



# 초고성능 PVA 재료 및 응용기술 개발

류 원 석

영남대학교 섬유패션학부

## 1. 연구제안의 배경

21세기는 섬유산업을 포함하는 모든 사업 분야에 있어서 고기능화, 기능복합화 및 신물질의 개발 등을 포괄하는 새로운 개념의 산업 재료의 개발을 요구하고 있다. 이에 선진국에서는 기존의 섬유재료에서는 얻을 수 없었던 초고성능의 새로운 기능을 갖는 산업용 섬유재료를 개발하고 이의 기술독점을 통한 시장 점유 및 독점의 시도가 이루어지고 있다. 이와 같은 기술 독점화는 21세기형 첨단 산업분야인 IT, BT, ET, NT, ST, CT 및 SET 분야에서 더욱 두드러질 것으로 예상된다. 세계적으로 섬유의 소비구조를 보면, 1998년 기준으로 천연섬유 2,015만 톤, 화학섬유 2,512만 톤 (화학섬유의 비중: 55.5%) 이었으나 2008년에는 천연섬유 2,227만 톤, 화학섬유 3,754만 톤으로 화학섬유의 비중이 62.8%로 성장할 것으로 예상되고 있다. 이는 섬유소비 증가의 대부분이 산업용 섬유신소재의 사용량 확대에 기인할 것으로 전망되기 때문이다. 우리나라의 섬유산업은 화학섬유 산업을 중심으로 수출주도산업으로 성장해 오면서 up-stream에서 down-stream에 이르기까지 균형 잡힌 발전을 해 왔지만, 제품의 품질과 가격경쟁력 면에서 급변하는 시장요구에 신속히 대응하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 시장요구에 신속히 대응할 수 있는 제품화 신기술과 생산구조를 갖출 수 있도록 국내 섬유산업의 구조를 개선

해야 할 필요가 있으며, 이러한 구조개선이 이루어진다면 기존 선진국과 동등한 수준의 국제경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 고성능 섬유신소재의 개발은 새로운 섬유고분자 원료의 제조, 공정상의 개선, 그리고 후처리 기술의 발전으로 나누어 생각할 수 있다.

폴리비닐알코올(poly(vinyl alcohol), PVA)은 매우 독특한 특성을 가지고 있는 섬유고분자 재료로서, 의류용 및 산업용 섬유, 호부제, 접착제, 안정화제, 필름, FRC 및 의료용 용도로서 폭 넓게 활용되고 있다. 특히, PVA는 특유의 수용성을 바탕으로 기존 섬유고분자 재료에서는 불가능하였던 분야로의 응용 및 기능화가 가능하므로 그 활용범위는 지속적으로 확장되고 있는 추세이다. 이에 이미 일본 및 미국 등지의 선진국에서는 생산기술을 확보하고 세계시장을 대상으로 독립적인 제조 및 판매망을 구축하고 있다. 우리나라에서도 1990년대 초반부터 PVA의 생산을 해오고 있지만, 선진국 제품에 비하여 기능이 떨어져 호부제나 접착제와 같이 원료상태에서 활용되는 분야에만 제한적으로 사용되고 있다. PVA 관련 기술은 일본의 독점이 두드러지는 분야인데, 일본은 PVA의 제조기술 뿐 아니라 다양한 방사법 및 후처리 기술에 대한 독점기술을 보유하고 있다. 그러나 이는 산업화에 성공한 중저 분자량의 혼성 배열 PVA에 국한된 것으로, 고분자량 혼성배열 PVA 및 교대배열 PVA의 산업화는 아직까지 진행 중인



과제이다. 우리나라의 PVA 관련 기술수준은 이미 세계적인 수준에 도달하여 있는데, 고분자량 혼성배열 PVA의 제조에 관해서는 이미 일본 등의 수준과 대등한 정도의 고분자량화가 가능하며, 교대배열 PVA의 제조에 관해서는 이미 세계 최고 수준에 도달해 있다. 또한 교대배열 PVA의 직접섬유화에 관한 독자적인 기술에 의해서 세계 물질특허까지 확보하고 있으며, 이에 관한 기술은 세계에서 유일한 것이다. 따라서 이미 확보한 세계수준의 국내 PVA 관련 기술을 산업 현장에 적용 및 응용할 수 있도록 하는 연구개발 과정이 필수적이며, 이는 연구개발의 범주와 파급효과 등을 고려할 때 국가적인 차원의 지원이 필요하다.

