

대형 열진공챔버용 극저온 모사장치 개발

이상훈*, 조혁진**, 서희준***, 문귀원****, 최석원*****

Development of Cryogenic System for a Large Vacuum Chamber

Sang-Hoon Lee*, Hyok-jin Cho**, Hee-Jun Seo***,
Guee-Won Moon****, Seok-Weon Choi*****

Abstract

The space environment is characterized such a severe condition as high vacuum and very low temperature. Since a satellite will be exposed such a space environment as soon as it goes into the its orbit, thermal vacuum test should be carried out to verify the performance of the satellite on the ground under the space environmental conditions. KARI has a thermal vacuum chamber with useful dimensions of $\Phi 3.6m \times L3m$, in which KOMPSAT-1 and KOMPSAT-2 satellites were tested. But very large thermal vacuum chamber with useful dimensions of $\Phi 8m \times L10m$ has been needed to meet the future demand of large satellites. Generally, the thermal vacuum chamber can be divided into a vacuum system and a thermal system. Especially, a cryogenic system in the thermal system simulates very low temperature of $-196^\circ C$ under the high vacuum condition. In this paper, we propose the new cryogenic system can be applied to the future large thermal vacuum chamber.

초 록

우주환경은 고진공 환경과 태양 복사열에 의한 고온 환경 및 극저온이 반복되는 가혹한 환경으로 특징지어 진다. 위성체는 지상에서 발사되어 우주궤도에 진입한 순간부터 가혹한 우주환경에 노출되어 위성체의 주요부품에 기능장애가 발생하여 결국 임무의 실패로 이어 지기도 한다. 따라서 위성체는 지상에서 우주환경시험을 거쳐 기능 및 작동상태를 점검해야 한다. 한국항공우주연구원에서는 $\Phi 3.6m \times L3m$ 규모의 열진공챔버라 불리는 우주환경 모 사장비를 보유·운용 중이나, 정지궤도 위성과 같은 대형 위성체의 시험을 위해 2005년 완 공을 목표로 $\Phi 8m \times L10m$ 급의 대형열진공챔버를 국산화 제작하고 있다. 통상 열진공챔버는 크게 진공계와 열제어계로 구분되어 질 수 있는데, 특히 열제어계에서 극저온 모사장치는 LN2를 쉬라우드 내부에 순환시킴으로서 $-196^\circ C$ 의 극저온을 모사하는 시스템을 말한다.

본 논문에서는 국산화 대형열진공챔버의 열제어계에 적용할 극저온 모사장치의 개발 방 안에 대하여 연구하였다.

* 우주시험그룹/leesh@kari.re.kr

*** 우주시험그룹/seohj@kari.re.kr

***** 우주시험그룹/schoi@kari.re.kr

** 우주시험그룹/wittycho@kari.re.kr

**** 우주시험그룹/aeromoon@kari.re.kr

1. 서론

국가 우주개발 중장기 계획에 따르면 2003년부터 2015년 까지 다목적실용위성 7기, 과학위성 4기, 통신해양기상위성을 포함한 정지궤도 위성 4기 등 총 15기의 위성 개발 계획을 갖고 있다. 이러한 위성들은 지구의 대기, 해양, 기상 등을 관측하고, 우주환경의 측정 및 각종 실험 등을 수행하며, 안정적인 통신 방송 서비스를 제공하는 역할을 하게 될 것이다.

