

섬유산업에서의 BT 기술의 도입 및 기술개발동향

- 출원특허를 중심으로 -

이근완, 최은경*, 변성원*, 정용식**

특허청 섬유생활용품심사담당관실, *한국생산기술연구원 섬유소재본부, **전북대학교 섬유공학과

1. 서 언

생명공학(biotechnology, BT)은 생물체의 유용한 특성을 이용하여 산업적으로 유용한 제품 또는 공정을 제조하거나 개선하기 위한 학문으로 정의될 수 있다. 최근 생명공학은 유전자 조작과 세포 융합 등의 기술을 이용하여 의료분야, 에너지, 자원 및 환경 등 여러 분야에서 무한한 잠재적인 가능성을 보여주고 있다.

섬유산업에서도 생명공학기술을 이용한 기술개발이 활발하게 진행되고 있으며, 이러한 기술은 새로운 섬유공정개발, 새로운 섬유원료 개발 및 폐수처리 등 섬유산업 여러 분야에서 진행되고 있다.

섬유공정에 최초로 생물학적인 처리방법이 도입된 것은 약 2,000년 전 아마(flax)섬유 제조시 아마에 기생하는 미생물에 의해 아마의 펙틴(pectin)성분을 제거하여 아마줄기로부터 섬유를 용이하게 벗겨내도록 하는 것이 처음이며[1], 1857년경 맥아추출물(malt extract)에 포함되어 있는 아밀라아제(amylase)를 이용하여 직물에 부착되어 있는 전분호제를 제거하는 것이 최초의 산업적인 공정으로 알려져 있다[2].

최근에는 세포배양이나 유전형질 전환 등의 첨단 생명공학기술을 이용하여 새로운 섬유소재를 개발하고 또한 기존 섬유를 개량하기 위한 연구가 여러 분야에서 진행되고 있다. DNA 분석기술을 이용하여 양모와 캐시미어 등 동물성 섬유의 감별에 사

용하고 있으며, 바이오센서(biosensor)는 섬유분야에 응용되어 지능형 필터, 스마트섬유, 보호복(protective clothing) 등의 제조에 사용되고 있다[3].

최근에 섬유산업에 생명공학기술을 적용하여 진행되고 있는 주요 응용분야는 다음과 같다[4].

- 섬유의 생산 증대 및 물성의 개량
- 새로운 섬유소재 개발
- 효소의 용도 및 공정기술개발
- 염료 및 섬유조제의 친환경적인 제조
- 품질관리
- 폐수처리 등

본 고에서는 최근에 활발하게 이루어지고 있는 섬유산업에 도입된 생명공학기술에 대하여 출원된 특허를 중심으로 알아보고 향후의 발전방향에 대하여 알아보고자 한다.

2. 효소이용기술

효소(enzyme)는 생물의 체내에서 합성되어 생체 반응에서 촉매로 사용되며 생명유지에 필수적인 물질이다. 산업적으로 판매되는 효소의 양은 2004년에 약 20억볼로 추정되고[5], 세계 효소시장은 덴마크의 Novozyme A/S와 미국의 The Genencor International에서 크게 양분하고 있다[6].

전 세계적으로 이용되고 있는 효소의 종류는 약 3,000 여종이며 이중 60 여종이 산업적으로 응용되

Table 1. Classification of enzymes and their effects

효 소	작 용
아밀라아제(α-amylase) 리파아제(lipase)	전분 등을 가수분해하는 효소 중성지방의 에스터결합을 가수분해하여 유기산으로 분해하는 효소
펙티나아제(pectinase)	식물세포벽의 구성성분인 펙틴을 가수분해하는 효소
셀룰라아제(cellulase)	셀룰로스의 β-1,4글리코시드(glycoside)결합을 가수분해하는 효소
프로테아제(protease)	단백질의 펩티드(peptide)결합을 가수분해하는 효소

고 있으며, 그 중 세제용으로 약 39%, 섬유공업용으로 14%가 사용되고 있으며, 그 외에 의약품 및 진단용으로 사용되고 있다[7]. 섬유산업에 사용되는 효소는 그 작용에 따라 다음 Table 1과 같이 분류된다[8].

전술한 바와 같이 효소는 발효공정 등 섬유산업에서 오래전부터 사용되어 왔고, 최근에는 효소를 이용하는 친환경적인 생산공정을 개발하기 위해 많은 연구가 진행 중이다. 특히 미생물 가공조제의 개발과 이를 이용한 공정 그리고 면섬유에 대한 효소 전처리 및 면섬유 가공공정 등에 많은 연구가 집중되고 있다. 이에 따라 향후 멀지 않은 장래에 섬유 공정중의 화학적 및 물리적인 공정의 많은 부분을 효소를 이용하는 공정으로 대체될 것으로 예상된다.

2.1. 발효공정

셀룰라아제(cellulase)는 전분을 먼저 덱스트린(dextrin)으로 가수분해하고, 말토오스(maltose)를 거쳐 최종적으로 수용성의 글루코오스(glucose)로 분해한다. 셀룰라아제의 이러한 특징을 이용하여 면섬유 등 셀룰로스섬유의 제직 후 전분호제를 발효하기 위한 특허가 많이 출원되어 있다[9,10].

특히 셀룰라아제는 여러 가지 복합효소로 구성되어 있어 전분호제를 분해한 후 셀룰로스섬유의 β-glucose residue의 1,4-linkage에 작용하여 섬유자체를 분해할 수 있기 때문에 발효공정 후 효소의 활성을 제거하는 기술도 함께 개발되었다[11].

최근에는 발효공정과 스톤와싱(stone-washing), 표백공정 등 타공정을 일목에서 동시에 실시하는 특허가 여러 건 출원되어 있다[12-14].

2.2. 정련공정

면섬유에 포함되어 있는 펙틴, 단백질 및 왁스 등의 불순물을 염색가공처리에 앞서 반드시 제거해 주어야 하며, 일반적으로 정련공정은 알칼리액에서 고온으로 가열하여 실시한다. 이러한 공정은 다량의 에너지와 환경문제를 유발하기 때문에 많은 연구자들이 대체기술을 개발하기 위해 노력을 하였고, 효소를 이용한 공정이 그 대안으로 받아들여지고 있다.

셀룰로스 섬유의 불순물을 제거하기 위해 여러 종류의 효소를 이용한 공정이 많이 연구되었으나 셀룰라아제가 가장 효과가 우수한 것으로 알려져 있다[15].

마섬유의 경우 섬유의 바깥부분에 다량의 펙틴이 존재하고 있으며, 이 부분을 제거한 후에 섬유를 제조할 수 있다. 기존에는 이러한 펙틴질을 제거하기 위하여 물리적인 장치 또는 알칼리 수용액에 침지하여 펙틴질을 제거하였으나 최근에는 미세한 마섬유를 펙티나아제(pectinase)가 포함된 산성 수용액에서 10~20분정도 처리하여 펙틴을 제거하는 공정에 대한 특허가 다수 출원되었다[16,17].

