Laccase를 이용한 데님 탈색

정유라 · 송화순[†]

숙명여자대학교 의류학과

Denim Decolorization Using Laccase

Yu Ra Chung · Wha Soon Song[†]

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

접수일(2012년 11월 5일), 수정일(2013년 2월 23일), 게재확정일(2013년 2월 27일)

Abstract

Denim washing is processed with different washing techniques such as stone washing, chemical washing, sand washing, and bio washing. Cellulase bio washing can meet environmental regulations that enhance and rectify problems associated with traditional decolorization techniques; however, stone washing needs to be added to the processing because it produces a low decolorization effect. There is also the problem of additional strength reduction. To prevent these problems, a new enzyme for bio washing is required. This study examines the optimum laccase treatment conditions on denim and evaluated the characteristics of laccase-treated denims to establish a database of eco-friendly new decolorization process on denim using a new laccase enzyme. The results show that the optimum conditions of laccase on denim are a pH of 4.0, 30°C, 7% (o.w.f.), and 6 hours in 10 mM of buffer concentration. UV absorbance and HPLC identified isatin co-exist with anthranilic acid in solution after laccase treatment on denim. Results of the surface color, the surface morphology and the tensile strength indicate that laccase treatment shows an excellent decolorization effect without fiber damage. The wet cleaning fastness and the perspiration fastness also improved.

Key words: Laccase, Denim, Decolorization; 락카제, 데님, 탈색

I. 서 론

데님 탈색은 1970년대에 호료 및 미염착된 인디고 염료의 세정을 위한 노말 워싱(normal washing)에서 시작되었으나 현재는 세정과 함께 탈색, 방축, 관리 편리성 등의 복합적 효과를 부여하기 위해 다양한 방법으로 행해지고 있다(Song et al., 2007). 데님 탈색 공정 중 가장 주목받는 방법은 셀룰라제를 이용하는 방법이다. 이 방법은 강화된 환경규제에 부응하면서 기존 탈색 공정의 단점을 보완하는 친환경적인 방법으로 이미 실용화되어 있다(Choe et al., 2001). 그러나 셀룰라제를 이용하는 탈

색 공정은 강도 저하, 인디고 염료에 의한 재오염, 낮은 탈색 효과 등의 문제점을 수반한다. 따라서 셀룰라제를 이용하는 바이오 워싱의 문제점을 보완할 수 있는 친환경적이고 효율적인 새로운 데님 탈색 공정의 개발이 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 락카제를 이용하는 데님 탈색 공정에 대해 연구하고자 한다. 락카제(benzenediol: oxygen oxidoreductase, EC 1.10.3.2)는 대표적인 산화환원효소로, 비특이적인 산화력과 전자 수여체로써 유효 산소 분자를 쉽게 사용하는 특성으로 인해 최근 산업 바이오 테크놀로지로 각광받고 있어 데님 탈색 공정에도 그 적용 가능성이 기대되기 때문이다.

락카제의 기원은 옷나무인 *Rhus vernicifera*의 수액에

[†]Corresponding author

E-mail: doccubi@sookmyung.ac.kr

서 처음 발견되었다. 그 후 다양한 식물과 담자균, 자낭균류 곰팡이 등에서도 발견되었으며, 현재 곰팡이류를 기원으로 하는 락카제가 가장 주요한 락카제로 꼽힌다 (Giardina et al., 2010; Morozova et al., 2007). 락카제는 일반적으로 총 4개의 구리 이온(Cu^{2+})을 가지고 있고, 이 부분이 반응의 활성 자리로 작용한다. 이 활성 사이트는 구리함유단백질의 분류형태인 Type-1, 2, 3 site 세 종류로 구분된다. Type-1 site와 Type-2 site는 각각 1개의 구리 이온을 가지고 있고, Type-3 site는 짝을 이루는 2개의 구리 이온을 가지며, Type-2와 Type-3의 세 개의 구리이온은 모여 있어서 trinuclear copper site라 불린다 (Kim & Kim, 2007; Morozova et al., 2007; Yaropolov et al., 1994). 락카제에 의한 일반적인 촉매 반응은 다음과 같다. Type-1 주변에 있는 아미노산에 의해 형성된 소수성 부분에 환원 기질이 결합하여 1전자 산화와 Type-1 site의 환원이 동시에 일어나고, 이때 생성된 전자는 Type-2, Type-3에 결합하는 산소에 전달되어 산소의 물로의 4전자 환원이 일어난다 (Hyoung & Shin, 1999).