국내 PVA 관련 기술이 이미 세계적인 연구 역량을 갖추고 있음과 새로운 개념의 PVA 섬유고분자 소재의 개발이 국가 경쟁력의 충분한 성장인자로 발전할 수 있음을 고려하여 “초고성능 PVA 재료 및 응용기술 개발”이 필요함을 인지하여, 관련 기술 수준, 기술개발 동향, 시장 현황, 그리고 시장 발전성 등에 관한 집중적인 분석을 수행하였다. 본 기술은 세계적인 수준의 PVA 원료의 제조, PVA 방사법의 개발 및 필름제조를 포함하는 일차적인 기술 개발과 함께 초고성능 PVA 장섬유의 제조, 고성능 PVA 단섬유의 제조, 그리고 PVA 필름의 제조로 이어지

는 일차 응용 개발과 end-use의 목적에 맞춘 기능성 재료인 타이어 코드용 섬유, 고무강화용 섬유, FRC 용 단섬유, 기타 보강재용 섬유, 편광필름, 포장필름, 내산소투과형 필름, PVA 부직포, 그리고 연성 및 경성 PVA 의료용 재료 등의 개발을 일관된 체제로 연결하고 있다. 특히, end-use의 수요 목적을 PVA 원료 제조 단계에서부터 일관되게 적용하여 21세기형 첨단 산업분야에서의 활용 가능성을 극대화할 수 있는 “초고성능 PVA 재료 및 응용기술 개발”을 그 대상으로 하며, 다양한 산업분야와 학문분야의 유기적인 연계에 의한 기술개발과 상업화를 기획의 대상으로 하였다. 과제의 연구 개발을 위한 전체적인 연구 진행도는 Figure 1과 같다.

### 1.1. 연구개발 기간

- 전체: 2002. 11. 1~2007. 11. 30 (58개월)
- 1 단계: 2002. 11. 1~2005. 8. 31 (34개월)
- 2 단계: 2005. 12. 1~2007. 11. 30 (24개월)

### 1.2. 연구개발 사업비

- 전체: 26,000(백만원), 정부출연금: 15,340(백만원), 민간부담: 10,660(백만원)
- 1 단계: 16,416(백만원), 정부출연금: 9,705(백만원), 민간부담: 6,710(백만원)

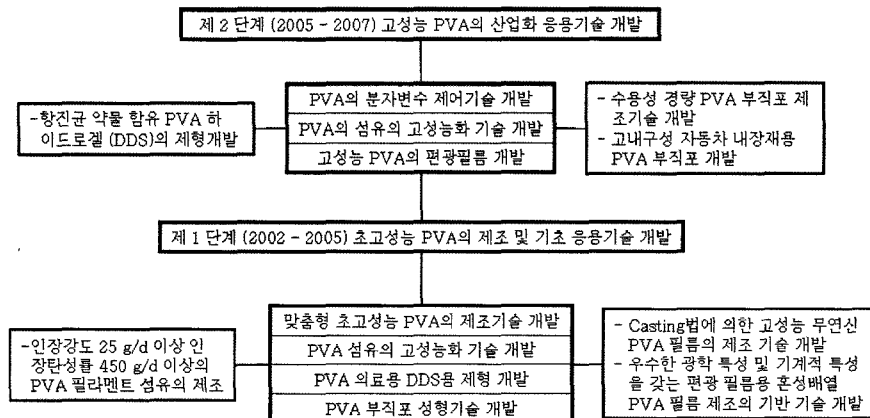


Figure 1. 단계별 기술개발 추진도.

