

# 열상장비용 스테링 극저온 냉동기 특성평가 (N) : 진동, 소음, 누설시험

박성제, 홍용주, 김효봉, 김양훈\*, 최상규, 나종문\*\*  
한국기계연구원, \*부산대학교 대학원, \*\*서라벌대학

## The performance evaluation of Stirling cryocooler for thermal imaging system (N) : Vibration, Noise, Leak test

S.J.Park, Y.J.Hong, H.B.Kim, Y.H.Kim\*, S.K.Choi, J.M.Na\*\*  
Korea Institute of Machinery & Materials, \*Pusan National University,  
\*\*Sorabol College

sjpark@kimm.re.kr

**Abstract** - This paper presents the results of a series of performance tests for the Stirling cryocooler. A free piston and free displacer(FPFD) Stirling cryocooler for cooling infrared and cryo-sensors is currently under development at KIMM. Our coolers are specifically designed to work in the thermal imaging device and to meet requirements such as cooling capacity, COP and high reliability. In this work, Stirling cryocooler is designed, manufactured and fabricated, and performance characteristics for the vibration, acoustic noise, EMI and leak rate are evaluated. Vibration outputs are measured to 20kHz for compressor and expander, respectively. And, the objective of noise test is a noise level, less than 30dB at 5 m. EMI tests are carried out according to the standard MIL-STD-461C tests RE01 and RE02. Leak test for the Stirling cryocooler is performed by bombing method.

### 1. 서 론

적외선 영상은 감소된 시계(가시도)에서의 야간 작동 또는 목표물 획득을 위해 다양한 군사적인 응용에 이용된다. 여러 가지의 응용분야에는 지상 감시(ground-based surveillance), 무기 야간 조준(weapon night sights)과 운전자 시야(driver's vision) 향상기(enhancer), 비행기 항해/조종과 표적(targeting) 시스템, 탱크와 해군 자체 방어를 위한 화재 제어 시스템, 정밀 미사일 유도(수색기), 그리고 전술 전략적인 감시와 미사일 방어 등을 포함한다.

군사이용 이외의 상업적인 적외선 카메라의 응용분야는 의료, 환경, 전자, 소방, 상태 모니터링 등이 있다.

적외선 검지기는 냉각형과 비냉각형으로 나누어지지만 냉각형 적외선 검지기의 온도 분해능이

높고, 장거리 관측이 가능하여 비이동형 군사용으로서는 주로 냉각형이 이용되고 있다.

적외선 영상 시스템은 적외선 검지기의 장수명에 비해 적외선 검지기 냉각용 극저온 냉동기의 수명이 짧아 전체 시스템의 수명을 제한하고 있다. 극저온 냉동기의 수명을 연장시키기 위해 여러 가지의 방안이 제안되어 상용화 되고 있지만 가격과 직접적인 관계가 있기 때문에 현재 국내 적외선 영상 시스템용 극저온 냉동기의 수명은 약 5,000시간이다.

국내에서는 1999년부터 (주)우영과 한국기계연구원이 공동으로 적외선 검지기 냉각용 스테링 극저온 냉동기 개발을 시작하였으며, 설계, 제작 및 성능 실험을 통해 기존의 외국 제품과 동등한 수준에 도달하게 되어 수명과 신뢰성에 대한 연구와 함께 스테링 극저온 냉동기의 상용화를 위해 군사규격에 따른 종합적인 시험이 필요하게 되었다.

시험과정은 아래와 같이 크게 4가지 분류로 나누어진다.

(1) 기본 시험 : 외관검사, 치수, 중량, 무게 중심, 절연/접지, 공급전원주파수, 공급케이블

(2) 성능시험 : 냉각능력/공급입력, 냉각시간, 진동, 누설율, 음향소음, EMI

(3) 환경시험 : 고온동작시험, 저온동작시험, 고온저장시험, 저온저장시험, 온도변화시험, 반복충격시험, 충격시험, 랜덤가진시험, 정현파가진시험

(4) 수명 및 신뢰성 시험 : MTTF

특히 열영상 장비에서 기계적 구동장치가 있는 부품은 스테링 극저온 냉동기 밖에 없기 때문에 야간 경비를 위해서는 진동, 소음과 EMI 등은 관측 위치가 드러날 수 있고 열영상 장비의 다른 부품의 수명에 영향을 주기 때문에 매우 중요한 시험 항목이고, 또한 스테링 극저온 냉동기를 장시간 보관 또는 사용할 때, 변함없는 성능을 보장하기 위해서는 무엇보다도 충전된 헬륨가스의 누설율을 최소화 하는 것이 결정적인 설계 요소이다.

