

◆특집◆ 진공에 의한 저온 유지 기술과 그 응용

# 적외선 및 저온 센서 냉각 기술의 시장과 동향

이성래\*, 손홍균\*, 채민수\*, 유병건\*

## Market and Trend of the Cryogenic Refrigerator

S. L. Lee\*, H. K. Sohn\*, M. S. Chae\*, B. K. Yu\*

**Key Words** : Refrigerator(스터링냉동기), Linear Compressor(선형압축기), Displacer(왕복기), Expander(팽창기), Infrared Sensor(적외선 센서)

### 1. 서론

19세기 Rober Stirling이 고안한 Stirling사이클은 초기에는 1938년 스테링 엔진으로 네덜란드 Phillips사의 연구실에서 개발되어 실용화가 시작되었으며 냉동기로서는 1950년대에 들어서 개발되었다. 스테링 냉동기 상업화는 산소액화 사이클에 응용된 이후 가스 수송, 저장, 액화분야에서 주로 이루어졌다.

극저온 냉동기는 우주선이나 인공위성 같은 우주관련 분야에 국한되어 사용되어지다가 저온센서용 77K급 극저온 발생장치나 열상 감지 장치 같은 적외선 센서 냉동장치로 군수장비에 사용되어 이제는 현대전에서 없어서는 안될 중요한 장치로 자리 잡게 되었다.

또한 최근 극저온 냉동기술이 민수 분야로 기술 이전 되어 초전도 분야나 의료분야, Bio분야 같은 응용분야로 그 사용범위를 점점 넓혀가고 있다.

스터링 극저온 냉동기는 G-M 극저온 냉동기나 Joule-Thomson 극저온 냉동기에 비해 고효율과 제작의 간편함이라는 장점이 있다. 그러나 개발 면에

서 볼 때 냉동기의 작동현상이 복잡하고 최적설계를 위한 유동해석에 어려움이 있어 많은 실험을 통한 data확보가 필수적이다. 또한 냉각온도, 냉동부하 같은 성능조건 만족, 신뢰성확보, 온도 제어성, Cool-down 시간, 냉동기 체적, 중량, 설치 환경 및 비용 등을 충분히 검토해야 하므로 만만치 않은 개발 기간이 소요된다. 현재는 미국이나 일본, 영국등 선진국에서 극저온 냉동기 기술을 보유하고 있으며 성능이나 내구성 관련 중요 기술이전은 극도로 꺼리고 있고, 군수분야에서 우영과 기계연구원에서 개발하고 있는 극저온냉동기를 제외하고는 실용화를 위한 국내개발이 미미한 상태이다. 군수분야에서는 매년 극저온냉동기를 전량 수입하고 있는 실정이다.

냉동기 기술의 자립성 및 극저온 냉동기의 실용을 위해서 더 적극적인 연구가 필요하며, 또한 극저온 냉동기 위주로 국내의 개발현황 및 우주, 군사분야 뿐만 아니라 잠재시장인 민수분야에 대한 고찰이 필요하다.

### 2. 스테링냉동기 국외개발현황 및 시장

#### 2.1 우주 및 군사용 냉동기

우주 개발용 스테링 냉동기는 NASA를 비롯한 미국, 영국, 일본에서 오랫동안 연구를 진행하여 왔으며, 주요 업체와 개발 현황은 Table 1과 같다.

\* (주)우영

Tel. 02-904-6711, Fax. 02-904-6707

E-mail comelight@wooyoung.co.kr

적외선 센서 및 초전도 센서 냉각용 극저온 냉동기와 진공 분야에 관심을 두고 연구 활동을 하고 있다.

군사용 스테링 냉동기는 미국에 의해서 주로 개발되었으며 적외선 센서 냉각용 스테링 냉동기 생산업체로는 미국의 BEI, 이스라엘 Ricor 등이 있다. 표는 군수용 극저온냉동기 주요생산업체 및 개발 현황이다.

