

# 섬유 · 의류 산업에서 효소를 이용한 친환경 가공 기술 동향

이소희 · 송화순\*

숙명여자대학교 생활과학대학 의류학전공

## The Recent Tendency of Green Technology Finishing in Textile Industry by Enzymes

So Hee Lee · Wha Soon Song\*

Dept. of Clothing & Textiles, Sookmyung Women's University

### 1. 서론

최근 건강, 안전, 환경에 대한 관심이 높아짐에 따라, 인체 · 환경 친화적인 의류제품에 대한 소비자의 요구에 의해 소재의 차별화가공 및 기능성 부여가공 등 고부가가치 소재개발에 대한 중요성이 커지고 있다. “Green Technology”는 의류산업에서 소비자의 트렌드에 부합하는 친환경 기술로서, 유럽 선진국들의 강화된 환경 규제와 함께, 안전성과 기능성을 요구하는 현대인의 필요성에 맞추어 더욱 각광받고 있다. 따라서 국내 섬유 · 의류 산업의 경쟁력 강화를 위해서는 환경오염을 최소화할 수 있는 친환경 기술 확립이 시급하다. 섬유 · 의류 산업의 친환경화는 일본 등 국외 섬유 관련 업계에서 주로 이루어지고 있으며, 약품을 최소화하고 폐수로 인한 환경오염을 줄이기 위한 방안으로 효소가공을 도입하고 있다.(최은경, 김주혜, 2003; Kino et al., 2000) 효소가공을 통한 친환경화는 저에너지 사용과 공해발생 최소화에 의해 실현될 수 있으며(김인영 외, 1999; 김인영 외, 2001; Aly et al., 2004; Cavalco-Paulo et al., 2003; Sawada & Ueda, 2001), 효소가공의 도입은 에너지 절감, 환경오염 감소, 작업환경의 안전성을 위해 필수적인 요소로 21세기 친환경 가공방법으로 주목되고 있다.

효소란 생체 세포로부터 생산되는 고분자 유기 촉매인 단순 단백질 또는 복합 단백질로서 분해, 합성, 산화, 환원 등의 화학반응을 일으킨다. 효소의 촉매 활성시, 효소가 작용하는 분자를 기질(substrate)이라 하며, 효소의 활성부위

(active site)에 기질이 결합하여 효소-기질 복합체(enzyme-substrate complex, ES복합체)를 형성한다. 효소의 촉매반응 시, 효소의 활성부위는 특정한 기질만을 받아들이는 기질 특이성을 나타내기 때문에 섬유 · 의류산업에 효소를 적용할 경우, 기질에 적절한 효소를 선택하는 것이 필요하다. 효소는 크게 산화 환원효소(Oxidoreductases), 전이효소(Transferases), 가수분해효소(Hydrolases), 분해효소(Lyase), 이성화효소(Isomerases), 합성효소(Lyase) 등 6가지로 분류되며, 섬유 가공에 응용 가능한 효소는 대부분 가수분해효소이다. 가수분해효소는 전분, 셀룰로스, 펙틴 등 당질을 분해하는 효소로 아밀라제(amy-lase), 셀룰라제(cellulase), 펙티나제(pectinase), 리조자임(lysozyme) 등이 있고, 단백질 및 펩티드 결합을 분해하는 효소로 키모트립신(chymotrypsin), 파파인(papain), 브로멜라인(bromelain), 서브틸리신(subtilisin) 등이 있으며, 지질을 분해하는 효소는 리파제(lipase) 및 에스테라제(esterase) 등이 있다(전흥기, 2003; 정동호, 2002; Cavalco-Paulo, 2003).

인류가 효소를 의류에 적용한 것은 마나 견을 강물이나 진흙탕, 수렁(늪)에 방치하여 불순물을 제거하면서 시작되었으며, 의류산업에서 효소가공은 2차 세계대전 전부터 일본에서  $\alpha$ -아밀라제로 면직물의 호발을 위해 시작되었다(정의상, 1994). 의류산업에서 후가공시 효소에 의해 얻을 수 있는 장점은 다음과 같다. 첫째, 화학촉매에 비하여 기질 특이성이 뛰어나 특정한 기질에만 선택적으로 반응하기 때

문에 부반응으로 인한 섬유 손상을 최소화할 수 있다. 둘째, 낮은 온도와 pH, 상압하에서 작용하므로 에너지 절감 효과가 있다. 셋째, 고농도의 화학 가공제 대신 사용할 수 있고, 생분해성이 있어 환경에 대한 부담이 적다. 넷째, 기존의 가공 공정에 비해 처리시간이 단축된다(이소희 외 2008; 최은경, 김주혜, 2003; Aly et al., 2004; Sawada & Ueda, 2001). 이와 같은 장점으로 인해 섬유·의류 산업에서 효소가공은 친환경 공정으로서 각광받고 있다. 특히 천연섬유를 중심으로 이루어지던 효소가공에 대한 연구는 최근 수년 동안 재생 및 합성섬유로까지 연구 영역이 확대되고 있다. 본고에서는 최근 섬유·의류 산업에서 주목받고 있는 친환경 가공공정으로서 효소가공에 대한 연구동향을 천연섬유, 재생 및 합성섬유를 중심으로 살펴보고자 한다.