실크에서의 정련공정은 생사 표면의 세리신(sericin)을 제거하는 공정으로서, 이러한 실크사의 정련공정에 관련된 특허는 거의 출원된 바 없으며, 실크생사의 세리신층에 단백질분해효소를 함유한 후, 효소를 활성화시켜 세리신을 부분적으로 분해하여 실크사에 영구유연성을 부여하는 방법에 대한 특허가 출원되었다[18].

2.3. Biopolishing

셀룰라아제효소는 세제 등 섬유공정의 여러 분야에서 용도가 개발되어 사용되고 있으나, 면섬유에 있어서는 바이오폴리싱(biopolishing)공정과 스톤와싱공정이 셀룰라아제 효소의 가장 중요한 용도이다[19].

면섬유는 표면의 마이크로피브릴(microfibril) 때문에 촉감 불량과 모우 발생 및 섬유의 색상이 선명하지 않게 되는 등의 문제점이 발생한다. 기존에는 유연제처리를 하거나, 마이크로피브릴 발생을 방지하기 위해 섬유내부에 가교결합을 실시하였으나, 이러한 마이크로피브릴이 완전히 제거되지 않거나 강도가 저하되는 등의 또 다른 문제점이 발생하게 된다.

바이오폴리싱은 효소를 이용하여 면섬유 표면의 마이크로피브릴을 제거하여 깨끗한 표면, 선명한 색상 및 부드러운 느낌을 얻기 위한 공정으로서 덴마크의 Novo Nordisk에서 처음으로 개발하여 특허출원하였으며, 현재는 다른 여러 회사에서도 동일한 목적의 제품을 판매중이다[20].

최근에 개발된 라이오셀 섬유는 높은 결정화도에 의하여 섬유의 표면에 마이크로피브릴이 발생하고 이는 수세기 염색강도를 떨어뜨리는 주원인이 된다. 이러한 마이크로피브릴을 제거하기 위하여 주로 EGII glucanase type의 효소가 사용되며, 이와 관련된 특허가 다수 출원되어있다[21,22].

2.4. Biostoning

스톤와싱공정은 1975년에 일본의 Edwin에 의해 처음으로 개발되었으며, 데넬목물에 부석(pumice stone)과 과망간산칼륨(potassium permanganate)을 함께 사용하여 불균일한 탈색과 낡은 효과를 얻기 위해 실시하는 공정이다. 이러한 데넬목물에 스톤와싱효과를 얻기 위하여 셀룰라아제를 사용하여 친환경적으로 직물의 강도 저하 없이 동일한 효과를 얻는 바이오스톤(biostoning) 공정에 대한 특허가 Novo Nordisk에서 여러 건이 출원되었다[12,23].

2.5. Indigo bleaching

일반적으로 염색된 셀룰로스직물 특히 데넬은 인디고 염색 후 차아염소산 나트륨(sodium hypochloride)을 이용한 표백을 실시한다. 이러한 공정에서 발생하는 환경오염문제를 해결하기 위해 산화환원효소(oxidoreductase)를 사용하여 인디고에만 선택적으

로 효소가 작용하여 표백을 실시하고 타 섬유에 영향을 주지 않는 기술이 개발되었다[24].

2.6. 방축가공

양모섬유의 가공공정에 프로티아제(protease)와 리파아제(lipase)등의 효소를 이용하려는 연구는 오래전부터 진행되었고, 폴리펩티드(polypeptide)결합을 아민과 산으로 분해하는 프로티아제가 양모섬유의 공정에서 가장 널리 사용되고 있다.

양모섬유는 외부의 물리적인 힘에 의하여 특유의 수축이 발생하고, 이는 양모의 스케일(scale)구조와 탄성에서 기인한다. 따라서 방축가공이 필요하며 기존에는 염소화 화학적인 방법으로 양모의 scale을 제거하였으나, 최근 프로티아제를 이용하여 양모직물의 수축을 방지하기 위한 기술이 개발되었다[25]. 또한 프로티아제와 과산화수소를 함께 사용하여 양모섬유의 수축을 방지하고, 촉감, 외관 및 염색견뢰도 등을 개선하기 위한 특허 또한 출원되었다[26].

2.7. 표백공정

양모섬유의 효소를 이용한 표백공정은 프로티아제를 이용하여 많은 연구가 진행되었다[8,27]. 최근에 프로티아제와 과산화수소를 함께 사용하여 양모섬유를 표백했을 때 섬유의 백도(whiteness)와 친수성을 개선하는 연구가 진행되었고, 기존의 표백공정에 효소를 첨가하여 공정효율을 높이려는 연구가 다수 진행되었다[8,28,29].

2.8. 친수성 개질가공

리파아제에 의한 폴리에스터섬유의 생분해에 대한 연구는 오래전부터 진행되었으나[30, 31], 생산 현장에서 실용화되지 못하였다. 현재 리파아제는 폴리에스터섬유의 표면개질에 주로 사용되고 있으며 이와 관련된 특허가 다수 출원되었다[32-34]. 폴리에스터섬유의 에스테르결합이 리파아제에 의해 가수분해되면 친수성 하이드록실기와 카르복실기가 생성되어 섬유표면의 친수성이 개선되고, 짧은 시

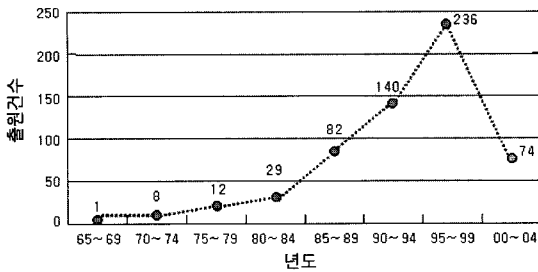


Figure 1. Patent applications related to enzyme detergent.

간에 많은 에너지를 소모하지 않으면서 표면개질효과를 얻을 수 있다[34].

2.9. 세제

1960년대부터 개발된 효소세제는 이러한 일반 세제에 오염의 종류에 따라 지방, 단백질 및 기타 오염원을 분해시키는 효소를 첨가한 것으로서 낮은 온도에서도 효소작용으로 세척력이 뛰어나다는 장점이 있다. 따라서 전체 효소 생산량의 약 39%정도가 세제에 사용되고 있으며, 주로 프로티아제와 아밀라아제가 주로 사용되고 있다[35].

Figure 1은 미국 및 일본 등 주요국가에서의 효소세제의 특허출원현황을 나타낸 것이다. 효소세제에 대한 특허는 1969년부터 출원되었으며, 1990년대에 특허출원이 가장 활발하였다. 효소세제의 주 용도는 주로 가정용 및 세탁용이 가장 많으며, 최근에 수술용 기구 등 의료용구의 세척용으로 사용하기 위한 효소세제가 개발되었다[36].

세제분야에서 단백질 분해효소인 프로티아제는 계란과 혈액 등 단백질유래오염물(protein-based stain)을 분해하여 수용성 펩티드를 형성하며, 아밀라아제는 감자와 고기육즙 및 초코릿 등 전분유래오염물(starch-based stain)을 덱스트린(dextrin)으로 분해하여 준다. 리파아제는 샐러드오일이나 립스틱 등을 분해하며, 셀룰라아제는 셀룰로스적물의 마이크로피브릴을 주로 분해하고 의류의 원래 색상을 유지토록 해준다.

