

리파제에 의한 양모/폴리에스터 혼방직물의 동시 개질

송현주 · 김혜림 · 송화순[†]

숙명여자대학교 생활과학부 의류학과

Enzymatic Modification of Wool/Polyester Blend Fabrics Using Lipase from *Aspergillus Oryzae*

Hyun Joo Song · Hye Rim Kim · Wha Soon Song[†]

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

접수일(2009년 3월 20일), 수정일(2009년 4월 27일), 게재확정일(2009년 5월 4일)

Abstract

This study presents an eco-friendly and one-step finishing method for modifying fiber property that reduces fiber damage in wool/polyester blend fabrics. Lipase from *aspergillus oryzae* is used in this experiment. The enzymatic treatment condition is optimized by measuring the relative activity of lipase depending on pH level, temperature, concentration of lipase, and treatment time. The concentration of CaCl₂ as an activator is determined by the characteristics including whiteness, water contact angle (WCA), and dyeing property. The modified properties of lipase treated fabrics are tested for pill resistance and surface morphology. The results are described as follows: the optimum conditions for lipase treatment constitute a pH level of 8.0, treatment temperature of 40°C, concentration of lipase at 100% (o.w.f), and a treatment time of 90 minutes. CaCl₂ helps in raising lipase activation, and the optimum concentration is 50mM. The whiteness, wet ability, and pill resistance of lipase treated fabrics improves as compared to the control. The dyeing property of lipase treated fabrics improved by 53.5% after using the one-bath dyeing method. This means that lipase treatment can save time and cost during the dyeing process since lipase treatment modifies wool and polyester fibers. The surface of lipase treated wool fibers do not exhibit any change, however voids and cracks manifest on the surface of lipase treated polyester fibers.

Key words: Enzyme, Lipase, Activator, Dyeing property, Wool/polyester blend fabric; 효소, 리파제, 황정제, 염색성, 양모/폴리에스터 혼방직물

I. 서 론

최근 섬유 가공 공정의 친환경 전환에 대한 시도가 활발히 이루어지면서, 효소 가공에 대한 폭넓은 연구가 이루어지고 있다(나영주, 2001; 나영주, 이의소, 2003;

박미라 외, 2001a, 2001b; 이정민 외, 2000; 최은경, 김주혜, 2003; 吉村由利香, 2003; 高岸徹, 前川昌子, 1999). 섬유 산업 분야에서 효소는 호발, 표백, 워싱, 광내기, 정련 등에 다양하게 사용되고 있다. 효소는 생체 세포로부터 생산되는 고분자량의 유기촉매로, 단순 또는 복합 단백질로 구성되어있다. 또한 기질특이성이 있어 적합한 기질에 한해서 선택적으로 반응하기 때문에 섬유 손상을 최소화 할 수 있으며, 한 가지 효소가 두 가지 이상의 기질을 가수분해 하기도 한다(정동효, 2003; Paulo & Gubitz, 2003). 따라서 혼방섬유

[†]Corresponding author

E-mail: doccubi@sookmyung.ac.kr

본 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구구조성사업비)으로 학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2006-531-C00086).

에 적합한 효소를 섬유 가공에 적용한다면 섬유의 손상없이 두 섬유를 동시에 개질하는 방법을 제시할 수 있을 것으로 예상된다.

혼방섬유는 일반적으로 천연섬유보다 강도가 우수하고 방추성이 좋아 관리가 쉬우며 합성섬유에 부족한 흡습성, 촉감, 태 등을 보완할 수 있어 실용적이다. 최근 섬유 소재의 차별화를 추구하는 소비자의 욕구에 부합하여 더욱 다양한 형태의 혼방섬유가 생산되고 있으며 소비량도 늘어나고 있다. 특히 양모/폴리에스터 혼방섬유는 양모섬유의 장점인 보온성, 레질리언스, 촉감과 폴리에스터섬유의 장점인 내구성, 이지케어성을 동시에 가지고 있다. 뿐만 아니라 방축성이 부여되어 실용적인 의류소재로 폭넓게 사용된다.