## 2. 천연섬유의 효소가공

천연섬유의 효소가공은 섬유·의류산업에 효소가공이 도입된 이래로 오랫동안 연구되어져 왔으며, 그 분야도 <표 1>과 같이 다양하다. 천연섬유의 효소가공 시, 섬유의 기질에 따라 사용되는 효소가 구별되며, 섬유의 기질은 지방, 왁스, 전분, 헤미셀룰로스, 셀룰로스, 단백질 등과 같이 다양하다.

표 1. Enzymatic application in textile finishing

Fabric	Enzyme	Application
Cotton	Amylase	Desizing
	Pectinase, Lipase	Scouring
	Glucose oxidase	Bleaching
	Catalase	Removal of residual hydrogen peroxide
	Cellulase	Biopolishing
	Mixture of enzymes	Garment laundering
Silk	Protease	Degumming
Wool	Protease	Shrink proofing
	Lipase	Dyeing improving
Flax	Amylase	Desizing
	Pectinase	Retting, Scouring

### 2-1. 셀룰로스 섬유의 효소가공

천연섬유 중, 셀룰로스계 섬유의 효소가공은 주로 섬유소 분해효소인 셀룰라제(cellulase)가 많이 사용되며, 셀룰라제는 특히 면직물에 많이 이용된다. 면직물의 셀룰라제 처리는 크게 두 가지로 분류되는데, 첫째, 직물의 외관과

태의 향상이 목적인 Biopolishing이라 불리는 면직물의 감량유연가공 및 염색된 섬유의 탈색 효과, 특히데님류의 Bio-washing으로 분류된다. 면직물의 Biopolishing을 통해서는 직물의 소프트한 느낌을 위한 감량가공, 독특한 외관을 위한 피치스킨 가공 등을 행할 수 있다(김지연 외, 2009). 면직물에 셀룰라제를 처리할 경우는 효소에 의해 면직물의 90%를 차지하는 셀룰로스 부분<그림 1>이 분해<그림 2>됨에 따라 섬유가 감량되어 촉감이 유연해지거나, fade out한 색감을 얻을 수 있다(이선화, 송화순, 1998). 이에 P/C교직, R/P교직, C/P, C/N 등의 복합소재 직물의 부가가치를 얻기 위해 효소처리를 행한다. 또한 면직물의 모소공정에서 gas불꽃의 길이가 불규칙적이거나 처리시간이 균일하지 못함에 따라 염색시 얼룩이 발생하게 되는데, 효소처리를 통해 단섬유가 균일하게 제거됨으로 염색시 발생하는 얼룩을 제거할 수 있다(정의상, 1994). 면직물에 셀룰라제 처리시 특히 주의할 것은 셀룰로스의 분해로 인한 감량에 따른 강도저하가 예상되므로, 셀룰라제 처리시 여러 조건 제어를 통한 적당한 감량이 필요하다. 셀룰라제의 종류는 산성에서 활성하는 산성 셀룰라제 및 중성에서 활성하는 중성 셀룰라제가 있다. 산성 셀룰라제는 활성이 강해 단시간에 효과가 나타나는 반면, 반응시간이 짧아 속도의 제어가 어려우나, 중성 셀룰라제는 단시간에 효과가 나타나지 않지만, 반응시간이 길어 가공시 반응의 제어가 용이하다(최은경, 김주혜, 2003). 따라서 셀룰라제 처리시 용도에 맞는 활성 효소를 선택하는 것도 중요하다.

데님은 봉제공정이 끝난 후 제품의 부가가치를 높이기 위하여 워싱공정을 거치는데, 데님의 워싱가공은 효소와 표백제를 이용하는 방법이 있다(김지연 외, 2009). 이 중, 효소를 이용한 데님의 워싱가공에 셀룰라제가 사용된다. 일

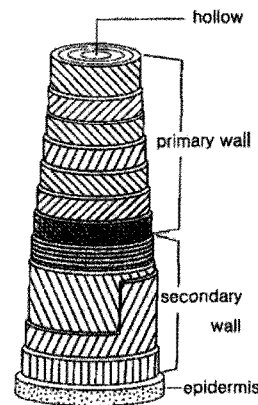


그림 1. Cross-section of cotton(송화순 외, 2010)

