

## 혈액오구의 세척성에 관한 연구 - 세탁온도, 섬유종류 및 혈액의 노화를 중심으로 -

변혜진 · 김혜진 · 명정은 · 조희령<sup>1)</sup> · 윤창상<sup>†</sup>

이화여자대학교 의류산업학과

<sup>1)</sup>이화여자대학교 패션디자인 전공

## Washing Efficiency of Blood-Soiled Fabrics in Various Conditions of Washing - Focus on Washing Temperature, Fiber Type and Blood Aging -

Hye Jin Byeon, Hye Jin Kim, Jeong Eun Myeong, Hee Ryeong Jo<sup>1)</sup>, and Changsang Yun<sup>†</sup>

Dept. of Fashion Industry, Ewha Womans University, Seoul, Korea

<sup>1)</sup>Fashion Design Major, Ewha Womans University, Seoul, Korea

**Abstract:** Experimental research is needed to provide information on the removal of bloodstains since washing clothes contaminated with blood is necessary for medical related fields (such as ambulance workers and doctors) as well as for women of childbearing age. This study investigated efficient washing conditions for the removal of bloodstains with a focus on washing temperature, fiber type and blood ageing time. Polyester/cotton fabric showed the highest detergency from among three fabrics that were influenced by the composition of the fiber and the structure of the yarn and fabric. When examining the effect of detergent, it was concluded that the alkalinity over pH 10 was essential to remove bloodstains and that auxiliary agents such as soil antiredeposition agents and bleach had a significant effect on the removal of bloodstains. Washing temperature showed the highest detergency at 20°C due to the activity of the enzyme without the denaturalization of blood. Blood-ageing influenced detergency by inducing changes in the adsorption area and chemical bond. A combination of methods such as quick removal after contamination, use of alkaline detergents including soil antiredeposition agents and bleach, and low-temperature washing could help remove bloodstains.

**Key words:** blood stain (혈액 오구), protease (프로테아제), auxiliary agent (조제), washing temperature (세탁온도), ageing of blood (혈액의 노화)

### 1. 서 론

오구란 의복에 부착되어 미관을 해치고 의복의 위생적, 물리적 성능을 저하시키는 이물질질을 말한다. 크게 땀이나 과일 성분의 수용성 오구, 피지나 왁스 성분의 지용성 오구, 토사나 매연 등의 불용성 오구 3가지로 나누어진다. 수용성 오구 중 당류, 염류, 채소나 과일에 있는 산 등은 대부분 물에 잘 녹으며, 녹말류는 가열 시 물에 쉽게 분산된다(Kim, 1998). 단백질 오구는 동물성으로 인체의 땀, 피, 배설물, 우유, 달걀, 생선 등이 있다. 이들은 알칼리계에 약하므로 암모니아수를 소량 희석하여 사용하거나 단백질 분해 효소인 프로테아제를 첨가하면 제

거가 용이하다고 알려져 있다(Kim et al., 2010). 프로테아제는 세제에 첨가되어, 섬유 사이에 고착되어 있는 단백질 오염인 피부 탈락물, 혈액, 단백질계 식품, 곰팡이 등의 오염을 수용성이 되게 하거나 물에 쉽게 분산되도록 함으로써 분해하거나 제거한다(Suh & Park, 2000).

하지만 수용성 오구라도 단백질은 열이나 약품에 의해 변성 되면 물에 잘 분산되지 않는다. 또 열처리되거나 시간이 경과하면 섬유와의 결합이 공고해져 제거하기가 어려워진다. 이러한 단백질 오구는 섬유상에 부착된 초기에는 수용성이지만 시간이 지남에 따라 물리적 화학적 작용에 의해 구조를 유지하는 수소결합이 없어지고 소수성 기질 간에 상호작용이 붕괴되며, 분자 내 S-S 결합이 변환되어 천연 단백질 본래의 고착원 구조가 무너진 불용성의 변성 단백질이 된다. 이러한 변성 단백질이 섬유에 고착되면 계면활성제만으로는 제거하기 어려운 상태가 된다(Lee & Chung, 2000).

혈액 단백질 오구가 직물에 흡착된 후 섬유표면의 물리·화학적 성질, 실과 직물의 구조 등에 따라 혈액의 젖는 정도, 용해도, 세척성에 차이가 있는 것으로 보고되었다(Oh et al., 1999).