따라서 본 연구에서는 적외선 센서 냉각용 스테링 극저온 냉동기의 개발 과정과 설계사양을 언급하고, 지금까지 수행된 성능시험중 진동, 소음, EMI 및 누설시험에 관한 시험결과를 제시하고자 한다.

## 2. 스테링 극저온 냉동기

Fig. 1은 FPPD(Free Piston Free Displacer) 스테링 냉동기의 3차원 도면을 보여주고 있다. 스테링 냉동기는 크게 압축부와 팽창부로 구분되어 있고, 압축부는 실린더, 피스톤, 코일과 마그넷 등으로 구성되어 있으며, 팽창부는 왕복기와 재생기, 왕복기 스프링과 팽창실린더 등으로 구성되어 있다.

피스톤은 코일 구동형(moving coil type)으로 작동되는 선형모터(linear motor)에 의해 구동되고, 이 피스톤은 가스압력을 발생하여 스프링으로 연결된 왕복기를 구동한다. 가스 스프링은 왕복기와 피스톤에 의한 작동과정이 이상적인 사이클에 가깝도록 조절한다. 냉동은 팽창공간에 연결된 저온부(cold end) 부근에서 발생하고, 왕복기는 피스톤 사이의 공간, 연결관(split tube)내

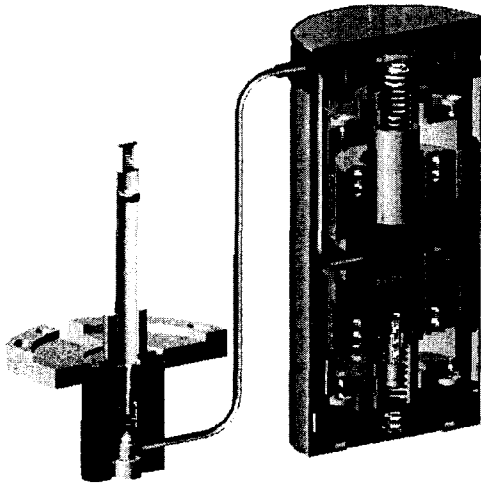


Fig. 1 3-D design of the Stirling cryocooler

공간과 왕복기의 고온부 공간으로 구성된 압축공간으로부터 팽창 공간 사이에 가스유동을 발생시킨다.

적외선 센서 냉각용 스테링 극저온 냉동기에 요구되는 사양을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Performance of cryocooler

Items	Specifications
Refrigerating cycle	Stirling cycle
Cooling power	0.8W at 80K(23℃)
MTTF	5,000hours
COP	0.03
Cooldown time	5min
Configuration	Split linear

## 3. 본 론

### 3.1 진동 시험

진동 시험은 기술시험 평가 항목 및 방법(열영상장비용 냉각기 결합체)에 의거하여 압축기 및 팽창기의 3축(X, Y, Z축)에 대해 20kHz까지 수행하였으며, 시험 규격은 진동출력이 압축기는 1.4 N<sub>rms</sub> 이하 이어야 하고, 팽창기는 4.3 N<sub>rms</sub> 이하 이어야 한다.

Photo 1은 진동시험장치를 보이고 있으며, Fig. 2는 스테링 극저온 냉동기 압축기와 팽창기에서의 3축(X, Y, Z축)에 대한 20kHz까지의 진동 출력의 결과를 보여주고 있다. 점선은 압축기의 진동출력의 한계를 보여주고 있으며, 실선은 팽창기의 진동출력의 한계를 보여주고 있는데, 기준 한계를 만족한 결과를 나타내고 있다.

