

# 구매조건부신제품개발사업 구매연계형 과제제안서

## I. 개발기술 개요

① 개발과제명	20K급 GM극저온냉동기용 디스플레이서 제조를 위한 초고온사출성형·금형기술 플랫폼개발			
② 개발제품명	극저온냉동기용 디스플레이서			
③ 기술분류	구 분	산업기술 표준분류	국가과학기술 표준분류	6T
	대분류	기계·소재	화공	ET
	중분류	요소부품	고분자 공정기술	청정생산
	소분류	기타 요소부품	고분자 가공/성형기술	기타 청정생산기술
	* 수요처의 업종이 아닌 개발제품의 기술분류를 기재, 별첨 참조			
④ 개발기간 및 연구개발비 규모	개발기간	24 개월	정부지원 연구개발비	5 억원
	* 개발기간은 시험평가(신뢰성 인증)소요기간을 포함하여 예상되는 총 개발기간을 기재, 향후 조기완료가능하므로 적절한 기간을 산정 * 정부지원연구개발비는 공고문의 유형별 지원조건을 참조하여 총 정부지원연구개발비 계상			
⑤ 구매계획	구 분	구매수량	구매단가	예상구매액
	1년차	500 (개)	0.3 (백만원)	150 (백만원)
	2년차	1,000 (개)	0.3 (백만원)	300 (백만원)
	3년차	1,500 (개)	0.3 (백만원)	450 (백만원)
	4년차	2,000 (개)	0.3 (백만원)	600 (백만원)
	5년차	2,500 (개)	0.3 (백만원)	750 (백만원)
	5년차 이후	3,000 (개)	0.3 (백만원)	900 (백만원)
	총 계	10,500 (개)	0.3 (백만원)	3,150 (백만원)
	* 구매예상액은 정부출연금의 3배 이상			
⑥ 키워드	(한글)	디스플레이서	극저온냉동기	사출성형
	(영문)	Displacer	Cryocooler	Injection Molding

## II. 개발기술 세부내용

### ⑦ 개발 목표 및 개발필요성

#### 1. 개발 목표

- 극저온 고진공 펌프(Cryopump)의 수요증가에 따라 기존공정 대비 생산성과 효율성이 향상된 핵심부품에 대한 소재/공정기술개발로, 수분배기와 가스배기영역의 온도를 구분하고, 헬륨 기밀 성능을 갖는 극저온 고진공 펌프용 디스플레서(변위기, 재생기, Displacer) 부품에 최적화된 초고온사출성형·금형기술 플랫폼을 개발함.

- (소재개발) 극저온 고진공 환경하에 적용 가능한 인장강도 100MPa 이상, 굴곡강도 120MPa 이상의 Teflon/PPS/PEEK 기반의 복합엔지니어링플라스틱(EP) 소재 개발로, 기존 기계가공용 페놀수지 계열의 섬유 강화 베크라이트(Bakelite)의 물성을 대처함.

- (신가공기술) 사출성형 기반의 금형온도 160℃ 이상의 고온사출성형·금형기술 플랫폼개발로 기존 “기계가공/열처리”방식의 반복 공정의 비효율성을 개선함.

- (성능수준) 기존 제품 대비 동등 이상의 냉동 능력을 갖는 최소 압력 1.2MPa 하에서 1단 냉동능력 13W@77K, 2단 냉동능력 3.5W@20K 이 보장되는 제품 개발 및 품질 성능평가/신뢰성을 검증함.

#### 2. 개발 필요성

##### (1) 개발품 현황

- 반도체 디스플레이 OLED 장비 사용되는 극저온 고진공펌프는 극저온냉동기(Cryocooler)를 모체로 공정 가스에 따라 극저온 온도를 가지는 흡착영역에 따라 수분 및 기체를 응축/흡착하여 제거하는 방식임.