락카제에 관한 선행연구로, Kim(2005a, 2005b)은 *Trametes versicolor*에서 배양한 락카제가 산업폐수에 포함되어 있는 triclosan의 처리에 효과 있음과 락카제가 polyethylene glycol의 존재 하에 독성 물질인 비스페놀 A 처리에 유용함을 보고하였다. Campos et al.(2001)은 *Trametes hirsuta*와 *Sclerotium rolfsii* 곰팡이에서 배양한 락카제에 의해 인디고 염료가 분해됨을 보고하였다. Nurdan et al.(2005)은 *Trametes versicolor*에서 배양한 락카제 단독 처리 시 데님 탈색에 효과있음을 확인하였다. 이외에도 염료의 폐놀화합물 제거 (Minussi et al., 2002), 바이오 센서 (Amir et al., 2009) 등의 다양한 분야에서 락카제에 관한 연구를 찾아볼 수 있다. 이들 연구는 대부분 국외에서 보고된 것으로, 국내 연구는 극소수에 불과하다. 특히, 데님 탈색에 관한 락카제의 연구는 국외에서 소수 보고된 바 있으나, 산업화를 위한 구체적인 연구자료

는 제시되지 않았으며, 국내 연구는 전혀 보고된 바 없다.

이에 본 연구에서는 락카제를 데님 탈색에 이용하기 위한 기본 연구로, 락카제를 이용하여 데님 탈색 시 최적 처리 조건을 설정하고, 최적 조건에서 탈색한 데님의 물성을 검토함으로써 락카제를 이용한 친환경적이고 효율적인 새로운 데님 탈색 기술의 확립에 필요한 기초 자료를 제시하고자 한다.

연구내용은 첫째, 데님의 락카제 처리 시 최적 처리 조건(pH, 온도, 농도, 온도, 시간, 버퍼 농도)을 L*값 측정을 통하여 설정하였다. 둘째, 인디고 염료의 탈색을 확인하기 위해 락카제 처리 용액의 흡광도 및 HPLC를 측정하였다. 셋째, 락카제를 이용하여 탈색한 데님의 표면색, 표면형태, 인장강도, 세탁견뢰도, 땀견뢰도를 측정·분석하였다.

II. 실험

1. 시료 및 시약

1) 시료

시료는 시판 데님을 사용하였으며, 시료의 특성은 <Table 1>과 같다.

2) 효소

효소는 시판 아밀라제(Aquazym 240L), 락카제(Denilite II S)를 사용하였다. 각 효소의 특성은 <Table 2>와 같다.

3) 시약

시약은 Triton-X 100(Sigma chemicals Co., USA), Sodium Phosphate Monobasic(NaH_2PO_4 , Sigma chemicals Co., Switzerland), Sodium Phosphate Dibasic(Na_2HPO_4 , Sigma chemicals Co., Germany), Acetic Acid(CH_3COOH ,

Table 1. Fabric characteristics

Fiber (%)	Yarn Number	Fabric count (warp×weft/inch)	Weight (g/m^2)	Thickness (mm)	Weave
cotton 100	10	61×51	369.2	0.757	2/1 Twill

Table 2. Properties of enzymes

Enzymes	Source	Activity	Form	Manufacturer
Aquazym 240L (EC 3.2.1.1)	<i>Bacillus subtilis</i>	240KNU/g	Liquid	Novozymes
DeniLite II S (EC 1.10.3.2)	<i>Aspergillus</i>	120LAMU	Solid	Novozymes

Sigma chemicals Co., USA), Sodium Acetate($C_2H_3O_2Na$, Sigma chemicals Co., USA), Isatin(Sigma chemicals Co., USA), Anthranilic acid(Sigma chemicals Co., USA)으로 모두 1등급을 사용하였다.

