

초전도에너지저장(SMES)장치의 개발현황

김해중, 성기철, 조전욱, 류강식, 김호용, 박종수*, 장승찬*
한국전기연구소, 에너지자원기술개발지원센터*

On the State of SMES(Superconducting Magnetic Energy Storage) system Development

Hae-Jong Kim, Ki-Chul Seong, Jeon-Wook Cho, Kang-Sik Ryu,
Ho-Yong Kim, Jong-Su Park*, Seung-Chan Chang*
Korea Electrotechnology Research Institute(KERI),
R&D Management Center for Energy and Resources(RaCER)*

요 약

초전도에너지저장(SMES)장치는 초전도 코일의 무저항성에 의한 고효율성, 빠른 응답속도 등의 장점으로 미래의 전력수요공급측면에서 궁극적인 전력저장장치로서의 역할이 확실히 되며 이러한 맥락에서 SMES장치의 연구개발 필요성이 강조된다.

1. 서론

SMES 시스템은 약 100년전에 Nikola Tesla에 의해 코일에 자기에너지 형태로 전기에너지를 저장하려는 아이디어가 제안된 이래 약 30년의 연구역사를 거쳐 최근 소규모 SMES를 개발/적용하고 있다.

실제적인 연구는 1980년 미국의 Electric Power Research Institute가 일부하 평균화용 SMES장치를 목표로 실용화 설계연구를 시작했으며 초전도 코일의 중요 요소기술 개발과 상용시험을 위해 20MWh의 저장용량을 갖는 ETM계획을 수립했다. 그후 미국무성(DOD)의 레이저 전원개발과 하나가 되어 국무성 및 에너지성(DOE)에 의해 20MWh SMES장치 개발계획이 시작되어 예비설계까지 종료된 상태이나 유감스럽게도 1992년 중단 되었

다. 그러나 최근 Anchorage전력과 Babcock & Wilcox사가 DOD의 보조로 0.5 MWh 즉 1.8 GJ SMES시스템의 실제 설치를 계획하고 있어 SMES장치의 전력계통에의 실용화에 관심을 집중시키고 있다. 또한 일본이나 유럽에서도 많은 연구결과를 발표하고 있다.

본 논문은 초전도에너지 저장시스템에 대한 개념적인 원리, 구성, 용도 및 기술개발 현황 및 도입전망 등에 대해 기술하였다.

2. 초전도에너지저장 시스템 이란

초전도 도체의 전기저항이 영(零)인 성질을 이용하여 초전도 코일에 직류전류를 흘려 자기에너지 형태로 에너지를 영구전류 특성에 의해 손실 없이 영구적으로 저장하는 시스템이다.

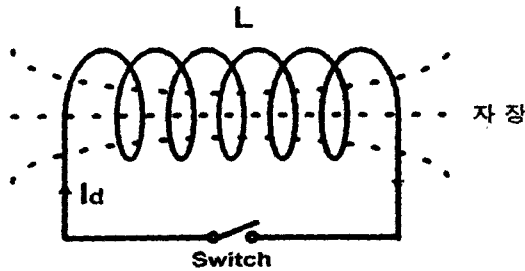


그림 1. SMES장치의 에너지저장 원리

즉, 위의 그림1. 에서와 같이 인덕턴스가 $L[H]$ 인 초전도코일에 전류 $I_d[A]$ 를 흘리면,

$$W = \frac{1}{2} L I_d^2$$

인 자기에너지가 코일 내에 축적되는데, 일반의 전자석의 경우는 전기저항이 존재하므로 폐회로를 구성해도 전류가 감소하여 에너지를 저장할 수 없으나, 초전도코일에서는 전기저항이 영이므로 코일내부에서 주울손실이 발생하지 않기 때문에 영구적으로 에너지를 보존할 수 있다.

3. 초전도에너지저장 시스템 동작원리

아래 그림2. 에서와 같이 3상 교류 전력을 자기 에너지로 저장하기 위하여 초전도코일의 양단에 전력 변환기를 설치하여 전력계통에 접속하게 되는데 초전도코일에 흐르는 전류를 i 라고 하면, 초전도코일 양단의 전압 v 와 전력계통으로부터 전력변환기를 통하여 초전도 코일에 출입하는 전력 P_s [W]는

$$v = L \frac{di}{dt}$$

$$P_s = v \cdot i$$

로 되며 위의 식으로부터 다음과 같은 3가지 운전모드를 통해 동작(에너지 수수)가 이루어 진다.

① 충전모드

$v > 0$ 인 경우 i 는 증가되어 코일에 저장에너지는 증가하며, $P_s > 0$ 로 되어 전력계통으로부터 전력을 공급받는다.

② 저장모드

$v = 0$ 인 경우 i 는 증감이 없으므로 저장에너지는 일정하게 유지되어 전력의 출입은 없게된다.

③ 방전모드

$v < 0$ 인 경우 i 는 감소되어 코일에 저장에너지는 감소하며, $P_s < 0$ 로 되어 전력계통으로 전력을 공급하게 된다.