이러한 장점을 갖고 있는 양모/폴리에스터 혼방섬유의 효소 가공에 두 섬유를 동시에 개질할 수 있는 효소를 적용한다면 가공 공정의 단축이 가능할 것으로 예상된다. 일반적으로 양모섬유의 개질에 사용되는 효소로 사비나제, 에스페라제, 알칼라제, 파파인, 리파제 등이 보고되었으나(나영주, 2001; 나영주, 이의소, 2003; 박미라 외, 2001a, 2001b; 박정아 외, 1991; 송현주 외, 2009), 폴리에스터섬유의 개질에 사용되는 효소로 에스테라제, 리파제, 라카제 등이 보고되었다(茶容悦司, 北野道雄, 1999, 2000; 山本周治, 北野道雄, 2003; Kim & Song, 2006). 특히 지방 분해 효소인 리파제는 양모섬유에 적용 시, 기존의 단백질 분해 효소의 단점인 감량 및 강도 저하 없이 섬유 표면의 지질층을 가수분해하여 염료 친화력 및 백도를 증진시킨다고 보고되었다(나영주, 2001; 최은경, 김주혜, 2003). 또한 폴리에스터섬유에 적용 시 리파제는 표면에 미세한 변화를 일으켜 수분특성이 향상됨이 보고되었다(山本周治, 北野道雄, 2003; Kim & Song, 2006).

따라서 본 연구는 양모 및 폴리에스터섬유에 개질 성능이 보고된 리파제를 양모/폴리에스터 혼방섬유에 도입하여 동시개질의 가능성을 검토하고자 한다. 실험 방법으로 리파제 최대 활성 조건은 pH, 처리 온도, 효소 농도, 처리 시간에 따른 상대활성도 측정을 통해 설정한다. 또한 양모/폴리에스터 혼방섬유의 동시개질 효과를 확인하기 위하여 활성제인 염화칼슘 첨가 시 양모/폴리에스터 혼방섬유의 백도, 접착각, 염색성을 측정하고, 최적 조건에서 처리된 양모/폴리에스터 혼방섬유의 필링성, 표면형태 변화를 검토한다.

II. 실험 방법

1. 시료 및 시약

본 연구에 사용된 효소는 시판 지방 분해 효소인 리파제(lipase from *aspergillus oryzae*, Novozymes, USA)이며, 그 특성은 <Table 1>과 같다. 시료는 양모 80%와 폴리에스터 20%가 혼방된 평직물을 호발 후 사용하였다. 버퍼용액은 Trizma Base와 Trizma HCl(Sigma Chemicals Co., USA)을 50mM로 혼합하여 제조하였으며, 1M HCl(Duksan Pure Chemicals, Korea) 용액과 0.1M NaOH(Junsei Chemicals, Japan) 용액으로 버퍼의 pH를 보정하였다. 리파제의 활성제로는 CaCl₂(Kanto Chemicals, Japan)를 사용하였다. 리파제의 사활에는 95% 에탄올을 사용하였다. 리파제의 활성 측정에는 0.1N NaOH(Junsei Chemicals, Japan)와 티몰프탈레인 지시약(Thymolphthalein A.C.S reagent, Sigma Chemicals Co.,)을 사용하였다. 염료는 염기성염료(Methylen Blue, C.I. Basic blue 9, Duksan Pure Chemicals, Korea)를 사용하였다.

Table 1. Characteristics of enzyme

Enzymes	Source	Activity	Form	Manufacturer
Lipase (EC 3.1.1.3)	<i>Aspergillus oryzae</i>	0.5 unit/mg ¹⁾	Liquid	Novozymes

¹⁾Lipolytic activity is determined at pH 7.0, 30°C (Tributyrin as substrate)

2. 실험 방법

1) 효소 처리

효소 처리는 액비 1:30, pH(7.0~9.0), 처리 온도(25~60°C), 리파제 농도(50~400% o.w.f), 처리 시간(10~180분), 염화칼슘 농도(10~100mM)를 변화시켜 행하였다. 효소 처리 후에는 95% 에탄올로 사활한 후 반복 수세하여 자연건조 하였다.

2) 상대활성도

리파제의 최대 활성 조건은 pH, 처리 온도, 리파제 농도, 처리 시간에 따른 상대활성도로 확인하였다. 상대활성도 측정을 위하여 각 조건별 효소 처리 용액에 20ml 에탄올과 0.9% 티몰프탈레인 지시약을 첨가한 후, 처리 용액의 색상이 연한 파란색으로 변할 때 까지 0.1N NaOH로 적정하였다. 적정에 사용된 0.1N NaOH의 소모량을

Blank에 대한 상대활성도로 산출하였다. 최적 활성제 농도는 리파제 최적 처리 조건에서 활성제의 농도(10, 30, 50, 70, 100mM) 변화에 따른 백도, 접촉각, 염색성 측정을 통하여 설정하였다. 최적 처리 조건으로 처리한 양모/폴리에스터 혼방직물의 필링성 및 표면형태를 관찰하였다.