<sup>†</sup>Corresponding author; Changsang Yun

Tel. +82-2-3277-4651, Fax. +82-2-3277-3079

E-mail: cyun@ewha.ac.kr

© 2020 (by) the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

헤모글로빈과 직물의 상호작용까지 고려하여 세제에 사용되는 효소는 단백질 분해효소인 프로테아제가 주를 이루며 이 외에 리파아제, 셀룰라아제 및 아밀라아제 등이 사용되고 있다(Lee & Chung, 2000). 이러한 효소를 이용하여 혈흔의 제거에 효과가 높다는 단백질 제거 전용 세제가 최근 다수 출시되고 있다.

소방관이나 의사 등 사고 및 의료와 관련된 특정 분야뿐 아니라, 가임기 여성에게도 혈액으로 오염된 옷을 세탁하는 것은 필요하기 때문에, 혈액 오구의 제거에 대한 정보를 제공하기 위한 실험적 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 혈액이 묻은 오염포에 대한 세척성을 단백질 제거 전용 세제와 일반 세제를 이용하여 비교해 보고자 하였다. 먼, 폴리에스터, 그리고 먼/폴리에스터 혼방 포에서 혈액의 변성 여부와 세탁온도를 달리하여 실험조건에 따른 세척력 차이도 확인하고자 하였다. 실험 결과를 통하여 각 오염포의 세척성에 대한 여러 가지 변인의 영향을 파악하고 그 원인을 분석함으로써 효과적인 혈액 오구 제거에 도움을 주고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 시료

#### 2.1.1. 직물

먼 100% 직물, 폴리에스터/면 65%/35% 혼방 직물, 폴리에스터 100% 직물을 돼지 혈액으로 오염시킨 CFT 규격오염포 3종과 각각을 노화 처리하여 얻은 3종, 총 6종의 규격오염포 (Testfabrics Inc., West Pittston, PA, USA)를 구매하여, 5 cm × 10 cm 크기로 잘라 사용하였으며, 각각의 sample code를 Table 1에 나타내었다.

#### 2.1.2. 세제

세제는 가루형태의 일반 세제와 액체형태의 혈액 제거 전용 세제를 이용하였으며, 각 세제의 성분을 Table 2에 나타내었다. 일반 세제의 경우 비이온 계면활성제와 음이온 계면활성제가 혼합되어 있고, 조제로서 효소, 향료, 표백제, 재오염방지제, 형광증백제가 포함되어 있고, 전용 세제의 경우 비이온 계면활성제와 효소, 향료, 베이킹소다, 방부제 등이 포함되어 있다. 각 세제의 권장량에 따라 물 700 ml 조건에서, 일반 세제는 0.59 g, 전용 세제는 0.49 g씩 사용되었다.

**Table 1.** Specification of blood-soiled fabrics

Sample code	Fiber contents	Blood ageing	CFT code name
C_U	Cotton 100%	Unaged	W-10PBU
C_A	Cotton 100%	Aged	W-10PB
PC_U	Polyester 65%, Cotton 35%	Unaged	W-20PBU
PC_A	Polyester 65%, Cotton 35%	Aged	W-20PB
P_U	Polyester 100%	Unaged	W-30PBU
P_A	Polyester 100%	Aged	W-30PB

**Table 2.** Composition of the general-purpose detergent and the special detergent for blood stains

	General-purpose detergent	Special detergent for blood stains
Components	Surfactant (5~15%, nonionic, anionic, linear alkylbenzene sulfonate, alpha olefin sulfonate), enzymes, fragrances, alkalis, bleaches, soil antiredeposition agents, fluorescent whitening agents	Surfactant (15~30%, nonionic), enzymes, fragrances, sodium hydrogen carbonate, antiseptic
pH	10	8.5

### 2.2. 세탁

세탁온도에 따른 세척성의 평가는 IR 자동염색기(DLS-6000, Daelim Starlet)를 사용하였다. 모든 실험에서 세탁시간은 20분, 물의 양은 700 ml, 회전속도 45 rpm으로 진행하였다. 세탁온도는 20°C, 40°C, 60°C로 달리하였는데, 온도 상승 과정이 결과에 영향을 미치지 않도록 세탁 시작 전 미리 물 온도를 설정 온도도에 맞춘 후 물을 넣어 세탁 중 온도가 유지되도록 하였다. 세탁조 1개당 같은 종류의 오염포 3장을 넣고 세탁하였다. 세탁이 끝난 후 용기에 있던 세탁에 사용된 물을 버린 후 500 ml의 찬물을 넣고 5초간 흐르는 방식을 2회 반복하여 시료를 행구었다. 행구 직후 핀셋을 이용해 플라스틱 쟁반에 시료를 겹치지 않게 얹고 그늘에서 자연 건조하였다.

