

SMES용 Cryostat 시제작 및 평가 (I)

조전욱, 심기덕, 하홍수, 김해종, 김봉태, 성기철, 권영길, 류강식, 고득용*, 엄한길*,
 류충식**, 김성래**, 권오범**
 한국전기연구원, *기계연구원, **(주)CVE

Manufacturing and Tests of Cryostat for SMES (I)

J.W.Cho, K.D.Sim, H.S.Ha, H.J.Kim, B.T.Kim, K.C.Seong, Y.K.Kwon, K.S.Ryu,
 D.Y.Koh*, H.K.Yeom*, C.S.Ryoo**, S.R.Kim**, O.B.Kwon**
 Korea Electrotechnology Research Institute, *Korea Institute of Machinery & Materials,
 ** Cryogenic & Vacuum Engineering

jwcho@keri.re.kr

Abstract - In this paper we present the results of manufacturing and tests of prototype cryostat for micro-SMES. The prototype cryostat with HTS current leads and refrigerator had been designed and manufactured for micro-SMES. The cryostat had been tested the helium boil-off and mechanical stress during transfer and vibration test. These results will be applied to micro-SMES cryostat.

1. 서 론

현재 송전 및 배전계통에 공급되는 전력은 양적 뿐만 아니라 질적으로도 매우 중요하다. 특히 전력품질에 매우 민감한 전자기기, 제어장치 및 정보기기 등에서는 순간적인 정전 및 전력품질 저하에 의해 막대한 금전적, 인명적 손실을 초래할 수 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 납축전지를 이용한 UPS를 사용하고 있지만, 작은 설치공간과 환경 친화성의 무공해시스템으로 초전도마그네트를 이용한 초전도 에너지저장 장치(SMES)의 상용화가 점차 이루어지고 있다[1].

SMES는 90%이상의 고효율과 고속응성 및 소형화가 가능하여 최근에는 군사용 제어기기나 IBM의 집적회로 시험장비와 같은 정밀 전원이 요구되는 곳에 사용되고 있다[2]. SMES는 초전도마그네트, 전력변환기, 최근에 적용되고 있는 고온초전도 전류리드 및 cryostat를 포함한 냉각시스템 등으로 구성되며, 이 중에서 cryostat는 초전도마그네트의 안정적 운전과 액체헬륨의 증발을 최소화하기 위하여 복잡한 단열구조와 냉동기를 설치하여 제작되고 있다. 특히 micro-SMES와 같이 이동성이 요구되는 시스템에서 cryostat의 지지 및 단열구조는 더욱 복잡하다.

본 연구에서는 이동형 SMES의 개발을 위하여 SMES용 cryostat를 시제작하였으며, 통전시 HTS current lead의 온도변화 및 이동시 발생할 수 있는 지지구조의 응력변화 등을 평가하였다.

2. 본 론

2.1 Cryostat 설계 및 제작

그림1과 2는 본 연구에서 제작한 cryostat의 설계도와 제작된 cryostat의 모습이다. 주요 제원은 표1과 같으며 외경 1210 mm, 높이 1930 mm, dummy magnet을 포함하여 무게 1700 kg의 cryostat를 시제작하였다. 그림1에서 7은 20K와 80K shield 냉각용 냉동기이며, 8은 전류리드 냉각용 냉동기이다.

Table1. Dimensions of the Cryostat

구 분	크 기 [mm]		재 질
	외경	높이	
LHe 조	900	1300	STS
20 K shield	980	1470	Al
80 K shield	1080	1690	Al
진공조	1210	1930	STS

