

초전도 자기 에너지저장(SMES) 시스템

성 기 철

한국전기연구원 초전도응용연구그룹

1. 서 론

초전도 자기 에너지저장(SMES : 이하 SMES로 표기 함.)은 개발 초기에는 주야간 부하평준화를 목적으로 기술 개발이 추진되어, 지하 암반을 구조지지에 활용한, 양수발전소 대체 개념의 SMES가 제안되었다.

당시, 저온 초전도체를 이용한 실험실 수준의 SMES를 제작하여, 전력계통을 모의한 실험 장치를 통해, 도입효과 측면에서 검토가 진행되었다. SMES는 전기에너지↔자기에너지 변환에 의해 전기를 저장하기 때문에 다른 방법과 비교하여 효율이 월등하게 높다는 점을 활용한, 즉 개발방향 및 목적이 고효율을 지향한 것이었다.

연구개발 결과, 양수발전과 비교하여 극히 고효율로 부하평준화가 가능하다는 것이 입증되었다. 또한 유효·무효전력을 독립적으로 제어할 수 있으며, 시간 응답성도 매우 우수하였기 때문에 전력계통 제어장치로서 탁월한 기능을 가진 것이 실험적으로 확인되었다. 따라서 이 분야에 대한 기술개발이 활성화될 수 있는 계기가 되었다.

SMES의 용도는 다음과 같은 2 가지로 나눌 수 있다. 하나는 고속 응답특성을 활용하여 초 단위로 대용량의 저장에너지를 충·방전을 하는 용도로 이는 공급 측에서는 계통안정화 도모 및 대용량 부하를 보상할 수 있고, 부하 측에서는 순간정전 및 순간전압 강하와 같은 전력품질 문제를 해결할 수 있다. 다른 하나는 반복적인 충·방전에 의한 열화가 적다는 특성을 활용한 것으로, 경쟁기술인 이차전지나 커패시터 등에 비해 압도적인 Cycle 수명을 가져, 철도 등 사용빈도가 높은 변동부하를 보상하거나 태양광이나 풍력 등의 변동이 심한 불안정한 전원의 안정화를 도모할 수 있다.

최근 전력시장 자유화·규제완화 조치에 따라 전기사업은 서비스의 다양화와 저 비용에

대한 요구가 커질 것이 예상된다. 이 때문에 전력의 안정공급 유지뿐만 아니라 전력 시스템의 효율적인 운용에 대한 노력이 더욱 더 필요하게 되었다. 그리고 태양전지·풍력발전 등의 분산 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.

현재 저온 SMES의 경우, 미국에서는 μ -SMES라고 부르는 전력품질 보상용 SMES가 이미 판매되고 있으며, 최근 일본에서도 순간 전압강하 보상용 SMES를 대형 LCD공장에서 2년간 현장시험을 성공적으로 마치고, 현재 실용화가 추진되고 있다. 국내에서도 3MJ급의 저온 SMES Pilot기 개발이 추진되어, 현재는 전력품질에 민감한 반도체 및 LCD공장에서의 활용에 대한 검토가 진행되고 있다.

한편 고온 초전도 도체기술이 발전됨에 따라 저온 SMES가 갖고 있는 문제인 저 자계 운전, 고가의 냉각 비용 및 운전 및 유지 보수상의 어려움 등을 해결할 수 있을 것으로 예상되는 고온 SMES에 대한 기술개발도 활발하게 추진되고 있는 등, 수년 내에 SMES가 실용화되어 품질 높은 전력의 안정공급에 따라 산업계의 생산성 향상 등을 통해서 국민경제의 안정적 발전에 공헌할 수 있기를 기대해 본다.

