

## 작동주파수와 연결관 길이 변화가 스테링 냉동기의 성능에 미치는 영향

### The effect of the operating frequency and the length of the split tube on the performance for the Stirling cryocooler

김효봉\*, 박성제\*, 홍용주\*, 고득용\*, 김종학\*\*, 유병건\*\*, 박종호\*\*\*

H. B. Kim\*, S. J. Park\*, Y. J. Hong\*, D. Y. Koh\*, J. H. Kim\*\*, B. K. Yu\*\*, J. H. Park\*\*\*

**Abstract** : A free piston and free displacer (FPFD) Stirling cryocooler for cooling infrared and cryo-sensor is currently under development at Korea Institute of Machinery & Materials. The FPFD Stirling cryocooler consists of two compressor pistons driven by linear motors which make pressure waves and a pneumatically driven displacer piston with regenerator. It is the most suitable design for a mechanical cryocooler utilized in night vision environment. In this study, performance test of the Stirling cryocooler with different length of the split tube and operating frequency were performed to get characteristics of the cryocooler.

**Key Words** : Stirling refrigerator, linear compressor, frequency, displacer, regenerator

표 1. 극저온 냉동기의 설계 사양 및 성능  
Table 1. Design specifications and performance of cryocooler

Items	Specifications
Refrigerating cycle	Stirling cycle
Operating frequency	50Hz
Cooling power	0.5W at 77K
MTTF	5,000hours
COP	0.03
Cooldown time	5min
Configuration	Split linear

와 재생기(regenerator), 변위기 스프링과 팽창 실린더 등으로 구성되어 있다.

## 1. 서 론

최근에 적외선 센서 및 고온 초전도체 등의 저온센서 냉각과 관련하여 액체질소 온도(77K) 부근의 냉각장치 수요가 급증하고 있다. 이러한 응용분야에서 요구되는 극저온 발생장치는 (1) 냉각온도, (2) 냉동부하, (3) 신뢰성, (4) 진동레벨, (5) 온도 제어성, (6) Cooldown 시간 및 입력, (7) 체적, 중량, (8) 설치환경 및 비용 등의 관점에서 충분한 검토가 필요하다.

냉각온도 77K급 극저온 발생장치로는 G-M 극저온 냉동기, 스테링(Stirling) 극저온 냉동기, Joule-Thomson 극저온 냉동기 및 맥동관 극저온 냉동기 등이 있으며, 각 냉동기마다 장·단점이 있다.

적외선 센서 냉각용 스테링 극저온 냉동기에 요구되는 사양을 표 1에 나타내었다. 77K에서 0.5W의 냉동능력은 운용 초기의 값이고, 운용 수명 5000시간 이후의 냉동능력은 20% 정도 내려가는 것으로 상정한다.

그림 1은 FPFD 스테링 냉동기의 개념도를 보여주고 있다. 스테링 냉동기는 크게 압축부와 팽창부로 구분되어 있고, 압축부는 실린더, 피스톤, 코일과 마그넷 등으로 구성되어 있으며, 팽창부는 변위기(displacer)

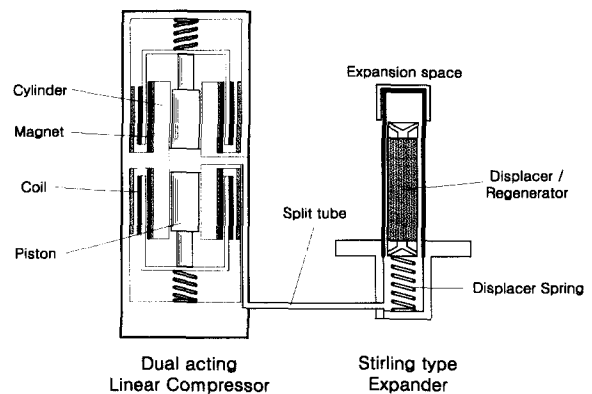


그림 1 스테링 극저온 냉동기의 개념도  
Fig. 1. Schematic diagram of the Stirling cryocooler

피스톤은 moving coil type으로 작동되는 선형 모터(linear motor)에 의해 구동되고, 이 피스톤은 가스압력을 발생하여 연결관으로 연결된 변위기를 작동한다. 이러한 가스압력은 압축기 피스톤의 공진 주파수에 영향을 미치는 가스 스프링의 역할과 함께 탠퍼의 역할을 겸하고 있다. 가스 스프링은 충전압력을 변화 시키면서 압축기 피스톤의 공진주파수에 일치하도록 조절한다. 냉동은 팽창공간에 연결된 저온부(cold end) 부근에서 발생하고, 변위기는 피스톤 사이의 공간, 연결관(split tube)내 공간과 변위기의 고온부 공간으로 구성된 압축공간으로부터 팽창공간 사이에 가스유동을 발생시킨다.