Table 1 Cryocooler Manufacture in Space Field

| 업체                                 | 개발현황                                                                        |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Hughes                             | US Air Force Philips Lab의 지원하에 개발, Single Stage 스테링냉동기로 냉동능력 3W/60K         |
| Ball Aerospace & Technologies Corp | AFSMC/SMTS(Space and Missile Tracking System)용으로 냉동능력 0.4W/35K, 2단스테링냉동기 개발 |
| NASA                               | EOS(Earth Observing System)용으로 Flexure Bearing을 채택한 스테링냉동기 개발               |
| Lockheed Missile and Space         | SCRS(Space Cryogenic Refrigerator System)용 2W/80K, 1단스테링 냉동기 개발             |
| MMS                                | 유럽의 우주개발용 스테링 냉동기 개발 주로 50K-80K용 스테링 냉동기                                    |
| Hitachi                            | 일본의 우주개발사업용으로 BBM1, BBM2 등의 스테링 냉동기 개발, 냉동능력 5W/70K                         |

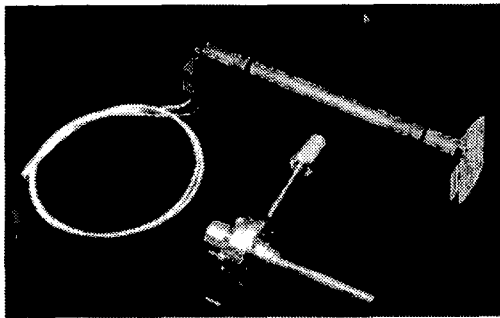


Fig. 1 Stirling Cryocooler of Hughes

군수용 극저온 냉동기는 신뢰성을 향상시키고 가격을 낮추는 방향으로 빠르게 발전하고 있으며 미국에서 군수분야에서만 향후 20년에 Linear Drive Type 극저온 냉동기 수요가 27,000대 이상 될것이라 예측하고 있다

Table 2 Cryocooler Manufacture in Military Field

| 업체                        | 개발현황                                                                                                                                                       |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ricor                     | Rotary Type과 Linear Drive 0.25-1W/ 77K 스테링 냉동기                                                                                                             |
| BEI                       | Clearance Seal과 Linear Drive 채용한 0.15W-5W/78K 스테링 냉동기 개발                                                                                                   |
| DRS Infrared Technologies | STRV-2 (Space Test Reseach Vehicle #2) 에서 Force Plane 냉각 및 적외선 냉각용으로 1W/77K 스테링냉동기 개발 초기 TI(Texas Instruments)사임 Flexure Spring을 채용한 1/5W, 1/3W, 1W 냉동기 개발 |
| Thales Cryogenics         | Flexure Baring, Moving Magnet을 채용한 0.25-3W /77K, 6W/80K 스테링냉동기 개발                                                                                          |

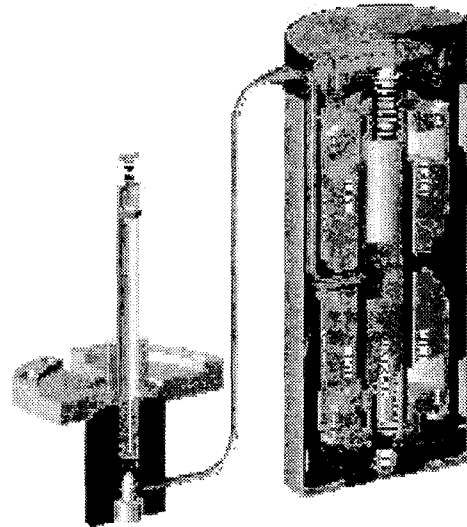


Fig. 2 3-D Design of the Stirling Cryocooler

국내 스테링 개발은 우영과 기계연구원에서 진행되고 있으며 Fig. 2는 개발중인 FPDF 스테링 냉동기의 3차원 도면을 보여주고 있다.

이 극저온 냉동기는 압축부와 팽창부로 구성되며, 압축부는 내·외부 요크, 실린더, 피스톤, 코일, 스프링과 전류입력단자 등으로 구성되어 있으며, 팽창부는 재생기를 포함한 왕복기(displacer), 왕복기 실린더, 스프링, 고온부 열교환기 및 저온부 cold end 등으로 구성되어 있으며, 기본 작동과정은 시스템 압력을 높이기 위한 등온 압축과정, 작동가스를 저온부로 이동시키는 등적 과정, 저온부로부터 열을 흡수하는 등온팽창과정과 압축부로 작동가스가 이동하는 등적과정으로 이루어진다.

또한 적외선 센서 냉각용 스테링 극저온 냉동기에 요구되는 사양을 표3에 나타내었으며, 냉동기에 요구되는 항목과 요구항목을 만족하는 최적 구조를 정리하여 표4에 나타내었다.