3) 물리적 특성 측정

리파제 처리한 양모/폴리에스터 혼방직물의 백도는 CCM(Computer Color Matching System, JX777, Japan)을 사용하여 측정하였다. 접촉각은 접촉각 측정기(DSA100, KRÜSS Inc., German)를 사용하여 4μl의 증류수가 시료 표면에 접하여 생기는 초기 5초간의 평균각으로 구하였다. 염색성은 염기성 염료 3%(o.w.f), 액비 1:50, 60°C 조건에서 40분간 염색한 시료의 표면색을 CCM으로 측정하였으며, Kubelka-Munk 식에 의해 K/S 값을 구하였다. 필링성은 ICI 박스법(KS K 0503)에 준하여 60rpm으로 4시간 동안 회전시킨 후 표면에 발생한 필링의 양으로 비교하였다. 표면형태는 SEM(Scanning Electron Microscope, JSM820, JEOL, Japan)을 사용하여 관찰하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 처리 조건에 따른 리파제의 활성

1) pH

일반적으로 효소는 고유의 활성 pH 범위를 가지고 있기 때문에, 효소를 효율적으로 사용하기 위해서는 최대 활성 pH의 확인이 필요하다(정동호, 2003; Paulo & Gubitz, 2003). 더욱이 본 연구에 사용된 시료는 화학적 특성이 서로 다른 양모와 폴리에스터섬유가 혼방되어 있기 때문에 이들을 기질로서 리파제가 최대 활성화하는 pH 조건을 확인하는 것은 중요하다.

<Fig. 1>은 리파제의 최대 활성 pH를 확인하기 위하여 처리 온도 30°C, 리파제 농도 100%(o.w.f), 처리 시간 60분의 조건에서 처리액의 pH(7.0, 7.5, 7.7, 8.0, 8.5, 9.0)를 변화시켜 처리 후 리파제의 상대활성도를 측정 한 결과이다. <Fig. 1>에서 리파제의 상대활성도는 pH 8.0에서 최대화됨을 알 수 있다. 따라서 양모/폴리에스터 혼방직물의 리파제 처리 시 최적 pH는 8.0이다.

2) 처리 온도

<Fig. 2>는 리파제의 최대 활성 온도를 확인하기 위

하여 pH 8.0, 리파제 농도 100%(o.w.f), 처리 시간 60분의 조건에서 처리 온도(25, 30, 35, 37, 40, 45, 50, 60°C)를 변화시켜 처리 후 상대활성도 측정 결과이다. <Fig. 2>에서 온도가 증가함에 따라 상대활성도는 증가하여 40°C에서 최대화되고 그 이상의 온도에서는 다시 저하되었다. 효소는 단백질로 구성되어 있기 때문에 온도 변화에 매우 민감하다. 따라서 처리 온도

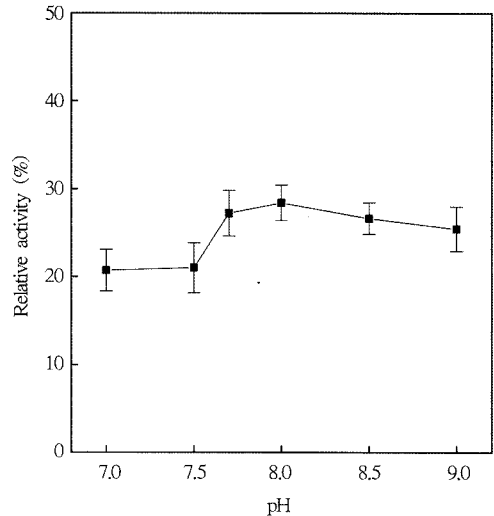


Fig. 1. Effect of pH levels on relative activity of lipase-treated wool/PET fabrics (temperature 30°C, lipase 100% (o.w.f), treatment time 60 minutes).

