

녹색에너지를 위한 SMES적용 방안

성기철¹, 고득용², 조정구³, 박민원⁴
 한국전기연구원¹, 한국기계연구원², (주)그린파워³, 창원대학교⁴

1. 기술개발의 필요성

최근 녹색기술 개발에 대한 세계적 기술개발 조류에 힘입어 분산전원에 대한 관심이 높아지고 있다. 따라서 열병합발전(Cogeneration), 마이크로 터빈이나 연료 전지 등의 신에너지 기술과 풍력발전이나 태양광발전 등의 재생 에너지 기술 및 SMES를 포함한 2차 전지 등의 전력저장 기술개발이 활발히 추진되고 있다.

풍력발전이나 태양광발전과 같은 재생 에너지 기술은 지구 온난화 방지에 이바지하는 귀중한 에너지원인 동시에 원자력·화력·수력 등의 종래 전원에 비해 건설 기간이 짧기 때문에 시장경쟁에 의한 수요나 가격 등의 불확정성에 대한 위험 회피가 용이하며, 또한 수요지에 가깝게 설치할 수 있으므로 전력수송

에 필요한 설비를 줄일 수 있고, 국지적인 과부하 해소에 활용할 수 있는 등 전력계통 운용에 공헌할 수 있는 등의 많은 장점을 가지고 있다.

그러나 이러한 재생 에너지원은 기후·기상 등과 같은 자연현상에 따라 발전량이 변화한다. 즉 그림 1에서와 같이 시시각각으로 출력이 변동하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 풍력발전이나 태양광발전이 전력계통에 대량으로 도입될 경우에는 주파수나 전압의 유지뿐만 아니라 기존의 전원에도 영향을 미쳐 전체 전력계통에 지장을 초래하는 것으로 발표되고 있다.

한편 전력시장 자유화로 전력저장 기술이 가격의 결정권을 가지는 중요한 기술인 동시에 분산전원과 전력저장과의 조화가 21세기의 기간 에너지인 전력의 안정공급에 없어서는 안 될 중요하며, 필수적인 기술로 새롭게 부각되고 있다.

전자의 에너지 저장측면에서는 대표 주자 격인 양수발전은 이미 오래전부터 사용되어 왔지만 입지적 제약문제로 더 이상 확대보급이 곤란하다. 특히 본고에서의 관심분야인 분산전원 보상을 위한 2차 전지에 의한 해결 방안 또한 충전에 많은 시간이 소요되어 효율적 보상이 어렵기 때문에 최근에는 보다 더 효율 및 응답특성이 우수한 새로운 기술 즉, 신형 배터리, 슈퍼 커패시터 및 초전도를 이용한 초전도 자기에너지 저장(Superconducting Magnetic Energy Storage) 및 플라이 휠 에너지저장 기술 등에 대해 많은 연구개발이 진행 중이다.

현재 수초에서 수분 이내의 단주기 출력변동 성분은 응답특성이 우수한 화력발전소에서 Governor를 제어(Governor free)함으로써 해결하고 있으며, 수분에서 수십분에 해당하는 중주기 성분은 자동주파수제어(Automatic Frequency Control)로, 수십분 이상의 장주기에 대해서는 경제부하 배분제어(Economical