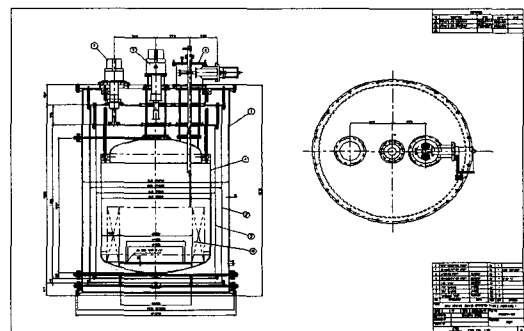


Fig. 1. Drawing of cryostat

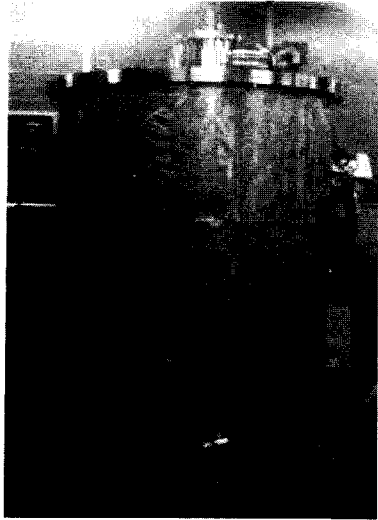


Fig. 2. Picture of prototype cryostat

cryostat의 열설계를 위해서는 대류와 복사에 의한 열전달과 전도에 의한 열전달 특성을 정확하게 해석하고, 각각의 변수에 대한 정확한 데이터가 요구된다. 본 연구에서는 그간 MRI 및 각종 cryostat의 제작 경험과 자료를 바탕으로 설계하였으며, 표2는 헬륨 vessel 및 20K, 80K thermal shield로의 열침입량 계산결과를 요약한 것이다. 그림3은 액체헬륨 주입후 각 thermal shield의 온도를 나타낸 것이며 이때의 증발량은 약 0.65 l/hr로서 전류리드에 의한 증발량을 고려하면 설계치와 어느 정도 일치함을 확인하였다.

Table 2. Estimated values of heat leak

구분	열침입 경로	산출량 [W]	소계[W]
LHe 조	전도열	0.0184	0.0573
	복사열	0.0389	
20 K shield	전도열	1.175	1.222
	복사열	0.047	
80 K shield	전도열	4.3	26.6
	복사열	22.3	

* 전류리드 및 신호선 제외

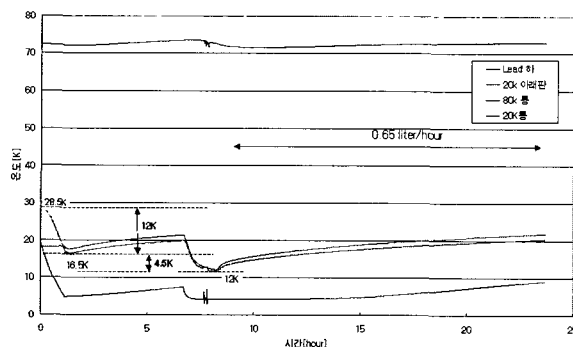


Fig. 3. Temperature at each thermal shields

2.2 Current Lead 통전시험

cryostat의 효과적인 운전을 위하여 극저온 상태의 안정적 유지뿐만 아니라 냉매손실의 최소화가 필요하기 때문에 우수한 특성의 cryostat 개발과 함께 저손실 current lead의 개발이 필요하다. 구리, 황동과 같은 금속재료를 current lead로 사용하면 높은 열전도도와 주울열에 의한 열 발생으로 냉매의 손실이 커지지만, 고온초전도(HTS) current lead를 사용하면 가스냉각방식의 current lead보다 냉매손실이 적어 HTS current lead가 점차 실용화되고 있다[3].

본 연구에서는 micro-SMES를 위하여 개발된 HTS current lead[4]를 사용하여 통전시의 온도 변화를 측정하여 냉동기 사용조건 등을 파악하였다. 본 실험에서 HTS current lead의 전도냉각용으로 사용된 냉동기는 CTI사의 1050CP GM 냉동기로서 20K은 20W, 80K은 65W의 용량을 갖는 2단 냉동기이며 80K cold head를 전류리드에 연결하여 운전하였다.

액체헬륨 주입후 전류리드의 상부온도는 약 34~37K, 하부는 4~5K였으며, 전류를 100A에서 1000A 까지 상승시키며 전류리드의 온도 상승을 측정하였다. 그림4에 그 결과를 나타내었으며, 그림에서 보는 바와 같이 900A에서 660초와 1000A에서 570초 통전시 전류리드 하부의 온도가 9K로 상승하였으며 현재 개발중인 SMES용 마그네트의 운전전류인 900A에서도 적용 가능한 것으로 확인되었다.

2.3 이동중 Cryostat의 특성시험

본 연구에서 개발중인 SMES는 이동을 고려한 시스템이기 때문에 이동시 발생할 수 있는 헬륨 vessel과 thermal shield의 진동에 대비하여 냉동기 cold head와 shield 사이에 구리연선을 사용하였다. 또한 이동중의 응력변화를 측정하기 위하여 헬륨 vessel을 지지하는 각각의 support에 strain sensor를 설치하여, 냉각 및 이동 중에 변화하는 strain을 측정하였다.