본 연구에서는 기존의 극저온 냉동기에 비해 저진

\* 정 회 원 : 한국기계연구원 열유체환경연구부

\*\* 정 회 원 : 우영기술원

\*\*\* 정 회 원 : 충남대학교

원고접수 : 2001년 10월 12일

심사완료 : 2001년 11월 09일

동, 낮은 소요동력, 소형 및 경량, 충분한 내구성 등의 장점을 가지고 있는 선형압축기(linear compressor) 구동 스테링 극저온 냉동기를 개발하기에 앞서, 현재 국내 적외선 센서 냉각 수요의 대부분을 차지하고 있는 FPFD(Free Piston and Free Displacer) 스테링 극저온 냉동기의 작동 조건, 작동 과정 및 성능 특성을 정확히 파악하기 위한 연구(2,3,4)의 일환으로, 스테링 냉동기의 선형압축기와 팽창기를 연결하는 연결관의 길이 변화(체적 변화) 및 작동주파수 변화에 따른 무부하 실험과 부하 실험을 수행하고, 이에 따른 스테링 극저온 냉동기의 특성 변화를 평가하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

실험에 사용된 스테링 냉동기는 A사의 FPFD type이며, 선형 압축기 크기는  $\varnothing 55\text{mm} \times 120\text{mm}$  (length) 이고, 팽창기 실린더 크기는  $\varnothing 7\text{mm} \times 70\text{mm}$  (length)이다.

그림 2는 스테링 냉동기 성능시험장치의 개략도를 보여주고 있다. 이 실험에 사용된 진공용기는 길이 160mm, 내경 80mm, 두께 5mm의 스테인레스강이었다. 진공플랜지에 연결된 스테링 냉동기는 저온부에 온도센서와 열선(heater wire)을 부착하고, 진공용기 내벽으로부터의 복사 열손실을 방지하기 위하여 super-insulation을 수십겹 감은 뒤, 저온부를 진공 용기속에 넣는다. 스테링 냉동기와 조립된 진공용기는 로타리 진공펌프를 사용하여 약  $10^{-2}\text{Torr}$ 의 진공도를 유지함으로써 대류에 의한 열손실을 방지하였다.

스테링 냉동기 저온부의 온도는 silicon-diode 센서를 부착하여 측정하였고, 저온부의 순수냉동능력 측정 및 온도조절을 위하여  $9.5\Omega$ 의 망가닌 열선을 저온부에 감고 전류를 흘려 일정온도가 유지될 때 전류 및 전압을 측정하여 냉동능력으로 환산하였다. 또한 압축기 셀, 연결관, 변위기 고온부와 대기에 T type 열전대를 부착하여 온도변화를 관찰하였다.

또한 작동주파수와 입력전류, 전압의 조절은 Fujitz사의 AC power supply를 사용하였으며, 실험에 사용된 스테링 냉동기의 코일에는 입력전류 및 전압에 각각 4A, 10.2V의 한계가 있기 때문에 그 이상 넘지 않도록 조절하였다.

스테링 냉동기의 성능시험은 선형압축기의 전압과 작동주파수 및 연결관을 변경할 때의 최저도달온도를 측정하고, 각각에서의 냉동능력을 측정함으로써 무부하 실험과 부하 실험을 병행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 연결관 길이 변화에 의한 영향

FPFD 스테링 냉동기는 작동주파수에 따라 최저도달온도가 크게 영향을 받으며, 냉동능력, 입력전력 등의 작동 특성에 큰 변화가 발생하는 특징을 가지고 있으며, 최적의 작동주파수는 피스톤 및 변위기의 기계적 스프링 및 가스스프링에 의해 결정되는 스테링 냉동기의 공진 각주파수( $\omega_n = \sqrt{(k_{spring} + k_{gas})/m}$ ,

$\omega_n$  : 공진 각주파수,  $k_{spring}$  : 코일 스프링 상수,  $k_{gas}$  : 가스 스프링 상수,  $m$  : 피스톤 질량), 즉 선형 압축기의 공진주파수 및 변위기의 공진주파수에 의해 결정된다.

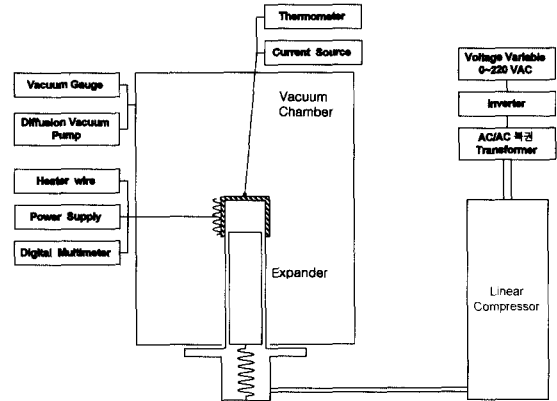


그림 2. 스테링 냉동기 시험장치 개략도  
Fig. 2. Experimental apparatus of the Stirling cryocooler

