

# 연구개발계획요구서(RFP)

과제명 : 인장강도 6.4GPa급 초고강도 PAN계 탄소섬유 개발

## 1. 개요

### 가. 기술의 개념 및 정의

- 본 과제는 항공우주·방산용 고성능 경량부품의 핵심소재로 기대되는 인장강도 6.4GPa 이상, 인장탄성률 295GPa 이상의 초고강도 PAN계 탄소섬유의 개발 및 제조/생산기술을 확보하는데 그 목적이 있음
- 일본, 미국, 중국등에서는 초고강도 탄소섬유의 제조기술 및 생산능력을 확보하여 민간 항공분야와 위성, 방위산업 및 특수산업용 분야등 수요에 대응하고 있으나 국내의 경우 중성능급 탄소섬유는 상업화하여 생산되고 있으나, 초고강도 탄소섬유 제조기술 및 생산기반은 전무함
- 한편 초고강도 탄소섬유 관련소재와 부품 등이 선진국 수출승인품목(EL)으로 지정되어 수입이 원천적으로 불가능하며, 또한 향후 위성발사체 및 고성능 복합재 연소관등 핵심분야의 초고강도 탄소섬유 수요가 다방면에서 증가 할 것으로 예상되어 이에 따른 대처가 요구됨에 따라 본 과제를 부처협력으로 추진할 필요성이 제기됨
- 본 연구에서의 개발목표는 12K의 초고강도 탄소섬유를, 30톤/년 이상 생산할 수 있는 pilot scale의 초고강도 탄소섬유 제조기술을 확보하는데 있음. 또한 구축된 생산설비를 이용하여, 5000톤/년, 수율 80% 기준으로 80\$/kg 이하로 제조할 수 있는 기술의 확보도 포함됨
- 이를 달성하기 위하여 구체적으로 전구체 PAN 중합기술(고분자 PAN 중합기술 등), 전구체 섬유개발(노즐설계 및 섬유방사기술 등), 초고강도 탄소섬유 제조공정기술(안정화, 탄화, 표면처리 기술등), 제조장비 설계(lab 및 pilot 설비구축) 및 실용화 연구(성능평가/소재 DB 구축 등)등의 기술개발 및 연구등이 개발 내용에 포함됨

### 나. 기술의 중요성/필요성 및 시급성

- 기술의 중요성/필요성
  - 초고강도 탄소섬유 기반 기술은 선진국 뿐만 아니라 중국, 대만등 주변국가에서도 기술을 보유하고 있고 이를 활용한 부품생산을 통하여 경쟁력을 강화하고 있음. 따라서 관련기술의 확보가 지체될 경우 국가경쟁력은 물론, 국가안보에도 영향을 미칠 수 있어 초고강도 탄소섬유의 개발 및 기술확보

는 중요할 뿐만 아니라 시급히 필요함

- 경량화 추세를 살펴보면 가격대비 품질경쟁력이 뛰어난 T1000급 초고강도 탄소섬유를 제공할 수 있다면 항공우주·국방 분야에서 T800급을 대체할 가능성이 높고 이에 따른 성능향상이 기대되므로 초고강도 탄소섬유 소재가 필요함
- 비행체(무인기 포함)의 운영고도와 체공시간 연장등을 위해서는 경량화가 필수적이며 이를 통한 시스템의 성능향상을 위해서 초고강도 탄소섬유가 필요함. 또한 연료전지 자동차의 실용화를 견인하기 위해서는 700기압의 초고압 수소탱크의 개발이 긴요하며 이를 구현하기 위하여 T1000급 초고강도 탄소섬유 개발이 필요

#### ○ 기술개발의 시급성

- 초고강도 탄소섬유는 소재와 관련부품 뿐만 아니라 생산설비까지 수입통제 품목(E/L품목)으로 분류되어 있음. 따라서 국내 (군수분야 포함)수요 발생 시 관련 소재나 부품의 공급이 어렵고 대처가 곤란함. 더구나 해당 소재의 수요는 차후 증가가 예상되어 이에 대한 대책이 미흡할 경우 국가경쟁력 제고 및 안보차원에서 심각한 영향을 미칠 수 있어 관련기술의 개발은 시급함
- 최근 국내 개발되어 시판 단계인 T800급 보다 강도가 18% 향상된 T1000급 탄소섬유 기술은 Toray, Hexel 등 일류기업 만이 공급하고 있으며 항공우주·국방분야의 발전상황과 경량화 추세를 볼 때 초고강도 탄소섬유의 수요는 필수적일 뿐만 아니라 향후 수요의 증가가 예측되어 이를 뒷받침할 수 있는 초고강도 탄소섬유 제조와 관련된 기반기술 개발은 시급

