시설이 전체의 경제성을 저해하는 요인으로 작용하게 된다는 단점이 있다.

최근 Bi계 뿐만아니라 Y계 2G 도체인 CC(Coated Conductor)선재의 장선화가 개발됨에 따라 고온초전도 도체의 기기 응용에 대한 기대가 높아지고 있다. 고온초전도 선재는 액체 헬륨 온도로부터 액체질소 온도까지 넓은 온도 영역에서 운전이 가능하기 때문에 냉매와 냉각방식에도 여러 가지 방식으로 할 수 있다. 또, 금속계 초전도 선재와 비교해서 열적안정성이 우수하므로 열적인 외란에 대해서도 켄치가 발생하지 않는다. 또한, 10T가 넘는 고자계에서도 임계전류밀도의 저하가 작기 때문에 코일의 소형화를 기대할 수 있다. 그러나 저온초전도를 사용한 SMES에서는 펄스운전을 해야만 하므로 도체의 저 교류손실화 때문에 초전도 마그네트의 극세 다심화, Matrix 재료의 고저항화

등 최신의 초전도 기술 적용으로 인해 비용이 높아지는 단점이 있다.

이에 비해 고온초전도 SMES는 운전온도가 높기 때문에 초전도 재료의 상전도 재료 및 금속 구조물의 저항율이 높으므로 도체구조에 대한 구성법을 연구한 결과 결합 손실, 과전류 손실 등이 낮아지고 냉각 시스템의 운전효율도 약 50배 향상되기 때문에 저손실화가 가능하다. 또한 고온초전도체의 SMES는 고자계화 설계가 가능하다는 점이다. 운전온도를 77K보다도 낮출 필요가 있지만, Y계 초전도선, Bi계 초전도선에서도 20T 정도의 자계 중에서 충분히 높은 임계전류밀도를 가지므로 고자계화에 의한 고밀도 에너지 저장이 가능하기 때문에 연구개발이 활발히 추진되고 있다.

### 2. 연구개발 필요성

전력시장 자유화·규제완화 조치에 따라 전기사업은 서비스의 다양화와 저 비용화에 대한 요구가 커질 것이 예상된다. 이 때문에 전력의 안정공급 유지뿐만 아니라 전력 시스템의 효율적인 운용에 대한 노력이 더욱 더 필요하게 되었다. 분산형 전원의 도입량이 증대됨에 따라 분산형 전원의 계통연계에 의한 전력 품질공급 신뢰도 확보에 대한 문제가 지적되고 있어 계통제어 측면에서 효과가 탁월한 SMES 등의 전력저장 기술의 중요성이 더욱 커지고 있다.

또한 IT의 급속한 진전에 따라 전력수요에 차지하는 IT와 관련된 비중이 급속히 증가하고 있으며 향후에는 보다 더 높아질 것으로 예측되고 있어 순간 전압강하 등이 발생했을 경우의 영향은 지극히 클 것으로 생각된다. 따라서 수용가에 있어 순간 전압강하 방지를 포함한 전력품질의 유지향상에 위력을 발휘할 수 있는 SMES 개발 필요성이 높아지고 있다.

그리고 불과 몇 년 전만 하더라도 틈새시

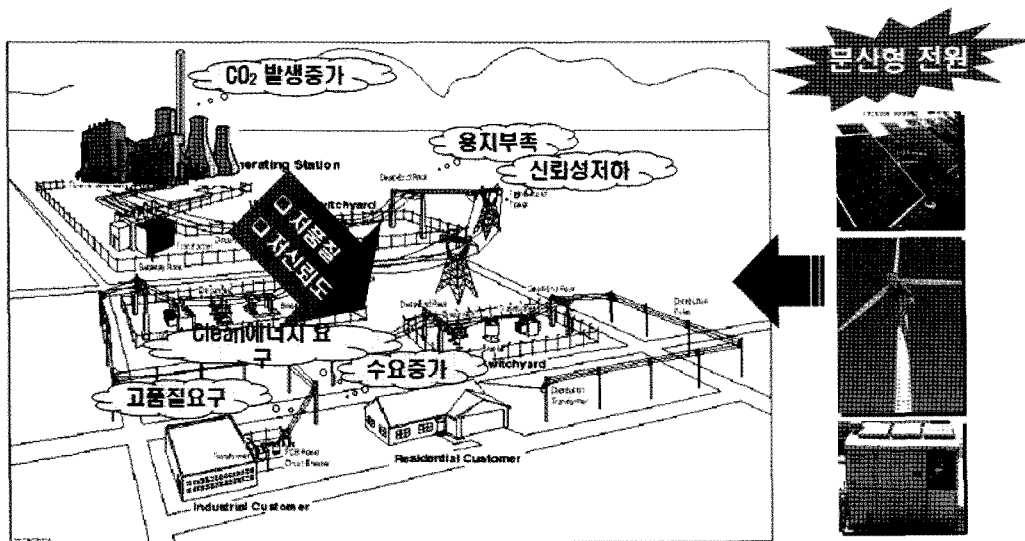


그림 1. 전기사업의 제반 문제점 및 새로운 Need.