2. 기술개발 동향

2.1 저온 SMES

2.1.1 미국

90년대 초, Dual Use Program의 하나로 PCCIE (Power Conditioning and Continuation Interfacing Equipment Material Group)에 의해 성공적으로 수행되어 Oklahoma에 있는 Tinker AFB(Air

Force Base)의 Mega-center와 Florida의 Tyndall AFB 등에 군사적 목적의 2.7MJ급 μ -SMES시스템이 사용된 이후, 현재까지 동일 시스템이 제지, 화학 및 반도체 공장 등에서 민감한 부하를 보호할 목적으로 30여대 이상이 판매되었다. 특히, 최근에는 아래 그림 1에서와 같이 전력회사에서 전압안정도 개선용으로 활용되고 있는 등의 실적도 있다.

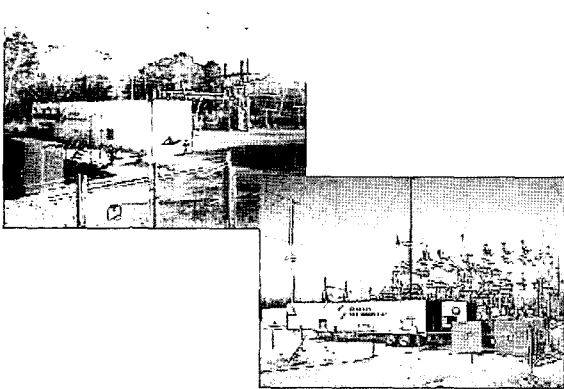


그림 1. 전력회사에서 운영 중인 μ -SMES

2.1.2 일본

일본에서는 국가의 지원 하에 1999년부터 2003년까지 4년 동안, 표 1에서와 같이 「계통 안정화용」, 「부하변동 보상·주파수조정용」의 2가지 용도를 대상으로, 기존 기술 등과 경합이 가능한 저온 SMES 기술 개발을 진행하였다.

표 1. 일본의 저온 SMES 개발 예

SMES정격	계통안정화용 (100MW/15kWh)	부하변동 보상·주파수조정용 (100MW/500kWh)	
설치장소	발전소	부하	초고압 변전소
목적	과도안정도 개선	무효전력 보상 순간전압강하 대책 피크 컷 효과	주파수제어 과도안정도 개선
사진			

그리고 최근 중부전력에서는 2003년 7월부터 2년 동안, 최신행 대형 액정공장에 그림 2와 같은 5MJ 규모의 SMES 시스템을 설치하여 현장시험을 실시하였으며, 이를 통해

번개에 의한 순간전압 강하를 성공적으로 보상할 수 있었다고 발표하고 있다.[1]

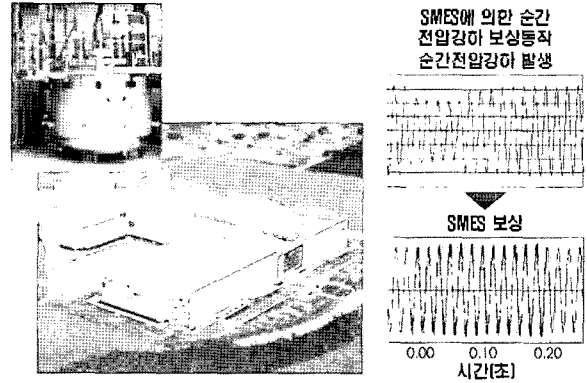


그림 2. 액정공장의 5MJ SMES 현장시험

2.1.3 독일

독일의 벤처 기업인 ACCEL사는 그림 3과 같은 2 MJ 초전도 에너지저장 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 200 kW의 출력으로 8초 동안 부하를 보상할 수 있으며, 도르트문트 지역의 수도국에 납품되어 사용 중이다.[2]