최근에는 균류(菌類)로부터 얻은 페놀산화 효소

(phenol oxidizing enzyme)을 사용하여 의류의 음식 오염제거와 수세 후 염료의 재오염을 방지하기 위해 사용하는 기술이 개발되었으며[37], 프로티아제, 아밀라아제 등의 효소와 표백제를 함께 사용하여 단백질유래오염물 전분유래오염물 등의 착색오염을 표백하고, 세척액중의 염료를 산화분해하여 재오염을 방지하는 기술이 개발되었다[38].

최근 미국의 The Genencor International Inc.에서는 endo glycosidase를 이용한 세제를 개발하여 의류표면에 존재하는 박테리아 등을 제거하는데 큰 효과가 있는 것으로 알려져 있다[39,40].

3. 유전공학이용기술

3.1. 신규 섬유소재 개발

3.1.1. 거미실크(spider silk)

거미(spider)는 거미강(Arachnida), 거미목(Araneae)의 절지동물을 일컬으며, 자신이 만들어낸 실을 이용하여 생활을 한다. 거미는 용도에 따라 9종류의 실을 만들어 내고, 이러한 거미줄은 동일 무게의 강철사와 비교하여 인장강도가 약 5배 강하고, 나일론에 비해 2배의 신축성을 가지고 있다고 알려져 있다. 거미실크의 단백질은 아미노산 중에서도 분

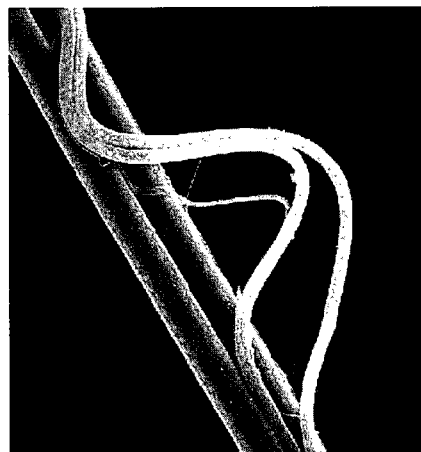


Figure 2. A scanning electron microscopic image of a natural spider silk.

자구조가 가장 간단한 글리신(glycine)과 알라닌(analine)을 주성분으로 하여 이루어져 있으며, 매우 규칙적으로 배열된 형태를 나타내고 있다[41,42].

Figure 2는 왕거미와 가시거미(*Eriophora fuliginea*)의 거미줄을 확대한 사진이다. 그림에서 보는 바와 같이 일반 거미줄의 직경은 누에실크의 약 1/10 정도이며, 보통의 거미줄은 지름이 약 7 μm 정도인 중앙 섬유층과 이 섬유층에 붙어 있는 약 1 μm 정도의 바깥쪽 섬유층으로 구성되어 있다. 중앙 섬유는 스파이드로인(spidroin)이라는 미세한 수용성 단백질 결정체로 구성되어 있고, 거미 몸 밖으로 나오기 전에 분자량이 30,000 정도인 액체상태의 스파이드로인이 섬유층을 따라 흐르고 섬유층에서 수분이 제거되고, 거미 몸속의 산(酸)과 접촉하여 단백질분자들이 서로 결합하여 분자량이 약 200,000~300,000 정도인 고분자가 되어 몸 밖으로 방사되어 거미줄이 형성되는 것으로 알려져 있다[43,44].

1709년 프랑스의 과학자인 Saint-Hi laire는 거미줄을 이용하여 양말과 장갑을 제조하였고, 그 당시 만국박람회에 출품하였대[45]. 그러나 거미는 대량 사육이 불가능하고 옷 한 벌을 제조하기 위해서는 약 5천마리의 거미가 수명을 다할때까지 생산한 실을 모두 모아야 가능하므로 상업화가 불가능하였다.

그러나 1998년 거미실크의 단백질을 생산하는 거미의 유전자가 와이오밍대학(University of Wyoming, Department of Molecular Biology)의 연구팀에 의해 밝혀졌고[43,44], 최근에 유전공학 기술을 이용하여 거미줄을 대량생산하려는 연구가 활발하게 진행 중이다.

캐나다의 유전공학회사인 Nexia Biotechnologies Inc.에서는 와이오밍대학의 연구진에 의해 규명된 거미줄 단백질 생산 유전자를 도입한 염소인 웹스

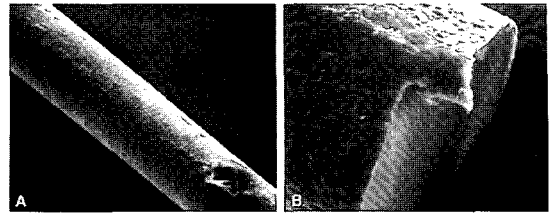


Figure 3. A scanning electron microscopic images of fiber spun from recombinant spider silk protein and its cross-section.

터(webster)와 피트(pete)를 세계 최초로 생산에 성공하였으며, 이 염소에서 생산된 우유 1 l 중에는 거미실크 단백질이 약 5 g 정도 포함되어 있다[46-50].

이러한 유전자재조합으로 생산된 거미실크 단백질의 수용액으로부터 습식 방사하여 상업적으로 이용 가능한 강도와 물성을 갖는 거미실크를 생산하는 기술이 개발되었으며[51], 이 특허에 의하면 분리·정제된 거미실크 단백질을 polyethylene oxide 등 증점제(viscosity enhancer)와 기타 안정성과 가공성 개선을 위한 첨가제와 함께 수용액 dope를 제조한 후, 알코올이 포함된 응고욕조에 방사한다. 그 후 연신을 하고 권취하여 거미실크를 제조한다. Figure 3에서는 유전자 변형된 염소의 우유로부터 거미실크 단백질을 분리한 후 정제하여 방사한 섬유의 현미경 사진을 나타내었다.

Table 2에는 유전자변형염소에서 생산된 거미실크 단백질을 방사한 후 1차로 매탄올과 2차로 수중에서 연신하여 제조한 거미실크와 일반 거미(거미목 호랑거미과, *Araneus ventricosus*)의 거미실크의 물성을 나타내었다[50].

현재 Nexia Biotechnologies Inc.에서는 의료용 및 군사용으로 용도를 개발하기 위하여 미육군(US Army Natick Soldier Center) 및 Acordis Specialty

Table 2. Properties of recombinant spider silk (Biosteel®)

Sample	Draw medium	Draw ratio	Toughness (g/d)	Modulus (g/d)	Strain at break (%)	Tenacity (g/d)
Recombinant spider silk	MeOH/water	5	0.6~0.9	42~110	43~60	1.8~2.3
Native spider dragline silk	NA	NA	0.6~1.3	38~76	19~30	7~11

Fibers 등과 연구를 진행하고 있다.

또한 유전자 재조합 기술을 이용하여 대장균 (*Escherichia coli*)으로부터 거미실크 단백질을 생산하는 기술이 특허출원 되었으며[51], 특히 독일에서는 거미실크의 단백질을 생산하는 유전자를 감자와 담배 등에 이식하여 그중 감자에서 전체 단백질 중 약 2%정도의 거미실크 단백질을 얻을 수 있는 기술이 개발되었다[53].