장으로 여겨지던 태양전지·풍력발전 등의 분산형 전원이 증대함에 따라 안정성 저하가 우려되고 있으며 동시에 고속철도 등의 대용량의 변동부하 증대에 따라 공급자 측과 수요자 측 모두에게 이에 대한 적절한 보상대책이 요구되고 있다. 이러한 여건변화에 따라 질 높은 전력의 안정공급이나 전기의 이용 합리화에 이바지하는 전력저장 시스템의 필요성 더욱 더 높아지고 있다고 생각된다. 따라서 SMES가 실용화되어 실 계통에 투입될 경우 질 높은 전력의 안정공급에 따라 산업계의 생산성 향상 등을 통해서 국민경제의 안정적 발전에 공헌할 수 있다.

에 도달하여 현재 약 20여 곳에서 사용 중이다. 첫 번째 상업적 응용은 미국 위싱턴주의 제지공장(Georgia-Pacific paper mill)으로 750kVA용량을 갖는 전동기 구동장치로 순간정전 및 순간 전압강하에 대한 대응 능력이 아주 성공적으로 입증되었다. Micro-SMES의 또 다른 특징으로는 그림에서와 같이 모든 시스템을 트레일러 1대에 모두 장착할 수 있어 민감하고 중요한 부하근처로 쉽게 이동할 수 있다.

### 3. 연구개발 동향

#### 3.1 미국

전력에너지를 자장에너지로 저장 가능한 SMES System의 에너지 저장요소인 초전도 마그네트를 전력계통에 이용함으로써 전력설비의 효과적인 운용 및 안정도 향상을 목표로 1971년부터 연구는 진행되고 있다. 특히 수 MJ급의 작은 규모(이하 Micro라 함)인 Micro SMES는 미국의 SMSC사에서 세계 최초로 프로토타입이 개발되어 IPS(Iowa public service corporation)회사의 전동기 구동장치, WPS(Wisconsin public service corporation)회사, PG&E(Pacific gas & electric), PSP&L(Puget sound power & light)회사에서 현장검증을 거쳐 상용화 단계

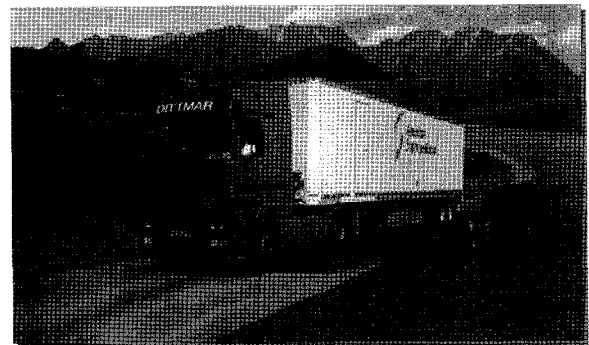


그림 2. AMSC사의 이동형 3MJ LTS SMES System.

최근에는 미국 DOE(US Dept of Energy)에서 지원받아 2010년부터 3년간 3.4MJ(at 4.2K) HTS SMES System을 제작하기로 했다. 이 연구의 용도로는 신재생에너지인 풍력 및 태양광의 계통부하(20kW dynamic response)변동 제어를 목표로 하고

있으며, SuperPower에서는 도체를 Brookhaven National Lab에서는 HTS SMES 코일 설계 및 제작을 그리고 ABB에서는 SMES System 계통적용을 담당하고 있다.