Table 3 Performance of Cryocooler

| Items               | Specifications |
|---------------------|----------------|
| Refrigerating cycle | Stirling cycle |
| Cooling power       | 0.5W at 77K    |
| MTTF                | 10,000hours    |
| COP                 | 0.03           |
| Cooldown time       | 2.5min         |
| Configuration       | Split linear   |

Table 4 Optimum Structure of Cryocooler

| Items           | Requirements                             | Optimum Structure          |
|-----------------|------------------------------------------|----------------------------|
| Drive Mechanism | Oil Free                                 | Free Piston Free Displacer |
| Motor           | Controllability of Frequency, Force etc. | Linear Motor               |
| Bearing         | Low-Contact High Centering               | Coil Spring Fine Gap Seal  |
| Control         | Cooling Power Control                    | Displacement Control       |

외국제품과 비교해 볼 때 현재 진행중인 내구성 및 환경평가에서 좋은 결과를 보인다면 성능과 기술면에서 거의 동등함을 보여 향후 국산화대체가 가능하리라 여겨진다.

## 2.2 민수용 냉동기

민수분야는 대부분 가스의 수송, 저장 액화에

사용되어 있으며 초기에는 신뢰성이 확보된 G-M 극저온냉동기, J-T 냉동기가 사용되었다. 최근에는 스테링 냉동기가 내구성과 고신뢰성 확보에 개발 중점을 두어 이러한 시장을 잠식해 가고 있다.

아래는 민수응용가능분야 및 실용화 현황을 표로 나타낸 것이다.

Table 5 Application Field of cryocooler

| 응용분야  |                                                                                                 | 실용화 | 실용화이전       |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|
| 의료 부문 | Magnetic resonance imaging<br>Biotechnical Engineering                                          | ○   | ○           |
| 산업 부문 | Separation / Magnets<br>Transducers<br>Magnetic Shielding<br>Cryopump                           | ○   | ○<br>○      |
| 전력 부문 | Generation / Motors<br>Energy Storage / Fusion<br>Transmission                                  |     | ○<br>○<br>○ |
| 수송 부문 | Magnetically Levitated<br>Vehicles                                                              |     | ○           |
| 전자 부문 | SQUID<br>Josephson Junction Device<br>Circuitry Connections<br>Transist<br>Particle Accelerator | ○   | ○<br>○<br>○ |

극저온 냉동기는 최근의 초전도 사업의 발전과 더불어 없어서는 안될 중요한 부품으로 자리잡혀 가고 있다.

### 2.2.1 초전도 필터 시장

초전도 필터에 대한 연구는 무선 이동통신의 급성장과 무선멀티미디어(인터넷 포함) 서비스의 확산에 적극적으로 대처하고 핵심 통신부품의 고성능화, 광대역화 및 초소형화가 요구에 부합하기 위하여 또한 차세대 무선 이동통신 시스템 ( 음성, 대용량 데이터, 화상 및 3차원 입체영상의 고속 전송 (> 20 Mbps) )를 실현시키기 위하여 활발히 연구되고 있다.

최근에는 정보통신 전문가들은 4세대 이동통신의 서비스 제공시기가 2006년으로 앞당겨질 것으로 전망하면서, 차세대 정보통신망의 전송속도는 IMT-2000 시스템(2 Mbps)의 10~50배정도 더 빠른 시스템으로 구현되어야 하고, 차츰 유선통신과 맞먹

는 무선 전송기술(~100 Mbps)을 구비해야 할 것이라고 주장하고 있다. 따라서 고성능·다기능 초고속 무선 멀티미디어 시스템을 실현하기 위해서는 전기적, 열적 그리고 초고주파 특성 등이 일반 금속(金, 銅)에 비해 훨씬 우수한 고온초전도 에피박막 소재를 사용하여 필터 등 수동부품, 소형쿨러 및 반도체 부품 등을 결합한 초전도 필터 시스템에 필요하다.