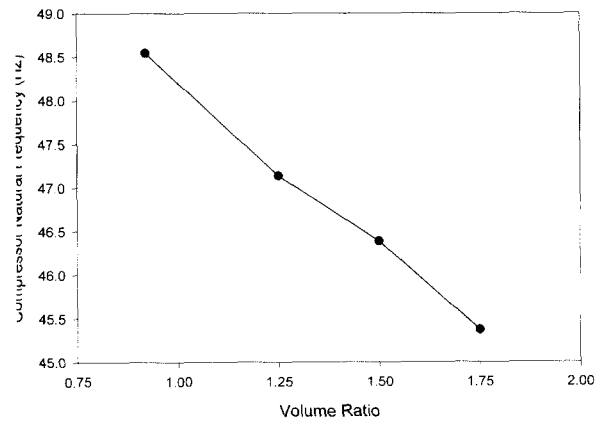


그림 3. 압축기의 공진 주파수  
Fig. 3. Natural frequency of compressor

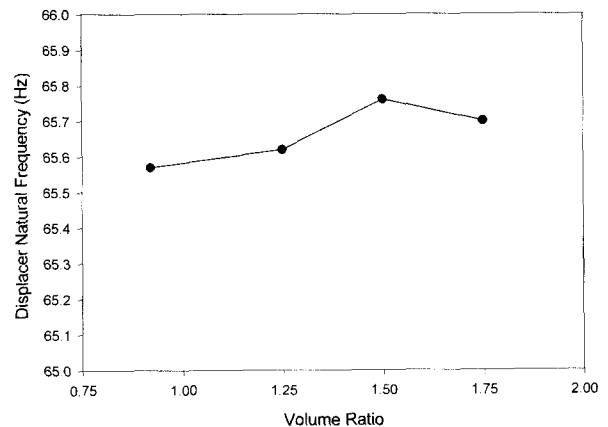


그림 4. 변위기의 공진 주파수  
Fig. 4. Natural frequency of displacer

그림 3 및 4는 작동주파수를 변화시켜 가면서 연결관 체적비(입의의 연결관 체적/내경 2.4mm, 길이 300mm의 연결관 체적)에 따라 스테링 냉동기의 입력전력 및 냉동능력을 측정하여 구한 선형압축기 및 변위기의 공진주파수를 나타내고 있다.

압축기의 공진 주파수는 피스톤에 변위 센서를 부착하여 변위가 최대가 되고 압축기에 부가되는 입력전력이 최소가 되는 작동 주파수를 측정하여 구했고, 변위기의 공진 주파수는 변위기의 공진 주파수로 압축기를 작동 시키면 냉동이나 열펌핑 현상이 발생하지 않기 때문에 그 때의 주파수로 구하였다.

연결관 체적비의 증가에 따라 선형압축기의 공진주파수는 약 48.5Hz에서 45.5Hz로 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 이는 체적비가 증가함에 따라 압축기의 압축공간이 증가하여 압축비가 감소하여, 피스톤 양단의 압력차에 의해 결정되는 가스 스프링의 역할이 감소하기 때문으로 판단된다. 반면 변위기의 공진주파수는 체적비의 변화에도 큰 영향없이 약 65.7Hz로 나타났다. 이는 변위기의 경우 내부의 다공성 물질로 구성된 재생기를 통과하면서 발생하는 작동유체의 유동 압력강화에 의해 변위기 양단의 압력차가 결정되고, 체적비의 변화에도 변위기 양단의 압력차는 크게 변화하지 않기 때문으로 판단된다.

그림 5는 무부하 작동시, 작동주파수 50Hz로 구동하였을 때 스텀링 냉동기 저온부에서의 온도 강하 특성이다. 온도측정은 냉동기 작동개시 후 15분 동안 수행하였으며, 측정결과 스텀링 냉동기 작동 개시후 급격한 저온부의 온도 강하가 발생하였으며, 약 6분 후에는 안정화된 온도를 나타내었다. 한편 체적비의 변화에 따른 온도강하특성 변화로는 체적비 0.92의 경우 가장 빠른 응답특성을 나타내고 있으며, 체적비가 증가할수록 초기 온도 강하율이 다소 낮게 나타나, 작동 개시후 2분을 전후해서 체적비에 따라 약 25K의 온도차가 발생하였다.

그림 6과 그림 7은 연결관 체적비의 변화에 대한 스텀링 냉동기의 최저 도달온도 및 저온부의 온도가 75K에 도달하기까지 소요되는 시간으로, 그림 5의 온도 강하 특성의 경향과는 달리 체적비가 1.5인 경우가 약 50.5K로 가장 낮은 최저 도달온도를 나타냈으나, 체적비에 따른 도달온도 차이는 3K정도로 큰 차이가 발생하지 않았다.