### 3.2 일본

일본에서의 SMES의 연구는 1970년대 초부터 진행되어 왔으며 많은 시제품의 제작 및 실질적인 연구/개발 위주로 진행해 오고 있다. 또한 지금까지 SMES 관련 연구기관도 전력중앙연구소, 구주대학, 오사카대학, 구주전력, 동북전력, 중부전력, 관서전력, 간사이전력, 및 도시바 등지에서 SMES 개념 설계 및 초전도에너지 저장시험, 전력계통연계시험 등을 수행해 왔으며 ISTE(C International Superconductivity Technology Center)은 1991년부터 MITI's Agency of Natural Resources and Energy의 지원으로 소규모급 SMES (100kWh /20MW) pilot plant 의 시험 및 제작을 계획하고 있다. 규슈전력에서 1994년부터 장래 실용화의 기초기술 축적의 일환으로서 모듈형 SMES[저장에너지 ; 3.6MJ(1kWh), 최대출력; 1MW]를 개발했으며 이것을 1997년과 1998년에 변전소에 설치해 전차에 의한 순간전압강하 보상용으로 전력계통 연계시험을 시행하였다. 중부전력은 번개 등에 의한 순간 전압강하 보상용으로 출력 5MW·출력 시간 1초의 SMES를 개발해, 2003년 7월부터 최신에 샤프사의 카메라 마 액정 공장에 도입, 실 운전을 성공적으로 실시하였다고 발표하였다. SMES는 그림과 같이 4극 멀티플 코일 방식을 특징으로 하고 있으며, 저장 에너지 7.34 MJ, 최대 자계 5.3 T, 요소 코일의 외반경은 0.324 m이다. 도시바에서는 연구개발을 시작으로 10MJ규모의 SMES를 상용화하기 위해 샤프공장 및 도시바의 NAND형 플래쉬 메모리 제조공장에 적용을 할 예정이라고 발표했다.

HTS SMES 연구는 중부전력과 도시바에서 1MJ HTS SMES 코일제작을 목표로 Bi-2212 (1+6 Structure) 선재를 이용하여 11 unit 코일로 구성된 HTS SMES 코일을 제작하였다. 초전도 코일 외경은 700 mm, 높이 390mm이며 통전전류 550 A, 저장에너지 560kJ이다. HTS 코일의 냉각은 두 대의

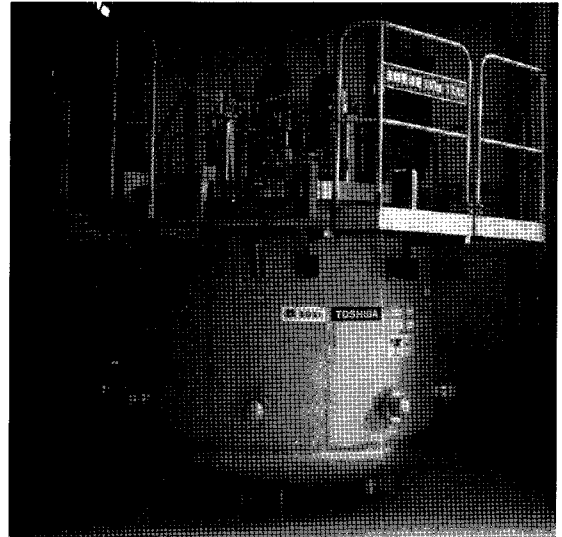


그림 3. 도시바사의 5 MJ LTS SMES.

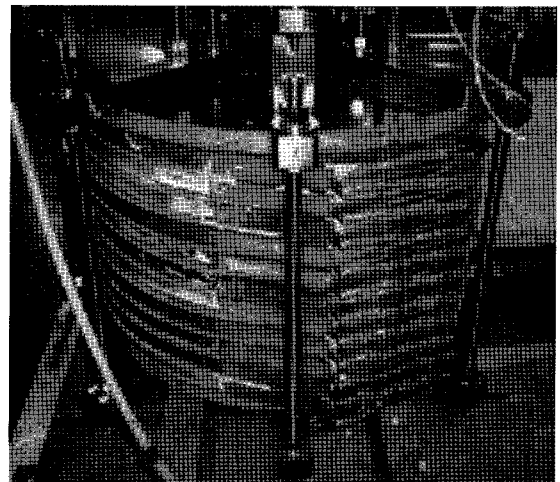


그림 4. 중부전력/도시바의 560kJ HTS SMES 코일.

냉동기를 사용한 재응축 액체헬륨 시스템으로 했으며 알루미늄 Block 및 palte을 사용하여 열전달을 했다.

