

# 연구개발계획요구서(RFP)

과제명 : 탄성률 1300g/den급 초고분자량 폴리에틸렌 원사 제조기술 개발

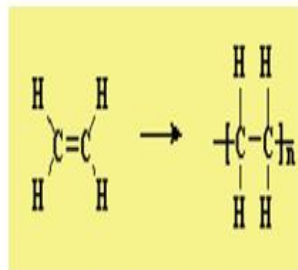
## 1. 개요

### 가. 기술의 개념 및 정의

- 초고분자량 폴리에틸렌(UHMWPE, Ultra High Molecular Weight Poly Ethylene) 섬유는, 수백만의 분자량을 가진 polyethylene resin을 유기용매에 용해시켜 희박용액으로 만든 후 이것을 용액 중에 방사하여 Gel상 섬유를 얻어 초연신을 통해 고강도를 갖는 원사를 말함. Gel 방사에 의해 얻은 섬유는 섬유축방향으로 배향이 95% 이상이고 결정화도가 85%이상의 높은 수준을 나타내고 있음

### Ultra-high molecular weight polyethylene(UHMWPE) fiber

- ✓ 중량평균분자량 : 600,000g/mol 이상
- ✓ 강도 : 30~40g/d
- ✓ 탄성률 : 1000~2000 g/d
- ✓ 밀도 < 1.0g/cm<sup>3</sup>(0.97g/cm<sup>3</sup>)



<분자 구조>

Dyneema  
Orientation > 95%  
Crystallinity up to 85%



Normal PE  
Orientation low  
Crystallinity < 60%



[그림 1] 초고분자량폴리에틸렌(UHMWPE) 특성 [1]

- 본 과제에서는 선진 제품과 동등 또는 그 이상의 성능을 가지는 UHMWPE 원사의 국산화 기술을 개발하고, 이 원사를 적용한 직물/편물을 개발하며, 프리프레그(Prepreg, 섬유 강화 복합재료용의 중간 기재로, 강화섬유에 매트릭스 수지를 예비 함침한 성형재료) 성능향상을 위한 고분자수지조성과 섬유표면적합성을 연구함

### 나. 기술의 중요성/필요성 및 시급성

- 기술의 중요성/필요성

- 급격히 성장하고 있는 섬유복합재료시장에서 현재 우리나라의 기술수준은 상용화 단계에 있는 선진국에 비해 기초연구단계로, 후발주자인 중국에서 우리나라의 기술수준에 빠르게 따라오고 있는 실정임
- 현재 우리나라에서는 비교적 중저가품질의 제품을 생산하고 있는데, 중저가 시장은 후발주자인 중국이 가격경쟁력을 앞세워 점유율을 높여가고 있어 기반기술 확립을 통해 고부가가치, 고품질의 제품생산이 요구됨
- 특히 아라미드섬유, 고강력PE섬유, 탄소섬유와 같은 고강도, 고탄성률 섬유의 제직기술, 가공기술, 성형기술 등 산업용섬유 분야의 전반적인 생산기술 기반이 약해 연구개발이 필요한 실정이지만, 현실적으로 투자비용이 크기 때문에 연구개발에 어려움을 겪고 있음
- 슈퍼섬유복합재료 분야에서 기술적인 발전을 이루고 세계시장을 선도하기 위해서는 슈퍼섬유 원사 제조기술과 직물화 기술, 수지의 분자제어기술, 그리고 성형기술 등이 모두 높은 기술력을 보유하고 있어야 하지만, 우리나라는 일부 슈퍼섬유 원사 제조기술만 보유하고 있을 뿐 강화재용 섬유제조기술, 프리프레그(Prepreg) 제조기술, 복합재료 성형기술 등의 기반기술이 부족한 실정임