저온부의 온도가 75K에 도달하기까지 소요되는 시간은 체적비가 0.92의 경우 3분 미만으로 나타났으며, 연결관 체적비의 증가에 따라 증가되어, 체적이 약 1.9배 증가할 때 34%의 도달시간이 증가되었다.

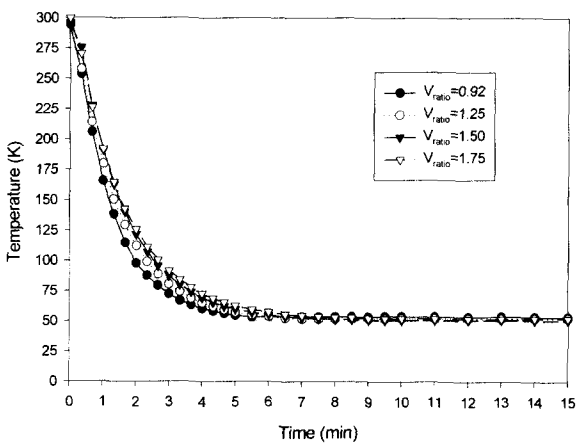


그림 5. 연결관 체적 변화에 따른 냉각 특성  
Fig. 5. Cooldown characteristics of Stirling cryocooler with different volume ratio

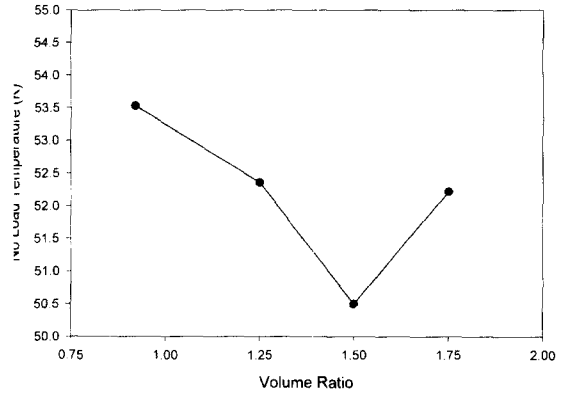


그림 6. 저온부에서의 최저도달온도  
Fig. 6. No load temperature at cold end

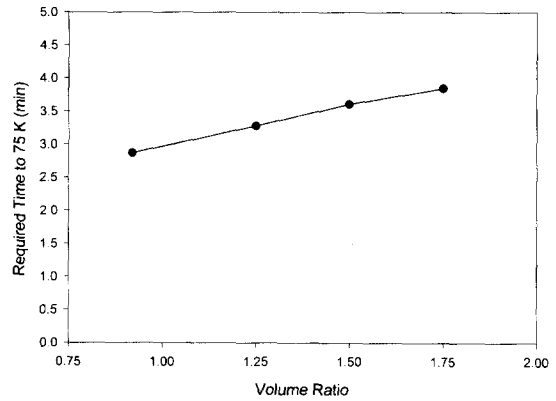


그림 7. 75K 도달 시간  
Fig. 7. The required time to reach at 75K

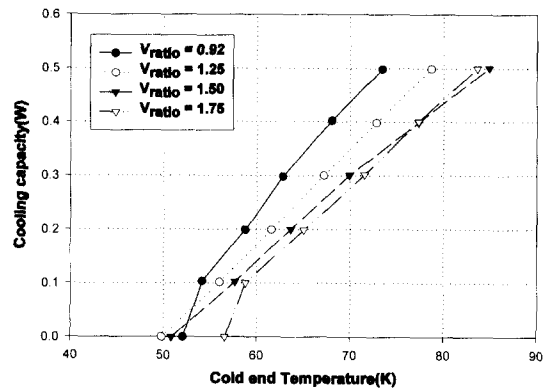


그림 8. 냉동능력 특성  
Fig. 8. Cooling power characteristics

따라서 스텀링 냉동기의 빠른 응답특성을 위해서는 압축공간을 구성하는 선형압축기의 압축 구조의 최적화 및 압축기와 팽창기를 연결하는 연결관의 길이의 최소화가 중요한 인자인 것으로 판단된다.

그림 8은 부하작동 실험을 통해 구한 스텀링 냉동기의 냉동능력 선도이다. 저온부에 가해지는 열부하가 증가함에 따라 저온부의 온도는 대략 선형적으로 상승되며, 연결관 체적비가 작아질 수록 동일한 저온부 온도에서의 냉동능력이 커지는 경향을 나타내고 있어,

체적비가 작은 경우 즉 선형 압축기에 의해 압축되는 압축공간의 체적이 작은 경우의 스테링 냉동기의 냉각 특성이 우수한 것으로 나타났다.