### 2.3. 세척성 평가

세척성을 평가하기 위해 분광광도계 CM-2600d(Koica Minolta Inc., Tokyo, Japan)와 분석 프로그램 Spectra Magic을 이용하여 세탁 전후 오염포의 K/S값을 520 nm 파장에서 측정하였다. K/S값은 오염포의 앞면 2곳과 뒷면 2곳, 총 4곳에서 측정하여 평균값을 사용하였다. K/S값을 (1)번 식에 대입하여 세척성을 계산하였으며(Yun et al., 2018), 이 때 사용된 먼 100% 직물, 폴리에스터 65%/면 35% 직물, 폴리에스터 100% 직물 표준백포의 K/S값은 각각 0.0133, 0.0146, 0.0150이다.

$$D = \frac{(K/S)_s - (K/S)_w}{(K/S)_s - (K/S)_o} \times 100 \quad (1)$$

D: detergency

(K/S)<sub>s</sub>: K/S value of the soiled strip

(K/S)<sub>w</sub>: K/S value of the washed strip

(K/S)<sub>o</sub>: K/S value of the original strip

### 2.4. 직물의 표면 관찰

세탁으로 인한 직물의 표면 변화를 관찰하기 위해, 일반카메라(Galaxy Note 9, Samsung), 현미경(Kyowa Biolux-12 binocular microscope(Kyowa, Japan)과 ProgRes C10 plus digital camera system(Jenoptic, Germany), 그리고 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope S-3200N, HITACHI사)을 사용하였다. 주

사전자현미경 관찰 전 시료들을 백금으로 스퍼터링하였다.

### 3. 결과 및 논의

#### 3.1. 섬유 조성의 따른 세척력 비교

##### 3.1.1. 섬유 조성에 따른 혈액 오구 흡착 비교

Fig. 1에 나타나 있는 것처럼, 노화되지 않은 혈액으로 만들어진 오염포의 K/S값은 폴리에스터 직물이 2.786, 면 직물이 3.840, 면/폴리에스터 혼방 직물이 4.049로, 폴리에스터 < 면 < 면/폴리에스터 혼방의 순이었다. 즉 폴리에스터의 오염포에 혈액 오구의 흡착이 적다는 것을 알 수 있다. 이는 옷감을 구성하는 원사의 구조와 친수성에 따른 표면활성에서 기인한 것으로 생각된다(Rema et al., 1999). 리본 단면의 천연 꼬임이 있는 면섬유는 혈액 오구를 잘 흡착하나, 둥근 원형 단면의 폴리에스터는 오구와의 결합이 쉽지 않다. 또한, 표면이 매끄러운 폴리에스터보다 표면이 거칠고 불규칙한 면 스테이플사에서 상대적으로 오구의 흡착이 쉽기 때문에 세탁 전 면오염포의 K/S값이 더 높은 것으로 생각된다(Yun et al., 2018). 이와 더불어 친수성이 큰 섬유는 큰 표면장력으로 인해 공기 중에서 오구와의 결합력이 크기 때문에 오구를 잘 흡착하고 표면활성이 낮은 소수성 섬유는 오구와의 친화성이 작아 공기 중에서 오구가 잘 부착되지 않아(Kang, 2012), 면을 함유하고 있는 시료들에서 높은 K/S값을 나타낸 것으로 생각된다. Fig. 2에 나타난 현미경 사진을 보면 Fig. 1의 결과와 마찬가지로 비노화 폴리에스터에서 색이 밝고 노화되거나 면이 포함된 오염포는 색상이 어둡다. 이는 상대적으로 낮은 흡착률을 보였던 폴리에스터에서 노화에 따른 혈액 단백질 분자의 변성으로 K/S값이 커진 것으로 판단된다.