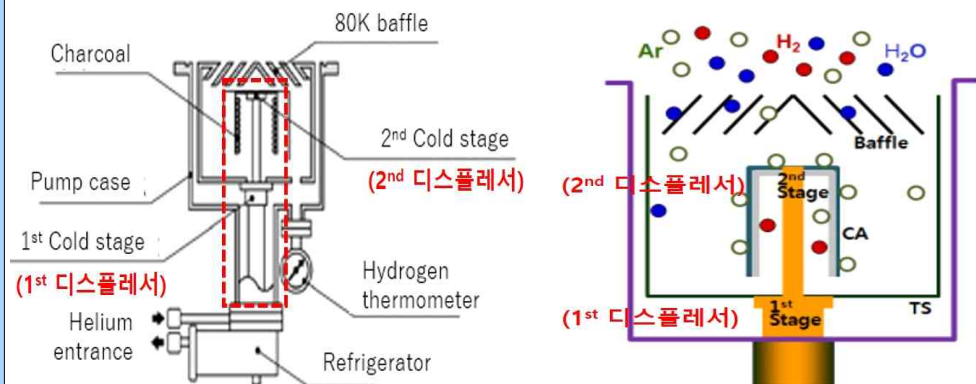


그림 1. 극저온 고진공펌프(Cryopump) 및 극저온냉동기 구성

⑦ 개발 목표 및  
개발필요성

- 극저온냉동기 중에 GM(Gifford-McMahon) 극저온냉동기는 다단 또는 재생물질을 변경함으로써, 여러 온도영역에 대응할 수 있는 주로 사용되며, 주요 부품은 변위기, 실린더, 헬륨압축기, 구동장치로 구성되고, 특히 **디스플레서(Displacer)**는 **펌프 성능을 결정하는 핵심부품임**(업계에서 변위기나 재생기로 명칭 하기도 함)
- 극저온 고진공펌프의 작동원리는 고압의 헬륨가스를 냉매로 사용하여 모터의 회전운동을 직선으로 변환하여 **디스플레서의 연속 왕복 운동**을 통한 헬륨가스가 단열팽창이 되어 이동하여 온도가 다른 극저온 상태로 변위기 1단부는 80K(수분배기영역)가 유지되어 연결된 Baffle과 Shield에서 수분을 흡착하고 변위기 2단부는 20K(가스배기영역)로 유지되어 Panel에서 질소, 산소, 아르곤을 어레이 활성탄에서 수소, 헬륨 등을 응축/흡착시켜 고진공을 유지함.
- **개발품인 극저온 고진공펌프용 디스플레서의 구조 및 특징**은 원통 형상의 2단으로 구성되어, 외부에는 각각 서로 다른 2개의 극저온 온도영역을 구분/밀폐하는 피스톤 실(1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>)들과 내부에는 온도 구배를 유지하는 재생열교환기인 Cu, Lead Ball의 축냉기를 장착하는 구조임.