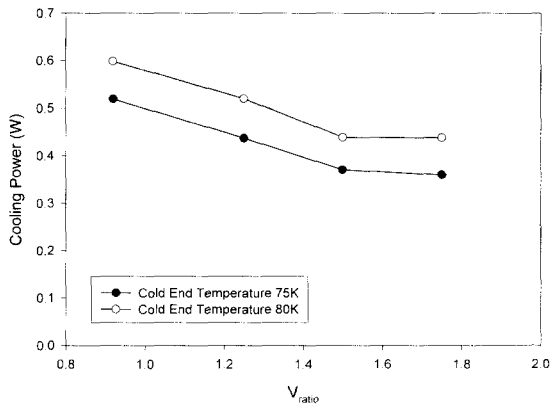


그림 9. 연결관 체적변화에 따른 냉동능력  
Fig. 9. Cooling power at same temperature with different volume ratio

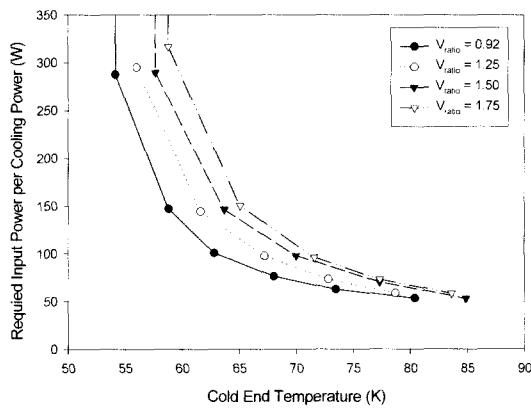


그림 10. 냉동능력 1W에 요구되는 입력  
Fig. 10. The required input power of cooler to get cooling power (1W)

그림 9는 저온부의 온도가 75, 80K인 경우에 대한 스테링 냉동기의 냉동능력으로, 체적비가 0.92의 경우 냉동능력이 0.5W를 상회하나 점차 체적비가 증가함에 따라 냉동능력이 감소하여 체적비 1.75의 경우 0.4W 미만으로 나타났다.

그림 10은 부하실험을 통해 구한 냉동능력 및 냉동기 입력전력 특성을 나타내는 그림으로, 1W의 냉동능력을 얻기 위해 스테링 냉동기에 공급되어야 하는 입력전력을 나타낸다. 1W의 냉동능력을 얻기 위한 입력전력은 저온부의 온도가 낮을수록 체적비의 변화에 따라 큰 차이를 나타내고 있으나, 저온부의 온도가 높을수록 그 차이가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 한편 체적비가 증가할수록 입력전력은 증가하는 것으로 나타났다.

### 3.2. 작동주파수 변화에 의한 영향

그림 11은 연결관 체적비가 1일 때, 무부하 조건에서 작동주파수에 따른 스테링 냉동기 저온부에서의 cool down 특성을 비교한 그림이다. 작동주파수 50Hz에서 가장 빨리 저온으로 안정되고, 작동주파수 55Hz, 45Hz, 60Hz, 40Hz, 65Hz 순으로 저온으로 안정되는 시간이 많이 걸린다는 것을 알 수 있다. 특히 작동주파수 65Hz에서는 최저온도가 약 256K로써 거의 냉동이

발생하지 않았다. 따라서 스테링 극저온 냉동기의 작동 주파수에 따라 cool down 특성이 많이 변하기 때문에 작동주파수가 매우 중요한 작동 변수라는 것을 알 수 있다. 또한 작동주파수를 증가 시키면 냉동이 발생하지 않는 주파수(65.45Hz)가 존재한다. 변위기의 공진 주파수로 압축기를 작동 시키면 피스톤과 변위기의 위상차가 영이 되기 때문에 냉동이 발생하지 않고, 이 때의 작동주파수는 변위기의 공진주파수임을 알 수 있다.

그림 12는 그림 11과 같은 작동 조건에서 작동주파수에 따른 저온부에서의 최저온도를 나타내고 있다. 50Hz에서 61K로서 가장 낮아 최적 작동주파수임을 알 수 있으며, 작동주파수 40Hz, 45Hz, 55Hz, 60Hz, 65Hz에서 최저온도는 각각 86.3K, 67K, 66K, 86.7K, 257.5K 이었다.

이러한 최저도달온도의 결과는 그림 5의 결과보다 높게 나타나는데, 이는 실(seal) 마모 문제로 실험중에 성능이 낮아졌기 때문이다. 스테링 냉동기의 성능은 변했지만 스테링 냉동기의 작동 변수에 따른 작동 특성 변화는 일관성을 유지하고 있다.

그림 13은 작동주파수에 따라 시스템에 입력되는 전류와 전압에 의한 임피던스의 변화를 나타낸다. 시스템의 임피던스(R)는 코일의 저항과 코일의 왕복 운동 속도에 의한 저항, 코일의 인덕턴스에 의한 저항의 합이고, 전력손실  $P_{loss}$ 는  $i^2r$  ( $i$ : 전류,  $r$ : 코일 저항)로서 공급전압을 일정하게 두면 시스템의 임피던스가 낮을수록 전류가 증가하고, 임피던스가 높을수록 전류는 감소하는 경향이 있다. R이 최대인 작동주파수에서 전류와  $P_{loss}$ 가 최소가 되며, 이 때의 작동주파수는 압축기 피스톤이 공진이 되는 공진주파수라 할 수 있다.