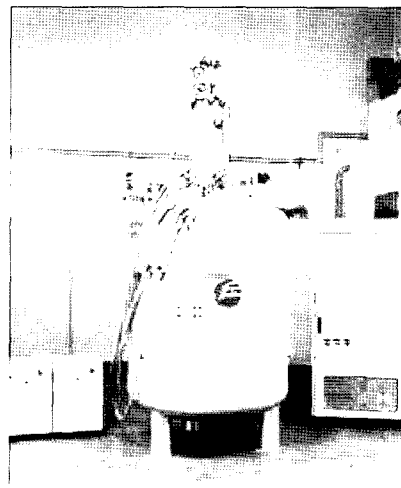


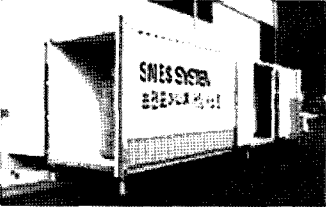
그림 3. ACCEL사의 2MJ SMES

2.1.4 국내

국내에서는 20여년 동안 저온 SMES에 대한 연구개발이 진행되었으며, 특히 한국전기연구원에서는 표 2와 같이 순간 정전 및 순간 전압강하 등과 같은 각종 전력품질 장애요인으로부터 민감한 중요부하를 완벽하게 보호할 수 있는 새로운 개념의 보상 시스템을 개발하여 실용화를 추진 중이다.[3]

표 2. 한국전기연구원의 3MJ 저온 SMES

일반 사양	
▪ 전압	
입력	380VAC
출력	380VAC
▪ 주파수	60Hz
▪ 출력	750kVA, 3phase
▪ 효율	>90%, UPS topology
▪ 응답시간	near zero cycle
초전도 마그네트	
▪ 구조	6H Solenoid, NbTi Wire
▪ 저장에너지	3MJ



2.2 고온 SMES

2.2.1 일본

2000년부터 고온 SMES 가능성 검토를 시작으로, 중부전력에서는 도시바와 함께 그림 4와 같은 순간 정전 및 순간 전압강하 보상용 1MJ급의 고온 SMES 실증 기를 개발하였다. 이 시스템은 코일의 크기가 외경 75cm, 내경 30cm, 높이 53cm이며 운전전류는 500A, 최대자계는 6T로, 내부에 액체 헬륨을 사용한 전도 냉각방식을 채택하고 있다. 이 시스템은 현재까지 개발된 고온 SMES로는 세계 최고 용량으로, 2004년 중부전력의 전력 기술연구소에서 실증시험을 성공적으로 마쳤다.[4]

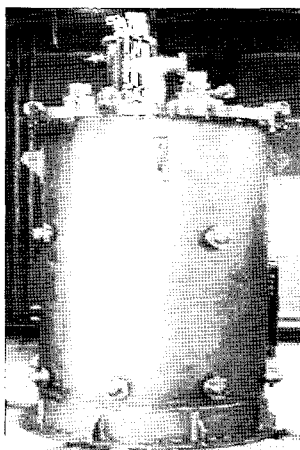


그림 4. 중부전력의 1MJ 고온 SMES

2.2.2 독일

FZK(Forschungszentrum Karlsruhe)에서는 그림 5와 같이 10개의 코일로 구성된 토로이달형 고온 초전도 코일 시스템을 제작 평가하였다. 하나의 솔레노이드 코일은 외경이 360mm, 인덕턴스는 4.37H이다. 저장용량은 운전전류 300A에서 200kJ이었으며, 최대 253kJ을 달성하였다.[5]

