

열상장비용 스테링 극저온 냉동기 특성평가 (Ⅲ) : 열환경시험

김양훈, 박성제*, 홍용주*, 김효봉*, 고득용*, 이승홍**, 니종문***
부산대학교 대학원, 한국기계연구원*, 부산대학교 기계공학과**, 서라벌대학***

The performance evaluation of Stirling cryocooler for thermal imaging system (Ⅲ) : Thermal environmental test

Y.H. Kim, S.J. Park*, Y.J. Hong*, H.B. Kim*, D.Y. Koh*, S.H. Lee**, J.M. Na***
Graduate Course of Pusan National University, Korea Institute of Machinery & Materials*
Pusan National University**, Sorabol College***

jhkim@kimm.re.kr

Abstract - This paper presents the results of a series of performance tests for the Stirling cryocooler. Infrared sensor systems incorporating cryocoolers are required to be qualified to the appropriate environmental specification.

Linear drive Stirling cryocooler have matured to the stage of undergoing formal qualification test program. The thermal environmental test of the Stirling cryocooler is presented in this paper. We performed that low and high temperature keeping test from -40°C to $+60^{\circ}\text{C}$ and operating test at high and low temperature cyclic range with acceptance tests performed at scheduled intervals. Cooling capacity was determined as a function of cooler components temperatures at the compressor, hot end and cold tip.

Tests performed on this cooler have been successful with a measured cooling performance of more than $0.8\text{W}@80\text{K}$ for 23°C ambient temperature with 40W_{ac} input power.

1. 서 론

스테링 사이클을 기반으로 하는 스테링 극저온 냉동기(Stirling Cryocooler)는 최저도달온도 및 냉동능력이 다른 냉동기에 비해 우수하여, 가스 액화장치로 상용화되었으며, 소형 스테링 냉동기는 주로 적외선 센서 및 전자장비의 냉각용(온도영역 : $30 \sim 100\text{K}$, 냉동능력 : $1 \sim 10\text{W}$)으로 사용되어지고 있다.[1]

적외선 센서는 냉각형과 비냉각형으로 구분되는데, 냉각형이 온도 분해능이 높고, 장거리 관측이 가능하며, 감도가 뛰어나기 때문에 군사용으로서의 야간투시경이나 감시, 조준 망원경 뿐만 아니라, 우주 산업, 의료 분야 등 다양한 분

야에서 널리 활용되고 있으며, 80K 이하의 극저온에서 사용되는 냉각형 적외선 센서는 주로 스테링 냉동기에 의해서 냉각된다.[2]

스테링 냉동기는 냉각온도, 냉동능력, 신뢰성 등 여러 측면에서 적외선검지기 및 고온초전도체의 냉각용 극저온 냉동기의 필요요건을 만족시키고 있어, 군사용, 민수용의 적외선 검지기 냉각용으로 활용되고 있다.

제2세대 열영상장비의 표준화를 위한 SADA(Standard Advanced Dewar Assembly)는 군 환경에서의 열영상 장비로서의 요구사항을 만족해야 하는데, SADA는 $-32^{\circ}\text{C} \sim 52^{\circ}\text{C}$ 의 혹한 및 혹서 환경에서도 스테링 극저온 냉동기가 4,000시간 이상을 동작하여야 하는 요구조건을 제시하고 있으며, 이 요구조건의 검증을 위해 $+71^{\circ}\text{C}$ 의 고온저장, -62°C 의 고온저장, 그리고 $-62^{\circ}\text{C} \sim +71^{\circ}\text{C}$ 의 온도변화(thermal shock)시험, 그리고 고온 및 저온 유지 중 동작 시험 후 스테링 냉동기의 성능평가를 명시하고 있다.[3]

적외선 센서 냉각용 스테링 냉동기의 신뢰성은 최소 냉각능력, 냉각시간, 입력전력, 누설 및 진동등에 의해서 결정되며[4], 기술적인 진보에 힘입어 군용 적외선 센서 냉동기의 경우 MTTF가 4000시간 이상 향상되고 있다.[5]

적외선 센서 냉각용 스테링 냉동기의 성능은 주위 온도에 민감하게 영향을 받게 되며, 열 환경 성능 시험의 목적은 작동 온도 조건의 변화에 대한 열상장비용 스테링 극저온 냉동기의 성능을 규정하는데 있다.

이에 본 연구에서는 열상 장비용 스테링 극저온 냉동기의 신뢰성을 확보하기 위한 절차의 일환으로서, 다양한 환경 조건에서 작동할 수 있는지의 열성능 평가를 하는데 주 목적이 있다.