Table 6 Cryocooler Manufacture in HTS Filter Field

| 업체       | 기술동향                                                                                                 |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sunpower | HTS Filter Cooling용 스테링 극저온냉동기, 모델 M87, CryoTel : 냉동능력 7.5W, 9.5W / 77K \$1000 / 10,000개 (MTTF : 5년) |
| Leybold  | Telecom Application용 6W/77K 스테링 냉동기 개발( MTTF : 3년 )                                                  |
| Daikin   | WE-1000모델, 1W/80K 스테링 냉동기 (MTTF : 5000hours)                                                         |
| Sumitomo | HTS Cooling용 5W/70K 스테링 냉동기 개발                                                                       |
| Ricor    | 4W/65K, (MTBF : 16000hours 목표)                                                                       |
| Thales   | 6W/80K 스테링 냉동기 (MTBF : 16000hours)                                                                   |

미국의 경우, (주)STI, (주)Conductus, (주)SCT 등을 중소기업체 중심으로 CDMA IMT- 2000용 수신기 전치부 모듈(sub-system)의 개발이 진행되고 있으며, 일본의 경우는 미국과는 달리 대기업( NTT, NEC, 도시바, 히타치)와 (주)Cryodevices가 함께 개발중이다.

유럽의 경우, 대규모 연구소와 중소기업체, 대학 등에서 개발중이고, 핵심기술을 점차 보호해 가는 추세이다. 국내에서도 ETRI, LG에서 고온초전도 필터 수신 서브-시스템이 연구되고 있으며 초전도 필터용 극저온 냉동기 개발은 (주)우영에서 2001년부터 진행되고 있다.

초전도 필터용 냉동기로는 주로 5W/77K용이

주로 출시되고 있으며 표6은 냉동기 관련업체 및 기술동향을 분석 한 것이다.

2001년 Sunpower보고서에 따르면 2005년 이후 정보통신분야에서 극저온냉동기 시장규모는 최소 연 120,000에서 400,000대로 예상하며 Super conductor & cryoelectronics지에 따르면 향후 시장이 10억달러 이상이 되리라 예측하고 있다. 시장의 관심은 이제 냉동기 성능보다는 신뢰성과 냉동기의 가격에 초점을 두고 있으며, 이를 볼 때 머지않아 시장이 형성되리라 여겨진다.

### 2.2.2 고온초전도 전력시스템 시장

미국 Oak Ridge National Lab. 자료에 따르면, 2020년에 고온초전도 시스템이 기존 시장의 50% 이상을 점유하게 되고, 일본, 미국, 유럽의 시장규모는 약 320억불에 이를 것이라 예측하였다. 일본에서는 2km 초전도 송전선 개발을 완료한 상태이며 국내에서는 한전, 초전도케이블에서 LG전선, 대성전선, 21C 프론티어사업을 주도하는 전기연구소, 그의 초전도선, 초전도박막업체등 산업화를 목표로 활발히 연구가 진행되고 있으며, 여기에서 사용하는 냉동기 또한 외국에 의존하는 실정이며 연구 및 개발이 필요하다.

Table 7 A Period of Participation in the Field of High Temperature Superconducting Power System in U.S.A

| 시스템   | 한류기  | 변압기  | 모터   | 발전기  |
|-------|------|------|------|------|
| 초기진입  | 2002 | 2005 | 2006 | 2011 |
| 10%점유 | 2006 | 2010 | 2011 | 2016 |
| 50%점유 | 2011 | 2015 | 2016 | 2021 |

### 2.2.3 의료기기 시장 및 기타 시장

의료기기 시장에서 극저온 냉동기 응용분야는 MRI 와 Cryomedical device, 한방병원에서 이용하는 적외선 체열진단기 등이 있다.

의료기기 시장은 아직까지는 G-M 극저온냉동기나 개방형인 Joule-Thomson을 주로 사용하고 있

으나 스테링 극저온 냉동기가 신뢰성이 확보되고 가격이 낮아지고 사용기간 또한 늘어남에 따라 효율면이나 취급의 간편함등 장점이 부각되어 대체 사용가능성이 커지고 있다.

초저온 냉동고는 -45도에서는 국내품이, -85도 이하에서는 수입제품이 시장을 형성하고 있으며 향후 Bio산업 시장이 성장하면 혈액, 정자, 종자보관을 위해 수요가 증대되리라 여겨진다.

또한 Cryopump은 극저온 냉동기 제조업체에서 생산하고 있는 현재까지 가장 큰 시장이다.