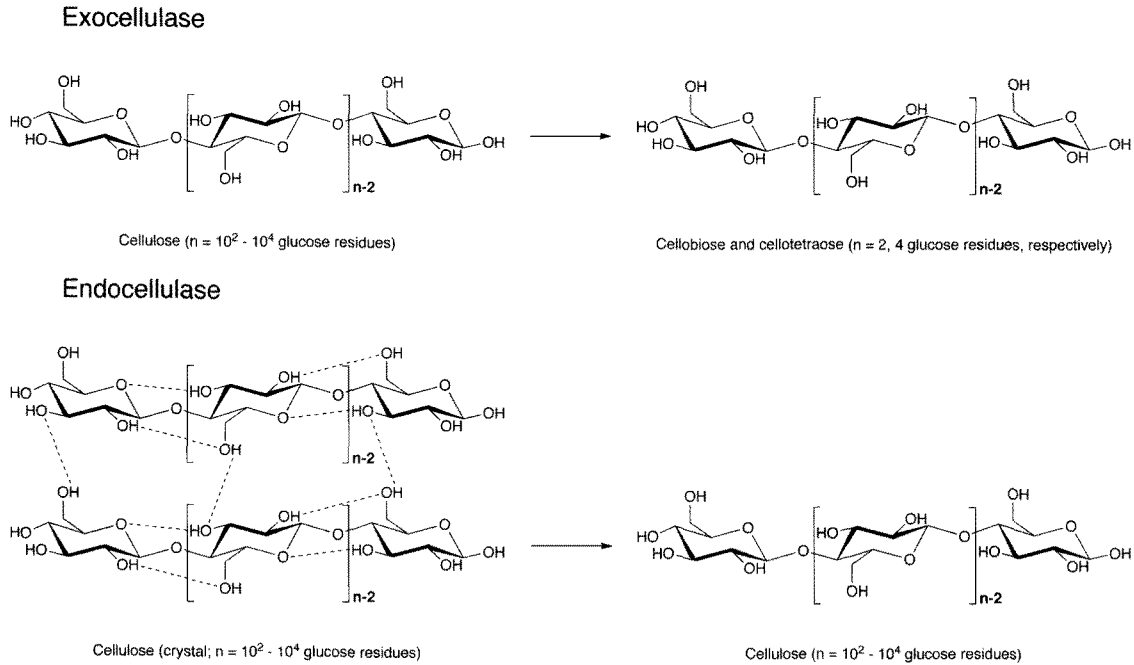


그림 2. Hydrolysis of cotton by cellulase(Worthington enzyme manual, 1993)

반적으로 데님의 위싱은 산성 셀룰라제가 사용되었으나, 산성 셀룰라제 처리시 유연성은 크게 향상되지만 강도저하가 일어나고(서혜영 외, 2009) 블루진의 경우 인디고염료가 백색에 오염되는 문제가 발생하므로 최근 중성에서 활성이 강한 중성 셀룰라제에 대한 연구도 시작되고 있다(김지연 외, 2009).

면직물의 셀룰라제 처리 외에, 최근에는 면직물의 10%를 차지하는 비셀룰로스 부분<그림 1>의 가수분해에 대한 연구가 시작되고 있다. 면직물의 비셀룰로스는 수분 흡수 시 팽윤도가 낮은 왁스, 펙틴, 큐티클 등이 차지하고 있다. 따라서 면직물의 정련시 이들을 제거함으로써 수분특성 및 염색성을 증진시키고자 면직물의 비셀룰로스 가수분해에 대한 연구가 시도되고 있다(이소희 외, 2008). 실제, 면직물의 지방 및 왁스를 분해하기 위하여 지질 분해효소인 리파제 및 큐티나제를 적용한 결과, 효소가 면직물의 왁스 및 큐티클 층을 분해함에 따라 면직물의 수분율 및 염색성이 증가되었으나, 셀룰라제 처리시 문제가 되었던 강도저하는 발생하지 않았다(Lee et al., 2009). 또한 펙틴을 제거하게 위해 펙티나제 처리시 불순물이 제거됨에 따라 수분율 및 염색성이 증가되었으며, 소수성 부분의 제거에 따라 내필링성이 1등급 향상되었다(송유선 외, 2008).

셀룰로스계 섬유 중, 마섬유<그림 3>는 의류소재로 사용하기 위해서는 줄기섬유의 10~16%를 차지하면서 세포

사이에서 셀룰로스를 결합시키고 있는 펙틴을 제거하는 공정인 레팅공정을 필요로 한다. 레팅공정을 통해 펙틴, 헤미셀룰로스, 리그닌, 왁스 등의 불순물이 제거되며, 이들을 제거해야만 세섬화 상태의 직물을 얻을 수 있다. 마섬유의 레팅 방법은 물 레팅, 화학적 레팅, 효소 레팅이 있으며 최근 효소에 의한 레팅 공정에 관한 연구가 활발하다. 마섬유의 효소 레팅은 1980년대 유럽에서 시작되었으며(최은경, 김주혜, 2003), 셀룰라제, 헤미셀룰라제, 펙티나제 등이 사용된다(Jin & Maekawa, 2001). 세 가지 효소는 마섬유의 30% 이상을 차지하는 비셀룰로스를 제거하지만, 레팅 후 방직 · 제직된 마직물은 여전히 펙틴, 헤미셀룰로스, 리그닌, 왁스 등의 비셀룰로스 물질을 함유하고 있어 실제 의류로 적용시 물성에 영향을 미친다. 따라서 마직물의 호발 및 정련이 필수적이다. 마직물의 호발에는 전분 가수분해