### 다. 연구개발 최종 목표

#### ㉠ 초고강도 탄소섬유 제조 기술 확보

- 인장강도 6.4 GPa 이상, 탄성계수 295 GPa 이상, 년산 5천톤 수율 80%기준 제조원가 80\$/kg 이하

#### ㉡ 실용화

##### ○ 초고강도 탄소섬유 및 복합재 성능과 신뢰성 평가/물성 Data Base 구축

- 초고강도 탄소섬유 및 복합재 물성시험/신뢰성 평가법 구축
- 초고강도 탄소섬유 및 복합재의 소재구성과 공법별 물성 Data Base 구축

구 분	주요항목	단위	세계최고수준 (국가, 업체명)	최종개발 목표치
탄소섬유	Filament No.	K	3(일본/Toray)	12
	Tensile Strength	GPa	6.6(일본/Toray)	6.4 이상
	Tensile Modulus	GPa	324(일본/Toray)	295 이상
	Elongation	%	2.0(일본/Toray)	2.2
	Density	g/cm <sup>3</sup>	1.80(일본/Toray)	1.80 이상
	제조원가*	\$	?(일본/Toray)	80 이하
실용화	소재DB 구축 (소재/복합재/공법 수)	개	?(미국/Boeing)	5 이상
	시제품 평가	개	-	1 이상

\* 연간 생산량 5,000톤, 수율 80% 기준

## 2. 국내외 기술현황 및 전망

### 가. 국내 기술동향 및 전망

- 항공우주 산업의 육성 필요성에 대해 공감대가 형성되고 있으나 이를 뒷받침할 수 있는 기술역량이 크게 부족하여 글로벌 항공기제작사의 부품 입가공 수준에 머물러 있는 상태이며 소재물성 Data base, 설계, 공정-성능 시뮬레이션 등 기초기술도 매우 낮은 수준이며, 초고성능 탄소섬유의 기술개발 수요 또한 극히 일부분만을 제외하고는 아직은 미미함
- 탄소섬유 생산기술의 경우, H사는 연간 2,000톤 규모의 T700급을 생산하고 있고 T800급 탄소섬유는 생산기술을 확보한 상태임. 또한 T사는 연산 1500톤 규모의 T700급 탄소섬유 상업생산 설비를 보유하고 있으며, S사는 외국의 본사로부터 기술을 이전받아 2013년부터 2,200톤/년 규모의 T700급 섬유를 생산하기 시작했음. 그러나 초고강도 탄소섬유의 국내 기술수준은 미국, 일본뿐만 아니라 중국과 비교해서도 낮은 수준으로, 특히 초고강도 탄소섬유인 T1000급 이상 초고강도 탄소섬유 개발은 진행된 바 없음

### 나. 국외 기술동향 및 전망

- PAN계 초고강도 탄소섬유 기술 가운데 프리커서 고분자의 중합과 제사가 전체의 50% 이상을 차지하며 Toray, Hexel, Toho Tenax, Mitsubishi Rayon 사 만 초고강도 프리커서 섬유를 제조할 수 있는 기술을 보유함. 주요 제조사의 기술현황은 아래와 같음
- Toray
  - 일본 Toray사는 1971년 PAN계 탄소섬유 토레이카 (Torayca, T-300)의 상업생