우주환경은 고진공 환경과 태양 복사열에 의한 고온 환경 및 극저온이 반복되는 가혹한 환경으로 특징지어진다. 위성체는 지상에서 발사되어 우주궤도에 진입한 순간부터는 계속해서 우주 환경에 노출되며 이러한 가혹한 우주환경에 의해서 위성체의 주요부품에 기능장애가 초래되기도 하며 이는 결국 임무의 실패로 이어지기도 한다. 따라서 위성체는 지상에서 우주환경시험을 거쳐 기능 및 작동상태를 점검해야 하며, 이를 위해서는 우주환경을 모사 할 수 있는 우주환경 모사장비가 필요하다. 한국항공우주연구원에서는 $\phi 3.6m \times L3m$ 규모의 열진공챔버라 불리는 우주환경 모사장비를 보유·운영 중이나, 정지궤도 위성과 같은 대형 위성체의 시험을 위해 2005년 완공을 목표로 $\phi 8m \times L10m$ 급의 대형열진공챔버를 국산화 제작하고 있다[1-2]. 통상 열진공챔버는 크게 진공계와 열제어계로 구분되어 질 수 있는데, 특히 열제어계에서 극저온 모사장치는 LN2를 쉬라우드 내부에 순환시킴으로써 $-196^{\circ}C$ 의 극저온을 모사하는 시스템[2]을 말한다.

본 논문에서는 국산화 대형열진공챔버의 열제어계에 적용할 극저온 모사장치의 개발 방안에 대해 연구하였다.

2. 극저온계

2.1 GN2 & LN2 모드 시스템

그림1은 현재 한국항공우주연구원에 설치되어 사용 중인 $\phi 3.6m$ 의 열진공챔버를 나타내며, 그림 2는 열진공챔버의 극저온계 구성도를 나타낸다.

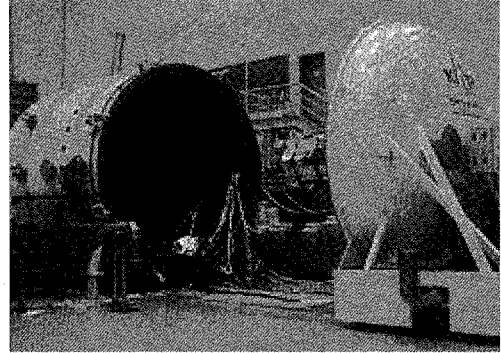


그림 1. 열진공챔버

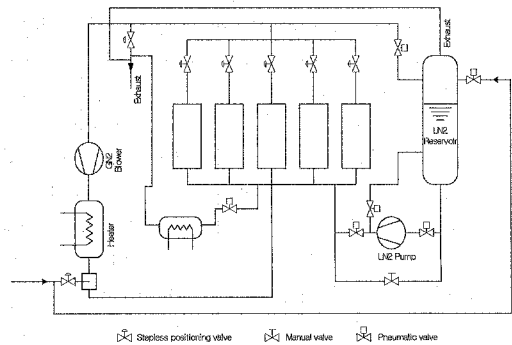


그림 2. 극저온 모사장치 개념도((GN2 & LN2 mode, $\phi 3.6m \times L3m$ Chamber)

기존 열진공챔버에서는 LN2 탱크로부터 유입되어 기화된 GN2(Gaseous Nitrogen)를 전기히터와 GN2 블로어(blower)를 이용하고 PID 제어로 쉬라우드를 $-160^{\circ}C$ 까지 냉각한다. 쉬라우드가 $-160^{\circ}C$ 정도로 냉각이 되면 GN2의 공급을 중단하고 reservoir에 LN2를 공급한다. LN2가 reservoir 용적의 30% 이상 채워지면 LN2 pump를 이용하여 저장소(reservoir or phase separator)의 LN2를 shroud에 공급하여 챔버 내부를 $-190^{\circ}C$ 이하의 우주 냉암흑으로 모사한다.

2.2 LN2 모드 시스템

대형열진공챔버에 적용될 LN2 모드 시스템은 기존 챔버의 극저온계에서 고가의 GN2 system를 제거한 후, 초기에 LN2를 공급할 때

에는 LN2 Tank의 고압을 이용하고, 쉬라우드가 극저온으로 떨어진 이후에는 LN2 펌프를 이용한다.