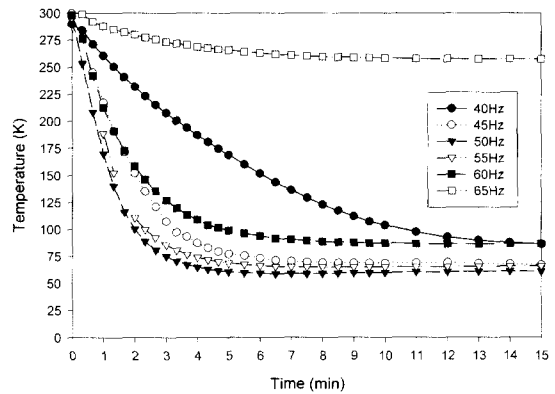


그림 11. 작동주파수 변화에 따른 냉각 특성  
Fig. 11. Cool down performance at no load condition

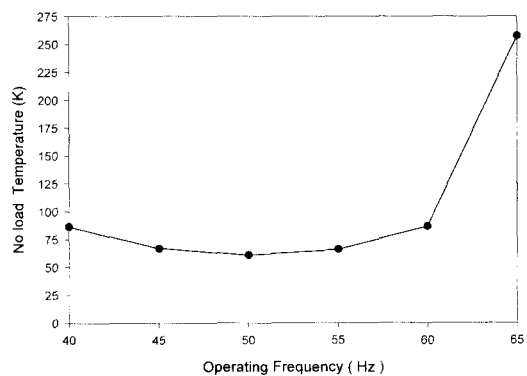


그림 12. 작동주파수에 따른 최저도달온도  
Fig. 12. No load temperature

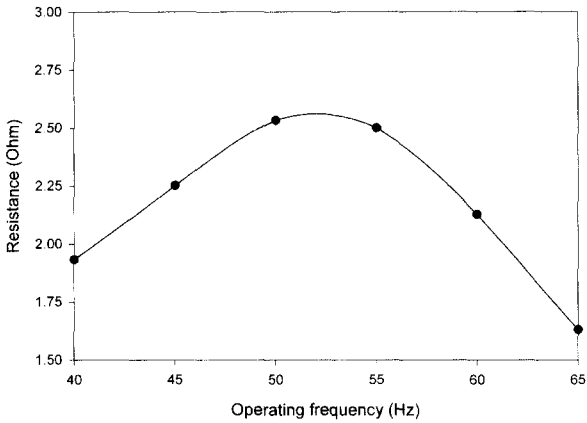


그림 13. 극저온 냉동 장치의 임피던스  
Fig. 13. cryocooler system resistance

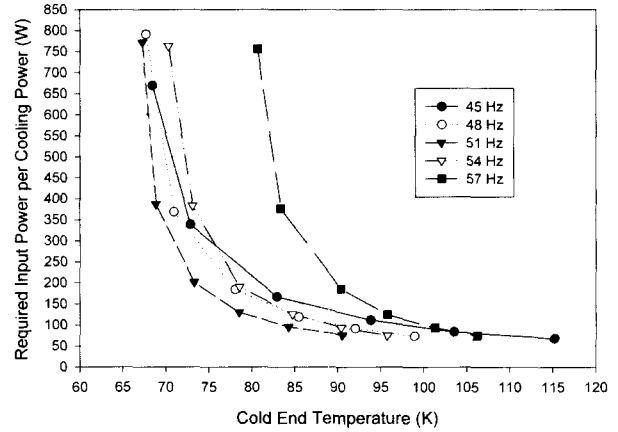


그림 16. 냉동능력 1W에 요구되는 입력  
Fig. 16. Required input power characteristics

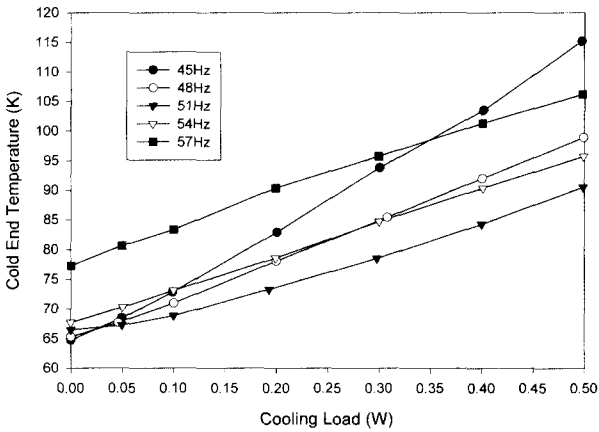


그림 14. 냉동 능력  
Fig. 14. Cooling load

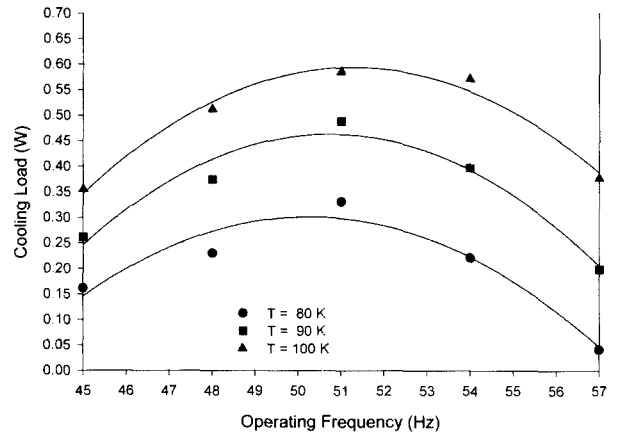


그림 17. 저온부 온도에 따른 냉동능력 특성  
Fig. 17. Cooling power characteristics

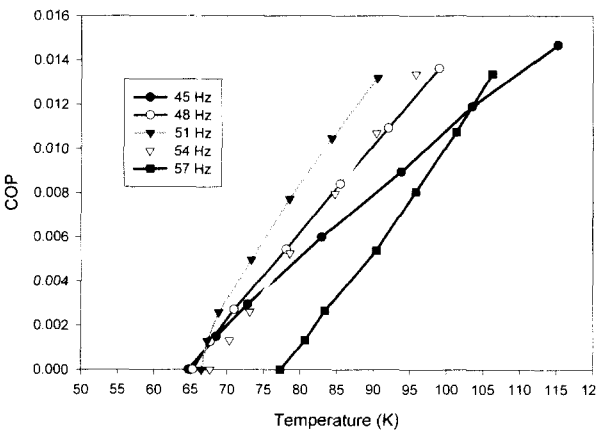


그림 15. 성적 계수  
Fig. 15. COP

그림 14는 연결관 체적비가 1일 때, 작동주파수에 따른 냉동능력의 변화를 나타내고 있다. 측정된 작동주파수는 45Hz, 48Hz, 51Hz, 54Hz, 57Hz이며, 작동주파수 51Hz에서 가장 높은 냉동능력을 보여주었다. 그리고 51Hz 보다 낮은 주파수에서의 냉동능력 증가율 보다 51Hz 보다 높은 주파수에서의 냉동능력의 증가율이 높음을 알 수 있었다.