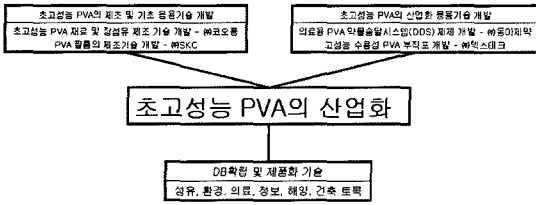


Figure 2. 2단계 연구개발 추진도.

- 2단계: 6,348(백만원), 정부출원금: 3,360(백만원), 민간부담: 2,984(백만원)

### 1.3. 주요 연구개발 내용

- 초고성능 PVA 재료 및 장섬유의 개발
- 고성능 고기능성 PVA 필름의 개발
- 의료용 PVA재료의 개발
- 고성능 수용성PVA 부직포의 개발

## 2. 연구개발의 개요

연구 과제는 Figure 2에 도시화된 것과 같이 크게 두 분야로 이루어져 있다. 첫 번째 분야인 초고성능 PVA의 제조 및 기초 응용기술 개발은 PVA 분자변수 제어 하여 산업용 초고성능 PVA 장섬유 제조 기술 및 고성능 고강도 PVA 개발과 우수한 광학 특성 및 기계적 특성을 갖는 편광 필름용 혼성배열 PVA 필름제조의 기반 기술 개발이 주목적이며 두 번째 분야인 초고성능 PVA의 산업화 응용 기술 개발은 생체적합성 고분자량 PVA 합성 방법 확립, 제조 및 공급과 PVA 부직포의 고강도 및 경량화 기술 개발, 저수축 기술 및 고속 생산 기술 개발 확립하는 것이다. 연구 개발을 수행하는 세부주관기관과 참여기업, 그리고 위탁기관의 현황은 Figure 3에 도시화 하였다.

PVA 섬유는 범용 합성섬유 중에서 인장강도와 탄성률이 가장 높고 내후성, 내열성 및 내화학성 등도 우수하기 때문에 산업용 소재로서의 활용분야가 매우 넓으며 이에 대한 관심이 집중되고 있다. PVA

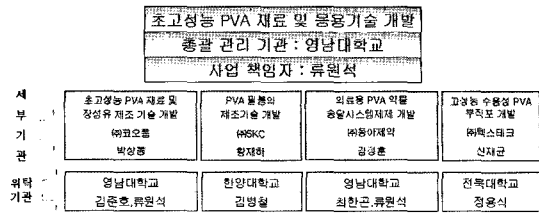


Figure 3. 2단계 연구 개발 주체 구성도.

섬유는 장섬유와 단섬유로 구분되는데, 시판품의 인장강도는 6~12 g/d로서 범용 섬유 중에서 가장 높은 값을 보인다. 그러나 PVA 섬유의 이론강도와 탄성률은 각각 236 g/d 및 2,251 g/d로써, 다른 고분자에 비해 시판 PVA 섬유와 이론적인 물성간의 차이가 현격하며 추후 산학연을 아우르는 집중적인 연구개발을 통해 이를 개선할 필요성이 대두된다.

또한, PVA는 우수한 조막성을 가지는 결정성 고분자이다. PVA를 원료로 한 필름은 타 고분자필름과 다른 특유의 성질, 즉 우수한 투명성, 광택, 비대전성(非帶電性), 비로결성(非露結性), 강인성, 우수한 인쇄성, 매우 낮은 가스투과성, 내유기약품성 등을 가지고 있다. 이러한 PVA 필름의 용도로서는 강인성, 비대전성, 미려함을 이용한 섬유제품의 포장, 내유기약품성과 각종 수지로부터의 박리성을 이용한 이형재, 물에 용해하는 성질을 이용한 수용성 필름, 가스 특히 산소투과성이 적은 점을 이용한 식품포장용 필름, 광학적 특성을 이용한 편광용 필름 등이 있다. 특히, PVA 편광필름의 경우 액정과 반도체 기술이 복합된 기술 집약적 품목인 LCD에 핵심적인 부품으로 사용되고 있으며 노트북 PC의 모니터부터 항공기의 조정실, X-선 측정기 등의 의료기구, 자동차 항법장치, 각종 계측기기 등 다른 응용 분야로 급속히 적용범위가 확대되고 있다.