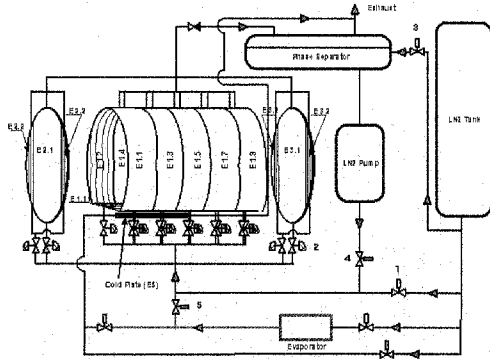


그림 3. 극저온 모사장치 개념도(LN2 mode, $\phi 8m \times L10m$ Chamber)

만들어진 덤플 쉬라우드 샘플로서, SUS304L 재질로 제작이 되었다.

쉬라우드의 설계 및 제작에 있어서는 제품의 신뢰성 확보가 무엇보다 중요하다. 특히, 쉬어우는 진공용기의 내부에 설치되므로 누설에 대한 엄격한 검사가 요구된다. 또한 LN2가 쉬어우드를 냉각함으로 쉬어우드 자체의 변형 및 저온 수축으로 인한 누설의 발생 여부를 확인하여야 한다. 그림 6은 쉬어우드 제작시 거쳐야 하는 검사항목과 순서를 나타낸다[3].

3.2 쉬라우드 샘플 헬륨 누설시험

앞서 언급한 바와 같이 쉬어우드의 누설은 진공챔버의 진공도에 영향을 미치기 때문에 엄격한 누설검사가 요구되며, 이를 위해 헬륨 누설탐지

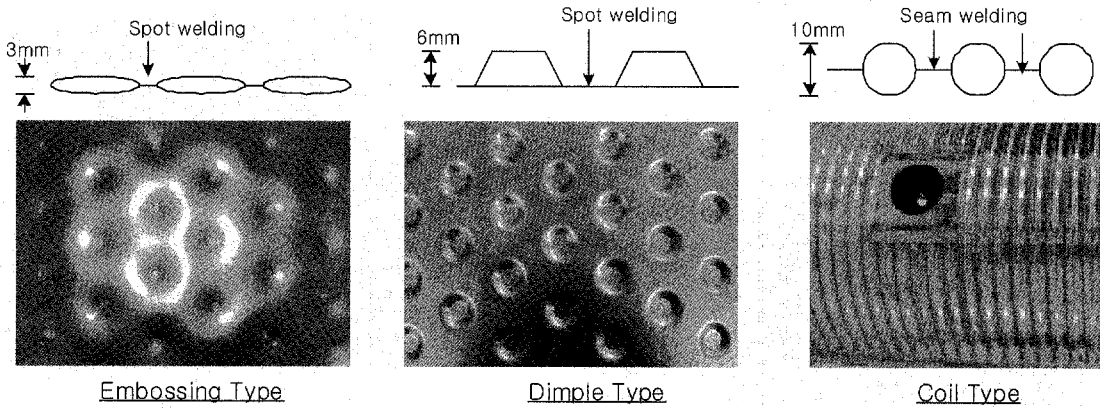


그림 4. 여러 가지 쉬어우드 형태

3. 쉬어우드 시스템

3.1 쉬어우드 설계 및 제작

열제어계의 구성에서 먼저 고려되어야 할 점은 쉬어우드의 제작으로, LN2가 흐르는 유로의 형태에 따라 그림 4와 같은 세 가지 형태로 구분된다. 그림 5는 대형열진공챔버 제작에 선행하여

기(He Leak Detector)가 사용되었다. 그림 7은 쉬어우드에 대한 누설검사를 위한 장치 구성을 보여준다. 보통 후드법(hood test)라고 불리는 이 방법은 터보분자펌프로 쉬어우드 내부를 진공으로 만들어 대기압 상태인 외부 비닐 후드 속의 헬륨이 누설부위를 찾아 쉬어우드 내부로 들어가게 하여 누설을 찾는다.