그림5는 진동시험을 위해 기계연구원으로 이동하기 위하여 트럭에 싣고 있는 사진이며, 그림

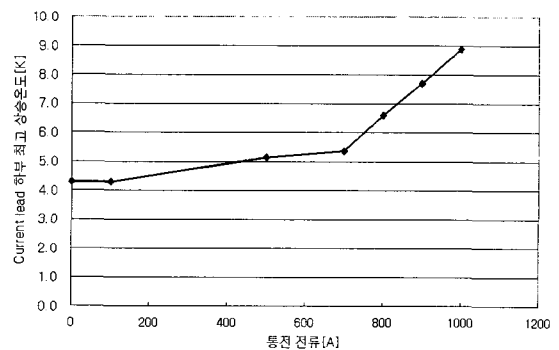


Fig. 4. Temperature rise according to currents

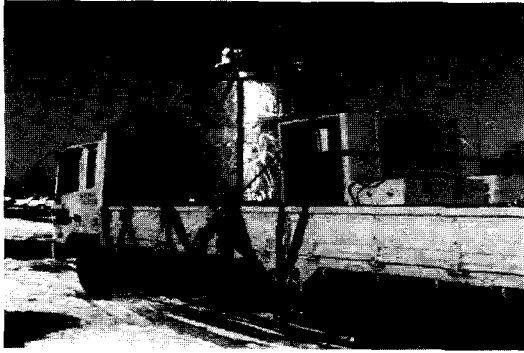


Fig. 5. Picture of cryostat on the truck

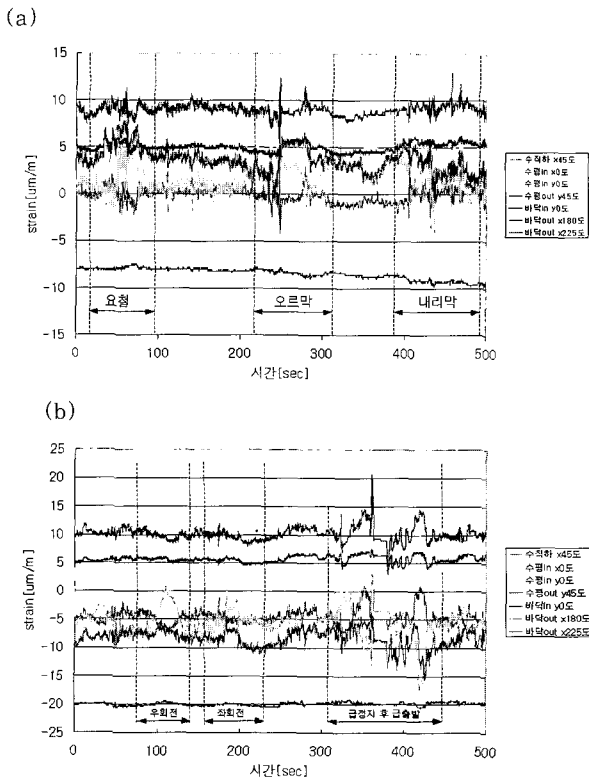


Fig. 6. Strain characteristics of support bars during the transfer

6은 창원의 전기연구원에서 대전의 기계연구원으로 이동하면서 측정한 support bar들의 strain 값을 나타낸 것이다. 이 데이터들은 현재 개발중인 cryostat의 기본 자료로 활용하기 위하여 정밀 분석중이다.

2.4 공진주파수 특성시험

상기와 같이 직접적인 strain 특성측정과 병행하여 규격KS R 1034 “자동차 부품 진동시험 방법”[5]에 따라 그림7과 같이 6자유도 진동대에 cryostat를 설치하여 공진 주파수를 측정하였다. cryostat의 진동 가속도를 계측하기 위하여 전후, 좌우 및 상하 방향으로 각각 가속도계를 부착하였으며 가해지는 진동 가속도는 6자유도 진동대에 설치된 가속도계로 측정하였다.

cryostat에 인가되는 힘의 방향은 전후(냉동기와 수평방향,Y방향), 좌우(X방향) 및 상하(Z방향) 각 방향에 대하여 진동수 범위 5~50 Hz에서 가속도 편진폭 0.05G, 진동수 변화속도 0.05 Hz/sec로 하여 공진 주파수를 측정하였다. 공진 진동수를 얻기 위해서 주파수에 따라 cryostat의 진동응답 가속도와 가해진 진동가속도의 비를 Spectrum Analyzer (HP 3582A)로 분석하였다. 그림7은 6자유 진동대에 설치된 cryostat의