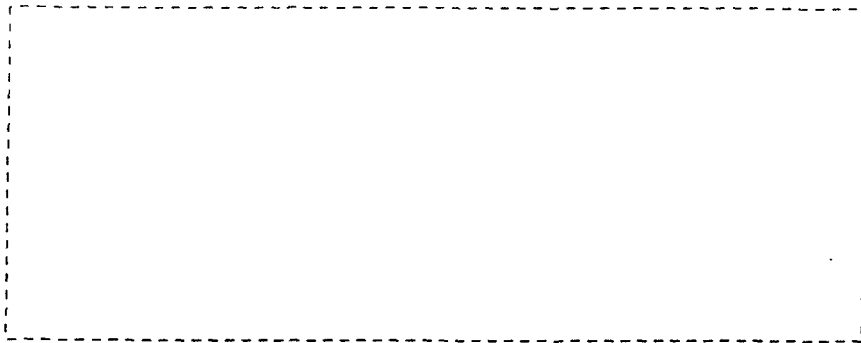


그림 2 SMES장치의 전력계통에의 응용

4. SMES의 분류 및 용도

SMES는 변동부하보상과 계통 안정도 향상용의 소규모인 것으로부터 부하평균화용의 대규모인 것까지 넓게 적용될 수 있어 현재 가장 기대되는 기술이지만, 규모가 큰 SMES를 실용화하기 위해서는 상당한 리스크를 수반해야 하므로 소규모의 것으로부터 착실히 기술문제를 극복하여 규모를 확대해 나갈 필요가 있다.

또, 규모가 작은 SMES에 있어서는 지금까지 핵융합 기술개발 등의 초전도기술 실적과 교직변환소, 직류송전 등 Power Electronics기술을 응용한 교직변환장치의 실적 등에 비추어 실현 가능성은 매우 크다.

특히, 최근에는 사회가 고도화되고 정보화 됨에 따라 정보통신기기, 사무

자동화기기, 전산기기, 온라인 서비스기기, 자동화 생산라인 및 정밀 제어 기기 등의 전원에 민감한 부하가 널리 보급되고 있다. 이에 따라 순시전압강하 및 순시정전에 대한 대책으로 현재는 UPS를 사용하고 있으나 에너지 저장요소로써 축전지를 사용하고 있다.

그런데 에너지 저장요소로서 초전도코일을 이용하면 축전지 보다 충·방전 특성이 매우 우수하므로 예측 불가능한 순시전압강하 및 순시정전에 가장 효과적으로 대처 가능하는 것은 물론 반영구적으로 이용할 수 있어 자원 절약이나 환경문제 측면에서 차세대 UPS로 기대된다. (미국은 0.1~0.5초 사이의 전압강하가 빈번히 발생하고 있는데 15% 전압강하가 0.1초간 발생하면 IC테스터 등 디지털장비가 오동작이 유발되고, 생산중인 제품이 모두 불량처리 되어 100만불 이상의 손해를 보는 일은 흔한 일로서 반도체, 제철, 합성섬유 등의 제조공정이 중단되면 연간 260억불이상의 손실을 본다는 통계가 발표됨.)

따라서 이러한 대,중,소규모 SMES를 용도별로 분류하면 아래 그림3.에서와 같이 다양한 분야에 걸쳐 SMES가 적용될 수 있다는 것을 알 수 있다.

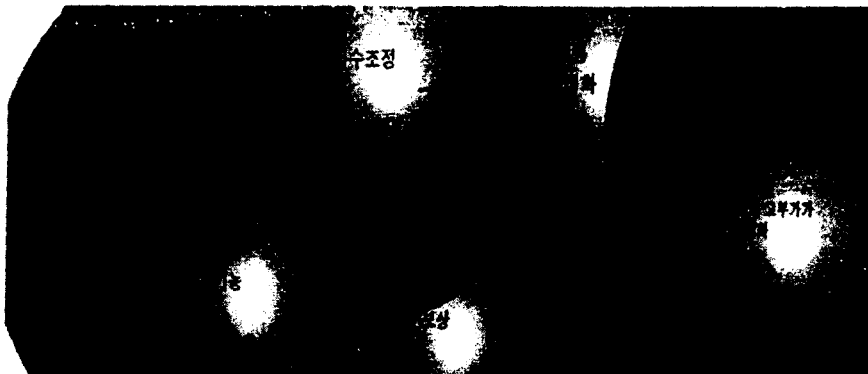


그림 3. SMES의 용도

5. 국내외 기술개발 현황

5.1 국내

1985년 서울대학교(현재, 기초전력공학공동연구소)와 한전기술원 공동으로 25kJ급 SMES 연구를 시작하여 전력계통 연계 운전특성 및 계통안정화 특성을 검토하였으며 1988년부터 0.5MJ급 SMES를 자체 설계한 후 러시아에 제작을 의뢰하여 제작 완료된 시스템을 한국전기연구소에 설치하여 정격시험연구를 1994년 7월 완료하였다.