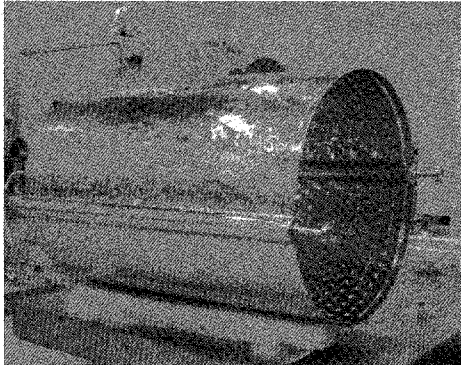


그림 5. Dimple 쉬라우드 샘플

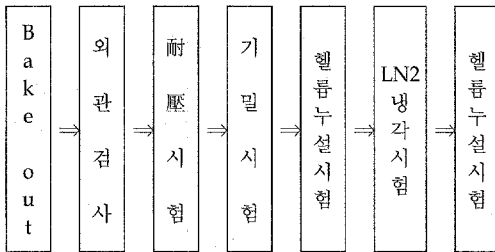


그림 6. 쉬라우드 시험 절차

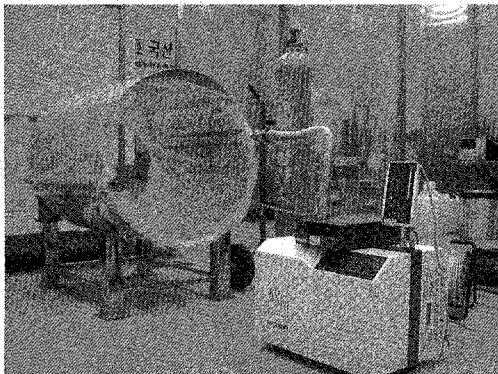


그림 7. 쉬라우드 헬륨 누설시험(Hood법)

그림 8은 세 가지 쉬라우드에 대한 누설검사 결과를 나타낸다. 결과에서 보듯이 embossing과 dimple 쉬라우드의 경우 초기 누설율이 2×10^{-9} mbar ℓ /s인데 비해 헬륨 투입시 누설율이 6×10^{-9} mbar ℓ /s로서 누설이 거의 없다고 판단할 수 있

다. 그러나 coil 쉬라우드의 경우 헬륨 투입시 누설율이 2×10^{-6} mbar ℓ /s까지 상승하여 프로브법(probe test)으로 용접부위별로 세밀한 검사(그림 9)를 재 실시하여 쉬라우드 상부 용접부위에 누설이 있음을 확인하였다[4-5].

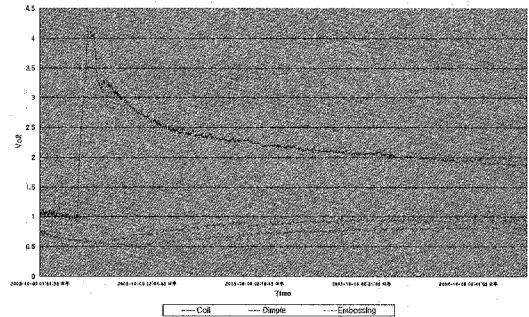


그림 8. 쉬라우드 누설시험 결과

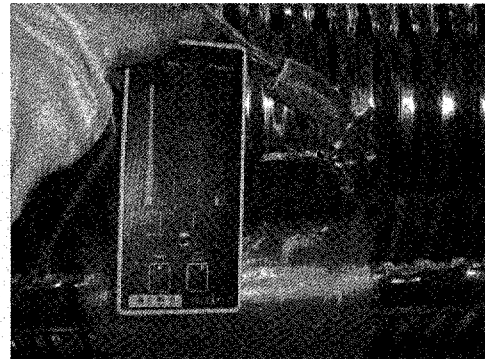


그림 9. Coil 쉬라우드 누설탐지 결과

3.3 쉬라우드 샘플 LN2 냉각 시험

대형 열진공챔버의 극저온계를 구성할 쉬라우드의 냉각 시험 및 극저온 모사 성능 확인을 위하여 그림 10과 같은 장치를 설계, 제작하였다. 쉬라우드 샘플은 진공용기 내부에 설치되어 10^{-5} Torr 이하의 진공환경에 놓이게 되며, 탱크로부터 공급된 LN2는 저장소를 거쳐 쉬라우드에 공급되었다.

