

## 초전도 마그넷을 이용한 태양광에너지 저장장치 개발

김대욱\*, 정운도\*\*, 윤용수\*\*\*, 김태중\*\*\*\*, 김현기\*\*, 고태국\*  
 연세대학교\*, 수원대학교\*\*, 안산공과대학\*\*\*, 한국폴리텍1대학\*\*\*\*

### Development of Energy Storage System Combined with Solar System and Superconducting Magnet

Dae-Wook Kim\*, Yoon-Do Chung\*\*, Yong-Soo Yoon\*\*\*, Tae-Jung Kim\*\*\*\*, Hyun-Ki Kim\*\*, Kae-Kuk Ko\*  
 Yonsei University\*, The University of Suwon\*\*, Ansan College of Technology\*\*\*, Korea Polytechnic 1 College\*\*\*\*

**Abstract** - As new one of superconducting power supplies, we proposed an HTS flux pump utilized a solar energy system. As an eternal electric energy can be converted by the solar system, the solar energy system is promisingly applied as an energy source in the power applications. A solar energy system is comprised of solar panel, photo-voltaic (PV) controller, converter and battery. The HTS flux pump consists of an electromagnet, two thermal heaters and a Bi-2223 magnet. In this paper, we describe the possibility the fusion technology between superconducting power supply and solar energy system. As a fundamental step, the fabrication, structure and experimental results are explained.

#### 1. 서 론

신재생에너지가운데 태양광발전은 반도체소재인 태양전지의 광전효과를 이용하여 빛에너지를 전기 에너지로 변환함으로써 화석에너지를 사용한 기존의 화력발전방식과는 달리 무한정한 에너지를, 대기오염, 소음, 진동 등의 공해가 전혀 없는 깨끗한 청정에너지원이다. 또한 연료의 수송, 기계적 가동, 국부적 고온, 고압부가 없어 발전설비의 유지관리가 용이하고, 수명이 길며, 설비규모의 선택과 설치공사가 쉬운 장점을 가지고 있어 각광을 받고 있다 [1]. 따라서 태양광에너지를 전기에너지로 이용한 전력기기 시스템의 개발은 시스템의 효율을 향상시키기 위한 하나의 좋은 모델로 여겨지고 있고 다양한 전력시스템에 적용되고 있다 [2].

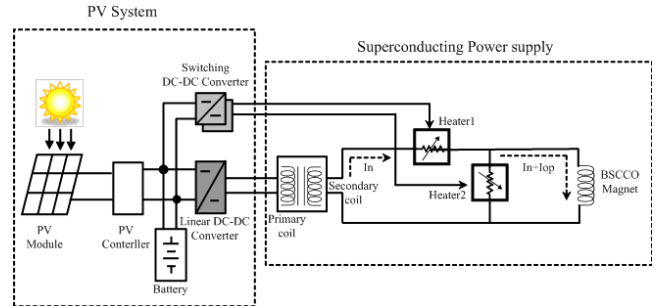
저온 초전도 선체에 비해 고온 초전도선체는 냉각비용이 경제적이기 때문에 다양한 전기기기시스템에 적용되어 많은 연구가 현재 진행되어지고 있다. 특히 핵자기공명장치(NMR), 자기공명영상장치(MRI), 자기부상열차(MAGLEV), 초전도에너지저장장치(SMES), 초전도핵융합발전장치(TOKAMAK) 등을 연구하는 분야에서는 고온초전도 선체를 이용한 연구가 활발히 진행 중이다 [3]. 그러나 고온 초전도선체의 경우 본질적으로 영구전류상태에서 전류감쇄가 크게 발생하기 때문에 초전도 마그넷의 안정도를 유지하기 위해서는 초전도 전원장치가 반드시 필요하다

