

의류제품의 세탁조건과 지속가능성: 세탁온도와 세탁시간을
중심으로윤창상¹ · 류한나² · 박소현³¹이화여자대학교 의류산업학과 교수, ²이화여자대학교 의류산업학과 학생, ³한국방송통신대학교 생활과학과 교수Sustainability of Textile Products based on Washing Conditions: Focusing on the washing
temperature and washing timeChangsang Yun¹ · Hanna Ryu² · Sohyun Park³¹Department of Fashion Industry, Ewha Womans University, Seoul, Korea, Professor; ²Department of Fashion Industry, Ewha Womans University, Seoul, Korea, Student; ³Department of Human Ecology, Korea National Open University, Seoul, Korea, Professor

Abstract

The use stage of a textile product impacts sustainability more significantly than other stages of the product's life cycle due to repeated washing and drying. This study determines efficient washing conditions, with high detergency, to reduce energy consumption from excessive washing and improve the washing process sustainability. Detergency was measured at various washing temperatures (20°C, 40°C, and 60°C) and time (10 min, 20 min, and 30 min) using standardized soiled fabrics, i.e., 100% cotton, polyester/cotton (65%/35%), and 100% polyester woven fabric soiled with pigment/sebum, carbon black/mineral oil, soot/mineral oil, cocoa, blood, and red wine. Detergency at the washing condition of 20 °C and 30 min was higher than that at 40 °C and 10 min. In addition, detergency at the condition of 40 °C and 30 min was also higher than that at 60 °C and 10 minutes. This may be because a reduced washing effect at low washing temperatures was complemented by increased mechanical action over a long time. Further, washing temperature and time, with the same detergency, differed based on the type of fiber and soil. Also, the influence of a detergent on the detergency depends on the type of soil. The results suggest that energy and detergent have been consumed more than necessary in actual laundry. According to each type of fiber and soil, washing conditions designed to reduce the energy consumption of the washing process while maintaining the same detergency, were determined.

Keywords

sustainability, textile washing, washing temperature, washing time

서론

최근, 제품의 재료, 생산, 유통, 사용, 폐기의 전 과정에서의 지속가능성을 평가하고 이를 개선하기 위한 노력이 이루어지고 있다. 가장 일반적으로 받아들여지는 지속가능성에 대한 정의는 세계환경개발위원회(World Commission on Environment and Development)에 의한 것으로, 지속가능한 발전을 “미래 세대가 그들의 필요를 충족시킬 수 있는 가능성을 손상시키지 않는 범위 내에서 현재 세대의 필요를 충족시키는 개발”로 정의하고 있으며(World Commission on Environment and Development, 1987) 이는 궁극적으로 인간의 삶의 질은 유지하면서 미래 세대의 가용 자원 또한 적절히 유지되는 것과 관련된다(Agyeman, 2005; Goldin & Winters, 1995).

의류제품의 생애를 재료, 생산, 유통, 사용, 폐기의 과정으로 구분하면, 의류제품의 세탁, 관리 및 다림질의 과정은 지속적으로 반복되기 때문에, 사용단계가 지속가능성에 미치는 영향이 지대하

Received: August 16, 2018
Revised: September 05, 2018
Accepted: September 9, 2018

Corresponding Author:

Sohyun Park

Department of Human Ecology, Korea
National Open University, 86 Daehak-ro,
Jongno-gu, Seoul, 03087, Korea
Tel: +82-2-3668-4644
Fax: +82-2-2088-4306
E-mail: sohyunpark@kno.ac.kr