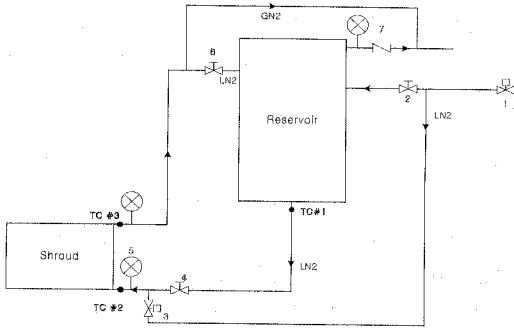


그림 10. LN2 냉각시험 개념도

그림 10의 장치에서 쉬라우드의 냉각을 위해서 먼저 저장소에 LN2를 채움과 동시에 약 $5\sim 6\text{kg/cm}^2$ 의 압력을 가진 LN2로 쉬라우드를 예냉각 한 후(3번 밸브 이용), 저장소의 LN2를 쉬라우드에 공급(4번 밸브 이용)하는 방식을 이용하였다. 이때, 온도 분포를 파악하기 위하여 그림 11과 같이 쉬라우드 상에 열전대(thermocouple)를 부착하였다.

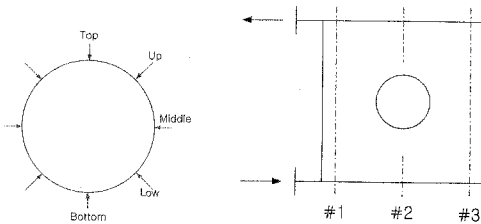
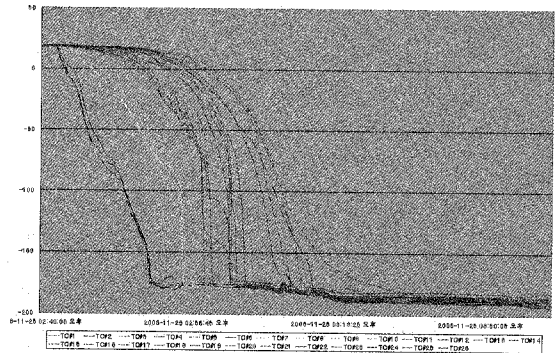