##### 3.1.2. 섬유 조성에 따른 세척률 비교

20°C에서 혈액 제거 전용 세제로 노화되지 않은 혈액 오염포를 세탁하였을 때, Fig. 3에서 나타난 것처럼 세 가지 소재의 세척률 차이가 크지 않고 전반적으로 세척이 잘 되었다. 또한 Fig. 4에서의 SEM 이미지를 통해, 세 가지 소재 모두 섬유 사이에 응고되어 있는 혈액이 세탁 후 거의 사라진 것을

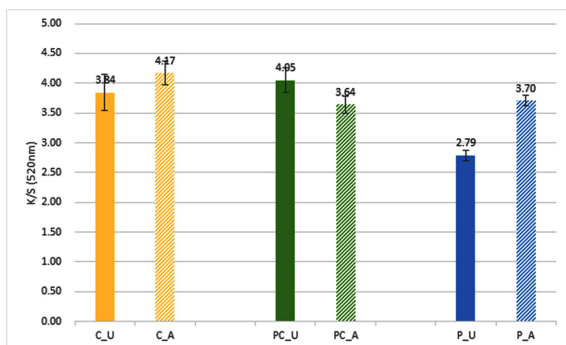


Fig. 1. K/S values of blood-soiled fabrics before washing.

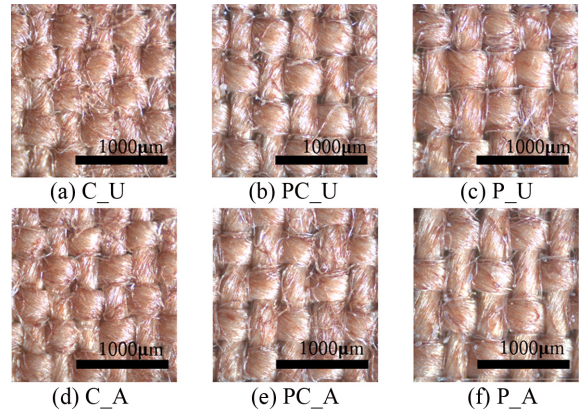


Fig. 2. Microscopic images of blood-soiled fabrics before washing.

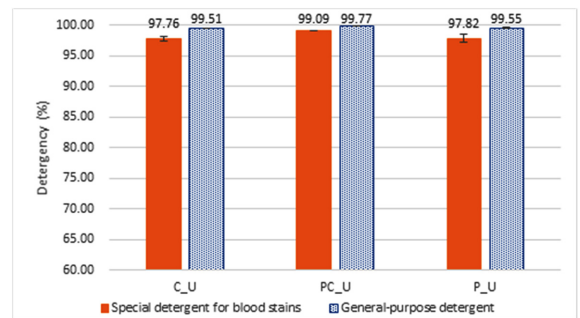


Fig. 3. Detergency of unaged blood-soiled fabrics according to detergent at 20°C for 20 minutes.

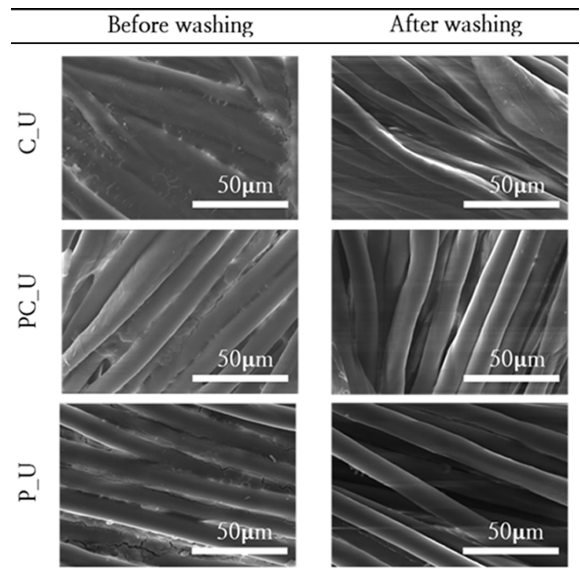


Fig. 4. SEM images of unaged blood-soiled fabrics before and after washing.