3.1.2. Microbial polyester

미생물이 생산하는 생분해성 고분자인 PHB(polyhydroxybutyrate)는 1927년 파스퇴르연구소(The Institut Pasteur)에서 처음으로 발견되었으나, 물성 때문에 상업화되지 못하였으나, 최근에 PHV(polyhydroxyvalerate)와 공중합하여 PHBV(polyhydroxybutyrate-polyhydroxyvalerate)형태로 생산되고 있다[54].

영국의 Zeneca Bio Product에서는 글루코오스와 프로판산(propionic acid)를 원료로 하여 박테리아 (*Alcaligenes eutrophus*)에 의해 PHBV를 생산하여 Biopol[®]이라는 상품명으로 판매하고 있다. PHBV는 우수한 유연성과 열적 특성을 갖고, 용융방사가 가능하지만 아직 가격이 높은 단점이 있다[55].

최근에는 PHB를 유전자변형식물(*Arabidopsis thaliana*)에 의해 생산하는 기술과[56], PHA (polyhydroxyalkanoates)를 옥수수 또는 감자 등을 효소처리하여 생산하기 위한 연구가 진행중이다[57].

3.1.3. Poly(lactic acid) 섬유

미국의 세계적인 곡물회사인 Cargill Dow Polymer에서 The Dow Chemical Co.에 연구비를 투자하여 10년간의 연구 끝에 옥수수의 전분으로부터 poly(lactic acid)를 대량으로 제조하는 기술을 개발하였다. 그 후 일본의 가네보합성에서는 poly(lactic acid)를 이용하여 섬유를 제조하는데 성공하였으며, Lactron[®]이라는 상품명으로 상업화 및 용도를 개발하고 있다.

poly(lactic acid)섬유는 옥수수의 전분을 발효하여 글루코오스를 거쳐 젖산(lactic acid)를 제조하고, 이

것을 축합반응하여 poly(lactic acid)를 제조한다. 그 후 용융방사하여 섬유를 제조하고, 폐기시에는 흡속의 미생물 작용에 의해 CO₂가스와 물로 분해된다.

Cargill Dow Polymer에서는 젖산 유도체 제조, 젖산 회수, 낮은 pH에서 젖산발효 등 젖산제조관련 특허 대부분을 보유하고 있다. 최근에는 효모(yeast)로부터 젖산을 제조하는 공정에 연구를 집중하고 있으며, 이와 관련된 특허를 다수 출원하고 있다[58].

최근의 poly(lactic acid)의 섬유관련 특허출원은 대부분 일본의 합성회사들에 의하여 주도되고 있으며, poly(lactic acid)섬유의 물성을 개선하기 위한 특허[59,60]와 의료용으로 사용 시 생체 내에서 분해속도의 조절이 가능한 섬유 생산을 위한 특허 등을 주로 출원하고 있다[61].

3.1.4. Bacterial cellulose

박테리아 셀룰로스(bacterial cellulose)의 합성과 관련된 박테리아(*Acetobacter xylinum*)유전자의 정보는 최초로 1990년에 보고되었으며, 그 후 여러 박테리아와 식물로부터 셀룰로스합성 유전자에 대한 여러 보고가 발표되었다. 그러나 자세한 박테리아 셀룰로스의 합성에 대한 구체적인 메카니즘은 아직 알려져 있지 않지만, 글루코오스를 원료로 사용하였을 때 박테리아(*gluconacetobacter xylinum*)에 의해 Figure 4와 같이 여러 효소들의 작용으로 합성

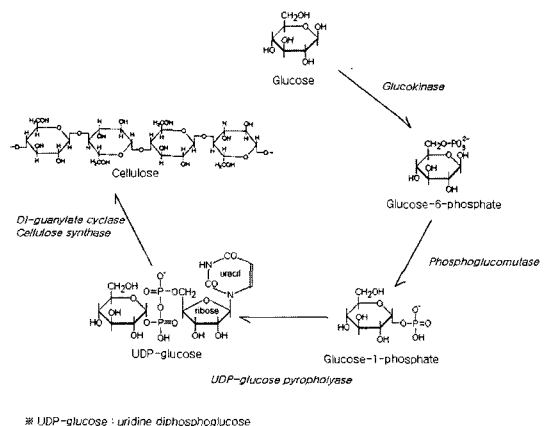


Figure 4. Mechanism of cellulose biosynthesis.

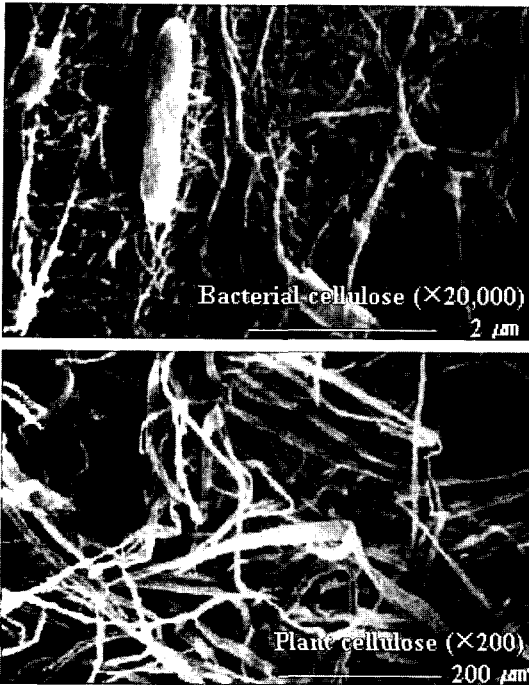


Figure 5. A scanning electron microscopic images of bacterial cellulose(upper) and plant cellulose(bottom).

되는 것으로 추측하고 있다[62,63].

박테리아 셀룰로스는 공급된 글루코오스의 1 g당 약 0.2 g의 박테리아 셀룰로스를 생산하며, 이러한 박테리아 셀룰로스는 식물성 셀룰로스와는 달리 리그닌과 헤미셀룰로스 같은 불순물이 없이 순수한 상태로 얻을 수 있는 장점이 있다.

박테리아 셀룰로스의 화학적인 구조는 일반 셀룰로스와 동일하나, Figure 5와 같이 섬유상의 직경이 일반 셀룰로스의 약 1/10정도이며, Young's modulus가 알루미늄과 비슷한 정도를 나타낸다.

국내에서도 박테리아 셀룰로스를 이용한 종이개발과 관련된 연구가 진행되고 있으며[64,65], 불순물의 함량이 적고, 분자량 분포가 균일한 박테리아 셀룰로스를 생산하는 새로운 박테리아[66]와 제조 장치에 관련된 특허가 다수 출원되었다[67].

박테리아 셀룰로스를 상처치료용으로 이용하기 위한 연구는 1980년대초 Johnson & Johnson에서 많은

연구가 이루어 졌고[68,69], 현재는 브라질의 Biollfill Industrias에서 상처치료용으로 생산하고 있다.