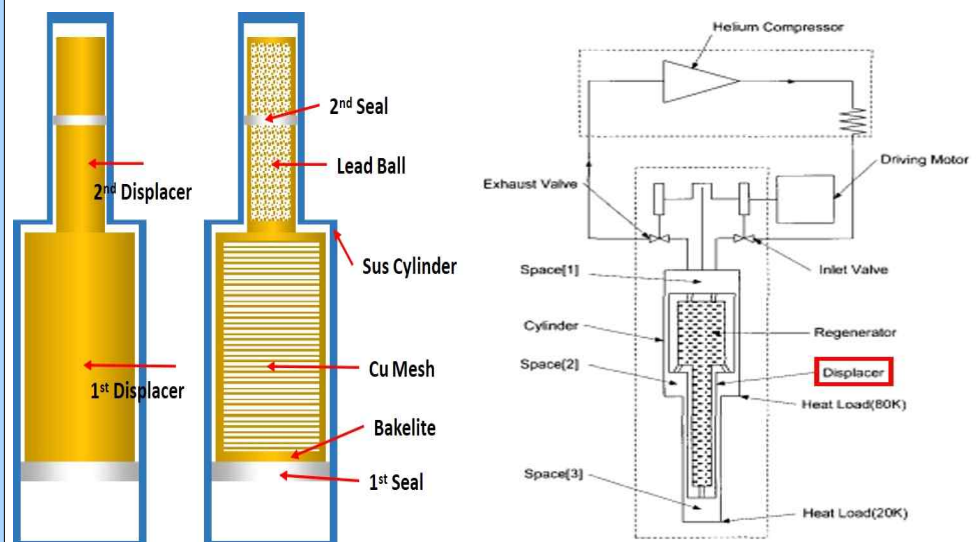


그림 2. 변위기(재생기, Displacer) 구성

(3) 문제점

- 극저온 고진공펌프의 국산화는 어느 정도 성공하였으나, 핵심 부품에 대한 가공기술력은 현저히 부족한 상태임.

⑦ 개발 목표 및 개발필요성

- 헬륨기밀성 및 저온 온도영역 분배 등 성능을 결정하는 변위기와 같은 극한조건에서 24시간 연속 사용되는 핵심부품의 경우, 국산품의 교체 주기는 3~6개월 수준이고, 수입품은 2년 이상의 사용이 가능하여 수입품이 대부분을 차지하고 있음.
- 선진국의 극저온 고진공 부품업체는 자체 가공기술을 펌프 제조사에도 기밀로 하므로 기술이전 및 협력이 매우 어렵고, 수입 규제 등 국제정세에 따라 공급 부족 현상이 지속해서 발생함.
- 이로 인하여 국내가공업체를 통한 부품 제조에 대한 새로운 가공기술개발을 통해 수입과 외산품에 의존하는 극저온 고진공 핵심부품에 대한 국산화가 절실히 필요함.

(4) 개발 필요성

- 극저온 고진공펌프의 성능을 결정하는 부품인 디스플레이서는 펌프 제조사의 오랜 시행착오와 축적된 기술력을 바탕으로 주로 고진공펌프 제조사의 주도하에 제작함.
- 소재 선정 및 가공방식은 국내외 제조사가 유사하지만, 제품 수명과 품질은 많은 차이가 발생하고 있음.

(공정개선 필요)

- 기존 제작 공정은 섬유강화 베크라이트(Bakelite/기계가공용) 재료를 활용하여, 열처리 공정과 기계가공의 복합공정으로 공정별 부적합 요소가 많고 품질관리 비용이 과다하게 발생하여 이러한 복잡한 생산공정을 단순화하여 품질 향상 및 원가가 절감되는 부품가공기술의 적용이 필요함.



그림3. 기존 변위기(재생기, Displacer) 생산공정도

<p>⑦ 개발 목표 및 개발필요성</p>	<p>(소재 개발 필요)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 소재인 베크라이트 열과 내마모성이 우수하지만, 수분에 취약하여 입고-출고까지 전 공정에서 지속적인 수분관리가 필요해 열처리 공정이 필요해 소재/부품 관리에 많은 시간과 비용이 발생함.</li> <li>- 베크라이트 소재 및 부품이 일부 공정에서 수분이 흡수되면 형상 변형과 탈색 불량 발생하고, 헬륨 기밀성 불량으로 극저온 목표 온도(80K/20K) 도달하지 못하는 문제가 발생함.</li> <li>- 개발 소재는 가공성이 용이하고, 극저온환경에서 기계적 강도가 뛰어나며 온도변화에 따른 수축률이 고려하여, 수분 침투 방지를 위한 별도의 열처리 공정이 필요 없는 Teflon/PPS/PEEK 기반의 복합 EP 소재로 개발이 필요함.</li> </ul> <p>(신가공 기술 필요)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 정밀도와 진원도가 중요한 디스플레이의 기존 제작공정은 환봉 형태의 베이크라이트 원소재를 CNC 장비 기계가공으로 제작하는데, 피스톤 실과 실린더에 부착되는 형상과 1단, 2단 형상을 가공하는 외경 가공과 축냉기가 장착되는 내부 면을 가공하는 방식으로 제품 하나당 20분 이상이 소요되는 많은 가공 시간과 재료의 손실이 많은 가공방식임.</li> <li>- 또한 환봉 소재를 깎는 방식으로 가공 중에 발생하는 미세 가공 칩과 파티클 제거를 위해 별도의 후처리 공정이 필요하고, 후처리로도 제거되지 않은 파티클은 불량 잠재요소로 남음.</li> <li>- 이러한 소재와 가공 특성상으로 높은 수준의 표면 조도를 갖는 제품을 획득하기 어려워, 이는 실린더와 조립 시 실린더 면에 부착되는 불량 발생 요인이 됨.</li> <li>- 장비 특성상 세팅 후 2년 이상의 수명이 보장되어야 하므로 부품의 표면 상태와 내마모성도 중요한 품질관리 요인임.</li> <li>- 이를 해결하기 위해 기계가공 대비 2분 미만으로 짧은 가공 시간으로 제품을 제작하는 사출성형 기반의 가공기술이 필요함.</li> <li>- 기계가공 대비 불량 잠재요인인 표면 조도와 파티클 관리가 쉽고 열처리 공정이 필요 없는 단일공정 방식의 사출성형 기반의 가공기술이 필요함.</li> </ul>
------------------------	--