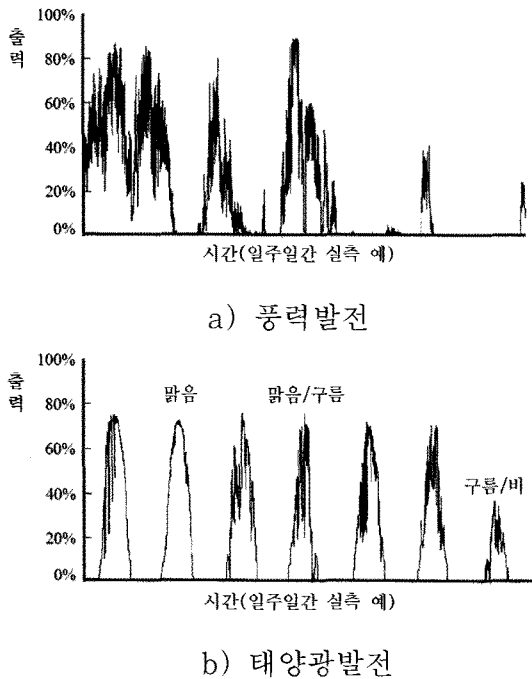


그림 1. 풍력발전 및 태양광 발전의 출력변동(실측 Data).

Load Dispatching Control)로 대응하고 있다. 반면 수초 이내의 초단주기적 성분에 대해서는 적절한 해결방안이 없는 실정이다.

최근 국내에서는 SMES의 장점중 하나인 빠른 충·방전 특성을 이용하여 풍력발전이나 태양광발전과 같은 녹색에너지원에서의 초단주기적 출력변동을 보상하기 위한 기초 연구가 진행되었다. 본고에서는 이에 대한 기술개발 내용을 소개하고 이를 토대로 향후 기술발전을 전망하고자 한다.

2. 출력변동 보상을 위한 SMES 시제작

SMES 기술은 직접 전기를 저장할 수 있으므로 지금까지의 어떠한 다른 기술들보다도 효율이 높고, 에너지 충·방전 속도가 빠른 우수한 특성을 가지고 있다. 따라서 풍력발전이나 태양광발전의 출력변동을 보상하기 위한 SMES 적용 연구가 진행되고 있다.¹⁾⁻⁴⁾

그러나 대부분이 S/W 시뮬레이션에 그치고 있어, 본 연구에서는 표 1 및 그림 2와 같은 소형 SMES를 시제작하여 충·방전시험을 실시함으로써 보상 가능성 유무에 대한 확인은 물론 향후 기술개발 시 설계 및 제작에 반영될 수 있도록 하였다.

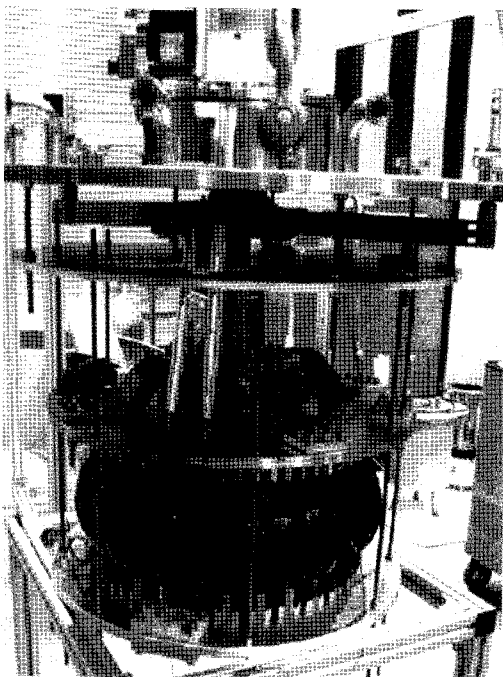


그림 2. 소형 SMES 마그넷 사진.

표 1. 소형 마그넷 사양.

HTS Tape	Type	Bi2223
	Thickness	0.4 mm
	Width	4.3 mm
Single pancake	Inner diameter	90 mm
	Outer diameter	149 mm
	Outer diameter of bobbin	156 mm
Toroid coil	Number of single pancake	60 ea
	Inner diameter	192 mm
	Outer diameter	504 mm
	Inductance	229 mH
	Maximum Iq	0.26 @ 200 A (60% of Ic) 4.5 kJ
		0.32 @ 250 A (80% of Ic) 7.1 kJ
Critical current	>300 A	

3. SMES 충·방전 시험

가. 냉각특성 시험

극저온 냉동기를 이용한 전도냉각을 통해 그림 3에서와 같이 최종 냉각될 때까지 약 82시간이 소요되었다. 이때 극저온 냉동기 2단부는 5.6 K이었으며 가장 높은 초전도 코일의 온도는 약 6.9 K으로 포화되었다.