#### ○ 기술개발의 시급성

- 소재 및 기술 개발 당시에는 국내기술 개발 및 국내 소재 적용을 요구하지만, 실제 제품을 국방부에서 사용 시에는 저가정책으로 인한 해외 수입제품이 대부분 적용됨으로 인해서 국내기술 개발이 실질적인 면에서는 적용이 되지 않는 불합리한 구조가 형성되어 있음. 이로 인해서 국방기술의 국내기술화가 매우 미진한 실정임.
- 국방 기술 국산화를 통해서 국가적으로 보호되어야 할 핵심 국방기술의 보호가 가능할 뿐 아니라, 이로 인해서 한국 방위산업의 보호 및 육성이 가능하고, 또한 한국내 생산으로 인해서 일자리 창출 등의 부수적인 효과도 매우 클 것으로 파악됨.
- 방탄 · 방폭 창호, 방폭덮개, 비행기 및 화물 컨테이너 등 각종 민 · 군용 방폭 제품에 대해 국산화기술 정립 및 성능기준 체계 마련이 절실한 실정임.

## 다. 연구개발 최종 목표

### ○ 민·군수용

항 목		목 표 성 능
원 사	강도 (g/den)	38 이상
	탄성률 (g/den)	1,300 이상
	섬도 (den/filament)	1.7 이하
	섬도 편차 (%)	±3 이하
직물/편물	인열저항 (급)	3 이상

## 2. 국내의 기술현황 및 전망

### 가. 국내 기술동향 및 전망

- 초고분자량PE섬유 소재를 활용한 일방향(UD, Uni-Direction) 시트와 직물형 프리프레그의 경우 방탄복, 방탄판, 방탄헬멧, 레저·스포츠, 자동차, 우주·항공 등의 다양한 산업분야에 적용되고 있음. 스포츠·레저 분야의 경우 다른 복합소재분야에 비해 비교적 높은 기술을 필요하지 않아 물량과 가격경쟁력을 앞세운 중국제품들이 점점 시장을 장악하고 있는 실정임
- 섬유복합재료가 사용되는 분야 중 가장 높은 기술을 요하는 분야는 우주·항공분야인데, 현재 국내에서는 세계적인 수준의 고품질 제품을 생산할 수 있는 기반기술이 부족한 실정으로 국내 복합소재 성형업체들은 대부분 이러한 슈퍼섬유소재를 활용한 복합소재시트를 전량 수입제품에 의존하고 있음 (대한항공, KM, HJC 등)
- UHMWPE 섬유가 가장 많이 쓰이고 있는 방탄분야에서는 UHMWPE 섬유의 높은 인장강도와 형태변형을 통해 총알의 운동에너지를 변형에너지로 흡수하고 날카로운 탄두를 무르게 하여 방호성능을 나타냄
- 방탄패널용 소재의 제조에 있어서 방탄성능을 향상시키기 위해 여러 가지 변수를 고려하게 되는데, 섬유의 종류, 섬유의 배향, 방탄패널의 형태, 방탄패널의 경도, 탄두 회전에 의한 마찰열 등 여러 변수에 대해 UD소재는 인장강도가 뛰어나며 섬유의 변형이 용이하도록 설계되어 직물보다 우수한 방호성능을 나타냄

- 국내에서는 섬유원사와 직물까지 전량 수입하여 압축성형과 봉제가공 하여 납품, 수출 중임. 특히 UD소재가 주로 적용되는 방탄복용 방탄패드(삽입용, soft armor)와 방탄판(hard armor) 제품은 소재를 전량 수입제품에 의존하고 있어, 국산화 기술개발을 통해 원가절감 및 국방수요에 원활한 대응이 요구됨

\* UHMWPE 원사 수입량 : 2,000ton/year

\* UHMWPE prepreg 수입량 : 460ton/year (차량용방탄소재 100ton, 방탄조끼 200ton, 헬멧 100ton, 방탄판 60ton)

- 2010년부터 방탄·방검복 시장 규모가 점차 증가하고 있으며, 국내 산업용섬유관련 기술이 발전하고 관련 산업이 성장하면서 방탄복이나 방검복을 찾는 일반인들이 늘어나 관련업체들도 보급형 제품을 선보이고 있음