다(Franklin, 1993). 의류제품의 지속가능성과 관련된 연구에서 면 티셔츠의 사용단계가 환경에 미치는 영향력은 65%로 가장 크게 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Allwood et al., 2006; Laitala et al., 2012). 또한 Kim 등(2015)은 시나리오 분석을 통하여 소비자의 관리 방식에 따라 사용단계에서 에너지 사용량이 약 410배까지 차이가 날 수 있음을 보고하였다. 따라서 의류제품에 대한 지속가능성을 유의미하게 평가하기 위해서는 사용단계에 대한 정확한 분석이 필요함을 알 수 있다. 하지만 이제까지의 지속가능성 관련 연구들을 살펴보면, 재료와 생산단계를 다룬 연구들이 주를 이루었고, 소비자가 직접 사용하는 단계에 대한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 사용단계의 환경 영향을 줄이기 위한 연구에서, 냉수 세탁과 자연 건조 등과 같은 방식이 제안되었는데, 이는 에너지의 사용량을 줄일 뿐 만 아니라 의류제품의 손상을 줄여 궁극적으로 의류제품의 수명을 늘릴 수 있는 것으로 보고되었다(Laitala et al., 2012; Yamaguchi et al., 2011). 또한 옷을 구성하는 섬유 종류에 따라 관리방식이 다르기 때문에 이와 관련된 연구도 보고되었다(Jakobi & Löhr, 1987; Kang, 2005; Kim et al., 2015). 면 100%로 된 옷과 폴리에스터와 면이 각각 65%와 35% 혼방된 옷을 비교하면, 혼방된 옷이 낮은 온도로 세탁이 가능하고, 잔류 수분량이 적어 건조효율도 좋으며, 구김도 많이 생기지 않아 상대적으로 적은 양의 에너지를 사용하여 관리가 가능한 것으로 나타났다(Kim et al., 2015; Yun et al., 2016; Yun et al., 2017). 하지만 이러한 연구들에서는 에너지 사용량 측면에서만 분석한 연구가 대부분이고, 실제 소비자가 기대하는 세탁 성능, 행균 성능, 건조 성능, 다림질 성능 등이 반영되지 않았다는 제한점을 갖기도 하였다. 따라서 실제 사용 과정이 정확하게 반영된 의류제품의 전 과정 평가를 위해서는 기존의 연구에 추가하여 소비자의 기대치를 만족되는 수준의 사용과정에 대한 데이터베이스를 확보하기 위한 실험적 연구가 필요하다.

본 연구에서는 면, 폴리에스터, 그리고 면과 폴리에스터 혼방 직물을 이용하여, 세탁시간과 세탁온도를 달리하였을 때의 다양한 오구에 대한 세척효율을 비교 분석하였다. 이러한 과정을 통하여 최종적으로는 섬유별 적정 세탁온도 및 세탁시간을 찾음으로써 과도한 세탁으로 인한 에너지를 절감할 수 있도록 지속가능한 세탁방법의 근거자료를 제시하고자 하였다.

연구방법

세탁에 관한 일반적인 내용은 가정용 세탁기 성능 평가의 국제규격인 IEC 60456에 부합하게 진행하였다(International

Table 1. Composition of the Reference Detergent A* (International Electrotechnical Commission, 2010)

Ingredient	%
Linear sodium alkyl benzene sulfonate	8.8
Ethoxylated fatty alcohol C12/14 (7 EO)	4.7
Sodium soap (tallow soap)	3.2
Foam inhibitor concentrate (12% silicon on inorganic carrier)	3.9
Sodium aluminum silicate zeolite 4 A (80% active substance)	28.3
Sodium carbonate	11.6
Sodium salt of a copolymer from acrylic and maleic acid (granulate)	2.4
Sodium silicate (SiO ₂ :Na ₂ O = 3.3:1)	3.0
Carboxymethyl cellulose	1.2
Phosphonate (DEQUEST 2066, 25% active acid)	2.8
Optical whitener for cotton (stilbene type)	0.2
Sodium sulfate	6.5
Protease (Savinase 8.0)	0.4
Sodium perborate tetrahydrate (active oxygen 10.0% - 10.4%)	20.0
Tetraacetythylenediamine (active content 90.0% - 94.0%)	3.0

Electrotechnical Commission, 2010).

1. 시료

면 100% (CTTN), 폴리에스터/면 65%/35% 혼방 (TC 65/35), 폴리에스터 100% (PET)의 직물에, pigment/sebum, carbon black/mineral oil, soot/mineral oil, cocoa, red wine, blood로 오염된 규격오염포 (Testfabrics Inc., West Pittston, PA, USA)를 구매하여, 5 cm × 10 cm 크기로 잘라 사용하였다.

세제는 base powder 77%, sodium perborate tetrahydrate 20%, 표백활성화제 tetra-acetythylenediamine (TAED) 3%로 이루어진 IEC 60456의 reference detergent A*를 이용하였다. 계면활성제, 단백질 분해효소, 표백제 등도 함유하고 있으며, 세제의 자세한 성분을 Table 1에 나타내었다.

2. 세탁조건

세탁 장치로는 다양한 조건에서 실험을 진행할 수 있도록, 실험용 세탁기구인 룬더로미터(Laundry-Ometer)를 사용하였다. 룬더로미터는 세탁 실험 중 오염포가 서로 겹치거나 컨테이너의 벽에 부착되어 세탁이 불균일하게 진행된다는 단점이 있지만, 드럼세탁기와 가장 흡사한 방식으로 세탁이 진행된다는 특징을 갖는다(Jakobi & Löhr, 1987).