이는 작동주파수가 증가함에 따라 시간당 사이클 회수가 증가하여 냉동능력의 증가율이 높아지기 때문이다. 작동주파수 51Hz일 때 77K에서의 냉동능력은 약 0.3W이었다.

그림 15는 작동주파수를 변화시킬 때 온도에 따라 측정된 입력과 냉동능력에 의해 계산된 COP의 변화를 보여주고 있다. COP도 냉동능력과 마찬가지로 51Hz에서 가장 높게 나타났으며, 51Hz 보다 낮은 주파수보다 높은 주파수에서 COP의 증가율이 높았다.

그림 16은 저온부에서 1W의 냉동능력을 발생하기 위해 요구되는 입력을 온도에 따라 각 작동주파수에서 나타내고 있다. 저온부에서 1W의 냉동능력을 발생하기 위해 요구되는 입력은 온도가 증가함에 따라 감소하였으며 51Hz에서 가장 낮았다.

저온부 온도 80 K에서 1W의 냉동능력을 발생하기 위해 요구되는 입력이 최저인 작동주파수는 51Hz이었으며, 그 때 입력은 약 120W로 나타났다.

그림 17은 저온부를 80K, 90K, 100K로 일정하게 하였을 때, 작동주파수에 따른 냉동능력의 변화를 보여주고 있다. PPFD 스테링 냉동기는 아래의 식(1)에서 알 수 있는 것과 같이 피스톤과 변위기 사이의 위상차가 45° 일 때 냉동능력이 최대가 된다

$$Q_c = f(P_m, S_d, V_o, C, Y) \times \sin 2\varphi \quad (1)$$

- 여기서  $P_m$  : 충전압력  
 $S_d$  : 피스톤 단면적  
 $V_0$  : 압축기 및 팽창기 유체공간의 전체적  
 $C$  : 재생기에서의 고·저온부 압력차에 대한  
 비례상수( $\Delta P = C \times V$ )  
 $\Delta P$ : 재생기에서의 고·저온부 압력차  
 $V$  : 가스 속도  
 $Y$  : 피스톤 진폭  
 $\varphi$  : 피스톤과 변위기 사이의 위상차