산을 시작하였고 현재 생산능력은 세계 최대이며, 글로벌 탄소섬유 공급체계를 구축함

- T700 및 T800 탄소섬유를 항공기의 1차 구조물로 적용중이며 T1000 및 T1100초고강도 탄소섬유도 기술개발을 완료하여 응용분야를 개척 중임
- 탄소섬유의 성능을 더욱 향상시킨 T-2000의 연구개발이 진행되고 있음
- 최근에는 T800H를 고강도화 하고 저비용화한 T800S가 A380과 B787의 주익과 동체 등 거의 모든 1차 구조물에 적용
- Mistubishi Rayon
  - 1983년부터 미 HITCO사와의 기술 제휴를 통해 탄소섬유를 생산하기 시작
  - 현재 생산능력은 연간 3,400 톤 규모로 세계 3위를 차지함
  - 독일계 탄소섬유 업체인 SGL에 자동차용 탄소섬유 프리커서 섬유를 공급하고 있으며 항공기시장에도 T800급의 탄소섬유를 상업화함
- Toho Tenax (일본)
  - 1975년 특수 아크릴섬유를 원료로 하는 PAN계 탄소섬유 Besfight를 생산해 탄소섬유 메이커로서 글로벌 마케팅 체계를 구축함 (세계 2위)
  - 토호테낙스의 탄소섬유 제품구성은 필라멘트, chopped fiber, 프리프레그, 직물, 페이퍼, 탄소섬유 표면에 니켈을 입힌 MC 품목들과 함께 고강도, 중강도, 고탄성 탄소섬유를 제공
  - 인장강도 6.0 GPa, 인장탄성률 290 GPa의 초고강도의 탄소섬유를 상업화하였고 T1100급의 초고강도 탄소섬유 기술개발도 완료
  - 항공용 복합재 분야에서는 A380의 수직 꼬리날개 구조재, 바닥재용 탄소섬유를 공급
- Hexcel (미국)
  - 미국 Hercules사의 기술을 계승하여 PAN계 스포트우를 생산하고 있으며 생산능력은 연간 2,000 톤 규모임
  - 초고강도 탄소섬유를 상업화하여 현재는 인장강도가 최대 약 6.96 GPa인 IM10 탄소섬유를 전개 중
  - 탄소섬유이외에도 항공우주·국방 분야에서 세계 최고수준의 수지, 프리프레그, 탄소섬유강화 복합재료 기술을 보유
- Cytec
  - PAN계와 Pitch계 탄소섬유를 모두 생산하고 있으며 Toray로부터 PAN 프리커서 기술을 도입하여 적용
- 중국기업들 중 주요 6개사의 탄소섬유 설비규모는 1만5천톤에 달하며 이 가운데 Jiangsu Hangke Composite Materials Technology는 2012년부터 T800급 탄소섬유를 양산하고 있으며 2014년 연산 50톤의 Pilot규모로 T1000급 탄소섬유를 개발

- 대만의 UHT Unitech은 T700급 탄소섬유를 원료로 사용해 T800급, T1000급 탄소섬유 제조기술을 개발하여 Toray 제품 대비 30% 저렴한 가격으로 시판 중

### 3. 연구개발 계획

#### 가. 연도별 연구개발 목표

- 민·군수용

구분	연구개발 목표	연구개발 내용	주요결과물
1 년 차	-설비 설계 -PAN중합기술 개발	○ Pilot설비 설계 ○ PAN중합기술(Lab)개발	○ 기술자료 ○ 소재DB
2 년 차	-설비 구축 -PAN중합기술 개발	○ Pilot설비 구축 ○ PAN중합기술(Lab)연구 ○ PAN중합공정(Pilot)연구	○ 기술자료 ○ 소재DB
3 년 차	-설비 구축 -PAN중합기술 개발	○ Pilot설비 구축(완료) ○ PAN중합기술(Lab)최적화 ○ PAN중합공정(Pilot)연구	○ 설비도면 ○ 기술자료
4 년 차	-설비 개선 -전구체섬유 개발 -탄소섬유 공정개발	○ Pilot설비 개선 ○ 중합,여과,고배향성 섬유기술 개발 ○ 산화,탄화,후처리 및 pilot생산기술 확립	○ 프리커서 ○ 탄소섬유 ○ 기술자료
5 년 차	-설비 최적화 -전구체섬유 기술확립 -탄소섬유 공정확립	○ Pilot설비 최적화 ○ 중합,여과,고배향성 섬유기술 확립 ○ 산화,탄화,후처리 및 pilot생산기술 최적화	○ 탄소섬유 ○ 파일럿라인 ○ 기술자료

- 연차별 목표를 연구개발계획서에서 제시하고, 연차별 목표에 대한 평가항목 및 달성목표치를 정량적으로 제시
- 연차별 목표는 민·군기술협력사업 공동시행규정 별지 서식 제4-1C호(연구개발계획서)의 III. 2. 연차별 개발 목표/내용 및 평가에서 구체적으로 제시
- 연차 구분은 회계연도를 기준으로 설정 및 예산 배분

연차	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도
연차별 기간	7개월 (‘17.6~12)	12개월 (‘18.1~12)	12개월 (‘19.1~12)	12개월 (‘20.1~12)	12개월 (‘21.1~12)	5개월 (‘22.1~5)
평가	▲	▲	▲	▲	▲	▲
예산 지급	▲	▲	▲	▲	▲	▲