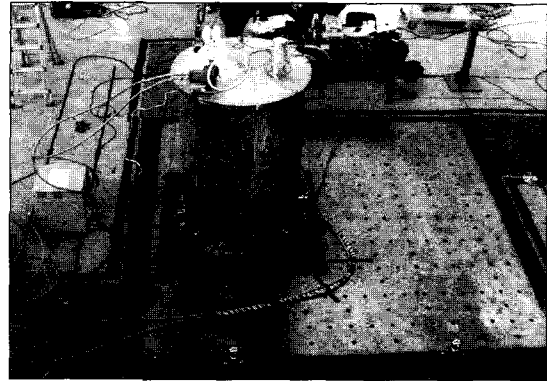
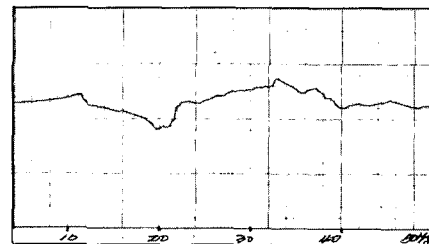
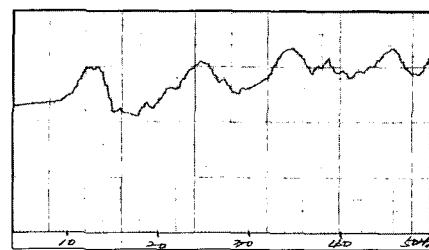


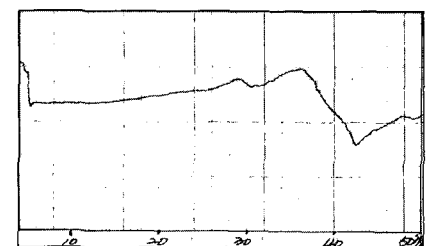
Fig. 7. Over view of cryostat on the vibration tester



a) X-axis



b) Y-axis



c) Z-axis

Fig. 8. Resonance frequency characteristics of cryostat at each directions

Table 3. Resonance frequency of cryostat

방향	공진 주파수 [Hz]
X	10.8, 32.8, 37.2
Y	12.4, 24.4, 34.8, 46.0
Z	28.8, 36.4

모습이며, 그림8와 표3은 spectrum analyzer로 측정된 공진 주파수 그래프와 각 방향에서의 공진 주파수이다.

또한 각 방향의 공진 주파수를 고정한 상태로 0.1G에서 0.5G까지 0.1G단위로 증가시키며 각 support bar들의 strain을 측정하였으며, 그림9는 x축의 공진주파수 10.8Hz에서 가속도를 증가시키며 측정한 결과를 나타낸 것이다.

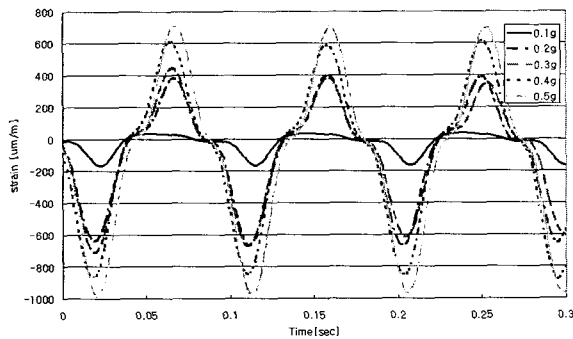


Fig. 9. Strain characteristics of support bars during vibration test

3. 결 론

본 연구에서는 이동형 SMES용 cryostat를 제작하여 이의 특성을 평가, 분석하였다. 그 결과 cryostat의 thermal shield의 온도가 설계치와 잘 일치하며 헬륨 증발량이 0.65 l/hr로서 진류리드에 의한 증발량을 고려하면 설계치와 유사함을 확인하였다. 또한 고온초전도 current lead의 전도냉각에 의한 냉각특성과 통전시험을 통하여 현재 개발중인 이동형 SMES 시스템에 적합함을 확인하였다. 이동 중에 공진에 의해 발생할 수 있는 시스템의 파손을 막기 위하여 공진 주파수를 측정하였으며 각 공진 주파수에서 가속도를 가속시키며 support의 strain 변화를 측정하였으며 현재 개발중인 시스템에서는 측정된 이 데이터들을 활용할 예정이다.

현재 본 연구의 결과를 정밀 분석하여 이동형 SMES의 cryostat 설계가 진행중이며, 2001년 중 이동형 SMES 시스템을 개발할 예정으로 추후 이의 결과를 계속하여 발표할 계획이다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 성기철, 김해중, 조전욱, 권영길, 류강식 "초전도에너지저장(SMES) 시스템의 개발동향" 초전도와 저온공학, Vol.2, No.1, pp10-18, 2000
- [2] <http://www.amsuper.com>
- [3] John R. Hull, "High-Temperature Superconducting Current Leads", IEEE Trans. on Appl. Magnetics, Vol. 3, No. 1, 1993
- [4] 장현만, 오상수, 조전욱, 조영식, 하홍수, 하동우, 성기철, 권영길, 류강식, "SMES 마그네트용 고온초전도 전류 도입선 설계", 한국초전도저온공학회 논문지, 2권, 2호, pp.6-10, 2000
- [5] "자동차 부품 진동시험 방법", 한국공업규격, 1991