

# 포항 방사광가속기용 초전도 장치개발을 위한 헬륨 액화시설의 응용

박인수\*, 손영욱, 김형균, 김경렬, 정진화  
포항공과대학교 가속기연구소

## Application of He Liquefier for Development of SC Devices at Pohang Light Source

I. Park, Y. Sohn, H. Kim, K. Kim, C. Chung  
Pohang Accelerator Laboratory, POSTECH

rf2@postech.edu, younguk@postech.edu

**Abstract** - The helium liquefier was installed for 7.5 T superconducting wiggler, which is a source of synchrotron radiation, in Pohang Accelerator Laboratory (PAL) in 1995. It is MODEL 1410 fabricated by LINDE (old PSI America) of which capacity is about 17 liter per hour in normal mode and 47 liter per hour with liquid nitrogen pre-cooling. In addition to SC wiggler, we are anticipating that some devices related to electron accelerator are to be upgraded with superconducting application in order to improve the quality of photon beam.

### 1. 개 요

헬륨액화기는 연구소의 헬륨을 쓰는 각종 실험에 발생하는 불순 가스헬륨을 회수하여 고순도의 액체헬륨을 재생 공급하는 장치이다. 액화기는 세계적으로 가장 많이 보급되어 있는 미국 PSI(Process International, 현재 Linde) 사의 헬륨액화기를 1995년에 도입하여 가동하여왔다. 초기 설치시 주압축기의 부하에 대한 생각능력의 여유부족으로 하절기 장시간 운전시 압축기 고온연동장치의 작동으로 트립이 발생하는 등 운전의 신뢰성이 낮고 운전원의 간섭이 과다하게 필요로 하는 문제를 안고 있었다. 액화 헬륨을 대량으로 소비하는 초전도 위글러[1] 빔라인의 본격적인 운전을 위해서 주압축기 냉각능력 증설 및 시설의 안정성 개선, 운전 소요 인력절감을 위한 장치/시설 설치 등을 위해서 2000년 5월에 시설을 전면 개량하였다. 포항가속기연구소의 저온 실험실은 헬륨액화기 운영을 비롯하여 초전도/초저온 분야의 연구를 전담하고 있다. 현재 새로운 연구분야 창출을 위해서 기술적 검토를 하고 있으며, 전자빔 저장시설인 저장링(storage ring)의 에너지를 공급하는 초전도 RF 공동기에 관한 연구가

가장 유력시 된다. 초전도 초저온 연구의 첫 사업으로 금년 상반기에 초전도 Helmholtz 자석과 cryostat를 제작하면서 보유하고 있는 관련 기술들을 확인하고 확보해나갈 예정이다.

### 2. 시설의 주요 특성

#### 2.1 헬륨액화기

PSI사의 MODEL 1410 (Fig. 1)은 헬륨을 액화하는데 주로 이용되지만 4.6K의 폐회로 초저온 냉동기로도 이용된다. 액화기의 헬륨 정제기(purifier system)는 약 10% 정도의 불순물을 가스 헬륨으로부터 정제할 수 있는 능력이 있으며 모든 정제과정이 완전 자동화되어 있다. 주요 구성품은 액화기 본체, 주 압축기, 액체 헬륨 이송 튜브 등으로 구성되어 있다. 주 압축기의 운전 변수 제어와 질소 예비냉각 장치를 이용하여 액화 용량은 광범위한 영역에서 조절 가능하다. 순수 가스 헬륨 보충장치(makeup system)나 정제기에서 공급된 헬륨을 압축기에서 약 240 psig (16.9 kg/cm<sup>2</sup>)로 압축하여 액화기 본체로 이송된다. 압축 가스는 5개의 주 열교환기와 그들 사이에 있는 2대의 등엔트로피 팽창엔진 (왕복운동형)에 의해서 냉각되고 약 8K 이하로 냉각된 헬륨가스가 Joule-Thomson 밸브에서 등엔탈피 팽창(교축)을 하면서 액화된다. 액화된 헬륨은 이송 튜브를 통해서 외부의 저장탱크(dewar)에 저장된다. 압축과정을 제외한 액화 헬륨을 생산하는 모든 공정이 진공으로 단열된 냉각용기속에서 이루어진다. 불순물 정제기는 고압으로 압축되어 사용된 가스헬륨을 감압기를 이용하여 500 psig (35 kg/cm<sup>2</sup>)로 공급받아 불순물을 응축하거나 열려서 자동적으로 대기로 방출한다.