일본의 경우에는 Ajinomoto Company에서 박테리아 셀룰로스를 생산중이며, 일본의 SONY에서는 Ajinomoto Company에서 생산된 박테리아 셀룰로스를 이용하여 오디오 스피커콘과 다이어프램(diaphragm)을 제조하는 특허를 출원하였다[70,71]. 또한 박테리아 셀룰로스의 넓은 표면적과 높은 흡수능을 이용하여 membrane, electronic paper 등 용도 개발이 활발히 이루어지고 있다.

3.1.5. 세포배양을 통한 면섬유 생산기술

최근 텍사스주립대학교(The University of Texas at Austin) 등 여러 연구팀에 의해 Figure 6과 같이 특



Figure 6. Cotton fibers grown in ovule culture in a petri dish.

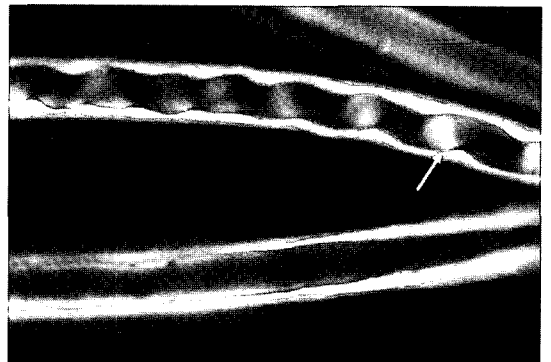


Figure 7. A polarization microscopic image of cotton fibers grown in ovule culture.

수한 영양제가 포함된 배양액에서 면 배주(ovule, 胚珠)를 배양하여 면섬유를 재배하는 기술이 개발되었다[72,73]. 이러한 세포배양을 통해 재배된 면섬유는 Figure 7에서 보는 바와 같이 2차 세포벽(secondary cell wall)이 나선형 구조를 나타내는 점이 일반 면섬유와 다르고 이로 인해 강도와 탄성이 우수하며 섬도 등 물성을 인위적으로 조절이 가능한 것으로 알려져 있다.

3.2. 유전자변형기술을 이용한 기존섬유의 개량기술

3.2.1. 유전자변형 면섬유

1996년 전 세계적으로 170만 ha였던 유전자변형 농산물의 재배면적이 2003년 6천770만 ha로 8년여 동안 약 40배정도 증가하였으며, 2003년도에 면섬유는 전 세계적으로 전체 재배면적 3천400만 ha중 720만 ha에서 유전자변형 면섬유를 재배하고 있다.

유전자 변형된 면섬유를 생산하는 기술은 미국 및 중국 등을 중심으로 활발하게 연구되고 있으며, 병충해 및 제초제에 대한 저항성 증가와 면섬유의 물성과 기능 개선에 연구가 집중되고 있다.

호주의 경우 토양 박테리아의 일종인 *Bacillus thuringiensis*의 유전자를 포함하는 유전자변형 면섬유를 개발하여 살충제 사용량을 50%이상 절감하였다는 보고가 있으며 관련 특허가 다수 출원되었다[74,75]. 또한 면섬유의 생산량을 증가하고, 면섬유의 신도 등 물성을 개선하기 위한 기술개발도 활발히 진행되고 있다[76,77].

일본 도요보와 미국 텍사스텍 대학교(Texas Tech University)가 공동으로, 유전자조작을 통해 섬유질이 보통 면화에 비해 10~25% 가량 긴 면섬유를 개발하였다. 특히 면섬유의 유전자에 양모 또는 토끼털의 단백질 유전자를 도입하여 면섬유에 케라틴(keratin)성분이 포함되도록 하여 면섬유의 성장속도를 빠르게 하고 강도 및 백도를 증가시키고 섬유 자체가 부드럽고 따뜻한 감촉을 갖도록 하는 특허가 출원되었다[78].

최근 유전자 조작을 통해 베이지, 갈색, 및 녹색

등 자연적으로 색상을 갖는 면섬유가 개발되어 미국, 중국 및 호주 등에서 생산중이며, 이러한 면섬유는 염색이 필요없고, 세탁 등 외부요인에 의해 색상이 변퇴가 되지 않는 장점이 있다. 특히 미국의 몬산토(Monsanto Co.)에서는 인디고 염색을 한 데님을 대체하기 위해 자연적으로 파란 색상을 갖는 면섬유를 개발하기 위한 'Blue gene project'를 진행하고 있다[79].

3.2.2. 유전자변형 양모

호주 등에서는 유전자변형기술을 이용하여 양모 섬유 생산량을 증대하고, 벌레와 해충에 대한 저항성을 증가시키며, 섬유의 물성을 개량하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[80].

최근에 Merial Australia Pty Ltd에서 개발된 'biological wool shearing'기술은 특수한 단백질을 양에 주사하면 양모의 epidermal의 성장을 중단되고 4~6주후 자연적으로 양모가 절단되는 기술이며, Bioclip®란 상품명으로 판매되고 있다[81].

보통의 경우 사육되고 있는 양의 12%정도가 파리(blowfly)의 유충에 감염되어 있고, 이 유충은 양의 피부에 염증을 유발하여 심한 경우 양을 죽게 한다. 이러한 파리유충을 제거하기 위하여 양의 유전자에 담배잎의 천연살충제 성분인 chitinase를 생산하는 유전자를 주입하여 양의 땀샘에서 chitinase를 분비토록하여 파리의 유충을 죽이는 기술이 개발되었다.

또한 양을 사육할 때 양에게 먹이를 통하여 sulphur amino acid를 공급해야만 시스테인을 합성하여 양질의 양모를 생산할 수 있다. 시스테인이 부족하면 양모의 성장이 정지되며 품질이 떨어지게 되므로 특정한 박테리아의 유전자를 양에 주입하여 양의 소화기관에 존재하는 황화합물로부터 시스테인을 양이 스스로 합성이 가능하도록 유전자형질이 변형된 양이 개발되었다[82].

3.2.3. 유전자변형 누에

누에(bombyx mori)는 나비목 누에나방과에 속하

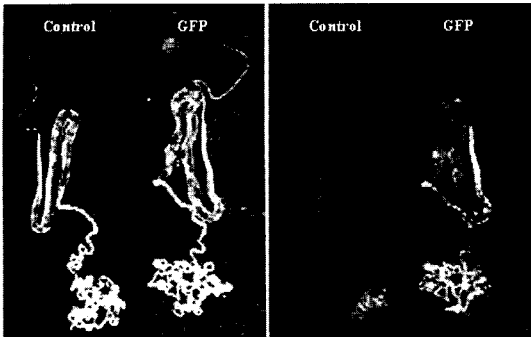


Figure 8. Images of silk glands dissected(left) and exposed to long wavelength ultraviolet light(right).

는 누에나방의 유충으로 뽕나무잎을 먹으며 성장한다. 이러한 뽕나무잎에 대한 누에의 의존성을 없애기 위한 연구가 중국에서 실시되고 있으며, 실크의 강도와 섬도를 개량하고 바이러스에 대한 저항성을 증가시키는 방향으로 연구 또한 진행되고 있다[83-85].

