

# GM 냉동기를 이용한 네온 액화기 제작 ( I )

권운식, 손명환, 백승규, 이연용, 권영길, 권용덕\*  
한국전기연구원 \* 에너텍(주)

## Neon liquefier system using GM cryocooler ( I )

W.S. Kwon, M.H. Sohn, S.K. Baik, E.Y. Lee, Y.K. Kwon, Y.D. Kwon  
Korea Electrotechnology Research Institute \* Ener-tech Co.

gamja762@hotmail.com

**Abstract** - The neon liquefier by using GM cryocooler is designed and in process of manufacturing for the cooling of 100 hp high temperature superconductor (HTS) motor. It was used the principle of thermosyphon that the rotor of the motor is cooled by the latent heat of liquidized neon. The cold-box was designed to minimize heat loss by conduction, convection, radiation. Two heat exchanger were made to liquefy neon by the direct contact of neon gas on the cold head. As a first stage of our project, evaporation apparatus will be setup in the inner field of the cold-box and then the performance of neon liquefier will be test.

### 1. 서 론

초전도 모터 개발의 초기 단계에서는 LTS (Low Temperature Superconductor)를 사용하여 저온초전도 발전기에 대한 연구가 많았지만 최근에는 HTS를 이용한 고온초전도 모터의 연구가 진행되고 있다. 특히 미국에서는 33,000 hp급의 초전도 모터를 개발하여 군함의 추진시스템으로 채택할 계획으로 추진하고 있으며 현재 기초시험을 수행 중에 있다. 현재 국내에서는 프론티어 사업의 일환으로 한국전기연구원 에서 100 hp급 고온초전도 모터를 개발 중에 있다.

초전도모터의 성능을 좌우하는 것 중에 하나는 초전도상태의 계자권선이 발생시키는 자장의 세기이다. 초전도선재에 흘릴 수 있는 최대 전류를 임계전류라 하는데, 이 임계전류는 자장의 세기, 선재의 기계적인 변형 그리고 온도에 민감하게 변한다. 보다 낮은 온도를 장시간 유지할 수만 있다면 초전도모터는 적어도 온도에 대한 안정성은 걱정할 필요가 없다. 최근의 연구 동향을 보면 사용이 간편한 GM냉동기를 사용하여 기체 네온을 액화하여 증발잠열을 이용하여 계자코일을 냉각하는 방법을 사용하고 있다.

특히, 최근 개발에 성공한 5,000마력 고온초전도 모터 시스템에서는 GM 냉동기로 네온을 액체로 냉각시켜 냉매로 사용하고 회전자 내부에서는 전도냉각이 되는 방식을 채택하였다.

따라서, 본 연구에서는 충분한 냉각용량을 가진 GM 냉동기만을 이용하여 비교적 간단하게 네온액화기를 제작하고 있다.

### 2. 냉각시스템의 기본구조

초전도 모터 냉각시스템의 기본구조는 Fig.1 과 같다. 이는 써모사이폰(thermosyphon)의 원리를 이용한 것으로 콜드헤드의 응축부에서 액화된 네온은 중력에 의해 비스듬히 경사진 관을 통해 증발부에 도달하고, 모터 회전자(rotor)의 증발부(evaporator)에서 증발하면서 네온의 증발잠열이 회전자 내부를 냉각시킨 후 다시 콜드박스(cold box)로 회수되는 구조이다. 고전적인 써모사이폰과 주된 차이점은 회전하는 증발부 영역과 회전하지 않는 액체유입 관을 연결하기 위한 결합장치(coupler)가 필요하다는 점이다. 본 연구에서는 1차적으로 콜드박스내에 증발부를 설치하여 네온액화기의 성능을 테스트 할 예정이다.

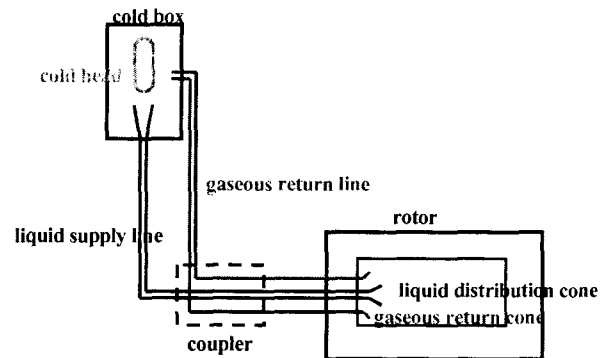


Fig. 1. Schematic diagram of refrigeration system

### 3. 네온액화기 설계

가스네온을 냉동기에 직접 접촉시켜 네온의 비등점인 27.1 K 까지 냉각하여 액화시키기 위해서는 냉동기의 성능이 결정 되어 있으므로 상온으로부터 유입되는 전도(conduction), 대류(convetion), 복사(radiation) 열손실을 최대한 줄일 수 있는 단열구조여야 한다. 또한 콜드헤드(cold head)가 효과적으로 네온을 액화시킬 수 있도록 설계해야 한다. 네온액화기의 기본 구조는 Fig.2와 같다.