볼 수 있다. 그 중 면/폴리에스터 혼방 소재의 세척률이 약간 높았는데 이러한 경향은 모든 온도 조건에서 동일하게 나타났다. 친수성인 면에서 혈액과의 결합이 더 강하기 때문에 상대

적으로 세척률이 낮을 수 있다. 그러나 소수성의 폴리에스터는 면보다는 오염이 되기 어렵지만 한번 오염되면 제거하기 어렵고 재오염이 쉽기 때문에 세척률이 낮다. 보통 섬유의 표면에 너지가 작으면 공기 중에서 오구의 부착률이 작아지므로 오염이 잘 안 되나 수중에서는 부착일, 즉 세척일이 커지므로 세탁성이 좋지 않다(Kang, 2012). 따라서 폴리에스터에 약간의 면을 혼합함으로써 세척에 필요한 일이 커지는 면적이 감소했고 재부착성도 감소했기 때문에 세척률이 높아진 것이라고 예측할 수 있다. 또한 Fig. 1에서 보는 것과 같이 PC\_U의 가장 높은 K/S값이 세척률에 영향을 미친 것으로 생각된다. 이상의 결과를 통해서 섬유의 조성, 표면특성, 실의 구조 등에 의해 혈액의 흡착되고 탈락되는 정도가 다른 것을 확인할 수 있었다(Tokoro et al., 1984).

3.2. 세제에 따른 세척력 비교

Fig. 3에서의 결과와 같이 20°C로 20분간 세탁하였을 때, 모든 섬유 조성의 혈액 오염포에서 일반 세제의 세척력이 더 높게 나타났다. Lee and Kim(1996)의 연구에 따르면 헤모글로빈의 가수분해율은 pH 7.0~8.0에서 상당히 낮고 pH 11.0에서

가장 높았다. 일반 세제를 넣은 세액의 pH가 약 10인 반면, 효소 세제에서는 pH가 약 8.5 정도였기 때문에 각 세제의 pH가 세척성에 영향을 준 것으로 생각된다. 또한, 일반 세제에 함유되어 있는 표백제가 혈액 오구의 제거에 영향을 미친 것으로 생각된다. 표백제는 일반적으로 알려진 살균효과뿐 아니라, 산화작용을 통해 백색 세탁물에 붙어있는 색소를 분해, 표백하여 더욱 희게 할 뿐 아니라 고형오염을 비롯한 다른 오염의 제거에도 도움을 주는 것으로 알려져 있다(Bae, 1998; Kim et al., 1996). IR 기기를 이용한 세탁 실험조건은 세탁 중 신선한 세액을 공급할 수 없는 환경이었고 재오염 방지제는 일반 세제에만 들어있었기 때문에 더 좋은 세탁 효과에 영향을 주었을 것이라고 예상된다(Bae, 1998). 연구에 사용된 일반 세제에는 단백질 분해효소가 들어 있었기 때문에, 궁극적으로 전용 세제 대비 표백제, 재오염 방지제 등과 같은 조제의 역할이 크게 작용한 것으로 판단된다. Fig. 5에서의 세탁 후 오염포의 이미지와 Table 3에서의 이들에 대한 L\*, a\*, b\* 값을 통해서도, 범용 세제를 이용한 경우 전용 세제를 이용한 경우보다 깨끗하게 세탁된 것을 확인할 수 있다.

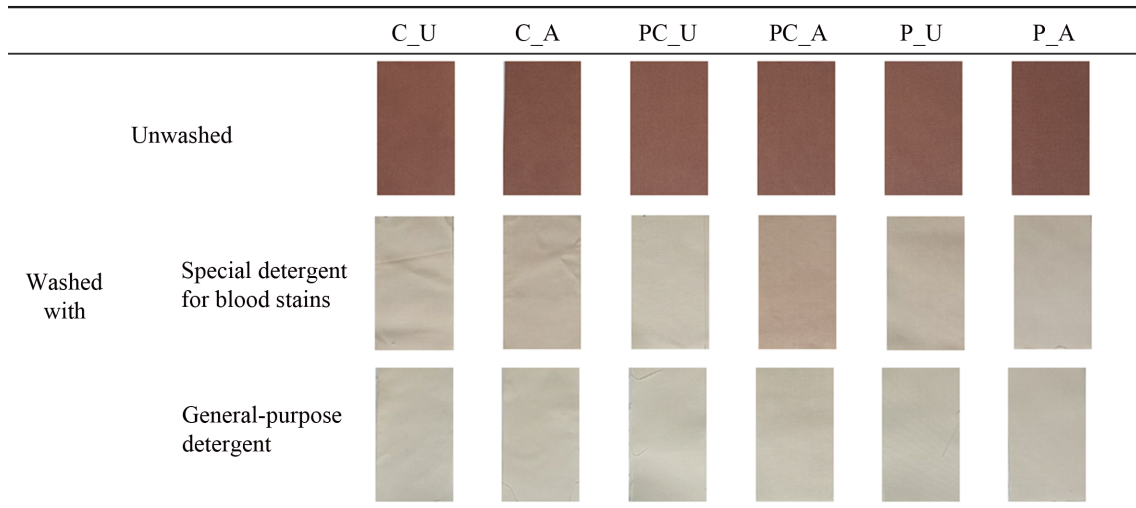


Fig. 5. Fabric images before and after washing with a special detergent for blood stains and a general-purpose detergent at 20°C for 20 minutes.