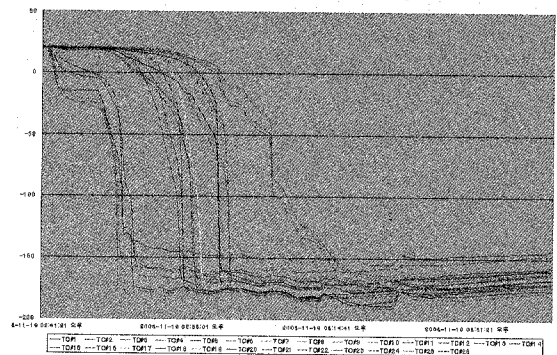
그림 11. 열전대 위치

3.4 LN2 냉각시험결과

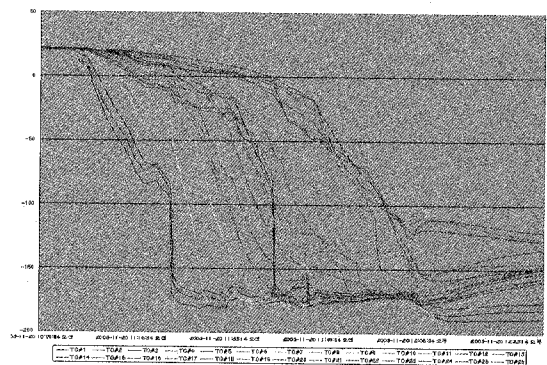
3.3절의 쉬라우드 샘플 LN2 냉각시험 결과를 그림 12에 나타내었다. 초기 $5\sim 6\text{kg/cm}^2$ 의 압력으로 LN2를 공급할 경우, 쉬라우드 하단부에서 상단부로 냉각이 진행되었으며, 불과 20여분 내에 쉬라우드 전체가 -170°C 이하로 예냉이 되었다. 이후 저장소에서 LN2가 가해지는 압력없이 그 자중만으로 공급이 될 때도 쉬어우는 극저온 상태를 유지하고 있음이 잘 나타나며, 특히 이중에서 dimple 쉬라우드의 특성이 매우 뛰어난 것을 확인하였다.



(a) Dimple shroud



(b) Embossing shroud



(c) Coil shroud

그림 12. 진공챔버 내 쉬라우드 냉각시험 결과

그림 13은 coil 쉬라우드 샘플의 LN2 냉각 시험 도중의 챔버 내부 압력 변화로 $5\sim 6\text{kg/cm}^2$ 로 LN2를 공급하는 순간 챔버 내부 압력이 7×10^{-6} Torr에서 5.5×10^{-5} Torr로 상승함을 알 수 있다.

이는 상온, 상압의 누설검사에서 누설율이 2×10^6 mbar l/s로 판명되어 찾아낸 쉬라우드 상부 용접부위에서의 누설이 실제 진공용기의 압력 형성에 영향을 끼침을 보여준 것이라 판단된다.

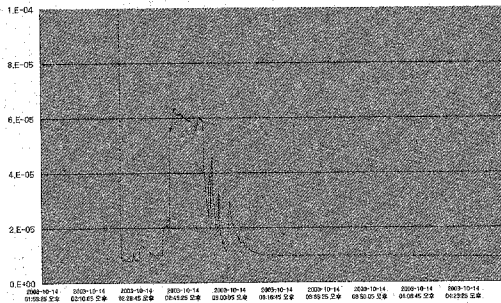


그림 13. 쉬라우드 리크로 인한 챔버 내부 압력변화

1. 서희준, 조혁진, 이상훈, 문귀원, 최석원. "정지궤도 위성용 대형열진공챔버 설계", 한국항공우주학회 춘계학술발표회 논문집, 2003.
2. Guee-Won Moon, Sang-Hoon Lee, Hyokjin Cho, Hee-Jun Seo, Seok-Won Choi "Shroud system designing for Large Thermal Vacuum Chamber", IEST, 2003.
3. 北山尙男牛島, 勇服後盛長, 澤田勇村田, 13mφ 스페이스チャンベ, NASDA, 1990.
4. 정석민, 이진원, 박종윤. "진공과학입문", 청문각, 2001, pp353-379.
5. 주장현, "진공기술실무", 성원에드워드(주) 진공기술연구소, 2001, pp186-206.

4. 결 론

본 논문에서는 대형열진공챔버를 국산화하는데 필요한 극저온계의 개발에 관해 논의하였다. 개발된 쉬라우드는 극저온 유체를 순환시켰을 때 뛰어난 온도 분포 특성을 나타내었으며, 극저온을 잘 모사할 수 있다고 판단된다.

또한 쉬라우드의 제작과정에서 거쳐야 하는 헬륨 누설시험을 통해 발견된 누설부위가 진공용기의 압력변화에 영향을 미치게 됨을 확인하였다. 따라서 쉬라우드의 국산화를 위해서는 제작 전후에 철저한 검증 작업이 병행되어야 하며, 극저온의 LN2 유입시 쉬라우드의 저온 변형 및 수축으로 인한 누설 문제 해결도 과제이다.

이러한 문제의 해결을 위하여 쉬라우드 형태의 변경, LN2 모드 시스템에 저온의 GN2를 먼저 공급하도록 하여 쉬라우드를 예냉시키는 방법 등을 적용한 연구를 계속할 예정이다.

참 고 문 헌