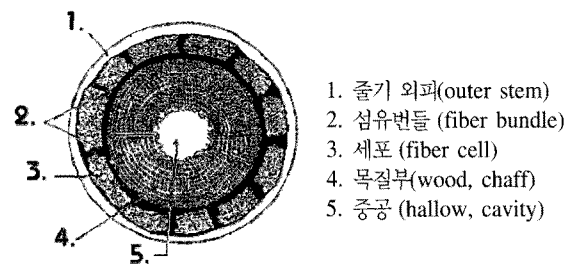


그림 3. Cross-section of flax(Manual GB, 2010)

효소인 아밀라제가 사용되며 정련단계에서는 레팅에서 완전히 제거되지 않았던 펙틴 등의 불순물을 제거하는데 사용된다. 실제 마직물의 호발 및 정련에  $\alpha$ -아밀라제 및 펙티나제 처리시 마직물의 강연도는 감소하였으며, 흡수율, 흡수성, 백도, 염색성은 모두 증가하였다(박소영 외, 2010).

**2-2. 단백질 섬유의 효소가공**

천연섬유 중, 단백질계 섬유에 적용 가능한 효소는 단백질 분해효소인 프로테아제이며, 그 외에도 리파제 등이 사용된다. 단백질계 섬유의 효소가공은 견직물의 정련 및 모직물의 방축가공, 염색성 향상가공 등에 적용된다. 견섬유는 두 개의 피브로인과 피브로인을 감싸고 있는 세리신이라는 단백질로 이루어져 있는데 <그림 4> 세리신에 의해 감싸져 있는 견직물은 광택이나 촉감이 좋지 못하므로 정련과정(degumming)을 통해 세리신을 제거해야만 부드러운 촉감과 우아한 광택이 드러난다(송화순 외, 2010). 일반적으로 알칼리정련에 의해 세리신은 제거되지만, 피브로인에도 손상을 주며, 섬유가 과잉 감량되고, 강도저하가 크게 일어남에 따라 최근 효소를 이용해 세리신을 정련하는 방법이 각광받고 있다. 견섬유의 정련에는 프로테아제가 사용되며, 알칼리 정련보다 낮은 온도 조건에서 행해지기 때문에 섬유 손상이 적다. 또한 효소 정련을 통해 섬유의 유연성, 광택 및 염색성이 증가한다(강상모 외, 2006; 박병기, 1977).

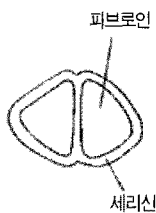


그림 4. Cross-section of silk(송화순 외, 2010)

모섬유는 97%의 단백질과 2%의 지질, 1%의 기타화합물로 구성된다. 모섬유는 표면에 큐티클로 알려진 스케일이 있으며, 강한 마찰시 스케일로 인하여 축융이 된다. 모의 방축가공은 과산화수소나 염소를 이용한 산화작용에 의한 방법, 합성수지를 이용한 방법, 염소와 수지를 병행하는 방법, 효소를 이용한 방법 등이 있다. 염소와 수지를 병행하여 처리시 현저한 방축효과를 나타내면서 방축율의 조정이 가능하고, 경제적이기 때문에 염소와 수지를 병행하는 방법이 주로 이용되어 왔다. 그러나 섬유의 황변을 가져오고, 천연섬유 고유의 촉감이 상실됨에 따라 최근에는 효소

를 이용한 방축가공이 주목받고 있다(성종미 외, 2010). 효소를 이용한 모직물의 방축가공은 1910년대 트립신과 펩신이 이용되면서 시작되었으나, 효과가 적고 비경제적이어서 실용화되지 못하였다. 그러나 최근 파파인 등 상업적으로 적용 가능한 효소가 개발되고, 친환경 공정에 대한 요구가 늘어남에 따라 연구가 활발해지고 있다.

모직물에 프로테아제 처리시 섬유의 펩타이드 결합이 분해됨에 따라 스케일이 제거되어 수축이 방지되고, 표면이 매끄러워진다. 또한 모섬유는 표면이 소수성의 지질로 덮여있기 때문에 수용성 염료에 대한 친화력이 낮은 단점이 있다(최은경, 김주혜, 2003; Eriksson & Cavalco-Paulo, 1998). 모직물의 방축효과 향상 및 염색성 증진을 위해 리파제 증 지질분해 효소가 효소가공에 적용된다. 실제로, 모직물에 파파인 적용시, <그림 5>에 나타난 바와 같이 표면 스케일이 깨끗이 제거되었으며, 섬유의 염색성, 백도 등도 증가하였다(성종미 외, 2010 ; 송현주, 송화순, 2009).

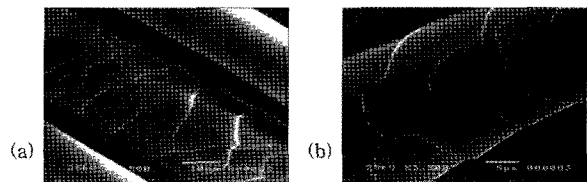


그림 5. SEM images of (a) untreated and (b) papain-treated wool fabrics(송현주 외, 2009)

즉, 천연 섬유의 경우, 가공시 효소의 적용은 <표 2>와 같이 아밀라제를 이용한 호발가공, 셀룰라제를 이용한 면의 효소감량 및 유연화 가공, 데님의 바이오 워싱 가공, 리파제, 큐티나제 및 펙티나제를 이용한 면의 친수성 향상가공, 셀룰라제, 헤미셀룰라제, 펙티나제를 이용한 마의 레팅 및 정련, 프로테아제를 이용한 견의 정련, 프로테아제를 이용한 모의 방축가공, 염색성 증진 가공 등이 있으며, 이들 가공을 통해 천연섬유는 유연한 촉감 및 흡수성, 염색성, 백도 등의 특성이 개선된다.