고강도 PVA filament 제조방법으로 건습식 방사 기술이 있다. 현재 이러한 기술은 생산성이 낮은 단점이 있지만 열연신 공정으로 개선하면 비용 대 성능비가 높은 초고강도 PVA 섬유의 제조가 가능하다. 또한 현재 고성능 PVA resin을 이용하면 일본

의 선행기업에 비하여 경쟁력이 우수한 PVA 섬유 제조가 가능하게 되어 타이어코드를 중심으로 한 고강력 산업용 섬유 분야로의 적용이 가능할 것이다. 이와 같이 산업용 섬유 시장으로의 대체가 유망한 PVA 섬유는 종래의 나일론, 폴리에스터 등에 비해 기계적 강도, 내약품성, 내후성 등이 우수하여, 로프, 타이어코드, 고무보강재 등의 산업용 섬유재료로서 적용가능하며, 섬유의 고강도화에 따라 종래의 섬유강화 콘크리트(FRC), 섬유강화 플라스틱(FRP), 내구성 토목시트, 방수포 등으로 적용될 것이다.

특히, FRC용 PVA 단섬유의 일본 내 수요량은 연간 4,200톤으로 석면대체용 유기섬유 중에서는 가장 많으며, 대부분이 슬레이트판과 premix 제품으로 이용되고 있다. PVA 가격은 석면보다 높지만, 석면에 비해 혼합비율이 낮기 때문에 제품당 섬유 단가는 더 저렴한 것으로 알려져 있다. 석면에 대한 규제는 유럽 각국에서 먼저 이루어지고 있는데, 이태리와 프랑스가 각각 1994년과 1997년부터 석면의 사용을 전면 중지한 바 있으며, 석면사용을 제한하거나 금지하는 국가의 수는 급격히 증가할 전망이다.

본 사업은 우수한 극한재료의 특성과 생체적합성, 수용성, 환경친화성 등을 동시에 갖추어 최근 들어 산업 활용도가 급격히 증대되고 있는 초고성능 PVA 재료와 이의 응용기술을 세계적인 수준으로 제고하도록 연구개발을 수행하고 해당 연구 성과를 산업 현장에 적용하여 고성능, 그리고 고기능성을 갖는 다양한 형태의 PVA 제품을 산업화하는데 그 목적이 있다. 초고성능 PVA 재료 및 응용기술과 관련된 독점적인 첨단기술의 확보는 미래 유망 첨단산업인 환경 및 생체 재료산업, 전기·전자산업, 우주·항공산업 등의 비약적인 발전으로 이어져, 국가 경쟁적 향상뿐만 아니라 첨단기술선진국으로서의 국가이미지 제고에도 크게 기여할 것으로 생각된다.

### 3. 연구개발의 목표

#### 3.1. 최종목표

- 인장강도 25 g/d 이상 인상탄성률 450 g/d 이상의 PVA 필라멘트 섬유의 제조.
- 우수한 광학 특성 및 기계적 특성을 갖는 편광 필름용 혼성배열 PVA 필름제조의 기반 기술 개발
- PVA 구강점막 부착성 구내염치료제의 처방 선정 및 물리화학적 특성.
- 수용성 경량 PVA 부직포 제조기술 개발 및 고내구성 자동차 내장재용 PVA 부직포 개발.

#### 3.2. 단계별 개발목표

##### 3.2.1. 1단계 개발목표

- PVA의 분자변수 제어기술 개발.
- PVA의 섬유의 고성능화 기술 개발.
- 고성능 PVA의 편광필름 개발.

##### 3.2.2. 2단계 개발목표

- 맞춤형 초고성능 PVA의 제조기술 개발.
- PVA 섬유의 고성능화 기술 개발.
- PVA 의료용 약물송달시스템(DDS)용 제형 개발.
- PVA 부직포 성형기술 개발.