2. 실험방법

1) 호발

호발은 Shaking Water Bath(BS-31, Jeio Tech, Korea)를 사용하여 α -amylase 1g/L, 비이온계면활성제 3ml/L, 액비 1:30, pH 6, 온도 $60^\circ C$, 120rpm으로 30분간 행하였다.

2) 데님 탈색

데님 탈색은 pH(3, 4, 5, 6, 7), 탈색 온도(25, 30, 40, 50, 60, $70^\circ C$), 락카제 농도(1, 4, 7, 10, 13, 16% o.w.f.),

탈색 시간(1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 24 h), 버퍼 농도(10, 20, 30, 40, 50, 60mM)를 변화시켜 <Fig. 1>과 같은 공정을 통해 행하였다.

3) 표면색 측정

L*값은 Computer Color Matching System(JX777, Japan, 이하 CCM이라 함)을 사용하여 각 시료 당 10회씩 반복 측정한 후, 평균값을 취하였다.

4) 흡광도 측정

흡광도는 자외선 분광기(UV-vis spectrophotometer UV-1201, Shimadzu, Japan)를 사용하여 측정하였다. 흡광도 측정은 데님 탈색 용액 내 인디고 염료의 분해산물인 이사틴과 안트라닐산의 정성분석을 위해 행하였고, 측정 전 데님 탈색 용액 내 인디고 염료를 제거하기 위해 데님 탈색 용액을 필터링하였다.

Fig. 1. Process of denim decolorization using laccase.

5) HPLC 측정

HPL는 액체크로마토그래피 디텍터(Agilent 1290, USA)를 사용하여 Flow rate: 0.4mL/min, Mobile phase: Water:MeOH=60:40, (v/v), isocratic, Column temperature: 40°C, Column: Eclipse, C18, (2.1×100)mm, 1.8μm, Wavelength: 320nm, 400nm의 조건에서 측정하였다. HPLC 측정은 데님 탈색 용액 내 인디고 염료의 분해산물인 이사틴과 안트라닐산의 정량분석을 위해 행하였고, 측정 전 데님 탈색 용액 내 인디고 염료를 제거하기 위해 데님 탈색 용액을 필터링하였다. 표준 물질은 (주)시그마에서 구입한 이사틴과 안트라닐산을 사용하였다.

6) 표면형태

표면형태는 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope JSM-7600F, Jeol, Korea 이하 FE-SEM)을 이용하여 비교, 관찰하였다.

7) 인장강도 측정

인장강도는 KS K 0521: 2006에 준하여 인장강도 시험기(SS-121A, Sungshin, Korea)를 사용하여 경·위사 방향으로 각각 5회씩 반복 측정 후, 평균값을 취하였다.

8) 세탁견뢰도 측정

세탁견뢰도는 Launder-O-meter(Koa Shokai Ltd, Kyoto, Japan)를 사용하여 KS K ISO 105-C06에 준하여 10회 세탁 후, 측정하였으며 표준 백포는 다섬교직포를 사용하였다.

9) 땀견뢰도 측정

땀견뢰도는 Perspirometer를 사용하여 KS K ISO 105-E04에 준하여 산성과 알칼리 땀액에서 각각 3회 측정하였으며 표준 백포로 다섬교직포를 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 락카제 처리 조건에 따른 탈색 효과

<Fig. 2>는 락카제에 의한 데님 탈색 메커니즘을 나타낸 것이다. <Fig. 2>에 따르면 데님의 인디고 염료는 락카제에 의해 dehydroindigo 형태가 되고, 물 속에서 산소 원자와 결합하여 산화되어 두 분자의 이사틴으로 분해된다. 인디고 염료가 이사틴으로 분해되면, 이사틴은 락카제의 촉매 반응 없이 가수분해되고, 불안정한 중간

Fig. 2. Degradation mechanism of indigo dye by laccase.