Table 3. L\*, a\*, and b\* values of fabrics before and after washing at 20°C for 20 minutes

		C_U	C_A	PC_U	PC_A	P_U	P_A
Unwashed	L*	43.88	42.66	42.76	44.08	47.90	44.18
	a*	15.47	14.77	15.73	14.49	14.74	16.16
	b*	22.11	22.12	20.85	20.16	19.21	21.23
Washed with Special detergent for blood stains	L*	85.23	81.65	88.68	79.07	86.65	87.86
	a*	0.26	1.27	-1.14	2.66	-0.90	-1.06
	b*	12.55	14.98	9.03	17.14	11.80	9.69
Washed with General-purpose detergent	L*	90.73	90.35	91.71	90.01	91.00	90.97
	a*	-1.17	-1.30	-1.40	-1.51	-1.65	-1.27
	b*	5.56	6.12	3.46	6.31	3.70	3.09

3.3. 세탁온도에 따른 세척력 비교

20°C, 40°C, 60°C의 세가지 온도에서 혈액오염포를 세탁했을 때, Fig. 6에서 나타난 것처럼 모든 시료에서 세탁온도 20°C에서 가장 높은 세척성을 나타내었다. 섬유로부터 오구를 제거할 때 에너지가 필요하기 때문에, 온도가 올라가면 섬유와 오구간 결합력이 약해지고 분자운동이 활발해지고 반응속도와 확산속도가 빨라져 세탁 효과가 좋아진다. 하지만 단백질 오구의 경우 온도로 인한 변성이 일어나고, 세탁에 주요작용을 하는 효소 또한 60°C를 넘어서면 활성이 떨어져 세척성이 감소하므로 60°C보다 낮은 온도에서 세탁하는 것이 유리하다고 알려져 있다(Kim, 1998). 혈액이 붉게 보이게 하는 헤모글로빈 역시 50°C 이상의 온도에 영구적으로 변형될 수 있고 열에 의한 손상은 회복되기 어렵기 때문에 혈액 변형이 일어나지 않는 온도 범위에서 세탁이 더 잘될 것이라고 생각되는 부분이다. 세탁온도는 효소의 온도 특성과 열에 대한 안정성과 관련되고, 오구의 분산성이나 용해도 특성 등을 결정지으며 세척성에 영향을 미치게 된다(Bac, 1998). 따라서 본 연구에 쓰인 상용 세제 속 효소가 20°C 부근에서 최적 활성을 갖는 것으로 추측한다. 다만 본 연구에서는 세탁 전 용수의 온도를 미리 조절해 세탁 과정에서 승온이 일어나지 않도록 했기 때문에 승온에 대한 부분은 추가적인 검토가 필요하다. 소비자들에 효소 세제 이용 시 단백질의 분해를 위해 적당한 온도와 시간의 예침이 세척성을 높인다는 점을 명시한다면 혈액세탁에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

3.4. 혈액의 노화가 세척력에 미치는 영향

Fig. 7에서 보는 바와 같이, 면과 면/폴리에스터 혼방 오염포는 노화시킨 경우 세척률이 낮아졌고 반면 폴리에스터는 노화시켰을 때의 세척률이 증가했다. 이때 노화된 혈액 오염포와 노화되지 않은 오염포간의 세척률 차이는 혼방 오염포에서 가장 컸다.

먼저 면, 면/폴리에스터 혼방 오염포의 경우 노화된 오염포와 그렇지 않은 오염포 사이에서 세척률 차이가 생긴 이유는

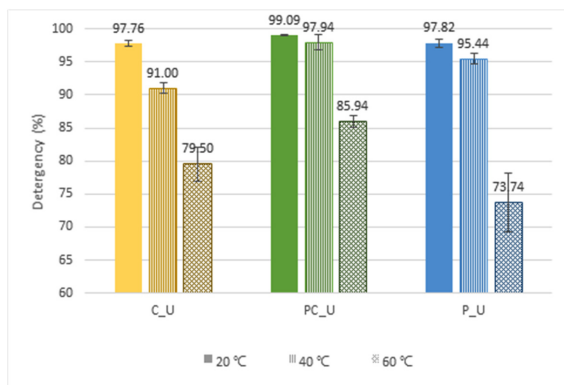


Fig. 6. Detergency of unaged blood-soiled fabrics according to washing temperature for 20 minutes with a special detergent for blood stains.