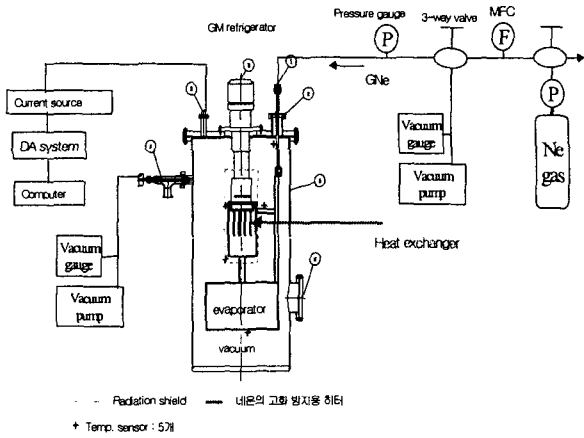


Fig. 2. Schematic diagram of neon liquefier system

Rotor의 작동온도는 25-30K이고 예상되는 열부하(heat load)는 20-30W 이므로 40W @25K의 냉동성능을 가진 GM냉동기(Leybold Vakuu GmbH 사, RGS 120T)를 선택하였고 냉동기의 성능곡선은 Fig. 3 과 같다.

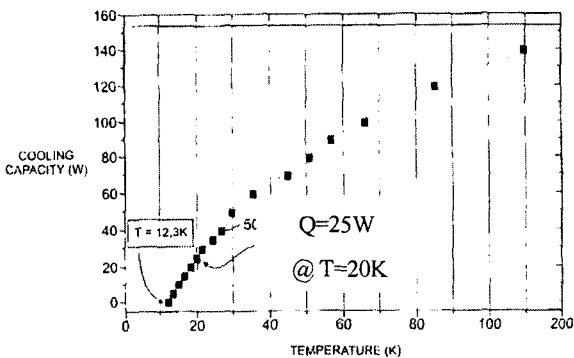


Fig. 3. Cooling capacity of GM cryocooler

콜드헤드의 하단에는 열전도율이 높은 무산소동(OFFHC)으로 제작된 열교환기를 설치하여 가스네온의 접촉면적을 증가시켜 보다 빠르고 효율적인 네온 응축을 수행하도록 설계하였다. 본 연구에서 제작한 2가지 열교환기를 Fig. 4에 나타낸다. 하나는 무산소동을 블록형상으로 직접 가공하여 핀(fin)과 플레이트(plate)가 일체형인 것과, 다른 하나는 플레이트에 핀을 용

접하여 붙인 형상이다.

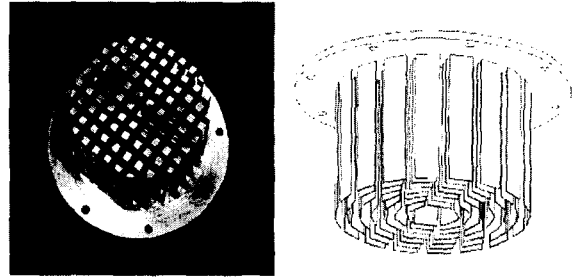


Fig. 4. Heat exchangers

열교환기에서의 응축현상은 응축유량이 크지 않으므로 이상적으로 액적응축의 가능성이 높으나, 보수적인 관점에서의 해석 및 설계를 위해 층류 막응축으로 해석하여 설계하였다. 또한, 열교환기와 콜드헤드와의 접촉이 완전하지 않으면 열저항으로 인해 적절한 냉각이 어려우므로 콜드헤드와 열교환기의 결합시 열저항을 최소화하기 위해서 인듐판(indium foil)을 이용하여 빈틈없이 결합하여야 한다. 또한 열교환기의 온도가 네온의 빙점이하로 떨어져서 네온이 어는 것을 방지하기 위하여 히터(heater)를 설치하여야 한다.

액화용기와 증발부는 모터의 냉각을 위한 네온의 양을 충분히 수용할 수 있는 크기로 설계되어야 하고 네온가스가 새지 않도록 인듐와이어 등을 이용하여 결합한다. 또한, 증발부에 적절한 열부하를 주기 위하여 히터를 장착하여야 하고 액체네온의 과도한 증발로 인해 고압이 되는 것을 방지하기 위하여 적절한 압력에 가스가 배출되는 릴리프 밸브가 필요하다.