표 2. Enzymatic application in textile finishing

Enzyme	Specific effect
$\alpha$ -amylases	Starch desizing
Cellulases	Cotton softening, denim finishing, flax retting
Pectinases	Cotton, linen scouring, flax retting
Proteases	Shrink-proofing of wool, Degumming of silk
Lipases, Cutinases	Removing fats and waxes, Cotton scouring

### 3. 재생섬유의 효소가공

재생섬유는 목재펄프 등에서 셀룰로스를 용해시켜 얻어진다. 대표적인 재생섬유인 리오셀은 비스코스레이온을 대체하기 위한 셀룰로스에 섬유로 견습강도, 루프강도, 형태 안정성, 흡습성, 속건성, 염색견뢰도가 우수하고 취급이 용이하지만, 리오셀의 제조시 강한 기계적 활동에 의해 피브릴레이션이 일어나 리오셀의 표면은 피치스킨의 형태가 된다(Eriksson & Cavalco-Paulo, 1998). 따라서 직물 및 섬유 표면을 깨끗하게 하거나 피브릴을 균일하고 작게 만들어 우수한 촉감을 부여하기 위하여 셀룰라제를 통한 효소가공을 적용한다(김인영 외, 1999, 2001).

재생섬유 중, 키토산 섬유는 갑각류, 곤충의 외피, 식물 세포의 벽 등에서 얻어진 키틴을 탈아세틸화한 천연고분자로  $\beta$ -1,4-glycoside 결합의 선형다당류로 이루어져 있으며, 인체에 대한 안전성이 뛰어난 뿐만 아니라, 항균성, 방취성, 흡착성, 보습성 등이 우수하며, 부가가치가 높고, 생체 적합성 및 생분해성으로 인하여 의료, 섬유, 식품, 농업 등에 널리 이용되고 있다(Lee et al., 2005; Rinaudo, 2006). 의류용으로 사용되고 있는 키토산 섬유는 제조단가가 높아 단독사용보다는 면, 리오셀 등과 혼방되어 사용되고 있으며, 이에 효소에 의한 키토산 섬유의 가수분해에 대한 연구가 요구된다.

일반적으로 키토사나제(chitosanase)가 키틴 및 키토산의 가수분해에 사용되고 있다. 그러나 키토사나제는 키토산 섬유의 후가공 공정에 적용시 단가가 높아 상업적으로 문제가 있으며, 기질이 키틴·키토산에 한정되어 있기 때문에 타섬유와 혼방섬유에 적용시 공정 단축의 효과를 얻기 어렵다. 따라서 키토사나제를 대체할 수 있는 효소 중, 기질 특이성을 가지고 있지 않으며, 키토산의  $\beta$ -1,4-glycosidic 결합 및 아미드 결합을 가수분해할 수 있는 효소에 대한 다양한 연구가 시도되고 있다(Kitture et al., 2003; Li et al., 2007; Pantalone et al., 1992; Yalpani & Pantalone, 1994). 키토산은 셀룰로스 섬유의 6번 자리의 하이드록실기가 아민기로 치환된 형태<그림 6>를 띠기 때문에 셀룰라제 및 프로테아제에 의한 가수분해가 된다. 실제 키토산 100% 섬유에 셀룰라제 및 프로테아제 처리시 가수분해가 일어남에 따라 키토산 섬유의 탈아세틸화도가 감소하였으며, 그에 따라 염착량도 감소하였다(이소희 외, 2010).

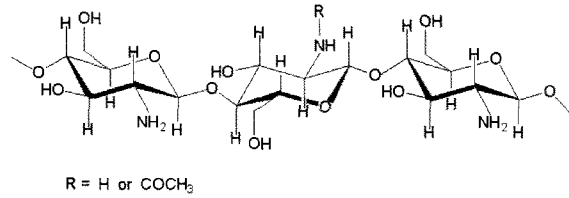


그림 6. Schematic illustration of the structure of chitosan(Nordby et al., 2003)

실제로 키토산 섬유는 섬유 · 의류산업 및 비의류 산업에서도 계속해서 수요가 증가하고 있다. 따라서 키토산 섬유의 효소 분해에 대한 연구는 계속해서 더 연구되어야 할 부분이다.