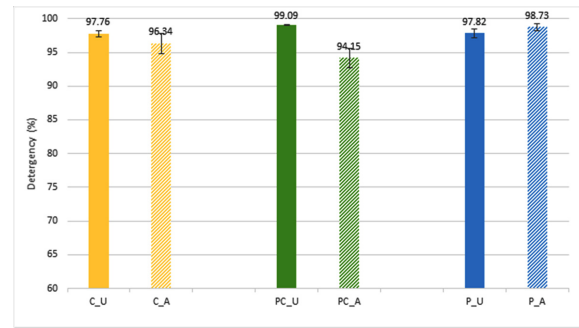


Fig. 7. Detergency according to blood-aging using a special detergent for blood stains at 20°C.

혈액의 고형체 생성(응고) 때문으로 생각된다. 일반적으로 직물에 오염된 혈액은 시간이 경과됨에 따라 제거하기 어려운 굳은 표면을 만드는 소수성의 단백질성 오염이 된다(Smith & Olson, 2002). 혈액 먼 오염포를 장시간 노화하면 액체였던 혈액 오구가 섬유 미세구조까지 침투, 확산하였다가 고체로 변하면서 응고하여 결합이 강해지기 때문이다. 고형체 혈액 오구가 섬유 내로 깊숙이 침투할수록 반데르발스 인력이 강하게 작용하여 탈착이 잘 안 되고 장기간 결합이 잘 된다. 따라서 노화 후 오구를 제거하기가 어려워져 세탁이 잘 안 된 것인데, 폴리에스터 필라멘트에는 혈액 오구가 흡착되기보다는 코팅된 형태이기 때문에 장시간 노화 처리에 면섬유와 같이 내부 깊숙이 결합하지는 않았다(Roh et al., 2017). 따라서 폴리에스터 오염포는 노화의 영향을 크게 받지 않았다. 폴리에스터에서는 오히려 노화되지 않은 경우 재오염이 쉽고, 노화된 경우 오염포의 표면 고형체가 물에 용해되지 않고 물리적으로 씻겨 나가 세척률이 증가한 것으로 보인다라는 보고와 일치한 결과이다(Mushtaq et al., 2015).

4. 결 론

본 연구에서는 혈액 오구의 효과적 제거를 위한 세탁조건을 알아보기 위해 면, 폴리에스터, 면/폴리에스터 혼방 혈액 오염포에서 세탁온도, 세제, 노화정도를 달리하였을 때의 세척률을 살펴보았으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 소재 별로는 섬유의 화학적 성질, 실 형성방식의 차이에 따른 표면특성의 차이로 인해 혈액 흡착량과 세척률에 차이가 있었다. 표면이 매끄러운 소수성의 합성섬유는 혈액 오구가 확산에 의한 흡착보다 코팅되는 형태로 오염이 어렵지만 한번 오염되면 제거하기 어렵다.
2. 세제 별로는 세탁의 pH, 표백제 등 계면활성제 외의 성분으로 인한 세척률에 차이가 있었다. 단백질 제거 전용 세제와 비교했을 때 헤모글로빈의 가수분해율이 높은 조건인 pH 10 이상의 세액, 표백제, 재오염방지제를 포함하는 분말 세제 형태의 일반 세제를 사용한 경우에 모든 소재에서 99.5% 이상의 높은 세척률을 보였다.

3. 세탁온도는 효소 단백질과 색소 단백질의 구조 변형, 효소의 활성에 차이를 만든다. 온도가 올라가면 섬유와 오구간 결합력이 약해지고 반응속도와 확산속도가 빨라져 세탁 효과가 좋아지지만, 효소 세제의 경우 고온에서 단백질 변성이 일어나 효소의 활성이 떨어져 세척성이 감소하기 때문에, 면 직물은 97.76%, 면과 폴리에스터 혼방 직물은 99.09%, 폴리에스터 직물은 97.82%로 20°C에서 최대 세척률을 보였다.