<p>⑦ 개발 목표 및 개발필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 복합엔지니어링플라스틱(EP) 소재는 고온금형 및 고온사출성형 프로세스가 필수적임(저온에서는 미성형, 치수안정성, 첨가제로 인한 표면 조도 저하, 낮은 물성 등의 문제가 발생).</li> <li>- 또한 EP 소재의 경우, 금형온도가 높을수록 성형품의 물성 및 표면 상태가 향상되는 경향이 있음(일반적인 복합 EP 소재의 경우 110~130℃ 부근의 금형온도를 유지해야 하지만, 물성 확보를 위한 첨가제의 영향으로 그 이상의 온도 유지가 필요할 것으로 예상됨).</li> <li>- 그러나 고온금형 및 고온사출성형 공정에서도 다양한 문제들이 발생하고 있음(수지 내 비휘발성 첨가제로 인한 금형 침착, 성형품 냉각 속도 차이와 잔류응력으로 인한 후변형 등의 문제 발생).</li> <li>- 이를 해결하기 위해, 금형온도 160도 이상의 고온사출성형/금형기술 플랫폼 개발이 필요함.</li> </ul>
------------------------	---

⑧ 수요처  
기술수요  
(상세히)

- 제안기술은, 생산성 효과 100% 이상, 원가절감 50% 이상, 수입대체 및 공정 설비 공간 절감 효과 100% 이상이 예상됨.

**1. 구매 등 매출 효과**

- 극저온 고진공펌프는 윤활유 오염이 없는 청정기술로, 타 고진공펌프 대비 3배 이상 빠른 높은 배기속도와 수증기 제거 능력이 우수하여 시장이 점점 확대되고 있는 추세임.

- 제안기술 제품은 아직 국내에서 시도나 소개되지 않은 기술로, 기존 제품 대비 우수한 성능으로 관련 부품 시장에 새로운 기준을 제시하고, 높은 기술력과 완성도를 이룰 수 있음.

- 제안기술의 달성상황에 따라 최소 5년 이상, 30억 원 이상의 구매계획을 가지고 있으며 이는 구매계약을 통해 보장함.

- 수요처에서는 고품질 개발품을 납품받아, 국내 디스플레이, OLED 장비 시장에 우선 적용하고, 반도체 및 항공우주, 수소에너지, 핵융합, 초전도, 바이오 시장으로 점차 확대할 예정임.

- 수요처와 관련 있는 해외기업으로도 품질이 우수한 개발품을 소개하여 관련 부품 시장을 확대할 예정임.