### 3.3 유럽

유럽의 SMES에 대한 연구는 초전도응용의 한 분야로서 꾸준히 연구되어 오고 있다. 독일의 경우 SMES에 대해 가장 활동적인 기관은 Forschungszentrum Karlsruhe(FZK) laboratory이며 1995년에 toroidal 타입의 250kJ급 SMES을 제작했다. 또한 Siemens에서도 2Mh/50MW SMES의 전력계통에서의 주파수안정화 특성용으로 개념설계를 했으며 Technical Univ. of Munich에서는 1.4MJ

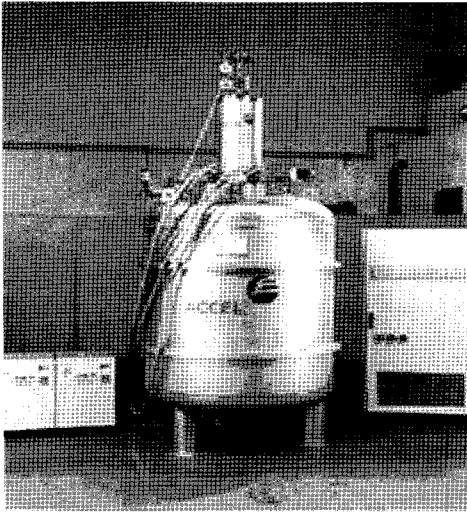


그림 5. ACCEL사의 2.1MJ LTS SMES.

toroidal 타입의 SMES System을 제작했다. 그리고 독일의 ACCEL에서는 변전소의 전력품질보상요인으로 2.1MJ LTS SMES System을 제작하였다.

넥상스(주) 프랑스는 DGA(방위성)으로부터 연구개발비를 지원 받아 그레노블 고자장 연구소와 함께 800 kJ HTS SMES 개발을 진행하였다. 이 프로젝트는 세계 최초의 20 K cryogen free 마그네티스로 연구기간은 2003년부터 2006년까지이며, 목표는 800kJ급 HTS SMES 코일로 제작했으나 개발된 초전도 코일은 시험 시 온도 상승으로 내부 코일에 소손이 발생되어 운전전류의 약 70%인 244A를 흘려 425kJ의 HTS SMES 코일을 제작했다고 발표하였다.

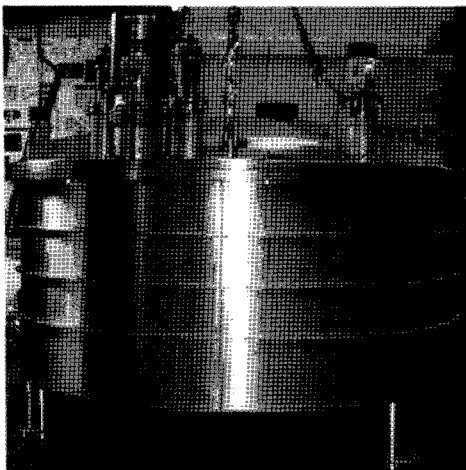


그림 6. Nexans사의 800kJ HTS SMES.

독일의 FZK(Forschungszentrum Karlsruhe)에서는 아래의 사진에서와 같이 10개의 코일로 구성된 toroidal형 고온 초전도 코일 시스템을 제작 평가하였다. 하나의 솔레노이드 코일은 외경이 360 mm이며 인덕턴스는 4.37 H이다. 저장용량은 300 A에서 200 kJ 이었으며, 최대 253 kJ을 달성하였다.

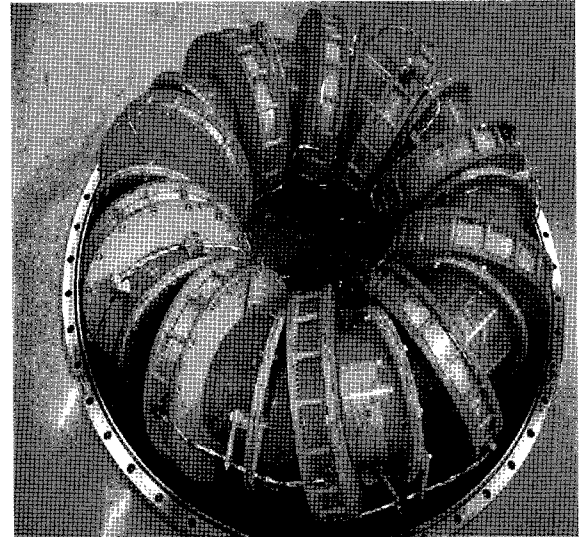


그림 7. FZK의 200kJ HTS SMES 코일.

### 3.4 국내

국내에서의 SMES 연구는 1985년 20kJ 저온 SMES 연구를 시작으로 지금까지 꾸준하게 진행되고 있다. 기초전력연구원에서는 2000년부터 2004년까지 고온초전도 SMES에 대한 연구개발이 추진하였으며 100 kJ HTS SMES 코일을 설계·제작하여 실험하였다.