그림 17에서 저온부의 온도가 각각 100K, 90K, 80K 일 때 최대 냉동능력을 보여주는 작동주파수는 각각 51.914Hz, 50.78Hz, 49.80Hz로 조금씩 낮아지고 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 이 때의 주파수에서 압축기의 피스톤과 팽창부의 변위기 사이의 위상차가 45° 이기 때문이라는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

FPPD 스테어링 극저온 냉동기의 작동 조건과 작동 과정 및 성능 특성을 정확히 파악하기 위하여 작동주파수와 연결관의 길이비(체적비)를 변화시키며 압축기 및 변위기의 공진주파수 특성, 무부하 실험과 부하 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 작동주파수 65.45Hz 에서는 저온부의 온도가 변화가 없어 냉동이 발생하지 않는 작동주파수이며, 이 때의 작동주파수는 변위기의 공진주파수임을 알 수 있었다.
- (2) 스테어링 극저온 냉동기 시스템의 저항이 최대인 작동주파수에서 전류와  $P_{loss}$ 가 최소가 되며, 이 때의 작동주파수는 압축기 피스톤이 공진이 되는 공진주파수라는 것을 알 수 있었다.
- (3) 연결관 체적비의 증가에 따라 선형 압축기의 공진주파수는 감소하나 변위기의 공진주파수는 일정한 값을 나타낸다.
- (4) 스테어링 냉동기 저온부의 온도는 냉각 작동 초기에 급격한 강하가 발생하여 약 6분 이후에는 안정화되며, 체적비가 작을수록 빠른 응답특성을 나타낸다.
- (5) 연결관 체적비가 작을 수록 동일한 저온부 온도에서 큰 냉동능력이 나타내며, 입력전력이 감소한다.
- (6) FPPD 스테어링 냉동기는 압축기의 피스톤과 팽창부의 변위기 사이의 위상차가 45° 일 때 최대 냉동능력을 보여 준다는 것을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

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

#### 참 고 문 헌

[1] A. Cardin, D. Feger, and D. Verbeek, "Space Qualification Program of a Signaal

USFA Tactical Cooler for the Mars 1996 Apace Mission", Cryocoolers 8, p.137, 1995.

[2] R.M. Rawlings, C.E. Granger III, and G.W. Hinrichs, "Linear Drive Stirling Cryocoolers: Qualification and Life Testing Results", Cryocoolers 8, p.121, 1995.

[4] R. Narayan, "Dual Opposed Piston Stirling Cryocoolers for IR Systems", Cryocoolers 8, p.129, 1995.

[5] Y.J.Hong, S.J.Park, D.Y.Koh, H.B.Kim, K.S.Oh and J.H.Kim, "Study of Stirling Cryocooler Performance with different length of split tube", Proceedings, KIASC Conference 2001, Mooju, pp. 37-40, 2001

[6] S. J. Park, Y. J. Hong, D. Y. Koh, K. S. Oh, H. K. Yeom and J. H. Kim, " Study of KIMM-E1 Stirling Cryocooler Performance with different Charging Pressure", Proceedings, KIASC Conference 2001, Mooju, pp. 33-36, 2001

#### 저 자 소 개



##### 김효봉(金孝烽)

1960년 04월 10일생, 2000년 대전 산업대 공대 기계공학과 졸업, 현재 충남대 공대 기계공학과 석사과정, 현재 한국기계연구원 주임기술원



##### 박성제(朴聖濟)

1962년 12월 13일생, 1985년 부산대 공대 기계공학과 졸업, 1988년 동 대학원 기계공학과 졸업(공학석사), 현재 동 대학원 기계공학과 박사과정, 현재 한국기계연구원 선임연구원



##### 홍용주(洪溶柱)

1968년 03월 19일생, 1990년 고려대 공대 기계공학과 졸업, 1992년 동 대학원 기계공학과 졸업(공학석사), 현재 한국기계연구원 선임연구원



##### 고득용(高得龍)

1959년 02월 12일생, 1982년 한양대 공대 기계공학과 졸업, 1985년 동 대학원 기계공학과 졸업(공학석사), 현재 동 대학원 기계공학과 박사과정, 현재 한국기계연구원 선임연구원



**김종학(金鍾鶴)**

1971년 03월 22일생, 1997년 성균관대 공대 기계설계학과 졸업, 1999년 동 대학원 기계설계학과 졸업(공학석사), 현재 우영 기술연구원 대리



**유병건(柳炳健)**

1947년 03월 28일생, 1971년 서울대 공대 조선공학과 졸업, 1975년 McGill University 공학석사, 1979년 University of California, Berkely 공학박사, 현재 (주)우영 부사장



**박종호(朴鐘鎬)**

1951년 3월 6일생, 1973년 전북대 공대 기계공학과 졸업, 1975년 동 대학원 기계공학과 졸업(공학석사), 1985년 동 대학원 기계공학과 졸업(공학박사) 현재 충남대 공대 기계공학과 교수