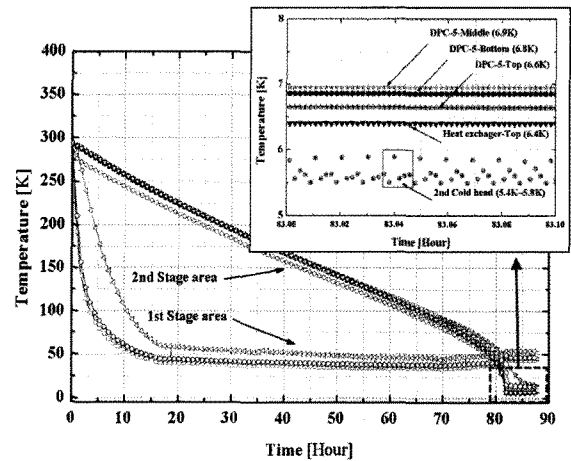


그림 3. 소형 코일의 초기 냉각특성 시험 그래프.

나. 초기 충전 시험

초전도 코일의 온도특성을 파악하기 위해 충전 속도변화에 따른 초전도 코일의 온도상승 시험을 수행하였다. 그림 4는 최대 충전전류인 250 A까지 25 A/s의 속도로 충전할 경우와 충전 후 코일의 온도가 안정화 되었을 때 Dump 저항을 사용하여 방전할 경우에 대한 코일 온도변화 그래프이다. 그림에서 볼 수 있듯이 충전 시 최대 7.9 K까지 코일 온도가 상승하였으며 방전 시에는 이보다 온도상승이 작은 것을 알 수 있다.

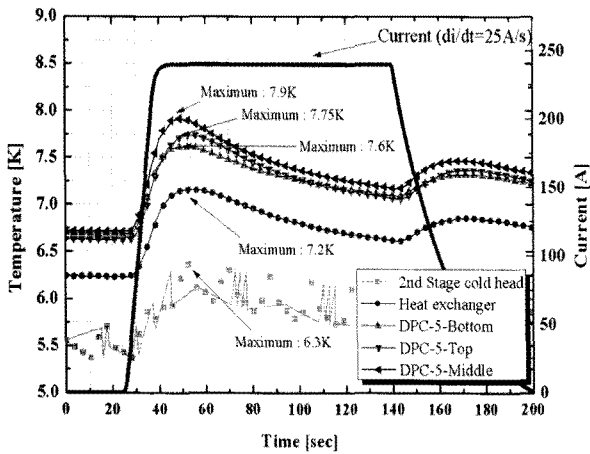


그림 4. 250A 까지 25 A/s로 충전하였을 경우 코일의 온도 변화.

다. 연속 충전·방전 시험

앞에서도 언급했듯이 녹색에너지원은 출력이 시시각각 변동하므로 이를 효과적으로 보상하기 위해서는 연속적인 에너지 충전·방전이 가능해야 한다. 따라서 시 제작 소형 코일에 대한 운전특성을 파악하기 위해 다양한 충전·방전 속도에서 연속적으로 충전·방전을 실시할 경우에 대한 각각의 코일 온도상승 시험도 수행하였다.