일본의 경도공운섬유대학의 연구팀에서 누에의 유전자 조작을 통해 녹색 형광빛을 내는 실크를 만들어 내는 기술을 개발하였다. 연구팀은 실크단백질의 구조를 결정하는 유전자와 해파리에서 추출한 녹색형광을 내는 단백질(green fluorescence protein) 유전자를 결합하고, 이 유전자를 바이러스에 도입한 후 이 바이러스(*autographa californica nucleopolyhedrovirus*, AcNPV)를 누에에 감염시킴으로써 녹색형광을 내는 실크유전자가 누에의 DNA에 삽입되도록 하였다. Figure 8는 녹색형광단백질 유전자를 도입한 누에와 일반 누에의 실크분비기관을 해부한 사진이다. 오른쪽 사진에서 보는 바와 같이 녹색형광단백질유전자가 도입된 누에의 실크분비기관에서는 자외선을 조사하였을 때 형광을 발광하는 것을 알 수 있다. 이 누에는 번데기가 되기 위하여 고치를 지을 때 녹색형광을 나타내는 실로 고치를 짓게 된다[86,87].

3.3. 염료 및 섬유조제 개발

섬유공정 중에는 화학적으로 합성된 염료를 비롯하여 수많은 섬유조제들이 사용되고 있으며, 이러

한 조제들은 생산 및 사용시에 많은 환경적인 문제를 유발한다. 따라서 생명공학적인 방법을 통하여 섬유조제를 친환경적으로 생산하고 또한 사용 시 환경오염에 대한 부하가 적은 조제를 개발하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다[88].

미생물 중에는 자신의 건조중량 대비 약 30% 정도까지 색소를 생산하는 것이 있으며, 이러한 미생물이 생산한 색소는 벤조퀴논 등 여러 유도체가 있는 것으로 알려져 있다[88].

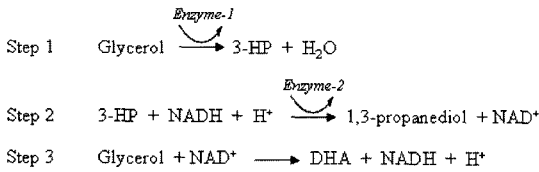
붉은 누룩곰팡이(*Monascus*)를 이용하여 염료를 생산하는 특허[90]와 유전자변형기술을 통하여 고구마로부터 안토시아닌(anthocyanin)색소를 생산하거나, 잇꽃(safflower)과 라벤더(lavender)의 세포를 배양하여 색소를 생산하는 기술이 개발되었다[91]. 또한 대장균(*Escherichia Coli*)의 유전자를 조작하여 트립토판(tryptophan)을 인독실(Indoxyl)로 변화시키는 효소를 갖도록 하여 트립토판으로부터 인독실을 제조하고 이를 공기와 접촉하여 박테리아 인디고(bacteria indigo)를 생산하는 기술이 개발되어 특허출원되었다[92-95].

일본에서는 화장품 및 식품첨가제등으로 많이 사용하는 시코닌(shikonin)이란 붉은 색소를 식물(*lithospermum erythrorhizon*)의 뿌리에서 추출하여 사용하였으나, 최근 세포배양에 의해 생산기술을 개발하였다[96].

4. 폐수처리기술

섬유의 염색가공 공정에서 발생되는 폐수는 가공 방법과 섬유소재가 계절 및 시기별로 변화하여 폐수의 성상이 자주 변동되고, 오염부하량의 변화가 심하여 폐수처리가 매우 어렵다. 또한 염색가공 공정에서 배출되는 폐수에는 미생물에 의해 분해가 되지 않거나 분해속도가 매우 느린 염료와 각종 고분자 유기화합물질을 다량 함유하고 있어 미생물을 이용한 생물학적인 처리에 많은 어려움이 있다.

최근 알칼리폐수의 중화에 박테리아(*Bacillus*



3-HP : 3-hydroxypropionaldehyde
 NADH : β -nicotinamide adenine dinucleotide
 NAD⁺ : nicotinamide adenine dinucleotide
 DHA : dihydroxyacetone

Enzyme-1 : dehydratase
 Enzyme-2 : 1,3-propanediol dehydrogenase

Figure 9. Production scheme of 1,3-propanediol by enzyme process.

allalophilus)를 이용하는 특허와 미생물을 이용하여 폐수 중에 잔류하고 있는 반응염료의 아조결합을 절단하여 염료를 완전히 분해하는 특허가 출원되었다[97,98].

5. 기타 생명공학 응용기술

염색분야에서도 생명공학기술을 이용하기 위한 연구가 진행되고 있으며, 최근에 아조계 염료와 비아조계 염료를 함께 이용하여 날염한 후, 아조계 염료를 완전히 또는 부분적으로 미생물의 대사 작용에 의해 분해하여 날염을 완성하는 기술도 특허출원되었다[99].

PTT(polytrimethylene terephthalate)섬유는 최근 국내 및 전 세계적으로 가장 주목받고 있는 화학섬유 신소재중의 하나로써, 폴리에스터와 나일론을 이을 차세대 섬유소재로 각광을 받고 있다. DuPont에서는 PTT섬유의 원료인 1,3-propanediol을 기존에 아크롤레인(acrolein)을 이용하여 제조하였으나, 최근 The Genencor International Inc.와의 공동개발을 통해 효소를 이용하여 옥수수로부터 제조하는 기술을 개발하였다. Figure 9에서 보는 바와 같이 옥수수를 박테리아(*hrebsiella*)에 의해 발효하여 글리세롤을 제조하고, 글리세롤을 dehydratase와 1,3-propanediol dehydrogenase 효소를 이용하여 1,3-

propanediol을 제조한다[100].

덱스트란(dextran)은 미생물에 의해 생산된 다당류의 일반명칭으로서 대부분 자당(sucrose, 蔗糖)을 박테리아(*Leuconostoc mesenteroides*)에 의해 발효하여 제조한다. 최근 박테리아에 의해 생산된 덱스트란을 부직포 형태로 제조하여 상처치료용으로 사용하는 특허가 출원되었다[101].

영국 BTTG(British Textile Technology Group)와 Shirley Technologies Ltd.에서는 DNA 분석을 통해서 양모, 캐시미어, yak hair 등 단백질섬유에 대한 감별기술을 개발하여 CCMI(Cashmere and Camel Hair Manufacturers Institute)로부터 인증을 받아 시험분석하고 있다[102].

6. 유럽의 COST Action 847 프로젝트

유럽에서는 'Textile Quality and Biotechnology'라는 주제로 2000년 7월부터 2004년 6월까지 5년간 유럽 전 국가에서 120여명의 생명공학, 섬유공학, 화학공학, 환경공학 분야의 대학, 연구소, 관련 회사에서 참여하여, 연구 결과를 발표하는 교류회를 COST 847 과제로 지원을 받아 진행하였다. 목적은 섬유산업에 효소 및 미생물 공정을 이용한 환경친화적 공정 기술을 개발하는 것으로, 품질, 셀룰로스 섬유, 단백질 섬유, 마섬유, 폐수처리의 5개 working group으로 구성하여 연구를 진행하고 일년에 8-10 회 이상의 참여인력 간 세미나를 통한 교류를 통하여 이 분야의 주제를 발전시켰다.