- 재료비, 장비비 등은 사업 초기에 집행하여 활용도 제고

## 나. 연구기간 및 연구비

- 연구기간 : 5년
- 정부출연금 : 100억원 이내

## 4. 적용 및 파급효과

### 가. 적용분야

- 민수 :
  - 항공기 및 인공위성등 경량 초고강도 구조체
  - 풍력, 연료전지, 심해 케이블 등 산업 및 에너지용 초고강도 소재
  - 스포츠, 토목, 화학분야의 초경량 초고강도 부재
- 군수 :
  - 유도무기, 전투기 등 초경량 초고강도 구조체
  - 무인기, 무인로봇 등 초고강도 구조체

### 나. 파급효과

- 기술적 효과
  - 초고강도 탄소섬유 제조·생산기술 확보를 통해 원천소재를 확보하고 기술 자립으로 국가 경쟁력 강화에 기여
  - 탄소섬유를 기반으로 한 초고강도 복합재 부품개발 관련 기술 인프라 구축 등을 통해 독자적이며 경쟁력 있는 핵심기술 확보 가능
- 경제적·산업적 효과
  - 초고강도 탄소섬유 생산기술 확립에 따른 관련기술 파급효과와 특수산업 분야와의 연계발전이 가능
  - 항공우주산업의 핵심소재로서 높은 전후방 연관효과, 고부가가치 창출, 응용/적용분야의 확대로 신산업 창출 가능
- 군사적 효과
  - 초고강도 탄소섬유 제조기술 확보를 통해 수입이 불가능한 부품에 적용하여 성능향상을 통하여 군전력 증강 및 자주국방 확립에 기여

## 5. 연구개발 결과 제시물 및 평가항목

### 가. 연구개발 결과 최종 제시물

- 파일럿 단계에서 제조된 초고강도 탄소섬유
  - 프리커서섬유, 탄소섬유, 추정 제조원가(5천톤/년,수율80%), 공인인증기관의

물성시험 성적서

- 초고강도 탄소섬유강화 복합재 및 부품
  - 프리프레그, 초고강도 탄소섬유 복합재 부품
- 초고강도 탄소섬유 제조 파일럿 라인
  - 기본설계도면, 공정 및 품질관리 표준서, 안전 및 환경관리 표준서
- 소재DB
  - 모노머, 프리커서섬유, 탄소섬유, 탄소섬유강화 복합재
- 초고강도 탄소섬유 상용화 공장의 기본설계도면, 설비 사양서, 물질(원부자재, 부산물, 제품) 및 에너지 흐름도, 공장경영 계획서

## 나. 연구개발 결과 평가항목

- \* 1-다 항의 “연구개발 최종목표”를 충족하는 평가항목 및 평가방법 등을 제안자가 제시함

## 6. 참여 요건

### 가. 추진 체계 요건

- 주관연구기관 및 참여기관 : 민군기술협력사업 촉진법 제7조 2항 및 동법 시행령 제14조 2항 각 호에 해당하는 기관 또는 단체
- \* 주관연구기관 또는 참여기관에 1개 이상의 기업 참여 필수(민·군기술협력사업 공동시행규정 제44조)
- 기업분담율 : 민·군기술협력사업 공동시행규정 제44조(별표4) 준용

### 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 : 주관기관은 컨소시엄을 구성함에 있어서 제안한 연구개발 목표를 충분히 달성할 수 있는 연구팀을 구성하여야 하며 과제 참여기관은 각 분야의 연구 및 개발경험이 풍부하여야 한다.

### 다. 연구개발결과물에 대한 소유

- 민·군기술협력사업 공동시행규정 제127조(연구개발결과물의 소유)에 따라 국가기관이 민·군기술협력결과물을 공공의 목적으로 실시하고자 할 경우에는 필요로 하는 기간 동안 무상으로 실시할 수 있음

## 라. 기타

- 연구개발계획서는 민·군기술협력사업 공동시행규정 별지 서식 제4-1C호 (연구개발계획서)를 준용하여 작성
- 그림, 표 등 인용자료는 반드시 인용처 표기

## 7. 참고문헌

## 8. 과제 문의사항 연락처

소속	담당전문위원	연락처
민군협력진흥원	소재분야 전문위원	042-607-6042