#### 나. 국외 기술동향 및 전망

- 미군 방탄복의 경우, 탄화붕소섬유 세라믹을 전면 방어플레이트로 사용하고 있으며 후면 보강재로 고강력PE섬유를 이용한 소재를 사용하고 있으며, 슈퍼섬유 UD소재를 활용한 방탄복은 우수한 특성으로 2001년의 911 테러 이후에 더욱 활발히 적용되고 있음
- 네덜란드 DSM사의 경우에는 네덜란드와 미국에 공장을 가지고 있으며 연간 7,000 ton의 고강력PE섬유 제품을 생산하고 Honeywell은 미국에 본사를 두고 연간 1,500 Ton의 제품을 생산하고 있음
- 일본 Toyobo는 DSM과 합작하여 연간 1,600 Ton의 제품을 생산하고 있고 중국에서도 3개사에서 연간 15,000 Ton을 생산하고 있음. 이 제품들은 전량 방탄소재 및 산업용 소재로 사용되고 있어, 전 세계적으로 수요에 비해 공급이 따라가지 못하고 있는 실정임
- 이들 해외 선진업체들은 UHMWPE섬유와 UD나 직물형 프리프레그 소재 등의 원천기술을 지속적으로 연구개발하여 제품특성을 향상시키고 있으며, 공장증설을 통해 생산량도 증가시키고 있음. 방호제품, 고기능성 낚싯줄, rod, 배터리, 의료용 임플란트, 안전장갑, rope, 그물, membrane, 돛 등 다양한 산업분야에 응용·적용하고 있음

### 3. 연구개발계획

#### 가. 단계별 연구개발 목표

##### ○ 민·군수용

구분	연구개발 목표	연구개발 내용	주요결과물
응용 연구	선진 제품과 동등이상의 성능을 가지는 방탄소재급 UHMWPE 원사의 국산화 기술을 개발하고, 이 원사를 적용한 직물/편물의 제조 기술을 개발하며, 프리프레그 성능 향상을 위한 고분자수지 및 적합성을 연구함	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ UHMWPE 원사 제조 기술               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 방사공정 기술개발</li> <li>- 저온연신 기술개발</li> <li>- 안정화 생산조건 개발</li> <li>- 섬유 후처리 기술 개발</li> </ul> </li> <li>○ UHMWPE 직물/ 편물 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 직물/편물 제조 조건 연구</li> </ul> </li> <li>○ UHMWPE 프리프레그 제조기술 연구               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수지 조성 및 섬유표면적합성 연구</li> </ul> </li> </ul>	UHMWPE 원사, 직물, 편물

※ 연차 구분은 회계연도를 기준으로 설정 및 예산 배분

연구단계	응 용 연 구			
연차	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
연차별 기간	7개월 (20.6~20.12)	12개월 (21.1~21.12)	12개월 (22.1~22.12)	5개월 (23.1~23.5)
평 가	진도평가▲	진도평가▲	진도평가▲	최종평가▲
예산지급	▲	▲	▲	▲

\*재료비, 장비비 등은 사업 초기에 집행하여 활용도 제고

#### 나. 사업기간 및 연구개발비

○ 사업기간 : 3년(응용연구 3년)

○ 총 연구개발비(정부출연금) : 26.2억원 이내(응용연구 26.2억원)

### 4. 적용 및 파급효과

#### 가. 적용분야

##### ○ 민수 :

- 단기(개발 후 3년 이내) : 안전보호복 등 레저활동 및 헬멧 관련 제품
- 장기(개발 후 3년 이후) : 방탄, 테러 방어 개인용 장비, 2차전지 리튬배터리 Case 등