7. 결 언

우리 나라의 섬유산업은 국내외적인 요인에 의하여 전통적인 노동 집약적인 산업구조에서 지식 및 기술 집약적인 산업구조로의 전환해야 할 선택의 기로에 위치하고 있으며, 국가기간산업으로서 재도약을 해야 하는 우리 나라의 섬유산업이 당면하고 있는 과제이다. 이러한 대내외적인 어려운 여건 속에

서 섬유산업을 고부가가치 첨단산업으로 위상을 정립하기 위해서는 기술개발과 친환경적인 산업구조의 구축이 시급히 요청되고 있다.

최근의 생명공학의 눈부신 발전과 여러 산업기술과의 융합기술이 획기적으로 발전하고 있으며, 섬유산업에 있어서도 새로운 기술개발을 위한 유용한 수단이 될 수 있을 것으로 예상된다. 지난 10년 동안 전 세계적으로 섬유산업에 대하여 생명공학기술의 도입은 괄목할만한 성장을 이루었지만 아직 국내 산업계에서는 생명공학기술의 무궁한 잠재력을 십분 이용하고 있지 못하며, 생명공학기술을 이용한 관련 기술개발에 대한 인식과 투자가 매우 부족한 수준이다.

2006년에는 우리 나라에서 제4회 International Conference on Textile Biotechnology(www.intb.org)의 개최가 예정되어 있어 국내 섬유산업계에 생명공학기술에 대한 인식과 관심을 제고할 수 있는 계기가 될 것으로 예상되며, 새로운 섬유관련 기술개발에 생명공학기술이 앞으로 많은 역할을 할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. G. M. Gubitz, *Journal of biotechnology*, **89**, 89(2001).
2. J. Cegarra, *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, **112**(11), 326(1996).
3. N. Hideaki and K. Isao, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, **377**(3), 446(2003).
4. I. Rai, *Colourage*, **51**, 25(2004).
5. J. B. van Beilen and Z. Li, *Current Opinion in Biotechnology*, **13**, 338(2002).
6. O. Kirk, T. V. Borchert, and C. C. Fuglsang, *Current Opinion in Biotechnology*, **13**, 345(2002).
7. "생물산업부문 산업분석(바이오식품, 생물정보학)", pp.17-19, 한국산업기술평가원, 2002.
8. N. Sekar, *Colourage*, January, 27(1999).
9. G. A. Screws and G. Petersen, *U.S. Patent*, 5707858(1998).
10. K. A. Clarkson, B. Swanson, and D. Winetzky, *U.S. Patent*, 6451063(2002).
11. E. M. Wasinger, *U.S. Patent*, 6024766(2000).
12. H. Lund, *U.S. Patent*, 6261828(2001).
13. T. Annette, H. Bagsv, M. Dorthe, P. Hanne, H. O. Lyngby, and N. T. Erik, *U.S. Patent*, 5928381(1999).
14. L. Wolfgang and R. Gero, *PCT Publication*, 03069050(2003).
15. O. Degani, S. Gepstein, and C. G. Dosoretz, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, **103**, 277(2002).
16. W. Kang, J. Zongwu, and Z. Guifen, *China Patent*, 1089669(1994).
17. M. CJaskowski, *U.S. Patent*, 4568739(1986).
18. 特開平 11-61547.
19. R. M. Tyndall, *Textile Chemist and Colorist*, **24**, 23(1992).
20. J. Liu and B. Condon, *U.S. Patent*, 6126698(2000).
21. M. K. Bhat, *Biotechnology Advance*, **18**, 355(2000).
22. M. Oinonen, A. Sisko, K. Masala, E. Minna, and P. Liisa, *U.S. Patent*, 5874293(1999).
23. L. Kalum, *U.S. Patent*, 5914443(1998).
24. A. Manfred, H. Wolfgang, F. Johannes, F.-L. Elke, and S. Juergen, *German Patent*, 19723912(1998).
25. C. Luigi, F. Otto, H. R. Haefely, K. Franz, *U.S. Patent*, 5529928(1996).
26. G. Martin, C. J. Marquez, B. Philip, *U.S. Patent*, 2003154555(2003).
27. E. Heine and H. Hoecker, *Rev. Prog. Col.* **25**, 57(1995).
28. L. Ciampi, H. R. Haefely, F. Krauseder, *U.S. Patent*, 5529928(1996).
29. J. P. McDevitt and J. Winkler, *U.S. Patent*, 6140109(2000).
30. 特開 2001-316985.
31. I. Akira and T. Yutaka, *Polymer Degradation and Stability*, **45**(2), 205(1994).
32. J. T. Kellis Jr., A. J. Poulouse, and M.-Y. Yoon, *U.S. Patent*, 20020007518(2002).
33. 特開 2003-247174.
34. Y.-L. Hsieh and L. A. Cram, *Textile Res. J.*, **68**(5), 311(1998).
35. J. B. van Beilen and Z. Li, *Current Opinion in Biotechnology*, **13**, 338(2000).
36. L. Ljudmila, F. Lidia, G. Renata, Ai. Zinaida, A. Alexander, and A. Morgarita, *U.S. Patent*, 4456544(1984).
37. B. Elizabeth Ann, van der Velden Sebastiaan, de Vries Cornelis Hendrikus, Wang Huaming, *U.S. Patent*, 6509307(2003).
38. S. Horst-Dieter and P. Joerg, *U.S. Patent*, 6391838(2002).
39. R. S. Carpenter, P. J. Lad, A. M. Wolff, *U.S. Patent*, 5356803(1994).
40. R. S. Carpenter, I. J. Goldstein, A. Ann, and P. J. Lad, *U.S. Patent*, 5395541(1995).
41. R. Beckwitt, S. Arcidiacono, and R. Stote, *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, **28**, 121(1998).
42. M. Xu and R. V. Lewis, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **87**, 7120(1990).
43. C. Hayashi and R. Lewis, *Journal of Molecular Biology*, **275**, 773(1998).
44. C. Hayashi and R. Lewis, *Science*, **287**, 1477(2000).
45. A. Ali, K. Costas, I. Shafiul, and R. Andrew, *PCT Publication*, 03060099(2004).