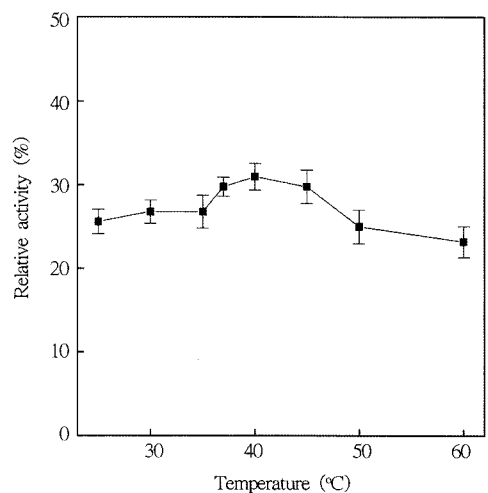


Fig. 2. Effect of temperature on relative activity of lipase-treated wool/PET fabrics (pH 8.0, treatment time 60 minutes, lipase 100% (o.w.f)).

가 활성 온도보다 낮으면 기질과 원활하게 결합할 수 없으며, 이와 반대로 처리 온도가 너무 높으면 단백질이 열변성을 일으키게 된다(정동호, 2003; Paulo & Gubitz, 2003). 따라서 양모/폴리에스터 혼방직물의 리파제 처리 시 최적 처리 온도는 40°C이다.

3) 리파제 농도

효소는 적합한 기질을 만나면 가수분해를 위하여 효소-기질복합체(enzyme substrate complex, ES복합체)를 형성하게 되는데, 효소 분자간의 응집이나 충돌없이 기질과의 결합이 잘 이루어지기 위해서는 기질의 양에 적합한 농도의 효소를 사용하는 것이 중요하다(정동호, 2003).

<Fig. 3>는 리파제의 최적 농도를 설정하기 위하여 pH 8.0, 처리 온도 40°C, 처리 시간 60분의 조건에서 리파제 농도(50, 100, 200, 300, 400%, o.w.f)에 따른 상대활성도 측정 결과이다. 상대활성도는 리파제의 농도에 비례하여 증가하였으나, 리파제 농도 100% 이상에서는 증가폭이 점차 작아지는 경향이 나타났다. 일반적으로, 효소의 사용량이 많아질수록 기질이 효소와 접할 수 있는 기회가 늘어나 가수분해가 용이하게 이루어진다. 그러나 지나치게 많은 양의 효소가 사용되면 효소의 가수분해 효과는 직선적으로 증대되지 않는다. 이는 기질의 양이 고정될 경우 효소 농도가 증가하더라도 분해 가능한 기질의 양이 제한되기 때

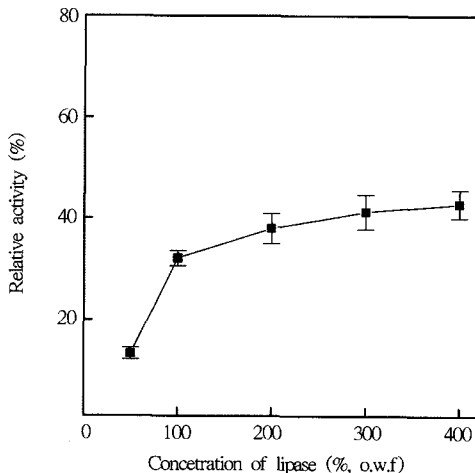


Fig. 3. Effect of concentration of lipase on relative activity of lipase-treated wool/PET fabrics (pH 8.0, temperature 40°C, treatment time 60 minutes)

문에 효소 분자간의 응집이 발생되어 활성을 저해하기 때문이다(Paulo & Gubitz, 2003).

이에 양모/폴리에스터 혼방직물의 리파제 처리 시 최적 리파제 농도는 100%이다.

4) 처리 시간

효소는 적절한 활성 조건에서 활성을 나타내기 시작하지만, 일정한 활성수명을 가지고 있기 때문에 일정 시간이 경과되면 활성이 급격히 저하된다. 따라서 효소 처리 과정에 있어 효소의 활성 능력을 고려한 적절한 처리 시간의 설정은 가공에 필요한 에너지를 절약할 수 있는 중요한 조건이다(Paulo & Gubitz, 2003).

<Fig. 4>는 리파제의 최적 처리 시간을 설정하기 위하여 pH 8.0, 처리 온도 40°C, 리파제 농도 100%(o.w.f)에서, 처리 시간(10, 30, 60, 90, 120, 180분)에 따른 상대활성도 측정 결과이다. 상대활성도는 처리 시간이 늘어남에 따라 증가하였다. 그러나 초기 90분까지의 상대활성도는 큰 폭으로 증가하지만, 그 이상의 시간에서는 상대활성도의 증가가 둔화되었다. 이는 처리 시간이 90분을 초과하면서 리파제의 활성능력이 저하되기 때문이다. 따라서 양모/폴리에스터 혼방직물의 리파제 처리 시, 최적 처리 시간은 90분이다.