한국전기연구원에서는 1995년부터 1998년까지 UPS용 LTS SMES 개발을 위한 관련 기반기술을 확보했으며, 2003년에는 중요부하의 전력품질 개선용으로 이동형 3MJ LTS SMES 시스템을 개발하여 각종 전력품질을 모의하여 특성실험을 마쳤다. 그리고 2004년부터 HTS SMES System 연구를 시작하여 2007년에는 전력품질 보상용 600kJ급 HTS SMES 시스템을 제작을 목표로 연구하여 세계 최대 규모인 전도냉각형 1.03MJ HTS SMES 코일을 제작하였으며, 2008년부터 현재는 2.5MJ HTS SMES System을 개발 중에 있다.

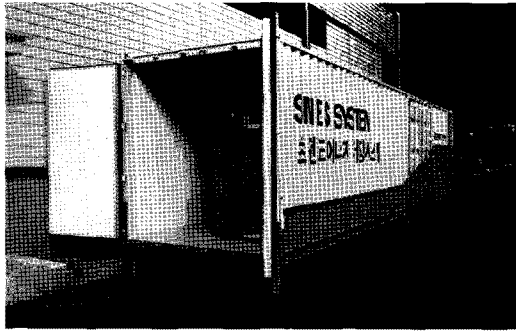


그림 8. KERI의 이동형 3MJ LTS SMES System.

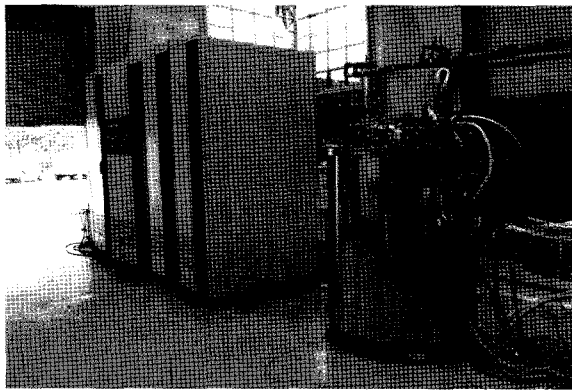


그림 9. KERI의 600kJ HTS SMES System.

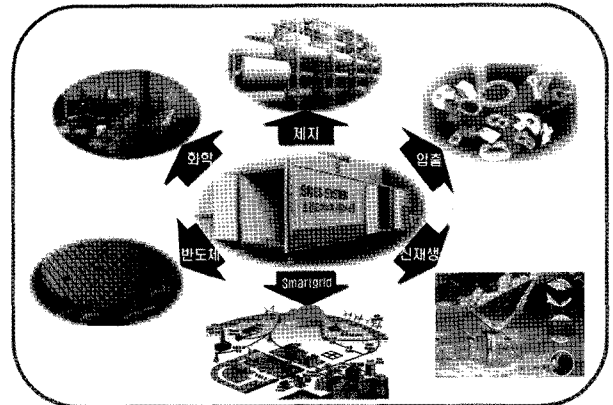


그림 10. SMES System 응용분야.

### 저자이력



김해중(金海鍾)

1965년 11월 25일생, 1992년 경상대학교 전기공학과 졸업(공학사), 2005년 경상대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1995년~1996년 (주)현대정공 근무, 1996년~현재 한국전기연구원 선임연구원.



성기철(成耆哲)

한양대학교 전기공학과, 국립창원대학교 졸업(공학박사), 창원대학교 겸임교수, 한국전기연구원 초전도연구센터장, 차세대초전도응용기술개발사업단 단장, 한국초전도·저온공학회 회장.

### 4. 향후전망

국내·외 연구개발 현황 및 필요성을 토대로 향후 SMES System의 연구개발 전망을 정리하면 아래의 그림에서와 같이 SMES의 속응성 및 대용량 충·방전 특성을 이용한 전력회사에서의 활용이 기대되며, 또한 민감한 부하특성을 가지는 반도체 제조, 은행, 병원, 계산센터 등의 보호용 전원으로 활용이 가능하다. 그리고 연속 공정을 갖고 있는 제지, 화학 및 철강 플랜트에 효과가 높을 것으로 검토된다.

특히 신재생에너지의 대표주자로 현재 가장 주목받고 있는 태양광 및 풍력발전의 경우 전력생산의 기후 변화에 따라 급변한다는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해서는 발전능력과 소비 수요사이의 완충장치 역할을 할 전력품질보상용 에너지저장장치의 도입이 긴요해질 전망이다. 이러한 수요에 대비해 신재생에너지의 전력특성에 맞는 SMES System의 연구가 이뤄질 전망이다.