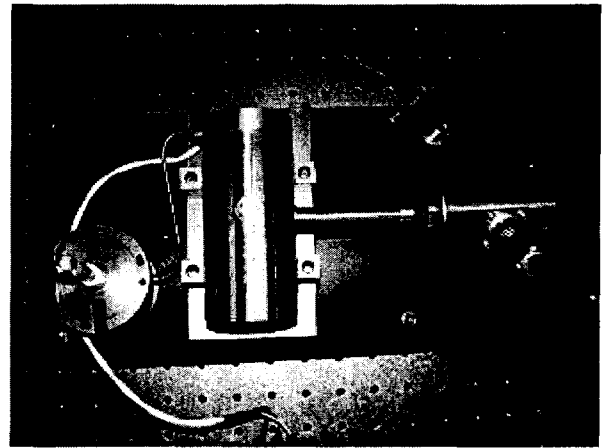


Photo 1 Vibration test

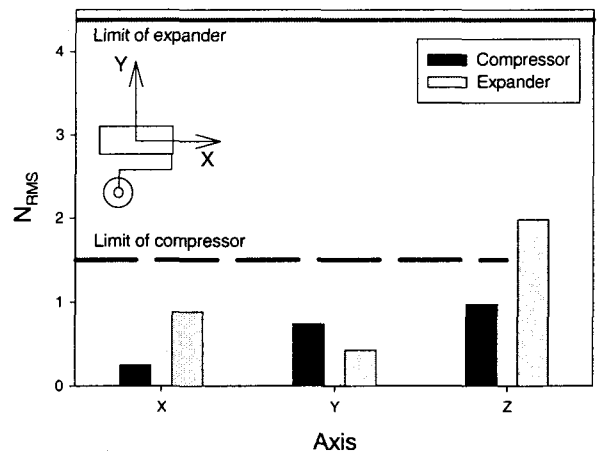


Fig. 2 Vibration characteristics

### 3.2 소음 시험

음향소음 시험은 제작된 스테링 극저온 냉동기 4대(Cooler #1, #2, #3, #4)를 무향실(한국기계연구원 소재)에 설치하여 냉각기로부터 5m

떨어진 지점에서 옥타브 밴드별로 음압을 측정하였으며, 허용 최대음압레벨과 시험 결과는 Table 2와 Fig. 3에 나타내었다. 스테링 극저온 냉동기 4대 모두 허용 최대음압레벨 이하의 결과를 보여 주었다.

Table 2 Test results of the acoustic noise

중심 주파수 (Hz)	최대음압 레벨(dB)	#1	#2	#3	#4
63	30	25.3	26.2	27.2	25.5
125	30	21.5	22.2	28.5	21.5
250	25	19.7	20.2	22.7	20.6
500	25	19.3	22.7	21.8	20.0
1000	25	17.7	22.7	21.3	16.9
2000	20	11.8	17.5	15.3	11.0
4000	20	10.4	19.4	12.5	13.4
8000	20	7.8	16.3	9.2	18.5

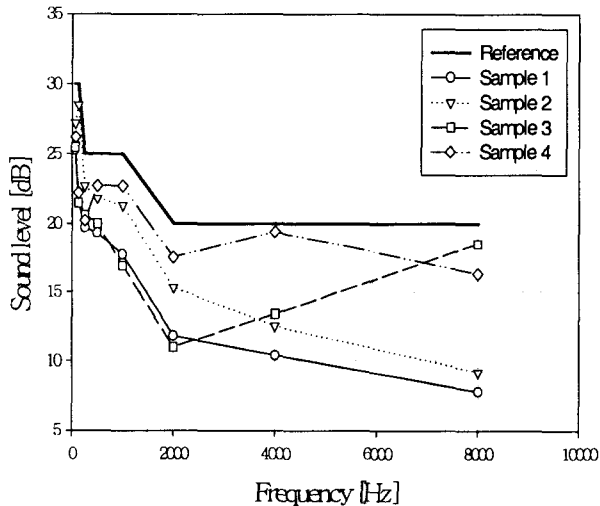


Fig. 2 Acoustic noise with octave band frequency

### 3.3 EMI 시험

EMI 시험은 Anechoic chamber내에 스테링 극저온 냉동기를 설치하여 MIL-STD-461C의 Test: RE01(자기방사 : Magnetic Radiation)과 Test: RE02(라디오파 방사 : Radio Emmissivity) 시험 기준에 의거하여 시험을 수행하였다.

Photo 2는 EMI 측정 시험실에 설치된 스테링 극저온 냉동기와 측정 안테나를 보여주고 있으며, Fig. 3과 Fig. 4는 MIL-STD-461C의 Test: RE01과 Test: RE02의 허용 한계치를 보여주고 있다. 시험 결과는 MIL-STD-461C의 Test: RE01과 Test: RE02의 허용 한계치 이

하를 만족하였다.