이상의 실험을 통해 양모/폴리에스터 혼방직물에 대한 리파제의 상대활성도 측정 결과, 최적 처리 조건은 pH 8.0, 처리 온도 40°C, 리파제 농도 100%(o.w.f), 처리 시간 90분으로 설정하였다.

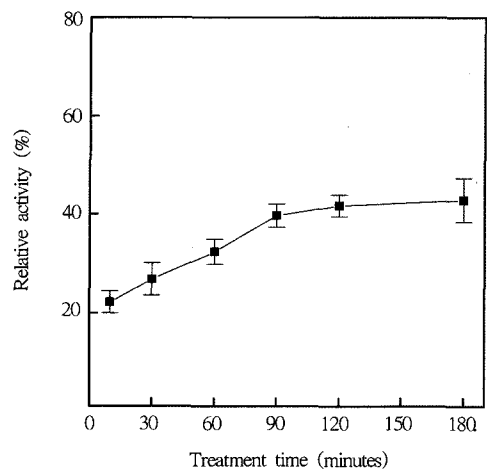


Fig. 4. Effect of treatment time on relative activity of lipase-treated wool/PET fabrics (pH 8.0, temperature 40°C, lipase 100% (o.w.f)).

2. 활성제의 첨가 농도에 따른 물성

일반적으로 효소의 활성을 증대시키기 위하여 활성제가 사용된다(문홍만 외, 1979; Sharma et al., 2001). 리파제의 활성제로 염을 첨가할 경우, 단백질의 용해도를 높여 효소의 활성을 증진시켜준다. 그러나 효소액 내에 염의 농도가 과도해지면 단백질의 용해도는 줄어들고 침전이 시작된다(Paulo & Gubitz, 2003). 따라서 리파제의 활성제로 염을 첨가할 경우, 적정 사용량에 대한 확인이 필요하다.

<Fig. 5>-<Fig. 7>은 활성제로 염화칼슘을 선택하여 활성제의 최적 첨가 농도를 설정하기 위하여, 리파제의 최적 처리 조건(pH 8.0, 처리 온도 40°C, 리파제 농도 100%(o.w.f), 처리 시간 90분)에서 활성제의 농도를 변화시켜 처리 한 양모/폴리에스터 혼방직물의 백도, 접촉각, 염색성 측정 결과이다.

<Fig. 5>에서 백도는 염화칼슘의 양이 늘어날수록 점차 증대되어 50mM 첨가 시 최대로 나타났고, 그 이상의 농도에서는 다시 감소되었다. 염화칼슘 50mM 첨가 시 백도는 활성제 미첨가 시에 비해 약 5.6%, 리파제 미처리포에 비해 약 6.3%로 크게 향상되었다. 이와 같은 백도증진 효과에 대해서 나영주(2001)는 리파제 처리에 의해 에피큐티클층이 분해되고 지질계통의 유색소나 표피에 부착되어 있던 피지 등이 가수분해되어 제거되기 때문이라고 보고하였다.

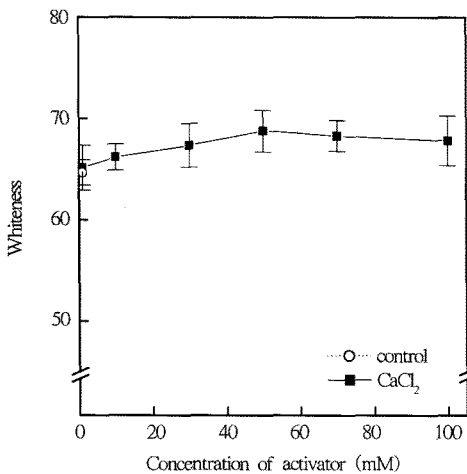


Fig. 5. Whiteness of wool/PET fabrics treated with lipase in different concentration of CaCl₂ (pH 8.0, temperature 40°C, lipase 100% (o.w.f), treatment time 90 minutes).