외부로부터의 대류 열손실 최소화를 위하여 콜드박스에는 진공펌프를 이용하여  $1.5 \times 10^{-5}$  torr 정도로 진공을 유지하였다. 또한 액화용기 외측에 초단열재(MLI:multi-layer insulation)로 감싸 복사열손실을 최소화 하여야 한다.

### 4. 성능실험 및 결과

네온 액화실험에 앞서 먼저 냉동기에 인듐판 없이 열교환기를 장착하여 무부하 상태에서 냉동기의 성능실험을 수행하였다. Fig. 5에 실험장치를 나타낸다. 실리콘 다이오드 온도센서를 콜드헤드의 상, 중, 하단에 붙여서 각각의 온도를 측정하였다. 그 결과를 Fig. 6에 나타낸다.

약 40분 경과 후 절대온도 20K에 도달하였으며 이는 냉동기 제조사의 성능 자료와 일치하였다. 열교환기의 최저 도달온도는 18.9K였고, 인듐판과 복사실드 없이 체결한 결과이므로 추후에 인듐판과 복사실드를 이용하여 결합 후에는 좀 더 빠르고 더 낮은 온도로 냉각 될 것이라고 사료된다.

또한 제공된 냉동기의 성능 자료는 열손실이 전혀 없을 때의 결과이므로 본 실험의 콜드박스의 단열시스템은 적절한 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

100 hp급 고온초전도 모터의 회전자 냉각을 위해 GM 냉동기를 이용한 네온 액화시스템을 설계, 제작중이다.

열손실을 최소화하기 위하여 전도, 대류, 복사 손실을 최대한 줄일 수 있는 설계가 고려되어야 하며, 냉동기에 직접 네온가스를 접촉시켜 액화시키기 위해서는 냉동기의 성능과 열교환기의 적절한 설계가 요구된다. 1차적으로 콜드박스 내에 증발부를 설치하여 네온액화기의 성능을 테스트 할 예정이며, 현재 콜드박스과 열교환기의 제작은 완료되었으며, 무부하 실험결과 콜드박스의 단열시스템은 적절한 것으로 판단된다. 액화용기와 증발부의 제작은 현재 진행 중이다.

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Richardson and Tavner, "Neon liquefaction system for high Tc experiments", Cryogenics, Vol. 35, pp 195 - 198, 1995
- [2] M. Frank et. al. "Cooling System for Siemens 400kW HTS Synchronous Machine", ASC2002 contribution, 2LB04, 2002
- [3] David Madura, et. al. "Test Results of a 500HP HTS Motor", The Applied Superconductivity Conference, 2LB02 , 2002

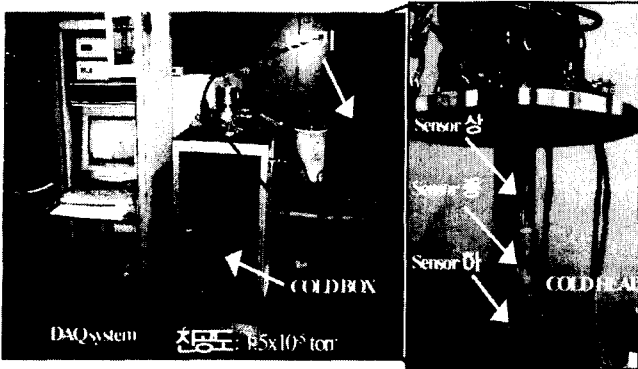


Fig. 5. Experimental apparatus for cool-down characteristics of GM cryocooler

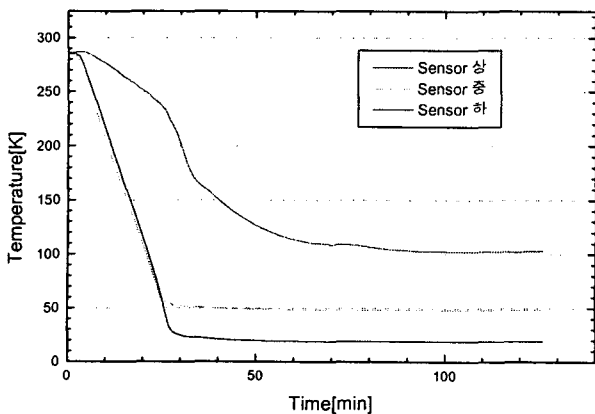


Fig. 6. Cool-down characteristics of GM cryocooler without load