### 3. 시장의 요구 및 대응

극저온냉동기에서 가장 중요한 관심은 Life Test와 Cost로 말할 수 있다. 외국의 각 업체들은 냉동기 신뢰성 확보를 위한 실험을 지속적으로 추진하고 이에 대한 결과를 속속 내놓고 있으며 Field Test 단계를 넘어서 제품화 단계에 있다.

아래 그림은 본사에서 제작한 극저온 냉동기에 대한 연간생산에 대한 제조비용과 제조 단가를 항목별로 나타낸 것이다.

시장의 요구에 만족하기 위해서는 외국 여러 업체에서 제시하듯이 10,000대 이상의 생산이 필요하리라 여겨진다. 또한 계속된 공정기술의 개발로 머지않아 외국업체와 동등한 가격 경쟁력을 가질 수 있으리라 여겨지며 그러기 위해서는 여러 분야에서의 지원이 있어야 하겠다.

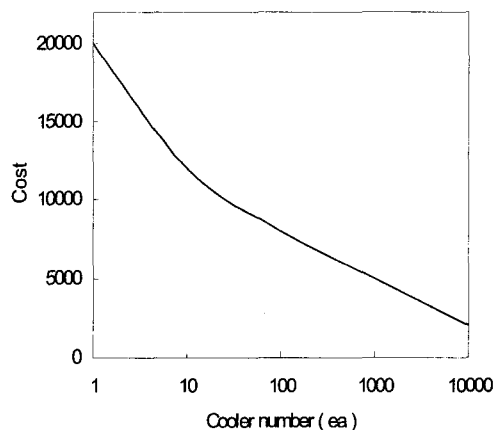


Fig. 3 Manufacturing Cost according to Production per Year (Wooyoung)

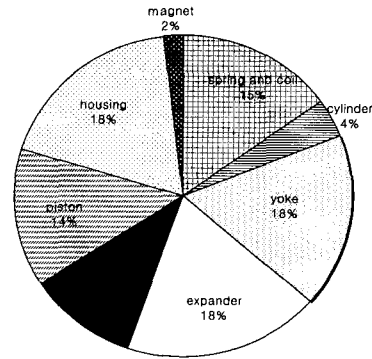


Fig. 4 Manufacturing Cost according to Cryocooler Parts in Wooyoung (10,000 set / year)

### 4. 결론

극저온 냉동기 시장은 군수시장이 대부분이며 민수시장은 현재까지는 여러 분야에 응용되기 시작하는 시장 형성기에 있다. 그러나 향후 초전도시장과 더불어 성장이 기대되는 시장이다.

국내는 기술 개발면에서 많은 발전을 하고 있지만 아직도 외국에 비하여 뒤떨어진 실정이며 특히 극저온 냉동기의 제조 공정과 경제성 면에서의 기술발전은 본사를 제외하고서는 전무한 실정이다.

생산기술의 면에서의 연구 부족은 제한된 시장과 많은 기술장벽과 단시간의 개발기간 등에 주원인이 있다고 하겠다.

이러한 공정기술 낙후성은 가격경쟁력에서 뚜렷이 나타날 수밖에 없으며 이를 극복하기 위해서는 지속적인 개발과 체계적 지원이 뒤따라야 한다.

극저온냉동기의 국산화를 위해서는 원천기술 개발 뿐만아니라 공정 및 생산기술 개발 또한 절실히 필요하다. 따라서 많은 관계 연구자들의 연구와 관심이 뒤따라야 한다.

### 참고문헌

1. A.K. De Jonge, "A Small Free-Piston Stirling Refrigerator," American Chemical Society, pp. 1136-1141, 1979.
2. S.J.Park, etc., "An Experimental Study of Split-type Free Piston and Free Displacer Stirling

- Cryocooler," Korea-Japan Joint Workshop on Applied Superconductivity & Cryogenics, 2000.
3. Y.J.Hong, etc., "A simple analysis of split-type free piston, free displacer Stirling Cryocooler," Korea-Japan Workshop on Applied Superconductivity and Cryogenics, 2000.
  4. Y.J.Hong, etc., "Study of Stirling Cryocooler Performance with different length of Split tube," Proceedings, KIASC Conference 2001, Mooju, pp. 37-40.
  5. S.J.Park, etc., "Study of KIMM-E1 Stirling Cryocooler Performance with different Charging Pressure," Proceedings, KIASC Conference 2001, Mooju, pp. 33-36.