그림 5는 초기 충전전류 100 A에서 운전전류인 200 A까지, 충전·방전 속도를 각각 5, 10 및 15 [A/s]로 가변하여 10회 동안 연속 충전·방전 시험에 대한 초전도 코일의 내부 평균온도를 측정된 결과이다. 여기서 볼 수 있듯이 5 [A/s]에서는 10회 충전·방전을 할 경우 7 K에서 온도가 거의 포화되는 것을 볼 수 있으나, 그 이상의 충전·방전 속도에서는 온도가 포화되지 않고 있다. 이는 실제로 냉각용량 보다

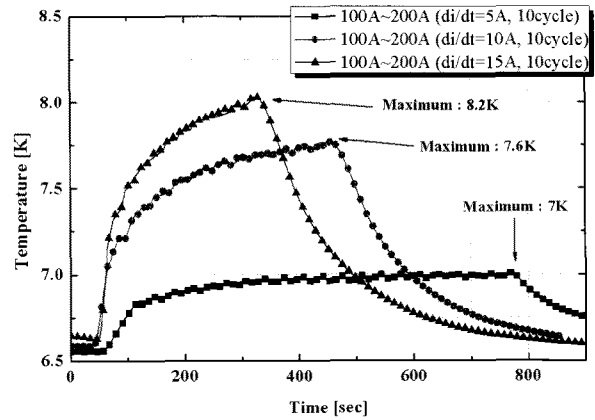


그림 5. 10회 연속 충전·방전 시 소형 코일의 평균온도 변화.

충전 시 발생하는 열이 더 많아 연속적인 충전·방전 시 온도가 지속적으로 상승하고 있음을 알 수 있다.

그림 6은 충전·방전 속도를 15, 20, 25 A/s로 가변하고 초기 충전전류 150 A에서 200 A까지 연속적으로 충전·방전을 하였을 경우에 대한 코일온도 시험 결과이다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 충전·방전 속도 20 A/s까지는 코일의 평균 온도가 8.5 K 이하에서 포화되는 것을 알 수 있었다.

이러한 시험을 통해 전도 냉각방식의 고온 초전도 SMES의 경우, 저장용량의 약 30% 이내로 2초 주기의 연속 충전·방전 시 안정적으로 동작되는 것을 확인 할 수 있었다.

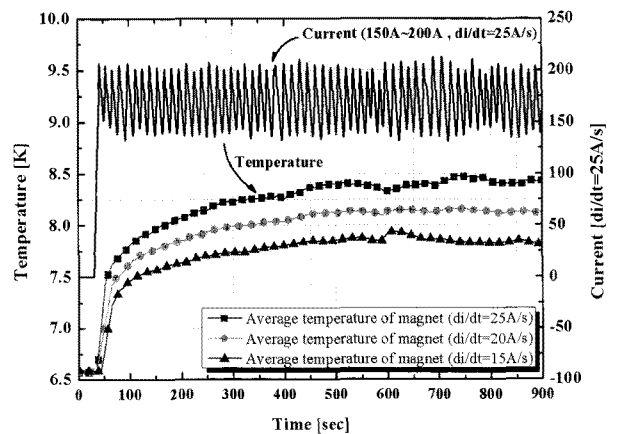


그림 6. 연속적인 충전·방전에 따른 모델 코일의 온도 변화.