한편, 한국전기연구소에서는 1989년부터 1kJ급 초전도 마그네트 개발을

시작으로, 1993년에는 8Tesla급 초전도 마그네트의 뿐만 아니라 현재는 14Tesla급 고전류자장용 초전도 마그네트도 개발 완료했다. 또한 기초전력 공학공동연구소에서 의뢰 받아 설치한 0.5MJ급 SMES 설비에 대한 SMES 모델링 및 교류손실에 대한 연구를 계획한 바 있으며, 현재는 “UPS용 0.7MJ SMES의 초전도코일 및 전력변환기 요소기술 개발”과제를 3년 전부터 수행하고 있으며 이 연구를 통해 SMES개념설계 정립 및 설계프로그램 개발, 인덕턴스 및 자장계산 프로그램 개발, 코일의 보호 및 냉각반식 정립, 전력변환기 설계 등의 연구를 하고있다.

5.2 국외

초전도 에너지저장 시스템에 대한 최초의 연구논문은 1960년대 말기와 1970년대 초에 미국과 프랑스에서 발표되었다. 본격적으로 연구가 진행된 것은 1971년 미국 위스콘신대학의 R.W. Boom 과 H.A. Peterson 교수팀에 의해서였으며, 그 후 위스콘신 대학과 로스알라모스 과학연구소 (LASL) 등에 의해서 연구가 계속 진행되었다

일본에서는 1969년 구주대학에서 SMES 이론연구가 시작되어 1975년 경에는 고에너지 물리학연구소, 전자기술총합연구소 등에서 실험연구가 시작되었다. 현재까지 전력중앙연구소, 구주대학, 오사카대학, 중부전력, 동북전력, 관서전력 등지에서 소규모 초전도에너지저장 시스템 시험, 전력계통 연계특성 도출 및 대규모 초전도 에너지저장 시스템 개념설계 및 평가 등을 수행하여왔으며, 그 후 ISTE (International Superconductivity Technology Center)에서 전력계통 적용가능성을 검토한 결과 분산 배치형 다용도 SMES의 적용성이 가장 높은 것으로 평가되어 중소규모 SMES의 응용연구가 진행되고 있다.

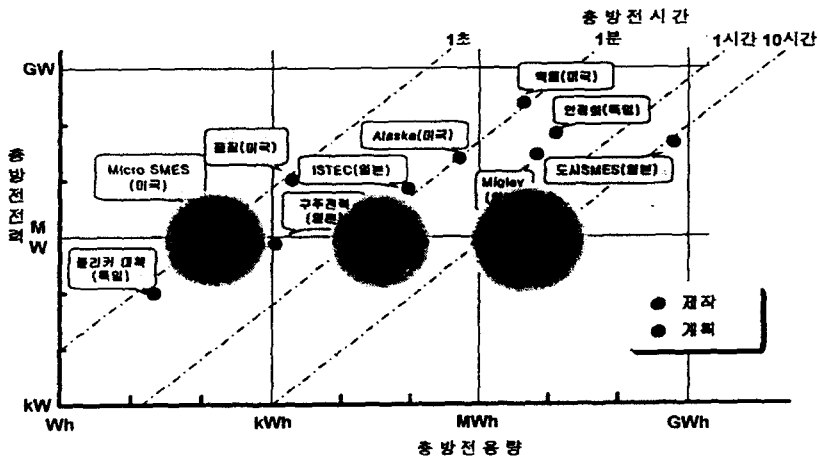


그림 4. SMES 개발 현황

기타 유럽의 영국, 독일, 프랑스, 스위스, 이태리, 핀란드 등의 국가에서도 이에 대해 많은 연구를 하고 있으나 여기서는 제외하였다. 대표적인 선진국의 SMES 개발 현황에 대해 저장에너지와 출력의 관계로 나타내면 그림 4. 와 같다.

6. 결론

UPS용 에너지저장시스템은 이미 기술적으로 실용화되어 상품화되고 있으며 전력계통 안정화용 등과 같은 중·소규모급 SMES는 2000 년대 초에 상용화 될 것으로 전망되며, 중·대규모 급은 2020년대 후에 실용화되리라고 전망된다. 따라서 SMES장치에 대한 연구 개발에 많은 투자와 관심이 필요하리라고 본다.

7. 참고문헌

- 1) 超電導エネルギー-貯藏研究會平成8年度研究報告書, 1997
- 2) 村上吉繁, 林 敏之: 「系統導入效果に関する研究」, 國際超電導産業技術研究センター・超電導エネルギー-貯藏研究會, 超電導電力貯藏システムに関するシンポジウム 講演論文集, pp.211 - 216, 1993
- 3) J. D. Rogers, "Magnetic energy storage", IEEE MAG-17, No.1, pp. 330, 1981
- 4) R. W. Boom & H. A. Peterson, "Superconductive energy storage for power system", IEEE MAG-8, No.3, pp. 701 , 1972
- 5) 増田 正美, "電力貯藏技術のひみつ-超電導エネルギー-貯藏-", 日刊工業新聞社, 1981