**2. 원가절감 및 수입대체 효과**

- 제안기술은 기존 대비 생산성 향상 생산비 절감 효과 기대

- 기존공정: 열처리 + 가공(복합공정)

- 제안공정: 사출성형(1차 가공으로 완제품 생산)

- 기존공정은 열처리 시간을 제외하고 순수 가공 시간만 20분 이상 소요되지만, 제안기술은 열처리 공정을 제거하고 가공 시간을 2분 이내로 단축할 수 있어 공정 효율성을 확보할 수 있음.

- 국내 최초로 도입되는 제안기술은 국내 극저온 고진공 펌프 부품 가공기술 발전에 상당 부분 기여하고, 신규제품뿐만 아니라 Overhaul(유지보수) 시장에도 적용할 수 있어 국내 중소기업 기술력 확보 및 육성에도 그 효과가 상당할 것으로 기대함.

- 제안기술은 선진 가공기술로 세계 최고 수준의 품질을 구현하는 생산기술로 수입 대체뿐만 아니라 수출도 가능한 가공기술임.

**3. 고용 창출 효과**

- 제안기술은 수요처뿐만 아니라 개발기업에도 연구 및 생산 인력 분야에 매년 3명 이상의 신규인력의 일자리 창출 효과가 있음.

⑨ 개발기술  
세부요구수준  
(성능, 규격 등)

1. 개발제품의 세부 성능

- 고온 사출성형 공정을 적용한 부품을 개발함에 있어서, 기존 베크라이트(Bakelite) 물성을 대체할 수 있는 복합EP 소재(인장강도 100MPa 이상, 굴곡강도 120MPa 이상의 물성)과 최소 압력 1.2MPa 하에서 1단 냉동능력 13W@77K, 2단 냉동능력 3.5W@20K이 보장되는 성능을 갖는 극저온냉동기용 변위기(재생기, Displacer) 부품을 개발함.

2. 개발 고려사항

- CAE 해석과 시뮬레이션을 통해 복합 EP 소재의 물성 DB화와 사출성형용 변위기 부품 설계가 고려되어야 함.
- 복합 EP 사출성형은 품질을 유지하기 위해 일반 사출성형과 달리 사출 시, 금형 온도가 160℃ 이상 설정됨으로 양산이 가능한 금형의 가열 및 냉각 방식이 고려되어야 함.
- 복합 EP의 물성 유지를 위한 첨가제에 의한 마이그레이션 등 사출성형품 불량에 대한 대책이 있어야 함.
- 고온 금형에서 발생하는 비휘발성 잔류물 및 가스를 제거하는 방안이 있어야 함.

3. 국내외 기술동향 및 수준

- 국내업체에서는 기존 베크라이트 기계가공 방식으로 디스플레이서를 제작하고, 본 제안 과제와 같은 방식은 아직 시도되지 않았음.
- 해외업체에서는 반도체 진공펌프 분야에서 사출성형공법이 시도된 바 있으나, 관련 내용은 아직 밝혀지지 않았음.

개발항목(성능지표)	규격/단위	개발목표	객관적 측정방법
1 1단 냉동 능력	W@K	13@77	공인기관 전문가 입회시험 (수요처 인증)
2 2단 냉동 능력	W@K	3.5@20	공인기관 전문가 입회시험 (수요처 인증)
3 인장강도	MPa	100	ASTM D638
4 굴곡강도	MPa	120	ASTM D790
5 IZOD 충격강도 (Notched@23℃)	J/m	30	ASTM D570
신뢰성 인증방법	수요처 요구 공인인증서		



⑩ 비교  
(특이사항 등)

- 제안기술의 제품은 수요처의 양산 검증을 위한 냉동능력시험 규격에 만족해야 함.

- 1단 냉동능력, 2단 냉동능력 평가의 경우, 공인기관의 전문가 입회하에 그 결과의 객관성을 담보해야 함.

- 수요처는 제안기술 제품의 양산 검증을 위해 성능평가 결과를 피드백하여 개발 결과 분석 및 개선방안을 제시함.

- 제안기술의 제품은 기술개발 및 성능평가 완료 후, 즉시 생산에 적용함.