이와 같은 이유로, 우리는 태양광 발전시스템과 고온초전도 자속펌프 시스템을 융합하여 새로운 초전도전원장치를 제안하였다. 이와 같은 태양광에너지를 이용한 고온초전도 자속펌프는 시스템의 동작 효율을 극대화하고, 무한한 에너지원인 태양광에너지를 활용하기 위하여 개발되었다. 본 논문에서는 이러한 태양광에너지를 이용한 고온 초전도 전원장치의 기반연구로서, 각 요소의 기술요소를 설계하고 제작하여 기본적인 운전특성을 검증을 실험적으로 수행하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 태양광에너지시스템의 구조와 제작 및 운영

본 논문에 사용된 태양광 에너지시스템은 고온 초전도 자속펌프의 마그넷에 에너지를 공급하기 위한 에너지원으로 사용된다. 태양광발전 시스템은 독립형 시스템과 계통연계형 시스템으로 나눌 수 있는데, 본 논문에서는 독립형 시스템을 채택하였다. 독립형 태양광발전시스템은 주간에 태양전지에서 발전된 전기를 축전지에 저장하고 부하량이 발전량보다 큰 경우나 발전이 불가능한 야간에는 축전지에서 공급하게 된다. 그림 1은 태양광 시스템을 이용한 고온 초전도 자속펌프의 구조를 나타낸다.



<Fig. 1> Schematic diagram of superconducting power supply combined solar energy system

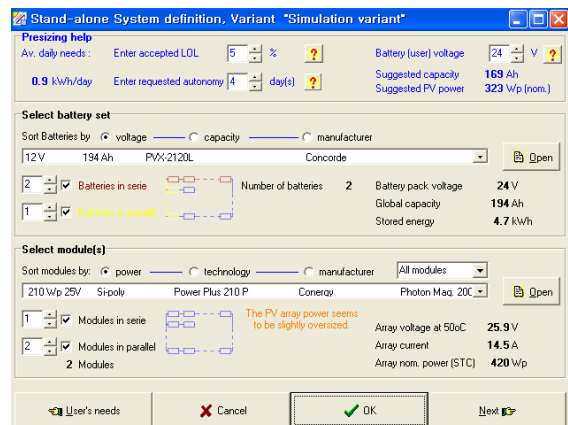
태양광 시스템은 다음과 같은 4개의 요소로 구성되었다;

- (1) PV(photo-voltaic) 모듈
- (2) PV 제어기
- (3) 축전지
- (4) 컨버터.

본 시스템에 사용된 모듈은 독일 Conergy사의 Power Plus 210 모델을 사용하였으며, 2대를 병렬로 연결하여 사용하였다. 축전지는 12V 200Ah인 밀폐식 연축전지 2대를 직렬 연결하여 24V로 구성하였으며, PV 제어기에 연결되어져 태양전지 모듈에서 생산된 전기를 축전하는 역할을 한다. 사용되는 부하 전류가 5A일 때 최대 45시간의 에너지를 공급할 수 있는 용량을 가지고 있다. PV 제어기는 태양전지 모듈에서 생산된 에너지를 축전지에 충전시켜 주며, 과충전 및 과전류 보호기능이 있으며, 전기 모듈에서 생산되는 전압, 전류와 부하에서 사용되는 전류의 양을 모니터링 할 수 있는 에너지미터를 내장하고 있다.

그림1의 PV시스템을 구성하였을 때 연간발전량과 Performance Ratio를 확인하기 위해서 태양광발전 Simulation Program인 PVSYST Ver 4.37를 설계 parameter를 입력하여 시뮬레이션을 행하였다.

그림 2에서와 같이 설계 파라메트를 입력 후 시뮬레이션 수행 시 그림 3과 같이 결과가 도출된다. 연간 발전량은 443kWh/year 이며 시스템의 Performance ratio는 60.2%이다.