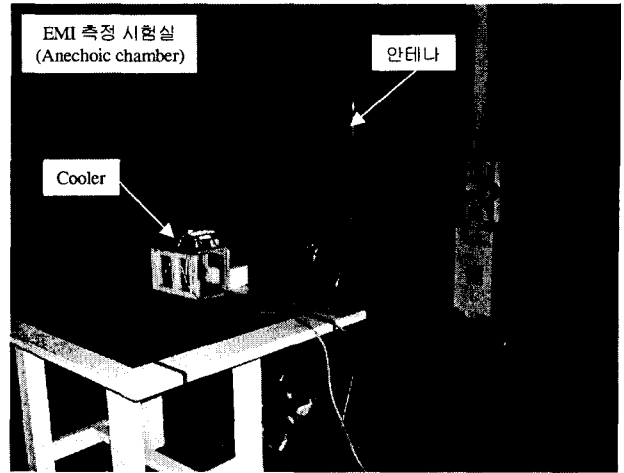


Photo 2 EMI test

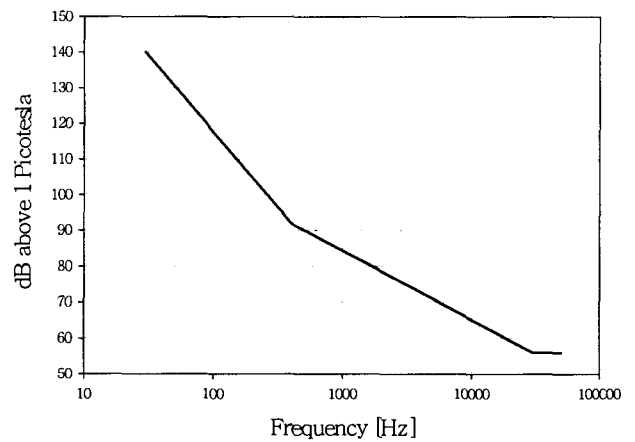


Fig. 3 Limit for RE01 (MIL-STD-461C)

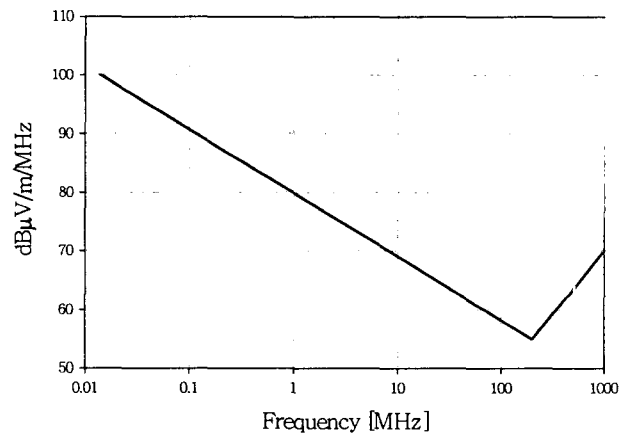


Fig. 4 Limit for RE02 Broadband emissions(MIL-STD-461C)

### 3.4 누설 시험

누설을 시험은 제작된 스테링 극저온 냉동기 7대(Cooler #1, #2, #3, #4, #5, #6, #7)에 대해 Bombing 방법으로 헬륨누설 측정기(Helium leak detector)를 통해 수행하였다.

헬륨누설 측정기를 통한 bombing 방법은 Fig. 5에 나타난 것처럼 헬륨이 충전된 냉각기

(압축기, 팽창기)를 진공 챔버에 넣은 후 진공 챔버를 헬륨누설 측정기와 연결하여 누설율을 측정하는 방식이다. 측정시 온도는 +23℃를 유지하였으며, 누설 시험시 시험용기의 진공도는  $4 \times 10^{-3}$  mbar이었다.

압축기 및 팽창기는 허용 누설율( $6 \times 10^{-9}$  Pa·m<sup>3</sup>/s) 이하를 유지하여야 한다.

누설율 시험에 대한 결과는 Table 3에 나타내었다. 스테링 극저온 냉동기 7대 모두 허용 누설율을 이하를 유지하였다.