생성물인 이사틴산을 거쳐 안정한 최종 분해산물인 안트라닐산으로 분해된다(Campos et al., 2001).

1) pH에 따른 탈색 효과

<Fig. 3>은 락카제를 이용한 데님 탈색 시 pH 변화에 따른 L*값 측정결과이다. <Fig. 3>에 나타난 바와 같이 L*값은 pH 4에서 가장 높았고, pH 4 초과 시 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서 락카제를 이용하여 데님 탈색 시 최적 pH는 4이다.

2) 온도에 따른 탈색 효과

<Fig. 4>은 락카제를 이용한 데님 탈색 시 탈색 온도

Fig. 3. Effect of pH on L* value of laccase-decolorized denim (Treatment conditions: temperature 25°C, laccase concentration 7% (o.w.f.), time 6 h, and buffer concentration 10mM).

Fig. 4. Effect of decolorization temperature on L* value of laccase-decolorized denim (Treatment conditions: pH 4, laccase concentration 7% (o.w.f.), time 6 h, and buffer concentration 10mM).

변화에 따른 L*값 측정결과이다. <Fig. 4>에 나타난 바와 같이 L*값은 증가하여 30°C에서 최대값을 나타내고 30°C 초과 시에는 감소하였다. 이와 같은 경향이 나타나는 이유는 30°C 미만 시 효소의 활동성이 저하되어 기질과 원활하게 결합할 수 없고, 30°C 초과 시 효소의 주성분인 단백질이 구조 변화를 일으켜 변성되거나 사멸되었기 때문이다. 따라서 락카제를 이용하여 데님 탈색 시, 최적 탈색 온도는 30°C이다.

3) 버퍼 농도에 따른 탈색 효과

<Fig. 5>는 락카제를 이용한 데님 탈색 시 버퍼 농도 변화에 따른 L*값 측정결과이다. <Fig. 5>에 나타난 바

Fig. 5. Effect of buffer concentration on L* value of laccase-decolorized denim (Treatment conditions: pH 4, temperature 30°C, laccase concentration 7% (o.w.f.), and time 6 h).

와 같이 버퍼 용액의 농도가 10mM일 때 L*값이 가장 높았으며, 농도가 증가할수록 명도는 감소하는 경향을 보였다. 따라서, 락카제를 이용하여 데님 탈색 시, 최적 버퍼 용액 농도는 10mM이다.

4) 락카제 농도에 따른 탈색 효과

<Fig. 6>은 락카제를 이용한 데님 탈색 시 락카제 농도 변화에 따른 L*값 측정결과이다. <Fig. 6>에 나타난 바와 같이 시료 표면의 L*값은 락카제의 처리 농도가 7%(o.w.f.)일 때 가장 높았으며, 7%(o.w.f.) 이상 증가 시에는 더 이상 변화가 없었다. 이는 효소가 반응할 수 있는 기질의 양이 한정되어 있기 때문에 효소와 기질 간의 결합이 포화상태에 도달함에 따라 효소 분자 간의 과다 경쟁 및 응집으로 인한 효소 반응속도 감소 때문이다(Kim & Song, 2006). 따라서 락카제를 이용하여 데님탈색 시, 최적 락카제 농도는 7%(o.w.f.)이다.