2. 본 론

열 환경성능시험의 절차는 먼저 스테링 극저온 냉동기를 환경챔버에 넣고 시험하고자 하는 온도를 설정한 뒤, 스테링 극저온 냉동기가 안정

된 후에 성능측정을 수행한다. 고온 및 저온 저장 시험, 그리고 온도변화시험시의 주위온도 (-40°C/+60°C)에서의 측정 항목은 80K까지의 냉각 시간, 냉각중 저온부의 온도가 80K에 도달했을 때의 입력전력, 그리고 냉동능력평가이다.

2.1 고온, 저온 저장 및 온도변화 시험

고온 및 저온 저장 시험은 스테어링 냉동기를 냉각기 결합체에 부착 설치하여 고온저장 시험은 72시간 동안 환경챔버(JEIO Tech.)내의 온도가 +60±2°C로 유지시킨 상태에서 그리고 저온 저장 시험은 72시간 동안 환경챔버내의 온도가 -40±3°C로 유지시킨 상태에서 저장한 후, 냉각 특성을 시험전과 시험후 각각 비교 검토하였다.

냉각시간 측정은 AC 전력 공급 장치 (Chroma, Programmable AC Power Source, model 61603)로부터 스테어링 냉동기에 공급되는 인가전압이 10.2V하에서 80K에 도달하는 시간을 측정하였고, 그리고 냉동능력 측정은 80K에서 인가전압 40W 작동하에서 망가닌 와이어(LakeShore, MW-36 Wire)를 저온부 상단에 감아 그 때의 전류값을 이용하여 측정하였다.

Fig. 1과 2에 고온저장 시험을 위한 환경챔버내의 온도 변화와 고온저장 시험전과 후의 강온특성 결과를 나타내었으며, 시험전과 시험후의 냉각시간에는 차이가 없음을 알 수 있다. 냉동능력은 80K에서 약 0.9W정도이다.

Fig. 3 및 4는 저온저장 시험을 위한 환경챔버내의 온도 변화와 저온저장 시험전과 후의

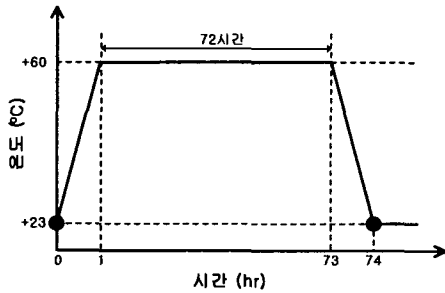


Fig. 1. Profile of the high temperature keeping test

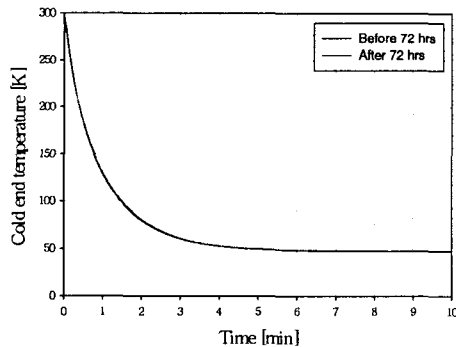


Fig. 2. Comparison of the cold end temperature before 72 hours keeping and after 72 hours keeping.

Table 1. Cooler performance summary

Test item		Time to 80K (sec)	Cooling capacity (W)
-40°C	before	118	0.93
	after	120	0.92
+60°C	before	126	0.93
	after	118	0.93
Temperature variation	before	120	0.93
	after	120	0.91

강온 특성 결과이며, 냉각시간은 고온저장 시험과 마찬가지로 차이가 없음을 알 수 있다.

고온 및 저온 저장 시험 전과 후의 80K 도달시간은 약 2분정도이며,

온도변화시험은 주위온도가 저온(-40°C, 3시간) → 고온(+60°C, 3시간) → 저온(-40°C, 3시간)의 5주기를 반복 수행하였으며, Fig. 5에 환경챔버 내의 온도 변화를 그리고 Fig. 6에는 시험전과 시험후의 강온특성을 각각 나타내었다.

온도변화 시험전과 시험후의 냉각특성을 평가한 결과 80K 도달시간은 2분정도이며, 냉동능력은 80K에서 약 0.9W정도이다.

이상 고온 및 저온 저장 시험 그리고 온도변화시험을 수행한 결과 열상장비용 스테어링 냉동기의 성능변화에는 큰 차이가 없으며, 열환경 조건을 만족한다고 할 수 있다.