4. 노화로 인해 시간에 따른 흡착면적의 변화, 화학결합의 변화가 생겨 세척률에 차이가 생겼다. 면에서는 혈액의 침투 및 확산 후 화학결합 생성으로 노화 시 세척률이 97.76%에서 96.34%로 감소하지만, 폴리에스터에서는 비노화 혈액의 높은 재오염성으로 인해 노화 시 세척률이 97.82%에서 98.73%로 증가했다.

위와 같은 결론을 통해 혈액 오구의 세척은 오염된 후 신속하게 표백제, 재오염 방지제 등을 포함하는 알칼리성 세제를 이용하여 저온의 세탁용수로 세탁할 때 가장 효과적인 방법임을 제시하여 세탁에 도움을 줄 것이라 생각된다.

### 감사의 글

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2018R1D1A1A02085576).

### References

- Bae, J. S. (1998). Effect of added commercial bleaching agent in detergency of enzyme mixed deterging agent. *Journal of the Korea Society of Dyers and Finishers*, 10(6), 55-66.
- Kang, I. S. (2012). Detergency of particulate soil of PET fabric finished with hydrophilic and hydrophobic chemicals. *Journal of the Korea Society of Clothing and Textiles*, 36(11), 1237-1245. doi:10.5850/JKSCT.2012.36.11.1237
- Kim, D. K., Park, H. J., Lee, Y. M., Hong, S. G., Lee, H. K., & Yim, J. H. (2010). Screening for cold-active protease-producing bacteria from the culture collection of polar microorganisms and characterization of proteolytic activities. *Korean Journal of Microbiology*, 46(1), 73-79.
- Kim, H. S., Chung, H. W., Kim, S. R., & Shin, S. H. (1996). The degradation of cotton fabrics by bleaching agents in detergents. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 20(5), 905-914.
- Kim, S. R. (1998). *Science of detergents and textile washing*. Paju: Kyomunsa.
- Lee, J. S., & Chung, S. W. (2000). The effects of protease and lipase on the detergency of fabrics. *Journal of the Korea Society of Clothing Industry*, 2(4), 339-345.
- Lee, J. S., & Kim, S. R. (1996). Effect of protease (Subtilisin Carlsberg) on the removal of blood protein soil (I) - The hydrolysis of hemoglobin by Subtilisin Carlsberg. *Journal of the Korea Society of Clothing and Textiles*, 20(3), 550-559.
- Mushtaq, S., Rasool, N., & Firiya, S. (2015). Detection of dry bloodstains on different fabrics after washing with commercially available detergents. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 48(1), 87-94. doi:10.1080/00450618.2015.1029971
- Oh, S. M., Kim, I. Y., & Song, W. S. (1999). Removal of hemoglobin from acrylic acid grafted nylon fabric - The removal and the state of adhesion of hemoglobin on grafted nylon fabric. *Journal of the Korea Society of Dyers and Finishers*, 11(3), 41-48.
- Rema, S., Anuradha, M., & Kumar, V. G. (1999). Effect of charge and hydrophobicity on adsorption of modified starches on polyester. *Journal of Colloid and Interface Science*, 220, 260-268.
- Roh, E. K., Ryu, H. S., & Chae, J. M. (2017). Cleaning method for selective removal of stains from historic textiles and stains change by long period storage - Focused on blood soil. *Journal of the Korea Society of Clothing and Textiles*, 41(2), 341-351. doi:10.5850/JKSCT.2017.41.2.341
- Smith, K. R., & Olson, L. A. (2002). *U.S. Patent No.6,471,728*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Suh, S. H., & Park, C. H. (2000). Effect of mixing protease and lipase on detergency. *Journal of the Korea Society of Clothing and Textiles*, 24(2), 205-213.
- Tokoro, Y., Fujii, T., & Minagawa, M. (1984). Studies on removal of blood protein stains from fabrics. Part 2: Solubility of blood protein on the fabrics artificially soiled with bovine blood, Jpn. Res. Assn. *Text. End-Uses*, 25, 125-132.
- Yun, C. S., Ryu, H. N., & Park, S. H. (2018). Sustainability of textile products based on washing conditions - Focusing on the washing temperature and washing time. *Family and Environment Research*, 56(5), 417-424. doi:10.6115/fer.2018.030

(Received 10 July, 2020; 1st Revised 29 July, 2020;  
2nd Revised 18 August, 2020; 3rd Revised 19 August, 2020;  
Accepted 28 August, 2020)