<Fig 2> Design parameter by using PVSYST ver 4.37

PVSYST V4.37	13/10/10	Page 2/2
Stand Alone System: Main results		
Project :	Stand Alone Project at 10-Seoul_stand	
Simulation variant :	Simulation variant	
<b>Main system parameters</b>		
PV Field Orientation	System type	Stand alone
PV Array	tilt	30 deg
Battery	Model	Power Plus 210 P
battery Pack	Nb. of modules	2
User's needs	Model	PVX-2120L
	Nb. of units	2
	Technology	vented, vehicle starting
	Voltage / Capacity	24 V / 194 Ah
	Daily household consumers	Constant over the year
		global
		334 kWh/year
<b>Main simulation results</b>		
System Production	Available Energy	443 kWh/year
	Used Energy	329 kWh/year
	Performance Ratio PPR	60.2 %
	Time Fraction	1.9 %
	Specific	1055 kWh/kWp/year
	Excess (unused)	93 kWh/year
	Solar Fraction SF	96.5 %
	Missing Energy	5.0 kWh
Loss of Load		

<Fig 3> Result of simulation

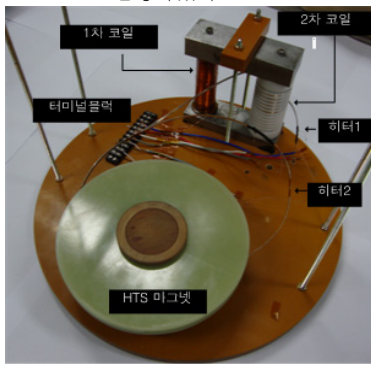
## 2.2. 실험장치 제작 및 실험

실험을 위해 태양광에너지를 결합한 플럭스 펌프의 구성은 그림 1과 같이 제작하였다. 2대의 병렬로 연결된 태양광모듈에서 발생된 전기에너지는 PV제어기를 통해 축전지에 충전된다. 축전지에 충전된 에너지는 HTS 마그넷 충전용 리니어타입의 컨버터(컨버터1)와 히터전원공용 부스터 컨버터(컨버터2)의 에너지원으로 작용한다. 컨버터 1의 출력은 변압기의 1차측 권선에 연결되어 진다. 그림 4에 초전도 자속펌프의 외관을 나타내었다.

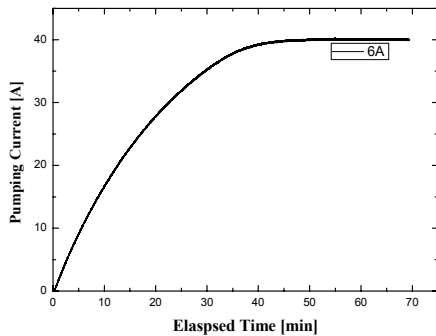
변압기형태의 일렉트로 마그넷의 1차측 권선은 구리선으로 권선하였으며, 2차측 권선은 BSCCO 마그넷에서 나온 양단의 BSCCO 선재에서 한 단을 이용하여 솔레노이드 형태로 6회를 권선하여 제작하였다. 히터 트리거 스위치는 BSCCO 선재에 극저온 히터용 NiCr 선을 사용하여 직접 권선하였다. 히터전류를 인가하였을 때 온도변화를 측정하기 위하여 권선된 NiCr 선 사이에 E타입 열전대를 설치하였다.

충전되는 전류량을 측정하기 위해서 마그넷 중앙에 비접촉으로 측정이 가능한 홀센서를 설치하였고, 1차측 권선과 히터 스위치에 인가되는 전류의 측정은 각각 션트(shunt) 저항을 이용하였다. 실험은 액체 질소 환경에서 수행하였고, 온도를 포함한 모든 신호는DAQ(Data Acquisition) 통해 PC에 전송된다.