5) 시간에 따른 탈색 효과

<Fig. 7>는 락카제를 이용한 데님 탈색 시 탈색 시간 변화에 따른 L*값 측정결과이다. <Fig. 7>에 나타난 바와 같이 L*값은 처리 시간이 늘어남에 따라 증가하나, 처리 시간 6h이 초과하면 거의 증가하지 않는다. 이는 처리 시간이 증가됨에 따라 효소의 활성 능력이 저하되고, 효소에 의한 가수분해산물이 처리액 내에 축적되어 오히려 효소의 활성을 저해하기 때문이다. 따라서 락카제를 이용하여 데님 탈색 시, 최적 탈색 시간은 6h이다.

이상의 결과를 통하여, 락카제를 이용한 데님 탈색의 최대 활성 조건은 pH 4, 온도 30°C, 버퍼 용액 농도 10mM,

Fig. 6. Effect of laccase concentration on L* value of laccase-decolorized denim (Treatment conditions: pH 4, temperature 30°C, buffer concentration 10mM, and time 6 h).

Fig. 7. Effect of decolorization time on L* value of laccase-decolorized denim (Treatment conditions: pH 4, temperature 30°C, laccase concentration 7% (o.w.f.), and buffer concentration 10mM).

락카제 농도 7%(o.w.f.), 시간 6h로 설정하였다.

2. 락카제 처리 용액의 흡광도 및 HPLC

<Fig. 8>는 락카제를 이용하여 데님 탈색 후, 데님 탈색 용액을 1/2로 희석한 후 흡광도를 측정된 결과이다. <Fig. 8>에 나타난 바와 같이 두 개의 피크가 320nm와 400nm에서 확인되었다. 인디고 염료가 락카제에 의해 이사틴과 안트라닐산으로 분해된다는 선행연구(Campos et al., 2001)와 표준 물질의 UV 측정을 통해 이사틴과 안트라닐산의 최대 흡수파장이 각각 400nm, 320nm임을 확인 후, 데님 탈색 용액의 흡광도 측정결과, 용액 내 인디고 염료의 분해산물인 이사틴과 안트라닐산이 공존하고

Fig. 8. Absorbance of denim decolorization solution after denim decolorization using laccase (Laccase treatment conditions: pH 4, temperature 30°C, laccase concentration 7% (o.w.f.), time 6 h, and buffer concentration 10mM).

있음을 확인하였다. 한편, 이사틴과 안트라닐산의 정량 분석을 위해 락카제를 이용한 데님 탈색 후, 데님 탈색 용액의 HPLC를 측정된 결과, 이사틴은 처리 용액 내에서 81.7mg/L가 검출되었으나 안트라닐산은 검출되지 않았다. 이는 HPLC의 검출한계가 1mg/L 이하이기 때문으로 생각된다. 이 결과를 흡광도 측정결과와 종합하면 처리 용액 내 안트라닐산은 1mg/L 이하의 미량이 존재할 것으로 예상된다.

3. 표면관찰

1) 표면색

<Fig. 9>~<Fig. 10>는 락카제를 이용하여 탈색한 데님의 L*값과 표면색 측정결과이다. <Fig. 9>에 나타난 바와 같이 L*값은 호발한 데님보다 크게 나타났다. 이는 락카제를 이용한 탈색에 의해 데님의 명도가 높아진 것을 의미한다. <Fig. 10>의 표면색 관찰결과, <Fig. 9>

Fig. 9. L* value of laccase-decolorized denim. (Laccase treatment conditions: pH 4, temperature 30°C, laccase concentration 7% (o.w.f.), time 6 h, and buffer concentration 10mM)

Fig. 10. Surface color of laccase-decolorized denim (Laccase treatment conditions: pH 4, temperature 30°C, laccase concentration 7% (o.w.f.), time 6 h, and buffer concentration 10mM).

의 결과를 확인하였다.