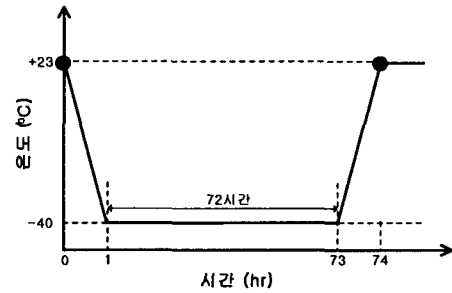


Fig. 3. Profile of the low temperature keeping test

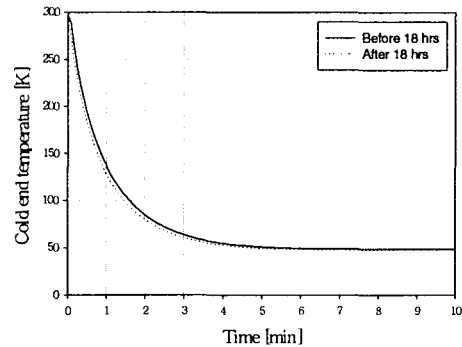


Fig. 4. Comparison of the cold end temperature before 72 hours keeping and after 72 hours keeping

Table 1에는 고온 및 저장시험, 그리고 온도 변화시험 전과 시험후의 냉동능력과 80K 도달시간을 각각 나타내었다.

2.2 고온 및 저온 동작시험

주위온도가 열상장비용 스테어링 냉동기의 성능에 미치는 영향을 고찰하고자 환경챔버내의 온도를 고온(+50℃)과 저온(-35℃)영역에서 스테어링 냉동기를 가동시키면서 그 때의 냉각특성을 검토하였다.

본 시험은 주위 온도 설정에 맞게 스테어링 냉동기의 구성요소 또한 주위 온도에 거의 일치한 상태에서 안정화 시킨 다음, 고온 및 저온에서의 스테어링 냉동기를 작동시 성능변화 고찰이다.

시험방법으로는 고온 및 저온 각각 18시간 동작 유지 중에 스테어링 냉동기 동작시험을 수행하였다. 고온 및 저온 온도변화구간은 1시간으로 하였고, 동작시험후 상온(+23℃)로 내리는 구간도 마찬가지로 1시간으로 설정하였다.

환경시험장치는 스테어링 극저온 냉동기의 저온부 온도뿐만 아니라 압축기 표면, 팽창기 고온부 및 냉각기 결합체의 온도를 T-type 열전대를 사용하여 측정하였고, 진공 듀어의 진공도, 스테어링 극저온 냉동기의 공급전력 등을 측정하여 데이터 수집장치를 통해 데이터를 수집하였다.

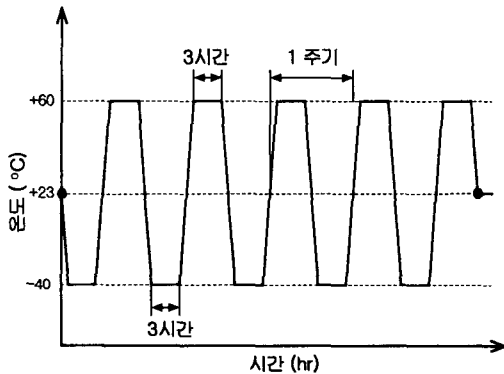


Fig. 5. Profile of the temperature variation test

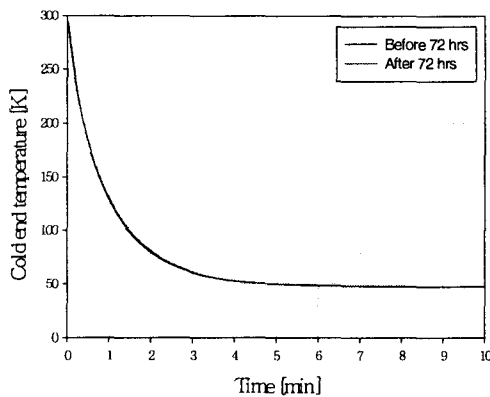


Fig. 6. Comparison of the cold end temperature before temperature variation test and after temperature variation

극저온 냉동기의 성능 시험을 위해 극저온 냉동기를 시험 듀어와 연결하고, 시험 듀어의 진공도는 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ torr 정도로 유지하였다.

Fig. 7은 고온동작 시험중의 압축기 표면, 팽창기 고온부 표면, 냉각기 결합체, 저온부의 온도특성을 각각 나타낸 것이다. 온도시험을 위해 냉동기와 주위온도 사이에 최대 15℃의 온도차 강제 열교환을 시켜주었다.

저온부의 온도가 고온동작 시간이 지남에 따라 약 2K정도 상승하고 있는데 이는 압축기 및 팽창기 고온부 표면의 온도상승으로 인한 전도에 의한 것으로서 장시간 작동시 스테어링 냉동기의 성능 저하에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

Fig. 8은 저온동작 시험중의 온도특성을 나타낸 것인데 냉동기 저온부의 온도가 약간 변동하는 현상을 나타내고 있다. 이때 시험은 스테어링 냉동기로 공급되는 입력전력을 저온부 온도제어를 수행하지 않고 일정하게 유지하였다. 이와 같은 저온부 온도변화는 저온의 경우 진공배관 연결부에서 변형이 발생하여 누설이 발생하였고, 이로 인해 진공듀어 내부의 진공도의 큰 변화가 발생하여, 고온의 주위로부터의 전도열전달로 인한 열침입의 증가로 인한 것으로 판단된다.