<Fig. 6>에서 접촉각은 염화칼슘 농도 50mM 첨가 시 크게 감소되었으며, 활성제 미첨가 시에 비하여 약 5.2°, 리파제 미처리포에 비해서는 약 6.5° 감소되었다. 이는 리파제가 양모섬유 표면 에피큐티클층의 지질을 분해하여 소수성 표면을 정리함으로써 발수성을 감소시키고(나영주, 2001; 改森道信, 1996), 폴리에스터섬유의 에스터 결합을 가수분해하여 섬유 표면의 친수성을 향상시키기 때문이다(茶容悅司, 北野道雄, 1999, 2000; 山本周治, 北野道雄, 2003; Kim & Song, 2006).

<Fig. 7>에서, K/S 값은 염화칼슘 농도가 증가함에 따라 점차 증가하여 50mM에서 높게 나타나고 그 이상의 농도에서는 다시 감소하였다. 염화칼슘 농도가 50mM 일 때 K/S 값은 활성제 미첨가 시에 비해 11.7%, 리파제 미처리포에 비해 53.5%로 크게 향상되었다. 리파제 처리 시 활성제 첨가에 의한 양모/폴리에스터 혼방직물의 염색성 향상 효과는, 리파제가 양모섬유 표면을 둘러싸고 있는 에피큐티클층의 소수성 지질을 분해하여 수용성 염료의 침투를 용이하게 하고 섬유의 염료 친화력을 높여주기 때문이다. 이는 선행연구(최은경, 김주혜, 2003)와도 일치하는 결과이다. 또한 폴리에스터섬유는 리파제에 의해 섬유 표면에 친수기 그룹의 양이 증가하고 표면에 발생한 균열로 인해 수분율이 증가된다는 선행연구(Kim & Song, 2006)를 통해 볼 때, 리파제 처리로 인해 염료의 침투가 용이해 지기 때문으로 보인다.

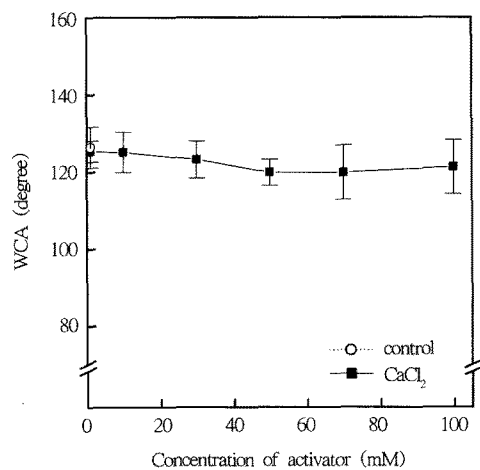


Fig. 6. WCA of wool/PET fabrics treated with lipase in different concentration of CaCl₂ (pH 8.0, temperature 40°C, lipase 100% (o.w.f), treatment time 90 minutes).

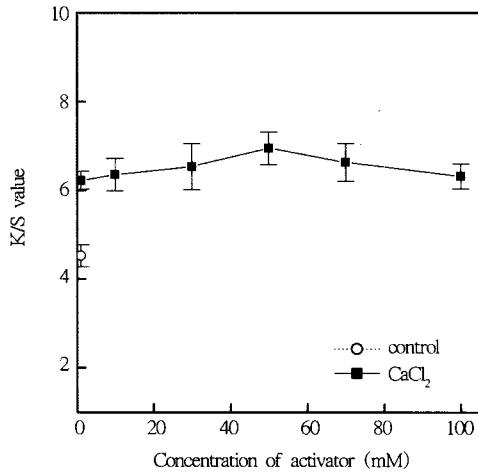


Fig. 7. K/S values of wool/PET fabrics treated with lipase in different concentration of CaCl_2 (pH 8.0, temperature 40°C , lipase 100% (o.w.f), treatment time 90 minutes).

이상의 실험을 통해 활성제인 염화칼슘은 리파제의 활성 증대에 효과가 있으며, 과도한 양이 사용될 경우 오히려 리파제의 활성을 저해함을 확인하였다. 따라서 양모/폴리에스터 혼방직물의 리파제 처리 시, 활성제 첨가에 따른 백도, 접촉각, 염색성 측정을 통해 설정한 염화칼슘의 최적 첨가 농도는 50mM이다.