한편 액화기 운전은 압축기를 포함하여 거의 자동으로 운전되는데 모든 운전 변수들은 데이터 획득 장치(DAQ)를 통해서 PC에서 온라인으로 그래픽 처리되며 동시에 저장된다 (Fig. 2).

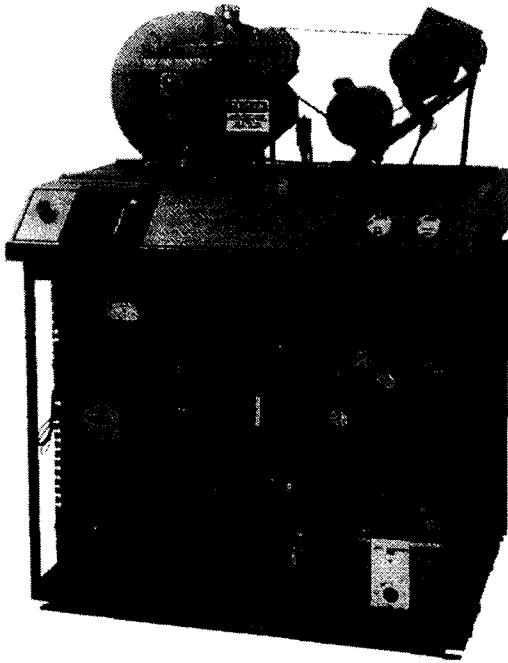


Fig. 1. He liquefier MODEL 1410

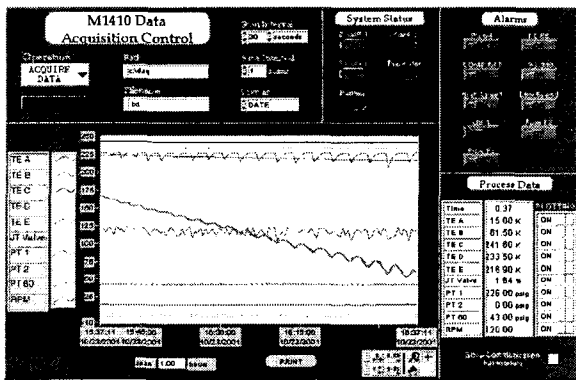


Fig. 2. Graphic display of operating parameters

## 2.2 헬륨액화 시설

헬륨액화는 초저온 초전도 연구를 하기 위한 저온실험실에 설치하여 편리하게 연구지원을 할 수 있게 하였다. 주요 개선 내용을 보면, 효율적으로 운전 관리하기 위해서 액화기의 각종 운전 조건을 보여 주는 계측기들을 한 곳의 판넬에 집중하였으며 장치 냉각설비를 연구소의 주 공급원과 분리하여 독립적으로 운전할 수 있게 하였다. 각 시스템간의 배관 연결은 고압가스의 누설에 대한 신뢰성 제고를 위해서 seamless 스테인레스 pipe와 tube를 이용하여 시공하였다. 각 시스템들의 연결 배관 중간에 진공 cleaning을 위해서 앵글밸브를 이용한 pumping port를 배치하였다. 또 헬륨의 저장능력을 액화헬륨 기준으로 약 3000 liter 정도 보유할 수 있도록 옥외에 증발 가스헬륨 저장시설을 확충하였고 저장링 건물에서 발생하는 증발 가스 회수 파이프라인을 부설하였다. 액화기 가동시 소요인력의 최소화를

위해서 액화기 운전상태를 원격지에서 관찰할 수 있는 시스템을 구축하였다. 기타 운전과 직·간접적으로 영향을 주는 효율과 안전에 관련된 부분들을 완벽하게 재 구축하였다. 일반 운전모드에서 시간당 약 17 liter 그리고 액체질소로 예비냉각을 할 경우 최대 47 liter까지 생산되는 것을 공사 후 시운전을 통해서 확인하였다. Fig. 3에서 He 액화장치의 구성도를 보여 주고 있다.

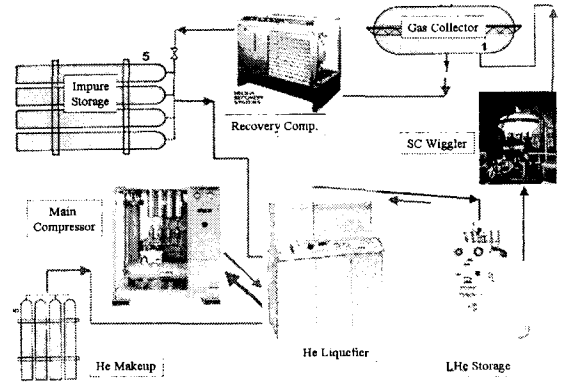


Fig. 3. Configuration of primary components

주압축기의 냉각은 독립적인 2 loop형으로 구성된다. 완전 폐회로로 작동되는 1차 냉각회로는 15kW 압축기와 냉동기, 1.5 kW급 펌프와 2차측과 열교환을 하는 SUS 304 판형 열교환기로 구성되어 있다. 주압축기에 냉각수를 공급하는 2차측은 30RT의 냉각탑과 4kW용량의 In-line 펌프 2대로 구성되어 있으며 압축기 배수측 온도가 약  $50 \pm 1$  °C 정도로 유지되고 있다. Fig. 4에서 냉각회로의 간단한 다이어그램을 보여주고 있다.