고온 및 저온 동작시험 전과 시험 후에 측정 한 80K 도달시간과 냉동능력을 Table 2에 각각

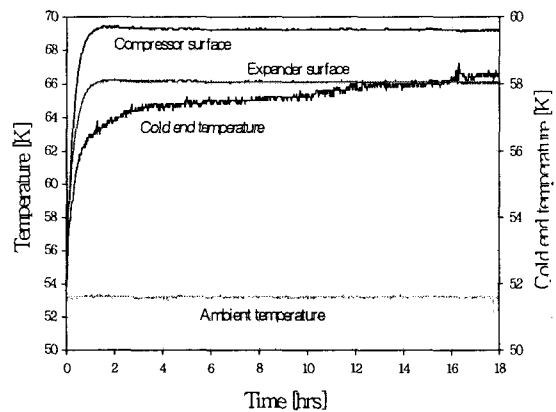


Fig. 7. Environmental temperature during high temperature operation.

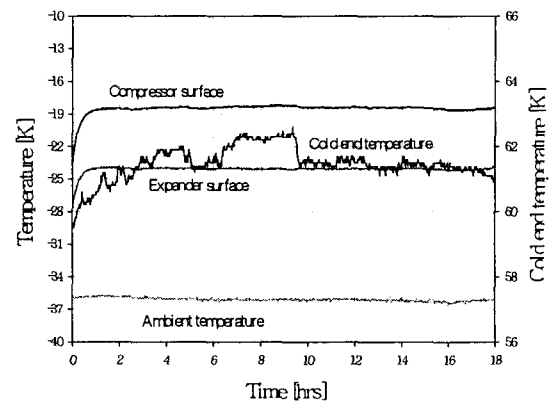


Fig. 8. Environmental temperature during low temperature operation.

Table 2. Cooler performance summary

[참 고 문 헌]

Test item		time to 80K (sec)	cooling capacity (W)
+50℃	before	121	0.95
	after	110	0.95
-35℃	before	110	0.95
	after	130	0.86

나타내었고, 주위온도가 고온(+50℃) 및 저온(-35℃)인 경우 스테링 냉동기의 냉동능력은 공급전력 40W하에서 80K에서 냉동능력이 0.9W, 80K 도달시간은 약 2분 10초이다.

3. 결 론

이상과 같이 열상장비용 스테링 극저온 냉동기의 열환경성능 시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 열환경 시험(고온 및 저온 저장 시험, 온도변화 시험, 고온 및 저온 유지시 스테링 냉동기 작동 시험) 결과 스테링 냉동기의 냉각특성에는 시험전과 시험후에 큰 변화가 없음을 알 수 있었고, 80K 도달시간은 2분, 냉동능력은 0.9W@80K 이다.

(2) 저온부의 온도가 고온동작 시간이 지남에 따라 온도가 상승하고 있는데 이는 압축기 및 팽창기 고온부 표면의 온도상승으로 인한 전도에 의한 것으로서 장시간 작동시 스테링 냉동기의 성능 저하를 야기한다.

(3) 저온동작 시험중 저온부의 온도가 약간 변동하는 현상을 보여주고 있는데, 이는 저온의 경우 진공배관에서 재료들이 견디지 못해 진공도가 떨어짐으로 인한 것이다.

[1] Y. J. Hong, S. J. Park, H. B. Kim, H. K. Yeom, The Numerical Analysis of Performance of the Stirling Cryocooler, KIASC Conference 2002, pp. 181-184. 2002

[2] S. J. Park, Y. J. Hong, H. B. Kim, B. K. Yu, K. B. Lee, Reliability Test of the Stirling Cryocooler for cooling infrared detector, KIASC Conference 2003, pp. 156-159. 2003

[3] W.E. Salazar, Status Report on the Linear Drive Coolers for the Department of Defence Standard Advanced Dewar Assembly(SADA), 12th International Cryocooler Conference, 2002

[4] S.W.K. Yuan, D.T. Kuo, A.S. Loc, and T.D. Lody, Experimental Performance of the BEI One Watt Linear(OWL) Stirling Cooler, Advance in Cryogenic Engineering, Vol. 43, pp. 1855-1861, 1998

[5] S.W.K. Yuan, D.T.Kuo, and T.D. Lody, CMCEC Life Test Results and Related Issues, 12th International Cryocooler Conference, 2002