46. <http://www.eurekaalert.org>
47. I. Shafiul, K. Costas, R. Andrew, A. Ali, M. A. Braintree, H. Yue, and T. Carl, *U.S. Patent*, 20050054830(2005).
48. C. N. Karatzas, J. D. Turner, and K. A. Lazaris, *U.S. Patent*, 20010042255(2001).
49. S. J. Lombardi and D. L. Kaplan, *PCT Publication*, 9116351(1991).
50. A. Lazaris, S. Arcidlacono, Y. Huang, J. F. Zhou, F. Duguay, N. Chretien, E. A. Welsh, J. W. Soares, and C. N. Karatzas, *Science*, **295**, 472(2002).
51. A. Tetsuo, *PCT Publication*, 03100065(2003).
52. I. Shafiul, K. Costas, R. Andrew, A. Ali, M. A. Braintree, H. Yue, V. Dorion, T. Carl, *U.S. Patent*, 20050054830(2005).
53. Y. Jianjun, *U.S. Patent*, 6608242(2003).
54. <http://www.britannica.com>
55. H. J. Montador and A. Webb, *U.S. Patent*, 5516825(1996).
56. Y. Doirier, D. Dennis, K. Klomparens, and C. Somerville, *Science*, **256**, 520(1992).
57. R. Pool, *Science*, **245**, 1187(1989).
58. H. Ben, R. Vineet, and S. Pirkko, *PCT Publication*, 03102152(2003).
59. 特開 2001-98417.
60. 特開 2003-293220.
61. 特開平 8-226016.
62. R. M. Brown Jr and I. M. Saxena, *Plant Physiol. Biochem.*, **38**, 57(2000).
63. R. M. Brown Jr, I. M. Saxena, and K. Kudlicka, *Trends in plant science*, **1**(5), 149(1996).
64. 조남석, 김영신, 박중문, 민두식, *한국펄프중이공학회*, **29**(4), 53(1997).
65. 민두식, 조남석, 최태호, *한국펄프중이공학회*, **29**(3), 26(1997).
66. W. Kunihiko, T. Hiroshi, T. Mari, T. Naoki, T. Hiroshi, M. Yasushi, T. Takayasu, Ya. Hisato, and Y. Fumihiko, *U.S. Patent*, 20030032148(2003).
67. K. Tohru, N. Yasuhisa, Y. Hisato, Y. a Fumihiko, *U.S. Patent*, 6013490(2000).
68. D. F. Ring, N. Wilson, and D. Thurman, *U.S. Patent*, 4655758(1987).
69. D. F. Ring, N. Wilson, and D. Thurman, *U.S. Patent*, 4588400(1985).
70. U. Masaru, *U.S. Patent*, 5368695(1994).
71. U. Masaru, *U.S. Patent*, 5473121(1995).
72. J. Finner, *Australia Patent*, 2568088(1989).
73. R. Feng and R. M. Brown, *In vitro Cellular and Development Biology-Plant*, **36**(4), 293(2000).
74. M. E. John, F. P. Umbeck, and J. B. Winston *U.S. Patent*, 5981834(1999).
75. M. E. John, *U.S. Patent*, 5869720(1999).
76. K. Yoshihisa, F. Koichi, N. Susumu, M. Yoshihiko, and A. R. Dale, *U.S. Patent*, 6166294(2000).
77. A. Toni and D. David, *PCT Publication*, 0036911(2000).
78. X.-Y. Chen, J.-W. Jia, Z.-P. Lin, B.-L. Zhou, Y.-Q. Zhu, and X.-H. Yu, *Australia Patent*, 0012521(2000).
79. B. J. McCarthy, *Journal of Society of Dyers & Colourists*, **115**, 54(1999)
80. <http://www.csiro.au>
81. http://au.merial.com/pdf/bioclip_mer0160_sales_brochure.pdf
82. R. Munro and C. Walker, New Zealand Association for Animal Health and Crop Protection/Royal Society of New Zealand, p.62, 2003.
83. H. Watanabe, *Current Science*, **83**(4), 439(2002).
84. S. Dhawan and K. P. Gopinathan, *Mechanisms of Development*, **118**, 203(2002).
85. M. Sumida, H. Yoshio, Y. Tanaka, and F. Matsubara, *Camp. Biochem. Physiol.*, **110**, 33(1995).
86. L. Tianyan, L. Huiifen, L. Wei, and Z. Libin, *U.S. Patent*, 20020137211(2002).
87. M. Yamao, N. Katayama, H. Nakazawa, M. Yamakawa, Y. Hayashi, S. Hara, K. Kamel, and H. Mori, *Genes & Development*, **13**, 511(1999).
88. Joint meeting of the chemicals committee and the working party on chemicals, Proceedings of the OECD workshop on sustainable chemistry, Venice, October 15-17, pp.190-194, 1998.
89. G. Hallas, *Endeavour*, **10**(4), 216(1986).
90. S Joachim, B Michael, V Holger, and A. Wolfgang, *PCT Publication*, 9213959(1995).
91. 特開平 4-190762.
92. P. J. Oriol and I. C. Kim, *U.S. Patent*, 5834297(1998).
93. W. Walter, T. C. Dodge, J. J. Lauff, and D. J. Wendt, *U.S. Patent*, 5866396(1999).
94. B. D. Ensley Jr, *U.S. Patent*, 4520103(1985).
95. B. Bhushan, S. K. Samanya, and R. K. Jain, *Letters in Applied Microbiology*, **31**, 5(2000).
96. T. Okamoto, K. Yazaki, M. Tabata, *Phytochemistry*, **38**(6), 83(1995).
97. K. Rita, K. Anil, S. Alka, G.I. Sharad, and M. Santosh, *U.S. Patents*, 6846483(2005).
98. 特開 2000-93164.
99. S. Wataru, N. Keiko, and Y. Tadashi, *U.S. Patent*, 5908775(1999).
100. L. L. Anne, N. Vasantha, and N. C. Edwin, *U.S. Patent*, 5686276(1997).
101. B. Denis, J. Jacqueline, T. Michele, S. Faouz, C. Jean-Pierre, and C. Jose, *U.S. Patent*, 5693625(1997).
102. H. D. Rowe, *Journal of Consumer Studies and Home Economics*, **23**(1), 53(2000).

저자 프로필



이근완

1985-1989. 한양대학교 섬유공학과 졸업
1991-1994. 한양대학교 섬유고분자공학과(석사)
1998-2002. 서울대학교 재료공학부(박사)
1989-1992. (주)코오롱 근무
1995-2004. 산업자원부 기술표준원 근무
2004-현재. 특허청 근무
(302-701) 대전시 서구 선사로 139 정부
대전청사 4동 특허청 섬유생활용품담당
관실
전화: 042)481-5621, Fax: 042)472-3558
e-mail: yhie848@kipo.go.kr



최은경

1982. 서울대학교 화학교육과 졸업
1987. Cornell University 화학과(석사)
1991. Cornell University, Dept. of Textiles
and Apparel(박사)
1994-현재. 한국생산기술연구원 에코 섬유
팀 팀장/수석연구원, 섬유환경분석실
운영책임자
(330-825) 충남 천안시 입장면 홍천리 35-3
전화: 041)589-8594, Fax: 041)589-8460
e-mail: ekchoe@kitech.re.kr



변성원

1987. 한양대학교 섬유공학과 졸업
1989. 한양대학교 섬유공학과(석사)
1995. 한양대학교 섬유공학과(박사)
1995. 12-현재. 한국생산기술연구원 신섬
유기술본부 산업용섬유팀 팀장 수석연구원
(330-825) 충남 천안시 입장면 홍천리 35-3
전화: 041)5898-567, Fax: 041)5898-250
e-mail: byunsw@kitech.re.kr



정용식

1990-1994 한양대학교 섬유공학과 졸업
1994-1996 한양대학교 섬유공학과(석사)
1996-1999 한양대학교 섬유공학과(박사)
2001. 3-현재. 전북대학교 섬유공학과
교수
(561-756) 전북 전주시 덕진구 덕진동1가
664-14
전화: 063)270-2350, Fax: 063)270-2348
e-mail: psdcolor@chonbuk.ac.kr