### 4. 연개개발의 개발목표

#### 4.1. (주)코오롱 (주)코오롱

“초고성능 PVA 장섬유 제조기술 개발”을 수행 중인 (주)코오롱은 고 DP PVA Resin의 방사기술을 확립하고 또한 초고성능 PVA 섬유의 고차구조를 제어하는 기술을 연구 중이고 또한 내열수성 및 내열성 향상 기술개발 및 이를 위한 pilot 설비를 재 구축할 것이다. 그리고 상업화용 최적제사조건을 확립하고 최적 연사 조건을 확립하여 PVA tire cord 용 dip solution 조성물의 선정 및 열처리 기술을 개발 진행 중이다.

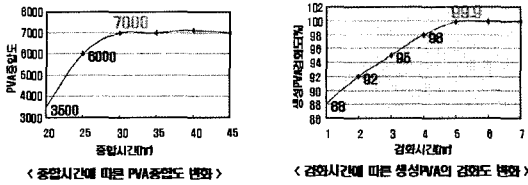
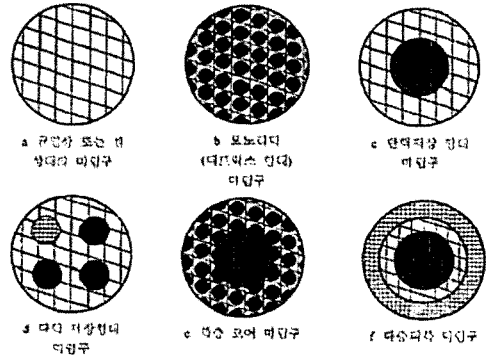


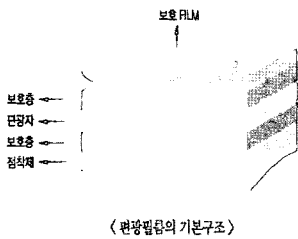
Figure 8. SEM images of (a) neat Kevlar ( $\times 50$ ) and Kevlar impregnated with 20wt% STF (b)  $\times 50$  (c)  $\times 1000$  (d)  $\times 7500$ .



<첨단 약물전달체계에 사용되는 여러 형태의 미립구>

## 4.2. (주)SKC SKC

“PVA 필름의 제조기술 개발”을 수행 중인 (주)SKC는 고성능 무연신 PVA film roll sample을 제조하고 편광 필름용 PVA 필름의 물성 최적화 연구를 수행하여 사업화를 위한 최적 공정 기술을 개발하고자 한다. 광학용 필름으로의 적용을 위한 가소제 및 계면활성제 연구, PVA film의 광택도, 연신성 등의 물성 및 외관 개선, 공정 요소 제어에 의한 필름 물성 제어 및 제조된 PVA 필름의 특성 해석 기술 개발 등의 연구를 진행 중이다. 또한, 위탁 연구 기관을 통하여 film 첨가제 및 물성에 따른 유연학적 특성 및 편광특성 분석, PVA film의 착색 기술 개발, 제조된 편광필름의 편광 특성 해석을 하여 이를 통해 압출 casting 법에 의한 PVA film roll sample을 제조와 LCD 편광 필름용 PVA film 물성 최적화 및 편광판 sample을 제조 중이다.



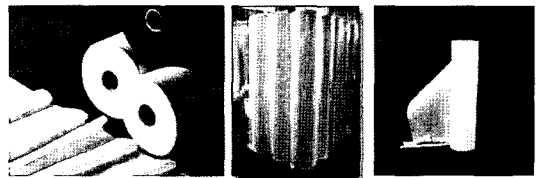
## 4.3. (주)동아제약 DONG-A PHARM. CO.LTD.