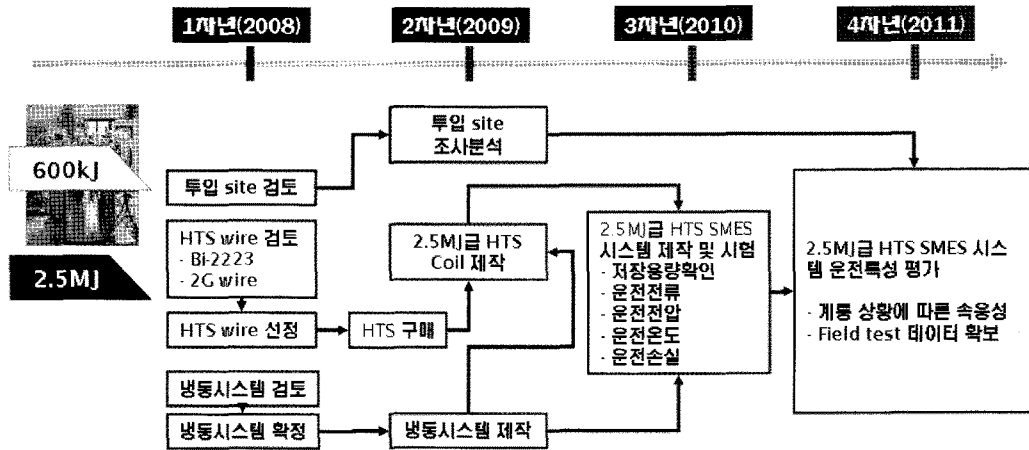


그림 7. 국내 고온 SMES 기술개발 맵.

4. 향후 계획

소형 코일에 대한 온도특성 시험을 통해, 풍력발전 및 태양광발전의 문제점으로 지적되어 온 초단위의 출력변동 보상에 SMES 기술이 효과적이라는 것을 알 수 있었다.

국내에서는 그림 7에서와 같이 2011년까지 전력품질 보상을 위한 준 상용화 수준의 2.5 MJ급 고온 SMES 시스템을 개발하고 실 현장시험을 거쳐 2014년경에는 5 MJ급 고온 SMES를 상용화하기 위한 연구개발이 추진 중이다.

따라서 풍력발전 및 태양광발전의 출력변동을 효과적으로 보상할 수 있는 기술을 추가할 경우, 향후 녹색에너지원의 확대 보급에도 SMES기술 개발이 일조할 수 있을 것으로 기대하며, 마지막으로 독자들께 본 기술개발에 대한 성원과 격려를 기대해 본다.

참고문헌

- [1] Ngamroo. I, et al., "Application of SMES coordinated with solid-state phase shifter to load frequency control", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, pp322-325, June 1999.
- [2] X D Xue, et al., "A study of the status and future of superconducting magnetic energy storage in power systems", Supercond. Sci. Technol. 19 (2006) R31 - R39.

[3] Jim McDowall, "Integrating energy storage with wind power in weak electricity grids", Journal of Power Sources 162 (2006) 959 - 964.

[4] J. Shi, et al., "Application of SMES in wind farm to improve voltage stability", Physica C 468 (2008) 2100 - 2103.

저자이력



성기철 (成耆哲)

한양대학교 전기공학과, 국립 창원대학교졸업(공학박사), 창원대학교 겸임교수, 한국전기연구원 초전도연구센터장, 한국초전도·저온공학회부회장.



고득용 (高得龍)

1959년 2월 12일생, 1983년 한양대 공대 기계공학과 졸업, 1985년 동 대학원 기계공학과 졸업(공학석사), 2007년 동 대학원 기계공학과 박사졸업(공학박사), 현재 한국기계연구원 책임연구원.



조정구(趙貞九)
1963년 3월 28일생, 1986년 경북대학교 졸업, 1988년 KAIST 대학원 로버트공학 졸업(석사), 1992년 동 대학원 전력전자공학 졸업(박사), 1992년~1993년 KAIST 정보전자연구소 연수연구원, 1993년~1994년 Virginia Tech. 해외 Post Doc, 1994년~2002년 한국전기연구원 산업전기연구단 선임연구원, 1998년~2000년 KAIST 전기 및 전자공학과 겸직교수, 1998년~현재 (주)그린과워 대표이사.



박민원(朴敏遠)
1970년 2월 12일생, 1995년 창원대학교 졸업(공학사), 1997년 창원대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 2000년 일본오사카대학 대학원 전기공학과 졸업 (공학석사), 2002년 동대학원 졸업(공학박사), 2001년 10월 한국전기연구원 내 차세대초전도응용기술개발사업단 기술팀장, 2004년 9월 창원대학교 메카트로닉스 공학부 전기공학전공 전임강사, 2006년 9월부터 동대학 조교수, 2004년 및 2007년 미국 DOE Superconductivity Peer Review 평가위원.