2) 표면형태

<Fig. 11>은 락카제를 이용하여 탈색한 데님의 표면 형태 사진이다. <Fig. 11>에 나타난 바와 같이 미처리된 발호제 및 기타 불순물이 섬유에 엉겨있어 표면이 불균일하고 깨끗하지 못하며, 호발한 데님은 부착되어 있던 발호제 및 기타 불순물이 제거됨에 따라 면섬유의 꼬임이 드러나고 깨끗한 표면형태를 나타내었다. 락카제를 이용하여 탈색한 데님의 표면형태는 호발 시료와 유사

Fig. 11. FE-SEM micrograph of laccase-decolorized denim (Laccase treatment condition: pH 4, temperature 30°C, laccase concentration 7% (o. w.f.), time 6 h, and buffer concentration 10mM).

(a) warp

(b) weft

Fig. 12. Tensile strength of laccase-treated denim (Laccase treatment condition: pH 4, temperature 30°C, laccase concentration 7% (o.w.f.), time 6 h, and buffer concentration 10mM).

한 형태로 섬유의 손상도 나타나지 않았다. 이는 락카제가 섬유를 전혀 손상시키지 않고 인디고 염료만 선택적으로 산화시켜 탈색하였기 때문이다.

4. 물성비교

1) 인장강도

<Fig. 12>는 락카제를 이용해 탈색한 데님의 경·위사 방향의 인장강도 측정결과이다. <Fig. 12>에 나타난 바와 같이 락카제 처리 시료의 경·위사방향의 인장강도는 모두 호발 시료와 유사하게 나타났다. 이는 락카제를 이용한 탈색이 섬유를 손상시키지 않음을 의미한다. 이 결과를 <Fig. 10>의 표면색 결과와 <Fig. 11>의 표면 형태 관찰결과와 종합해 보면, 락카제에 의한 데님 탈색은 탈색 효과가 뛰어나면서도 섬유의 강도 저하를 야기하지 않음을 확인할 수 있다.

2) 세탁견뢰도

<Table 3>은 잔류염료의 안정성을 평가하기 위하여 락카제를 이용하여 탈색한 데님의 세탁견뢰도를 측정한 결과이다. <Table 3>에 나타난 바와 같이 세탁견뢰도의 변위는 4~5등급으로 우수하게 나타나 잔류염료의 안정성이 우수함이 확인되었다. 세탁견뢰도의 오염도 모든 백포에서 4~5등급으로 우수하게 나타났다.

3) 땀견뢰도

<Table 4>는 락카제를 이용해 탈색한 데님의 땀견뢰도 측정결과이다. <Table 4>에 나타난 바와 같이 락카

Table 3. Wet cleaning fastness of laccase-decolorized denim

Sample	Fade	Stain							
		Cotton	Nylon	Acetate	Wool	Rayon	Acrylic	Silk	PET
Un	1~2	4	5	4	4-5	4	5	3	4
De	3	4	4	2	4	4	5	4	5
La	4~5	5	4	4-5	5	5	5	4	5

Laccase treatment condition: pH 4, temperature 30°C, laccase concentration 7% (o.w.f.), time 6 h, and buffer concentration 10mM.

Table 4. Perspiration fastness of laccase-decolorized denim

Condition	Sample	Fade	Stain							
			Cotton	Nylon	Acetate	Wool	Rayon	Acrylic	Silk	PET
Acid	Un	3-4	4	5	5	5	4	5	5	5
	De	4-5	4	5	5	5	5	5	5	5
	La	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Basic	Un	3-4	4	5	5	5	4	5	5	5
	De	5	4	5	5	5	5	5	5	5
	La	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Laccase treatment condition: pH 4, temperature 30°C, laccase concentration 7% (o.w.f.), time 6 h, and buffer concentration 10mM.

제를 이용해 탈색한 데님의 산성 땀액과 알칼리 땀액에서의 땀견뢰도는 변퇴와 오염 모두 5등급으로 우수하였다.

함을 확인하였다.