“의료용 PVA DDS 제제 개발”을 수행 중인 (주)동아제약은 합성 신약 개발의 문제점인 과다한 연구비 및 인력 수급, 오랜 시일 소요와 저조한 개발 확률을 해소해 개량 신약을 개발하고자 한다. 개량 신약의 장점은 저렴한 연구비, 짧은 개발 기간 소

요 및 적은 인력 수급과 높은 개발 확률을 가지고 있어 의료용 DDS 제제 개발을 앞당기고 있다. 신규 개량신약 개발-의약품 시장 개척과 대학의 우수 연구진과 공조 연구로 국내외의 시장 개척을 하기위해 활발히 진행 중이다.

## 4.4. (주)텍스테크

“고성능 PVA 부직포 개발”을 수행 중인 (주)텍스테크는 고강도, 경량성 및 수용성 PVA 부직포 제조기술 개발과 중합도 4,000인 PVA 수지를 이용한 화학적 결합 공법을 개발 중인데 수용성 PVA 부직포는 주로 장식용 지수를 놓기 위해 일시적으로 사용되는 부직포로 지수공정 후 끓는 물로 용해시켜 제거한다. 지수 후 제거해야하는 물질이므로 경량화를 통한 원가 절감 및 경쟁력 확보가 시급해 이 점을 보완하기 위한 고분자량 고성능 바인더 적용에 의한 부직포 경량화 기술을 개발 중이다. 향후에는 수용성 경량 PVA 부직포의 웹공급 시스템 개선, 중합도 4,000 바인더 적용 방법 안정화, 강도 및 경량화 개선, 고내구성 자동차 내장재용 PVA 부직



포 개발, PVA 부직포 수축성 개선, 접착 강도 및 신축성 개선 등을 통한 고성능 PVA 부직포 개발을 위해 노력 중이다.

## 5. 기대효과

국내 PVA 산업은 우수한 원료의 원활한 국내 공급이 이루어지지 못하여 원천기술이 빈약한 상태에서 산업의 규모가 확장하는 비정상적인 상태에 있다. 따라서 원료 공급에 있어서의 수요에 따른 가격 탄력성을 상실하여 전반적인 산업의 해외 의존도가 매우 크다. PVA 원료, 섬유 및 필름에 관한 원천 제조기술의 확보는 기존 PVA 관련 산업의 경쟁력 강화와 함께 새로운 기술의 개발 및 적용의 폭을 넓혀줄 것으로 기대된다. 우선 다양한 PVA 원료의 제조기술 확보는 기존 호제나 접착제 등의 산업을 포함하여 완제품 형태로 수입되고 있는 PVA 스폰지나 의료용 재료 등의 다양한 산업에 있어서 국내 기술개발을 가능하게 할 것으로 기대되며, 반대로 이들 산업의 발달에 따른 역수요가 발생할 것이 예상된다. PVA 섬유의 제조기술은 PVA의 수용성을 이용한 초극세사의 제조, 인조피혁 등의 응용 및 수용성 부직포 등 다양한 산업분야의 활성화와 함께 기술개발의 기반을 제공할 것이다. PVA 필름

의 제조기술은 전량 PVA 필름이 사용되는 요오드계 편광필름 등의 전기전자 및 광학분야의 기술자 생력을 부여할 것으로 기대된다. 또한 PVA의 분자변수의 제어에 의한 분해성 및 수용성의 제어가 가능해짐에 따라 수반되는 기술개발의 활성화가 예상되며, 국내의 산업기반 강화로 이어질 수 있을 것으로 기대된다.

### 저자 프로필



### 류원석

1983-1987. 서울대학교 섬유공학과 졸업  
 1987-1989. 서울대학교 섬유공학(석사)  
 1989-1994. 서울대학교 섬유고분자공학(박사)  
 2002-현재. 산업자원부 지정 초고성능 PVA 중기거점 사업 총괄책임자  
 2004-현재. 산업자원부 지정 유기질 신소재 지역연구개발 클러스터 사업단장  
 2005-현재. 영남대학교 의과대학 겸임교수  
 1999-현재. 영남대학교 섬유패션학부 교수  
 (712-749) 경북 경산시 대동 214-1  
 전화: 053-810-2786, Fax: 053-810-4761  
 e-mail: wslyoo@yu.ac.kr