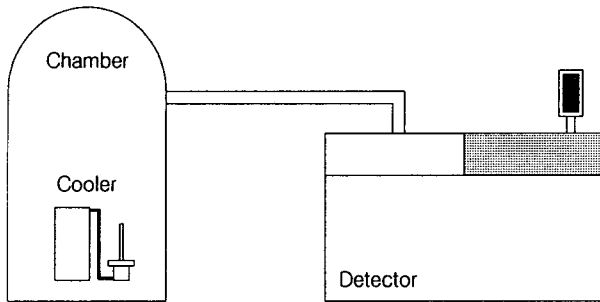


Fig. 5 Schematic diagram of the leak rate test by bombing method

Table 3 Test results for the leak rate of the Stirling cryocooler

냉각기	누설율
#1	$1.1 \times 10^{-9}$ Pa·m <sup>3</sup> /s
#2	$6.0 \times 10^{-9}$ Pa·m <sup>3</sup> /s
#3	$1.1 \times 10^{-9}$ Pa·m <sup>3</sup> /s
#4	$1.2 \times 10^{-9}$ Pa·m <sup>3</sup> /s
#5	$1.2 \times 10^{-9}$ Pa·m <sup>3</sup> /s
#6	$1.4 \times 10^{-9}$ Pa·m <sup>3</sup> /s
#7	$6.0 \times 10^{-9}$ Pa·m <sup>3</sup> /s

#### 4. 결 론

열상장비용 스테링 극저온 냉동기를 설계, 제작하여 MIL-STD-781C를 기반으로 한 기본, 성능, 환경 및 수명 시험의 일환으로 진동, 소음, EMI 및 누설에 대한 성능시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 압축기 및 팽창기의 3축(X, Y, Z축)에 대해 20kHz까지 진동출력 시험을 수행하였으며, 진동출력이 압축기는 1.4 N<sub>rms</sub> 이하, 팽창기는 4.3 N<sub>rms</sub> 이하로서 시험기준을 만족하였다.
- (2) 스테링 극저온 냉동기를 무향실에 설치하여 냉각기로부터 5m 떨어진 지점에서 옥타브 밴드별로 음압을 측정하였으며, 시

험 결과는 스테링 극저온 냉동기 4대 모두 허용 최대음압레벨 이하의 결과를 보여 주었다.

- (3) 스테링 극저온 냉동기를 EMI측정 실험실에 설치하여 MIL-STD-461C의 Test: RE01(자기방사: Magnetic Radiation)과 Test: RE02(라디오파 방사: Radio Emmissivity) 시험 기준에 의거하여 시험을 수행하였으며, 허용 한계치 이하를 만족하였다.

- (3) 헬륨누설 측정기를 이용하여 bombing 방법에 의해 누설시험을 수행한 결과 스테링 극저온 냉동기 7대 모두 허용 누설율을 이하를 유지하였다.

본 연구는 1999년도 민군겸용기술개발사업(99-DU-04-A-02)의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] A.K. De Jonge, "A Small Free-Piston Stirling Refrigerator", American Chemical Society, pp.1136-1141, 1979
- [2] 박성제 외, "충전압력 및 작동주파수 특성 연구에 의한 스테링 냉동기 개발", 한국초전도·저온공학회논문지, 3권 2호, pp. 62-68, 2001.
- [3] 홍용주 외, "스테링냉동기의 선형압축기 운전 특성에 관한 연구", 한국초전도·저온공학회논문지, 3권 2호, pp. 49-54, 2001.
- [4] 김효봉 외, "작동주파수와 연결관 길이 변화가 스테링 냉동기의 성능에 미치는 영향", 한국초전도·저온공학회논문지, 3권 2호, pp. 55-61, 2001.
- [5] S.J.Park, et al., "An experimental study on the cooling performance and the phase shift between piston and displacer in the Stirling cryocooler", Journal of KIAS, Vol. 5, No. 1, pp. 111-117, 2003.
- [6] 박성제, "진공 및 복사 단열에 의한 저온 유지 기술", 한국정밀공학회지, 19권 11호, pp. 9-17, 2002.
- [7] 홍용주, "초전도 필터 및 적외선 검지기 냉각용 극저온 냉동기", 한국정밀공학회지, 19권 11호, pp. 18-23, 2002.