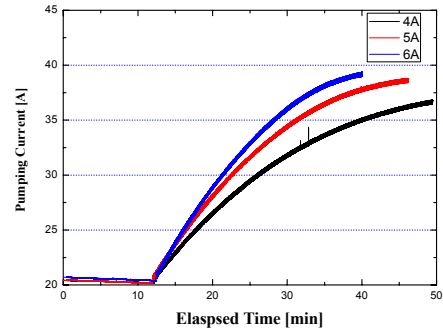
태양광에너지를 초전도 펌프에 자속을 공급하기 위해 태양광에서 변환된 DC 전류를 컨버터 1에서 변환하여 6A, 5A, 4A씩 증가시키면서 1차측 코일에 전류를 인가하여 충전 실험을 수행하였다. 또한 히터 스위치에는 30.2V를 인가하여 히터트리거 스위치의 온도를 110 K으로 설정하였다



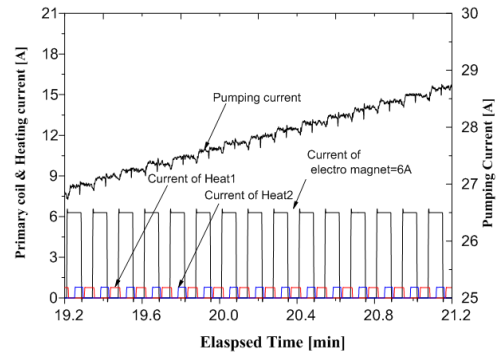
<Fig. 4> Photograph of assembled superconducting flux pump



<Fig. 5> Experimental result of pumping current of HTS magnet



<Fig. 6> Experimental result of pumping current in the operating current of 20A



<Fig. 7> Experimental result of pumping current and heating current with 6A of converter

본 시험은 초전도 자속펌프가 태양광에너지를 이용하여 초전도 전원장치로서 안정적인 충전특성을 갖는지를 확인하였다. 그림 5은 컨버터 1에서 6A 정전류가 인가되었을 때 마그넷의 충전전류가 포화된 특성을 나타낸 결과이다. 그림과 같이 충전된 전류는 39.6A에서 포화되었고, 전류펌핑율은 11mA/sec임을 알 수 있었다. 또한 본 시스템이 고온 초전도마그넷용 전류보상기로서의 안정적인 충전특성을 확인하기위해 동작전류 상태에서 충전특성을 조사하였다. 그림6은 운전전류 20A 조건에서 운전하였으며, 컨버터 1에서 6A, 5A와 4A의 정전류가 인가되었을 때의 안정적인 충전특성을 확인하였다. 그림 7은 컨버터1에서 6A의 정전류를 인가하였을 때 히터 1과 히터2의 전류, 마그넷 전류와 펌핑전류와의 상관관계를 나타내었다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 태양광에너지 시스템을 결합한 고온초전도 자속 펌프를 설계, 제작하여 영구전류모드에서의 충전전류 실험을 수행하였다. 그리고 태양광으로부터 공급된 전기에너지가 초전도 마그넷에 안정적으로 충전됨을 확인하였다. 이와 같은 기반기술은 태양광에너지를 초전도 마그넷에 저장하는 에너지 저장기술의 기반기술이 되며, 다양한 컨버터의 개발을 통해 대용량의 전류를 효과적으로 저장할 수 있게 할 수 있다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 김보현, 문은아, 김현철, 채봉, 김용재, 조급배, 백형래, "태양광 발전용. 축전지의 충방전제어에 관한 연구", 전력전자학회 2008년도 학술대회 논문집, pp. 612-614, 2008.6.
- [2] Y.D.Chung, D.W.Kim, H.C.Jo, Y.S.Yoon, T.K.Ko, "Fundamental performance of novel power supply for HTS magnet using solar energy," Cryogenics, vol. 51 issue 6 pp. 220-224, June 2011.
- [3] 조현철, 장기성, 장재영, 김형준, 정윤도, 윤용수, 고태국, "BSCCO Magnet 제작 및 영구전류모드에서의 전류 보상 운전 특성," 한국초전도 저온공학회 논문지, vol. 12, no. 1, pp. 56-60, 2010.3.