### 4. 합성섬유의 효소가공

섬유 · 의류 산업에서 합성섬유가 차지하는 비율은 약 60%에 달하며, 합성섬유 중 폴리에스터(PET), 폴리아미드(PA), 및 폴리아크릴로니트릴(PAN)이 차지하는 비율은 90% 정도이다. 합성섬유의 가장 큰 단점은 소수성으로 인한 정전기 발생 및 낮은 염색성으로, 이를 개선하기 위하여 알칼리 등을 사용하지만, 알칼리 가공시 가공 효과의 불균일, 염색성 감소, 섬유 손상 등의 문제점이 지적되고, 고온에서 처리하기 때문에 고에너지 소비 및 다량의 폐수가 발생하기 때문에 최근에는 합성섬유의 친수화가공시 환경과 융화되는 효소가공이 각광받고 있다(송아름 외, 2010; Kim & Song, 2006; Lee et al., 2009).

#### 4-1. 폴리에스터섬유의 효소가공

폴리에스터섬유는 공정수분율이 0.4%로 합성섬유 중에서도 수분율이 낮은 섬유이다. 수분율 증진 및 유연성을 부여하기 위하여 폴리에스터에 알칼리 감량가공을 실시하지만, 섬유의 표면에 불규칙적 구멍이 생김에 따라 실제 수분특성이 크게 증가하지 않는다는 단점이 있다(Kim & Song, 2006). 따라서 폴리에스터의 에스터 결합을 가수분해하는 효소가공이 주목받고 있다. 폴리에스터 섬유의 효소가공을 통한 친수화가공은 주로 에스터 가수분해 효소인 리파제, 에스테라제 등을 통해 이루어지며, 카복실프로테아제에 의해서도 친수성은 다소 향상된다. 실제로, 섬유의 친수성 향상을 위해 리파제, 큐티나제, 프로테아제 처리를 한 결과, 리파제 처리시 수분율은 약 4배 향상되어 1.6% 정도로 나타났고<그림 7>-<그림 8>, 큐티나제 처리시 약 2.5배, 카복실프로테아제로 처리시 약 3배 정도 증가하였다.

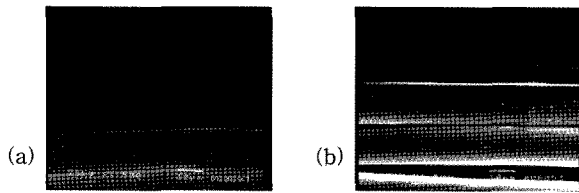


그림 7. SEM images of (a) untreated and (b) lipase-treated PET fabrics(Lee & Song, 2010)

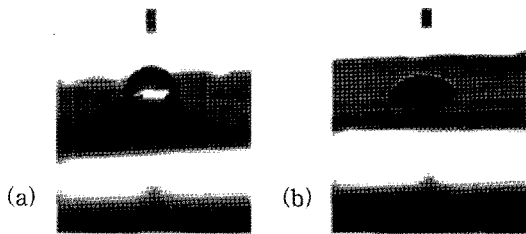


그림 8. Water contact angle of (a) untreated and (b) lipase-treated PET fabrics(Kim & Song, 2006)

또한 수분율 증가에 따라 접촉각 및 흡수속도는 효과적으로 감소하였으나, 감량이나 인장강도의 감소는 크지 않았다(Kim & Song, 2006; 2010; Lee & Song, 2010).

#### 4-2. 폴리아미드섬유의 호소가공

폴리아미드섬유는 합성섬유 소비의 약 1/3을 차지하고 있다. 폴리아미드섬유는 신도, 탄성이 우수하고 경량이며, 상온에서 염색이 가능하지만 폴리에스터와 마찬가지로 낮은 흡수성으로 인해 대전성이 나쁘고 필링이 잘 발생한다. 폴리아미드의 호소가공을 통한 친수화가공은 주로 프로테아제, 큐티나제, 아미다제(amidase), 아실라제(acylase), 니트릴라제(nitrilase) 등이 이용되고 있다(표 3).

표 3. Enzymatic modification of polyamide(PA)(송아름 외, 2010)

Enzymes	Analysis method
Protease	Release of oligomers, reactive dye-binding assay, hydrophilicity.
Cutiase	Release of oligomers, hydrophilicity, reactive dye-binding assay, hydrophilicity
Amidase	Release of oligomers, hydrophilicity.

폴리아미드의 호소 처리시 아미드기가 분해되는데, 이러한 아미드기는 폴리아미드 섬유에 강도 및 마찰력은 향상시키나 친수성은 상대적으로 낮은 것으로 알려져 있다. 따라서 호소 처리에 의해 아미드기가 분해됨에 따라 나일론 직물의 친수성은 향상된다. 실제로 폴리아미드 섬유에 식

물 기원 프로테아제인 브로멜라인 처리시, 접촉각 및 흡수 속도 등의 친수성질은 호소처리에 의해 약 1.5배 정도 감소하였다(송아름 외, 2010).