##### ○ 군수 :

- 단기(개발 후 3년 이내) : 방탄복 소재
- 장기(개발 후 3년 이후) : 개인전투체계와 연계된 미래형 병사체계 방탄복

## 나. 파급효과

### ○ 기술적 측면 :

- 섬유강화복합재료 제조에 필요한 강화재용 섬유소재(UD 또는 직물 프리프 레그) 제조기술과 매트릭스용 고분자 수지에 따른 복합재료 특성변화 database가 구축된다면 차후 산업용 섬유 강국으로서 섬유 부품소재 분야의 세계시장을 선도해 나갈 수 있음.
- 첨단 방위산업, 우주항공분야, 자동차분야와 같은 섬유강화복합재료의 수요가 큰 산업분야에서 부품소재의 선진제품 기술종속화를 탈피하고 기술적 자립화를 통해 부품소재 무역수지 적자를 감소하고, 관련 제품의 수출증대가 가능함

### ○ 경제·산업적 측면 :

- 섬유강화복합재료 분야에 있어 UHMWPE 섬유의 국산화를 통해 막대한 수입 대체 효과를 얻을 수 있으며, 부품소재 제조기술 및 제품의 국산화로 인해 완제품의 가격경쟁력을 확보할 수 있어 관련 제품의 수출증대 및 그에 따른 고용창출의 효과가 있음
- 민수 분야는 방탄, 폭탄 방어 개인용 장비, 2차전지 리튬 배터리 Case, 4류 위험물 (특수인화물류) 저장 이동형 Tank 등 산업 전반에 걸쳐 수요가 예상되는 등 경제적 파급효과가 매우 클 것으로 기대됨




### ○ 군사적 측면 :

- 전쟁이 발발할 경우 사망 또는 부상의 주원인은 탄환이 아닌 파편탄에 의한 것으로 밝혀져 있으며, 세계적으로 탄환대응형의 방호시스템에서 파편탄까지 방어할 수 있는 수준의 방탄복 개발이 지속적으로 요구되고 있음.
- 한편 현용 사용되는 소재보다 방호성능이 우수하고, 경량화된 한국군 맞춤형 차세대 방탄제품을 개발할 수 있는 기술을 확보함으로써 군 작전운용 및 군사력 발전에 기여하고 기타 폭약물 운송 2차 사고 피해를 방지 기여함으로써 궁극적인 군전력 발전에 기여할 수 있음

## 5. 연구개발 결과 제시물 및 평가항목

### 가. 연구개발 결과 최종 제시물

- UHMWPE 원사, 직물, 편물

민수/ 군수용 소재 [2]	
 <p>&lt;UHMWPE 원사&gt;</p>	 <p>&lt;UHMWPE 직물&gt;</p>  <p>&lt;UHMWPE 편물&gt;</p>

### 나. 연구개발 결과 평가항목 :

- 상세한 평가방법 및 절차는 제안 후, 계획서에 반영하고 TRR 시 확정
- 최종평가는 국내외 공인시험기관에서 성능시험을 실시

## 6. 참여 요건

### 가. 추진 체계 요건

- 주관연구기관 및 참여기관 : 제7조제2항 및 동법 영 제14조제2항 각 호에 해당하는 기관 또는 단체
  - ※ 응용연구 및 시험개발의 경우에는 주관연구기관 또는 참여기관에 1개 이상의 기업 참여 필수 (제27조제4항) 단, 기초연구의 경우에는 기업참여가 필수사항이 아님
- 기업분담율 : 민·군기술협력사업 공동시행규정 제27조(별표4)

### 나. 연구책임자의 자격 및 과제 신청요건

- 연구책임자의 자격 : 관련분야의 연구 경험이 풍부한 중견 연구자를 책임자로 선임하여 연구의 최종목표를 달성할 수 있도록 계획, 업무프로세스 정립, 원활한 추진 및 조정과 과제관리를 수행할 수 있어야 한다.

- 과제 신청요건 : 주관연구기관은 제안한 연구개발 목표를 충분히 달성할 수 있는 연구팀을 구성하여야 하며, 필요시 컨소시엄을 구성할 수 있다.

## 7. 참고문헌

- 이승구, “UHMWPE섬유 현황 및 제조”, 국가인적자원개발 컨소시엄 교육, 다이텍연구원, 2015.4.17.
- [www.dsm.com](http://www.dsm.com)

## 8. 과제 문의사항 연락처

소속	성명	연락처
민군협력진흥원	민준원	042-607-6045