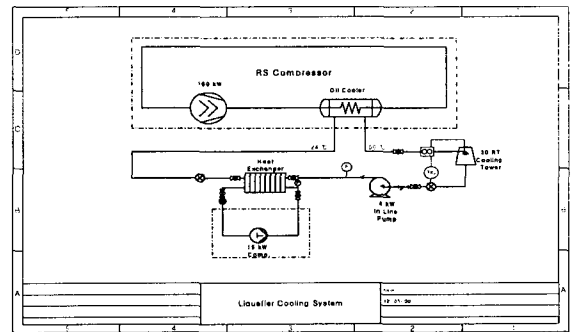


Fig. 4. Coolant circuit of 100 kW main compressor

## 3. 방사광가속기의 초전도 응용장치로 개선이 필요한 분야

### 2.2 가속장치의 응용분야

운동상태의 전자빔을 장시간 동안 저장링(storage ring)에 저장하면서 방사광을 추출하여 각종 과학 기술적 실험을 수행하기 위해서 전자

빔의 안정성이 매우 중요한 인자이다. 전자빔이 운동하면서 지속적으로 방사광 형태로 자신의 에너지를 소모하게 되는데 이 소모된 에너지를 RF 관련 장치들이 보충하여 지속적으로 전자빔을 운동하게 한다. RF 전원장치에서 발생한 고주파가 유도관을 통하여 RF 공동기에 전자빔을 전달하게 된다. 기존의 RF 공동기는 상전도 도체인 무산소동으로 제작되어 있으며 4대의 공동기에서 약 80 kW가 열로 소실되는데 냉각수를 이용하여 약 0.1 °C의 분해능으로 온도를 제어하여도 불균일한 열변형에 의한 high order mode의 harmonics가 발생하여 전자빔의 안정성(stability)에 악영향을 준다. 또 저장링에 계획된 모든 광원(삽입장치)이 설치되면 기존의 RF power의 부족이 예상된다. 이러한 문제점들은 초전도 RF 공동기를 설치하면 해결할 수 있는데 가속기연구소에서 기술적 타당성을 검토하여 과제화를 추진하고 있다.

또 하나는 방사광원인 삽입장치 분야이다. 저장링의 휨자석에서 나오는 방사광의 임계 에너지가 5 keV 정도이고 세계 정상급인 일본의 Spring-8, 프랑스의 ESRF, 미국의 APS의 휨자석에서 발생하는 광자의 임계 에너지가 각각 29 keV, 30 keV, 20 keV 인 것을 고려하면 우리 연구소의 국제적 경쟁을 위해서 향후 초전도 삽입장치의 필요 가능성은 상존하고 있다. 예를 들면 우리와 비슷한 규모의 연구소인 미국 Berkely 대학의 ALS에서 시도하고 있는 Superbend는 일부 super-period에서 직선 구간은 다른 종류의 삽입장치에 이용하게 두고 휨자석만을 초전도 휨자석으로 교체하여 방사광의 임계 에너지를 향상시키고 있다. 이와 같이 삽입장치를 초전도 자석으로 만들면 광자의 임계 에너지를 한 단계 상승시키고 에너지를 필요로 하는 실험을 수행할 수 있다. 가속기연구소에서 1995년 러시아의 핵물리연구소와 협력사업으로 이미 7.5 T급 초전도 위글러를 보유하고 있다. 다만 이광원의 응용연구 그룹이 형성되지 않아 현재 운전 보류중이다.

이 외에도 4세대 광원인 자유전자 레이저(Free Electron Laser, FEL)을 위한 초전도 언들레이터 등에 대한 연구도 관심 대상영역으로 분류되고 있다. 위와 같이 우리 연구소에도 초전도 관련 장치들의 잠재적인 수요가 상존하고 있고 관련 부서들에서 기술적인 검토를 진행하고 있다.