#### 4-3. 폴리유산섬유의 호소가공

폴리에스터, 폴리아미드 등과 같은 합성섬유의 대부분은 화석원료자원으로 제조되기 때문에, 제조에 있어서도 많은 에너지가 필요하고, 폐기시에 분해가 어렵다. 반면 천연자원 유래의 생분해성고분자는 천연의 원료를 재활용해서 제조하였으며, 이 원료가 폐기시에 생분해되므로, 미래산업으로 평가받고 있는 바이오 산업과 환경 산업의 핵심요소로 평가되고 있다. 생분해성 소재 중, 폴리유산섬유(PLA)는 재생 가능한 자원인 옥수수 등으로부터 유산을 제조하여 만든 선형 지방족 폴리에스터로서 재생 가능한 자원에서 기인한 낮은 단가로 시장성이 높고, 생분해되기 때문에 폴리에스터 등 화학기반 고분자를 대체할 의류소재로 각광받고 있다. 특히 PLA는 PET, PA, PP와 같은 합성섬유에 비해 가수분해 저항성이 나쁘고, 화학약품에 의해 제한적인 용해성을 가지므로 화학적가공이 아닌 친환경가공이 필요하다(Lee & Song, online first).

PLA 직물의 수분율은 약 0.6%로 PET보다는 다소 높으나, 다른 소재보다는 낮은 편이다. 또한 유리전이온도가 낮아 분산염료로 염색시, 염료 및 온도조건이 기존 PET 염색시보다 제한적이다. 따라서 PLA 직물을 의류용으로 사용하기 위하여 PLA 직물의 수분특성 및 염색성을 향상시키는 가공에 대한 연구가 시작되고 있다.

PLA 직물의 물성 향상을 위해 적용 가능한 호소로는 PLA 섬유의 에스터 결합에 가수분해 가능성이 있는 호소로 크게 리파제, 에스테라제, 프로테아제가 있다. 실제로 PLA 직물에 리파제, 에스테라제, 프로테아제 처리시 수분율은 약 1.5%까지 2배 가량 향상되었다. 또한 이들 호소로 처리시 표면이 가수분해됨에 따라 크랙이 발생하게 되고, 그에 따른 섬유의 비표면적의 증가로 인하여 대표적인 분산염료인 Red 60, Blue 56, Yellow 54로 염색시 염료 흡수율은 약 1.2~2.0배 가량 증가하였다.

현재까지의 연구로 미루어볼 때, 합성섬유의 호소가공에 대한 연구는 계속적으로 증가하고 있으며, 연구영역은 기존의 PET 직물 뿐 아니라, PA, PLA, PAN 등에게까지 확대되고 있다. 합성섬유에 호소가공의 실제 공정 적용을 위해 지속적인 연구가 필요하다.

## 5. 결론

21세기형 섬유 · 의류 산업은 환경과 융화하며, 개인의 건강, 쾌적성을 만족시킬 수 있는 바이오테크놀로지(biotechnology) 및 에코테크놀로지(ecotechnology)로의 방향전환이 필요하다. 효소는 인체 · 환경친화적 특성으로 인해 환경 규제가 엄격해지고, 세계무역에서 환경과의 연계가 중요한 화두로 대두되는 현재 하나의 대안 기술로서 그 성장 잠재력은 무궁하다. 효소 가공은 기존의 섬유공정 설비를 그대로 활용하면서 설비투자비용, 환경부담 및 에너지 사용 등을 최소화 할 수 있는 바이오테크놀로지의 핵심 가공기술로, 천연섬유, 재생섬유 뿐 아니라 합섬섬유까지 연구 영역이 확대되고 있으며, 앞으로 섬유 · 의류 산업의 차세대 친환경 기술로서 그 역할이 증대될 것이라 생각한다.

## 참고문헌

강상모, 차민경, 김수진, 권윤정. (2006). *Bacillus subtilis* K-54의 단백질 분해효소 처리에 의한 양모와 견의 품질개선효과. *한국의류산업학회지*, 8(2), 239-244.

김인영, 오수민, 송화순. (1999). 텐셀직물의 바이오-유연가공에 의한 물성변화 (제1보). *한국의류학회지*, 23, 14-21.

김인영, 오수민, 송화순. (2001). 텐셀직물의 바이오-유연가공에 의한 물성변화 (II). *한국패션비즈니스학회지*, 5, 67-72.

김지연, 송화순, 김혜림. (2009). 중성 셀룰라제 처리에 의한 데님의 물성. *한국의류산업학회지*, 11(3), 469-473.

박병기. (1977). 絹의 酵素 精練에 關한 研究. *工學研究*, 7, 1-4.

박소영, 송화순, 김인영. (2010). 저마직물의 펙티나제 정련 시 황산나트륨의 영향. *한국염색가공학회지*, 22(3), 220-228.

서혜영, 송화순, 김혜림. (2009). 산성 셀룰라제를 이용한 데님의 효소가공 및 물성. *한국의류산업학회지*, 11(3), 465-468.

성종미, 김인영, 송화순. (2010). 파파인 처리한 양모직물의 물성 및 염색성. *한국의류학회지*, 34(4), 697-702.

송이름, 송화순, 김혜림. (2010). 브로멜라인을 이용한 폴리이미드 직물의 친수성 개질가공. 2010년도 한국의류학회 추계학술대회, 173.

송유선, 송화순, 이범훈, 김혜림. (2008). 펙티나제를 이용한 면/키토산 혼방섬유의 정련. *한국섬유공학회지*, 45(4), 199-207.