3. 필링성

<Fig. 8>은 최적 처리 조건(pH 8.0, 처리 온도 40°C , 리파제 농도 100%(o.w.f), 처리 시간 90분, 염화칼슘 50mM)에서 리파제 처리한 양모/폴리에스터 혼방직물의 필링성 측정 결과이다. 미처리포의 경우 마찰에 의해 직물 표면에 크고 작은 형태의 필이 다소 많이 발생하는데 비하여, 리파제 처리한 양모/폴리에스터 혼방직물에는 거의 발생하지 않았다. 따라서 리파제 처리한 양모/폴리에스터 혼방직물의 항필링성이 향상됨을 알 수 있다.

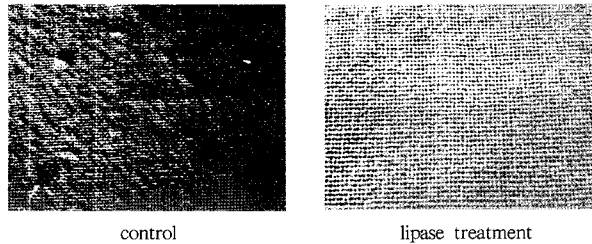


Fig. 8. Surfaces of control and lipase-treated wool/PET fabrics after pilling test (pH 8.0, temperature 40°C , lipase 100% (o.w.f), treatment time 90 minutes, CaCl_2 50mM).

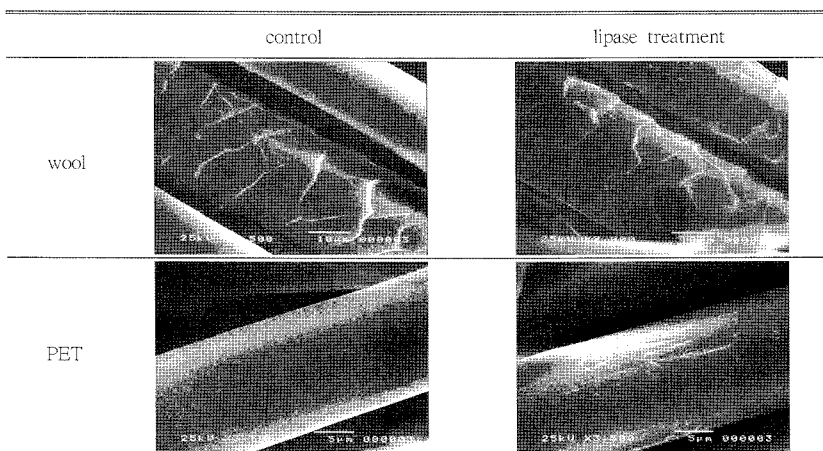


Fig. 9. SEM micrographs of control and lipase-treated wool/PET fabrics (pH 8.0, temperature 40°C , lipase 100% (o.w.f), treatment time 90 minutes, CaCl_2 50mM).

4. 표면형태

<Fig. 9>는 최적 처리 조건(pH 8.0, 처리 온도 40°C, 리파제 농도 100%(o.w.f), 처리 시간 90분, 염화칼슘 50mM)에서 리파제 처리한 양모/폴리에스터 혼방직물의 표면형태 관찰 결과이다. <Fig. 9>에서 리파제 처리한 양모섬유는 표면형태의 변화가 거의 나타나지 않았다. 이는 리파제의 기질인 지질 성분이 양모섬유 전체 중량의 0.8%에 불과하기 때문에(改森道信, 1996), 리파제 처리로 인한 양모섬유 표면상에 나타나는 변화는 크지 않은 것이다. 폴리에스터섬유는 리파제의 가수분해 작용으로 표면에 미세한 균열이 발생되었으며, 이는 선행연구(Kim & Song, 2006)와도 일치하는 결과이다. 이러한 표면 변화는 접착각 감소에 영향을 주고, 수용성 염료의 침투를 용이하게 하여 염색성 향상에도 기여하는 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 일반 의류용으로 널리 사용되고 있는 양모/폴리에스터 혼방직물의 후 가공 시, 양모 및 폴리에스터섬유를 동시에 개질할 수 있는 환경 친화적인 가공법으로 효소 가공을 제안하였다. 이에 지방 분해 효소인 리파제를 선택하여 pH, 처리 온도, 효소 농도, 처리 시간에 따른 최대 활성 조건을 설정하였다. 또한 양모/폴리에스터 혼방섬유의 동시 개질 효과를 확인하기 위하여 활성제인 염화칼슘 첨가 시 양모/폴리에스터 혼방섬유의 백도, 접착각, 염색성을 측정하고, 최적 조건에서 처리된 양모/폴리에스터 혼방섬유의 필링성, 표면형태 변화를 검토하였다.