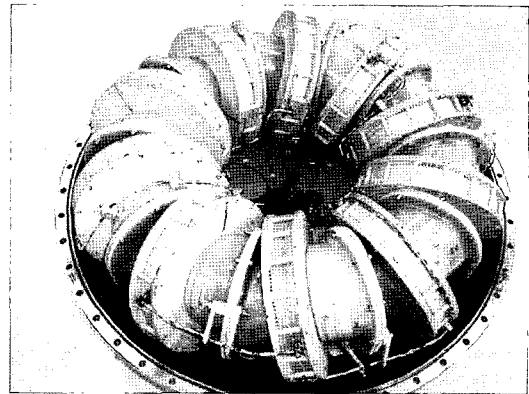


그림 5. FZK의 200kJ 고온SMES

2.2.3 프랑스

프랑스의 Nexans사에서는 그레노블 연구소와 공동으로 펄스에너지 원으로 사용하기 위한 용도로 그림 6과 같은 800kJ급 고온 SMES를 개발하고 있다. Bi-2212 테이프 선재 3개를 사용한 적층형 초전도 선재가 이용되었으며, 마그네트는 26개의 싱글 팬케이크 코일을 수직으로 적층한 구조이다. 특히 고온 SMES에서는 처음으로 극저온 냉동기에 의한 전도 냉각방식을 채택하고 있다. 현재 제작된 시스템에 대한 특성시험이 실시되고 있지만, 군사적 사용 이유로 상세한 것은 발표되지 않고 있다.[6]

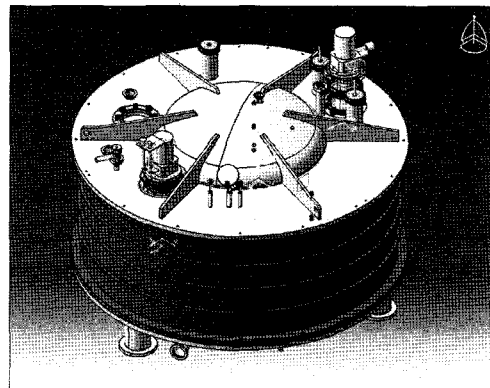


그림 6. Nexans사의 800kJ 고온 SMES

2.2.4 국내

기초전력연구원에서는 “21세기 다품질 전력공급시스템 개발”의 일환으로, 그림 7에서와 같은 100kJ 규모의 고온 SMES에 대한 연구개발을 4년간 진행하였다. 이 시스템의 에너지 저장부는 16개의 모듈코일로 구성된 토로이달 코일이며, 2대의 GM 냉동기를 사용한 전도냉각 구조이다.[7]

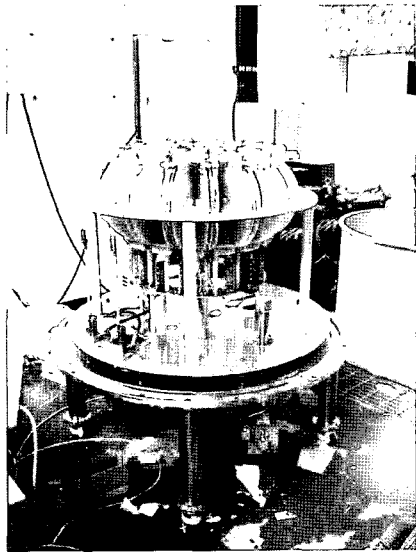


그림 7. 기초전력연구원의 100kJ 고온 SMES

한편 에너지 사용량의 양적인 증가에 따른 수급의 문제, 산업의 고도화, 정보·통신 분야의 급속한 발달 및 지구 환경보전을 위한 Green Round 협정 등, 전력의 질적 고도화에 대한 요구가 높아지고 있다. 따라서 이를 해결하기 위한 노력의 하나로 “전력품질 개선용 고온 SMES 시스템 개발” 사업이 2004년부터 진행되고 있다. 이 사업은 총 10년간 상용화 수준의 MJ급 고온 SMES 개발을 목표로 하고 있으며, 현재는 이를 위한 첫 단계로 “600kJ 고온 SMES 개발”을 목표로 산·학·연 공동으로 연구개발을 진행하고 있다. 사용된 초전도 선재는 운전전류를 높이기 위해 Bi-2223 테이프 선재를 적층한 Multi-ply 구조를 채택하였으며, 초전도 코일은 더블 팬케이크 코일을 20개 적층한 구조로 설계되었다.[8] 또한 전도 냉각인 점을 고려하여 모듈 코일 간 냉각특성을 높이기 위하여 전도냉각 판을 배치하는 등, 냉각효율을 개선하기 위한 방안이 강구되고 있다. 최근, 아래의 그림 8에서와 같이 모듈

코일을 제작하여, 실 운전을 고려한 운전특성 시험을 진행하고 있다.