송현주, 김혜림, 송화순. (2009). 파파인 가공한 양모/폴리에스터 혼방직물의 정련 및 염색성. *한국의류학회지*, 33(2), 213-221.

송화순, 김인영, 김혜림. (2010). 텍스타일. 서울: 교문사

이선화, 송화순. (1998). 셀룰라제 처리 시 실리콘 첨가의 따른 레이온/면 혼방직물의 물성변화. *한국의류학회지*, 22(8), 1032~1042.

이소희, 김혜림, 이범훈, 송화순. (2010). 셀룰라제와 파파인을 이용한 키토산 섬유의 가수분해. *한국섬유공학회지*, 47(3),

212-221.

이소희, 송화순, 김혜림. (2008). 리파제를 이용한 면직물의 비셀룰로스 가수분해. *한국의류학회지*, 32(7), 1075-1081.

전홍기. (2003). 효소학. 부산: 부산대학교 출판부

정동호. (2002). 효소학개론. 서울: 도서출판 대광서림

정의상. (1994). 효소에 의한 면직물의 감량가공. *한국섬유공학회지*, 31(9), 641-647.

한국염색연합회. (2001). 1995~2000 최신 염색가공기술개발동향. TIN NEWS.

Aly, A. S., Moustafa, A. B., & Hebeish, A. (2004). Bio-technological treatment of cellulosic textiles. *J. of Cleaner Production*, 12, 697-705.

Cavalco-Paulo, A., & Gübitz, G. M. (2003). Textile processing with enzymes. Washington DC: CRC press.

Eriksson, K-E., & Cavalco-Paulo, A. (1998). Enzyme applications in fiber processing. Washington DC: ACS Symposium series 687.

Jim, C., & Maekawa, M. (2001). Evaluating an enzyme of ramie fabrics. *Textile Res. J.*, 71(9), 779-782.

Kim, H. R., & Song, W. S. (2006). Lipase treatment of polyester fabrics. *Fibers and Polymers*, 7(4), 339-343.

Kim, H. R., & Song, W. S. (2010). Optimization of papain treatment for improving the hydrophilicity of polyester fabrics. *Fibers and Polymers*, 11(1), 67-71.

Kino, H., Harikou, T., & Maeshim, Y. (2000). Desizing and Scouring cotton fabrics with enzymes in one bath. *Dyeing & Finishing*, 52, 307-310.

Kittur, F. S., Kumar, A. B. V., & Gowda, L. R. (2003). Chitosan analysis by an isozyme of *Aspergillus niger*- A non-specific activity. *Carbohydr. Polym.*, 53, 191-196.

Lee, J. W., Yoo, J. Y., Kim, K. H., & Park, Y. S. (2005). R&D Trend of chitin and chitosan in Japan. *J. Chitin Chitosan*, 10, 8-11.

Lee, S. H., Song, W. S., & Kim, H. R. (2009). Cutinase treatment of cotton fabrics. *Fibers and Polymers*, 10(6), 802-806.

Lee, S. H., & Song, W. S. (2010). Surface modification of polyester fabrics by enzyme treatment. *Fibers and Polymers*, 11(1), 54-59.

Lee, S. H., & Song, W. S. (Online first). Enzymatic hydrolysis of Polylactic Acid fiber, *Appl. Biochem. Biotechnol.*

Li, J., Du, Y., & Liang, H. (2007). Influence of molecular parameters on the degradation of chitosan by a commercial enzyme. *Polym. Degrad. and Stabil.*, 92, 515-524.

Manual GB. Retrived December 16, 2010. from [http://www.hvm-krengerup.dk/gb/manuel\\_gb.htm](http://www.hvm-krengerup.dk/gb/manuel_gb.htm)

Nordby, M. H., Kjoniksen, A-L., Nystrom, B., & Roots, J. (2003). Thermoreversible Gelation of Aqueous Mixtures of Pectin and Chitosan. *Rheolog. Biomacromolecules*, 4, 337-343.

- Pantaleone, D., Yalpani, M., & Scollar, M. (1992). Unusual susceptibility of chitosan to enzymic hydrolysis. *Carbohydr. Res.*, 237, 325-332.
- Rinaudo, M. (2006). Chitin and Chitosan, Properties and applications. *Prog. Polym. Sci.*, 31, 603-632.
- Sawada, K., & Ueda, M. (2001). Enzyme processing of textiles in reverse micellar solution. *J. of Biotechnology*, 89, 263-269.
- Von Worthington. (1993). *Worthington manual*. New Jersey: Worthington Biochemical Corporation.
- Yalpani, M., & Pantaleone, M. (1994). An examination of the unusual susceptibility of aminoglycans to enzymatic hydrolysis. *Carbohydr. Res.*, 256, 149-174.

---

**이소희**

숙명여자대학교 의류학과(박사수료)  
현 숙명여자대학교 의류학과 강사  
E-mail: soheelee@sm.ac.kr

---

**송화순**

숙명여자대학교 의류학과(박사)  
현 숙명여자대학교 의류학과 교수  
E-mail: doccubi@sookmyung.ac.kr

---