양모/폴리에스터 혼방직물의 리파제 처리 시, 상대활성도 측정을 통한 리파제의 최적 처리 조건은 pH 8.0, 처리 온도 40°C, 리파제 농도 100%(o.w.f), 처리 시간 90분이다. 활성제로 염화칼슘은 리파제의 활성 증대에 효과가 있으며 백도, 접착각, 염색성 측정 결과를 통해 얻은 최적 첨가 농도는 50mM이다. 리파제 처리한 양모/폴리에스터 혼방직물은 미처리 시에 비해 백도는 약 6.3% 증가, 접착각은 약 6.5° 감소하였다. 리파제 처리 후 양모/폴리에스터 혼방직물의 염색성은 53.5%로 크게 향상되었다. 양모/폴리에스터 혼방직물은 리파제 처리로 인해 직물 표면의 필링 발생이 억제되었다. 리파제 처리한 양모/폴리에스터 혼방직물의 표면 관찰 결과, 양모섬유의 표면 변화는 거의 없으나 폴리에스터섬유의 경우 표면에 균열이 확인되었다. 이러한 표면형태 변화

는 접착각을 감소시켜 친수성을 증대시키고 수용성 염료의 침투를 용이하게 하여 염색성 향상에 영향을 준다.

따라서 양모/폴리에스터 혼방섬유에 리파제 처리는 양모 및 폴리에스터섬유를 동시개질 함으로서 백도, 염색성, 친수성, 항필링성을 향상시키는 것으로 확인되었다.

참고문헌

- 나영주. (2001). 양모 혼방직물에 대한 효소 표백법 개발과 최적 조건. *한국섬유공학회지*, 38, 445-452.
- 나영주, 이의소. (2003). 프로테아제에 의해 표백된 양모의 태와 염색성. *한국섬유공학회지*, 40, 164-169.
- 문홍만, 김석홍, 함희석, 조영주. (1979). Lipase 활성화에 관한 연구. *한국보건협회지*, 5(2), 25-30.
- 박미라, 김환철, 박병기. (2001a). 효소에 의한 방축 가공 양모직물의 물성 변화에 관한 연구. *한국염색가공학회지*, 13(3), 1-10.
- 박미라, 김환철, 박병기. (2001b). 효소 가공 양모직물의 표면 성질에 관한 연구. *한국염색가공학회지*, 13(4), 1-8.
- 박정아, 박정영, 윤남식, 임용진. (1991). 효소 처리에 의한 양모섬유의 개질(I). *한국염색가공학회지*, 3(4), 7-12.
- 송현주, 김혜림, 송화순. (2009). 파파인 가공한 양모/폴리에스터 혼방직물의 정련 및 염색성. *한국의류학회지*, 33(2), 213-221.
- 이정민, 김진우, 김공주, 구강. (2000). *섬유가공학*. 서울: 형설출판사.
- 정동호. (2003). *효소학개론*. 서울: 대광서림.
- 최은경, 김주혜. (2003). 효소를 이용한 전처리 및 가공 기술. *섬유기술과 산업*, 7(3), 292-302.
- 改森道信. (1996). 羊毛への酵素處理の應用. *染色*, 14(1), 16-24.
- 茶容悦司, 北野道雄. (1999). 酵素によるポリエステル纖維改質加工の可能性. *纖維と工業*, 55(5), 150-154.
- 茶容悦司, 北野道雄. (2000). 酵素による化合織の改質加工技術. *纖維加工*, 52(2), 56-64.
- 吉村由利香. (2003). 酵素と微生物の工業的利用. *纖維と工業*, 59(8), 271-274.
- 高岸徹, 前川昌子. (1999). 酵素利用技術特集にあたって. *纖維学会誌*, 55, 126-140.
- 山本周治, 北野道雄. (2003). 新規酵素によるウルおよびポリエステル纖維の改質加工. *加功技術*, 38(10), 664-672.
- Kim, H. R., & Song, W. S. (2006). Lipase treatment of polyester fabrics. *Fibers and polymers*, 7(4), 339-343.
- Paulo, A. C., & Gubitz, G. M. (2003). *Textile processing with enzymes*. Cambridge: Woodhead publishing.
- Sharma, S., Chisti, Y., & Banerjee, U. C. (2001). Production, purification, characterization and applications of lipases. *Bio-technology Advances*, 19, 627-662.