## 2.2 초전도 장치개발용 시험용 Cryostat의 설계

시험용 초저온용기(cryostat)는 제작된 초전도 장치가 자기 자신의 저온용기에 격납되기 전에 초저온을 유지하여 초전도 장치를 임계온도 이하의 환경을 유지하여 장치의 성능을 검사하고 필요시 트레이닝(training)을 하는 장치이다. 전통적인 cryostat로서 77K의 구리판으로 이루어진 열차폐막(thermal shield)만 채용하여 초저온 냉각기(cryo-cooler)를 채용한 진보형에 비하여 He 소모량이 다소 많기는 하지만 초기 개발비가 적

게 들어가고 또 우리가 보유한 액화기의 용량으로 충분히 감당할 수 있다. Cryostat의 상부 플랜지를 cryostat의 몸체에 고무링과 볼트로 체결하여 실험 장치에 따라 플랜지만 수정하여 조립하면 될 수 있게 설계하였다. Cryostat은 외경 800mm 높이 2200mm를 가진 직립 실린더형으로 초저온 환경이 조성되는 부분은 내경 505 mm 높이 120mm로 약 240 liter의 액체 헬륨을 저장할 수 있다. 그리고 77k 열차폐의 열제거 매체로 약 190 liter의 액체 질소를 격납한다. 이 cryostat를 통하여 액체 헬륨이 시간당 약 0.7 liter가 소모되며 질소는 시간당 약 0.7 liter 소모된다. Fig. 5에 설계된 cryostat의 개략도를 보여주고 있으며 Table 1에는 주요 제원을 기술하고 있다.

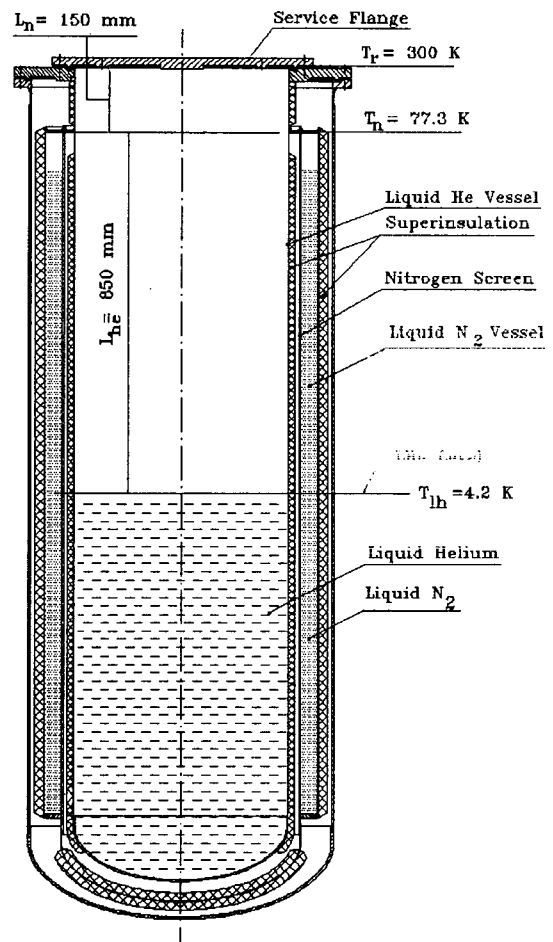


Fig. 5. Schematic drawing of test cryostat for SC devices

## 4. 결 론

포항가속기연구소의 헬륨액화기는 중간급의 용량을 가진 것으로 현재 최상의 운전상태를 유지하고 있다. 계획된 분야의 연구가 본격화되면 잘 갖춰진 연구 인프라를 이용하여 초전도 초저온 분야의 좋은 연구를 많이 할 것으로 기대된다.

Table 1. Design parameters of test cryostat

Parameters	Values
Helium vessel neck diameter (mm)	505
Liquid helium volume (liter)	170
Liquid nitrogen volume (liter)	190
Working environment temperature (K)	
helium vessel	4.2
nitrogen vessel	77.3
Liquid He consumption rate via cryostat (liter/hr)	0.7
Liquid He consumption rate via current leads (liter/hr)	2.4
Liquid nitrogen consumption rate (liter/hour)	0.7
Design pressure (Mpa)	0.25
Operation pressure	
helium vessel (Mpa)	0.1
nitrogen vessel (Mpa)	0.1
thermal insulation space (pa)	$<10^{-6}$
Cryostat height (mm)	2200
Cryostat diameter (mm)	800
Total weight (Kg)	~300

[참 고 문 헌]

- [1] 기반기술부, “초전도 7.5T Wiggler의 연구 개발”, 내부 과제 보고서, ENG-ID-W001, 1995