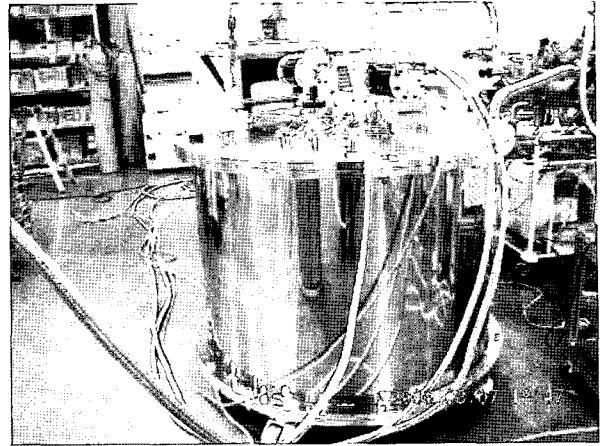


그림 8. 600kJ SMES용 모듈코일 특성 시험

4. 향후전망

미국에서는 이미 μ -SMES라고 불리우는 저온 SMES가 산업현장에서 활용되고 있고, 일본에서도 중부전력과 도시바에서 개발된 5MJ 저온 SMES가 최신에 액정공장에서의 성공적인 현장시험 결과에 힘입어, 최근 10MJ급의 저온 SMES를 올해부터 동일 현장에 설치한다고 발표하고 있다. 이와 함께 최근 SMES를 이용한 10만 kW급 전력 네트워크 제어 시스템 기술을 확립하기 위해, 이에 대한 요소 기술개발 및 시스템 기술개발은 물론, 1만 kW급(저장 에너지 20MJ급) SMES를 제작하여 효용성을 검증하겠다고 발표하였다. 이러한 결과를 토대로, 최근 일본에서는 상용화를 위한 기술개발이 한창 진행 중이라는 알 수 있다.

국내에서는 1985년 SMES에 대한 연구개발이 시작되어 20여년의 역사를 가지고 있다. 지금까지 SMES 개발에 필요한 초전도 마그네트 설계기술과 권선기술, 극저온 용기 및 전력변환기 등의 요소기술에 대한 연구가 꾸준히 진척되어 이미 저온 SMES의 경우 3MJ급 개발을 통해 관련 설계 및 제작에 필요한 핵심 기술을 확보하고 있다. 또한 현재도 이와 관련한 기술개발이 추진되고 있으므로 향후 몇 년 내에 이 기술이 상용화되기를 기대해 본다.

참고문헌

- [1] S. Nagaya et al., "Development of MJ-Class HTS SMES for bridging instantaneous Voltage Dips", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 14, No. 2, Jun. 2004, pp. 770-773.
- [2] H. Salbert et al., "2MJ SMES for an Uninterruptible Power Supply", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 10, No. 1, March 2000, pp. 777-779.
- [3] H.J. Kim et al., "Development of a 3MJ/750kVA SMES System", Cryogenics, Vol. 46, 2006, pp. 367-372.
- [4] S. Nagaya et al., "Development and performance of 5MVA SMES for Bridging Instantaneous Voltage Dips", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 14, No. 2, Jun. 2004, pp. 699-704.
- [5] http://hikwww4.fzk.de/itp/energietechnik/SMES/energietechnik_komp_e.html
- [6] P. Tixador et al., "Design of a 800kJ HTS SMES", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 15, Issue 2, June 2005, pp. 1907-1910.
- [7] J.H. Kim et al., "Design of a 200kJ HTS SMES System", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 12, No. 1, March 2002, pp. 774-777.
- [8] W.S. Kim et al., "Design of HTS Magnets for a 600kJ SMES", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 16, Issue 2, June 2006, pp. 620-623.

저자이력



성기철(成耆哲)
1956년 2월 20일생, 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업, 1983년 동대학원 전기공학과 졸업 (공학석사), 2002년 창원대학교 전기공학과 졸업(공학박사), 현재 창원대학교 겸임교수, 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 그룹장, 당 학회 학술이사