References

IV. 결 론

락카제를 이용한 친환경적이고 효율적인 새로운 데님 탈색 기술의 확립에 필요한 기초자료를 제시하기 위하여, 락카제를 이용하여 데님탈색 시 최대 활성 조건을 확인한 결과, 최대 활성 조건은 pH 4, 온도 30°C, 락카제 농도 7%(o.w.f.), 시간 6h, 버퍼 용액 농도 10mM이었다. 최대 활성 조건에서 데님 탈색 후, 데님 탈색 용액의 흡광도 및 HPLC를 측정된 결과, 용액 내 인디고 염료의 분해산물인 이사틴(81.7mg/L)과 안트라닐산의 존재를 확인하였다. 최대 활성 조건에서 락카제를 이용하여 탈색한 데님의 L*값 측정 및 표면색 관찰결과, L*값이 호발한 데님보다 약 23% 증가하여 명도가 현저히 증가하였음을 확인하였다. 표면형태는 호발한 데님과 유사한 깨끗한 표면형태를 나타내었다. 인장강도는 경 · 위사방향 모두 호발 시료와 유사하게 유지되었다. 10회 세탁 시 세탁견뢰도는 변퇴와 오염 모두 4~5급, 땀견뢰도는 변퇴와 오염 모두 5등급으로 우수하였다. 이상의 결과를 통해 락카제를 이용한 데님 탈색은 탈색 효과가 뛰어나면서 섬유강도 저하를 일으키지 않고, 잔류염료의 안정성이 우수

- Amir, L., Tam, T. K., Pita, M., Meijler, M. M., Alfonta, L., & Katz, E. (2009). Biofuel cell controlled by enzyme logic systems. *Journal of the American Chemical Society*, 131(2), 826–832.
- Campos, R., Kandelbauer, A., Robra, K. H., Cavaco-Paulo, A., & Gubitz, G. M. (2001). Indigo degradation with purified laccase from *Trametes hirsuta* and *Sclerotium rolfsii*. *Journal of Biotechnology*, 89(2-3), 131–139.
- Choe, E. K., Hong, H. P., & Kim, S. D. (2001). 섬유산업에서의 효소 이용 기술 동향 [Trends of technology using enzymes in textile industry]. *Fiber Technology and Industry*, 5(3-4), 155–170.
- Giardina, P., Faraco, V., Pezzella, C., Piscitelli, A., Vanhulle, S., & Sanna, G. (2010). Laccase: A never-ending story. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 67(3), 369–385.
- Hyoung, K. H., & Shin, U. S. (1999). Characterization of immobilized laccase and its catalytic activities. *Journal of the Korean Electrochemical Society*, 2(1), 31–37.
- Kim, H. R., & Song, W. S. (2006). Lipase treatment of polyester fabrics. *Fibers and Polymers*, 7(4), 339–343.
- Kim, J. O., & Kim, Y. J. (2007). Laccase-catalyzed transformation of chlorophene. *Korean Journal of Environmental Health*, 33(1), 63–67.

- Kim, Y. J. (2005a). Oxidative transformation of triclosan by Laccase. *Korean Journal of Environmental Health*, 31(1), 61–65.
- Kim, Y. J. (2005b). Oxidative conversion of bisphenol a with Laccase in the presence of polyethylene glycol. *Korean Journal of Environmental Health*, 31(4), 241–245.
- Minussi, R. C., Pastore, G. M., & Duran, N. (2002). Potential applications of laccase in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 13(6-7), 205–216.
- Morozova, V., Shumakovich, G. P., Shleev, S. V., & Yaropolov, Y. I. (2007). Laccase-mediator systems and their applications: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 43(5), 523–535.
- Nurdan, K. P., Merih, S., & Azmi, T. (2005). Laccase: Production by *Trametes versicolor* and application to denim washing. *Process Biochemistry*, 40(5), 1673–1678.
- Song, W. S., Kim, I. Y., & Kim, H. R. (2007). *Textile*. Paju: Kyomunsa.
- Yaropolov, A. I., Skorobogatko, O. V., Vartanov, S. S., & Varfolomeyev, S. D. (1994). Laccase properties, catalytic mechanism and applicability. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 49(3), 257–280.