세탁시간과 온도는 각각 10분, 20분, 30분과 20℃, 40℃,

Table 2. Improvement of Detergency by Washing Temperature (unit: %)

	10 min			20 min			30 min		
	20°C	40°C	60°C	20°C	40°C	60°C	20°C	40°C	60°C
Cotton	100	113	123	100	111	125	100	110	123
Cotton/PET 65/35	100	112	118	100	109	116	100	106	112
PET	100	100	102	100	101	105	100	101	103

60°C로 설정하고 각 조건에서 오구별로 3회 반복 실험하였다. 세탁은 480ml의 컨테이너에 300ml의 물을 채우고, 세제 1.6g과 오염포 9장, 그리고 기계적 작용을 유발하는 스테인리스 구슬 10개를 넣고 42rpm의 회전속도로 이루어졌다(Han et al., 2015; Kymalainen, 2007). 세탁이 끝나면 시료를 증류수에서 3차례 가법게 헹군 다음, 자연 건조하였다.

3. 세척성 평가

세척성을 평가하기 위해 분광광도계 CM-2600d(Koica Minolta Inc., Tokyo, Japan)와 분석 프로그램 Spectra Magic을 이용하여 세탁 전후의 오염포의 반사율을 520 nm 파장에서 측정하였다. 세탁 후 오염포는 구김으로 인해 반사율이 달라질 수 있기 때문에, 정련한 광목으로 덮은 상태에서 다림질해 구김을 제거하였다. 반사율은 오염포의 앞면과 뒷면 두 곳, 총 네 위치에서 반사율을 측정하여 평균값을 사용하였다. 세척성은 (1)번 식인 Kubelka-Munk equation을 이용하여 반사율을 K/S 값으로 변환하고, 변환한 K/S 값을 (2)번 식에 대입하여 계산하였다(Yun & Park, 2016).

$$K/S = \frac{(1 - R)^2}{2R} \dots\dots\dots (1)$$

K: absorption coefficient
 S: scattering coefficient
 R: reflectance at 520 nm

$$D = \frac{(K/S)_s - (K/S)_w}{(K/S)_s - (K/S)_o} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

D: detergency
 (K/S)_s: K/S value of the soiled strip
 (K/S)_w: K/S value of the washed strip
 (K/S)_o: K/S value of the original strip

결과 및 고찰

1. 세탁 온도가 세척성에 미치는 영향

세탁 온도는 세제의 용해도, 물의 표면장력, 오구와 섬유와의 팽윤에 영향을 미치는 중요 요인으로 세탁 온도가 높을수록 일반적으로 세척성이 향상된다(Kim et al., 2008). 하지만 세탁온도를 높이기 위한 전기 에너지 소비가 크기 때문에 적정 세탁 온도를 설정하는 것이 효율적 세탁을 위해서 중요하다. 세탁 온도는 드럼세탁기에서 일반적으로 사용되는 20°C, 40°C, 60°C로 3가지로 설정하고 이 때 세탁 시간은 10분, 20분, 30분의 변화를 주었다. 각 세탁 조건에서 여섯 가지 오구에 대한 세척율을 평균한 값을 Figure 1과 같이 나타내었다. 또한 세탁 온도에 따른 세척성 개선 효과를 Table 2에 나타내었다.

세탁 온도가 증가함에 따라 모든 세탁 조건에서 세척성이 증가하였다. 일반적으로 세탁 온도 증가에 따른 세척성 개선 효과는 세탁시간이 20분인 세탁 조건에서 가장 크게 나타났으며, 의류소재의 종류에 있어서는 면 > 면/폴리에스터 혼방 > 폴리에스터의 순으로 세척성 개선 효과가 크게 나타났다. 세탁온도 20°C와 60°C에서의 세척성을 비교해보면, 가장 큰 세척성 개선 효과가 나타난 조건은 면 오염포를 20분간 세탁한 경우였다. 20°C에서 46.0%의 세척성을, 60°C에서 57.3%의 세척성을 나타내어, 온도 증가에 따라 25%의 세척성이 개선되었다. 세탁 온도가 증가함에 따라 세제의 용해도가 증가하고 세제 내 계면활성제 성분이 오구와 직물 사이 계면에 보다 쉽게 침투하여 오구가 쉽게 제거된 결과로 해석된다. 또한 온도 상승에 따라 섬유와 오구가 보다 크게 팽윤되면서 둘 사이의 결합력이 약해져 세척성이 향상에 영향을 미치는데, 이것은 팽윤이 가장 크게 일어나는 면 오염포의 세척성이 가장 크게 향상된 결과에서도 나타난다. 한편 오염포의 구성성분 중 mineral oil이나 sebum과 같은 오구는 세탁 온도가 상승하면 점도가 낮아지는데 그 결과 직물에서 쉽게 떨어져 나온 것으로 생각된다(Kim et al., 2008; Kim, 1998).

세탁 온도가 증가하면 세척성이 향상됨에도 불구하고 세탁 온도를 높게 설정하는 것은 실제 세탁기에서 에너지 사용량 증가와

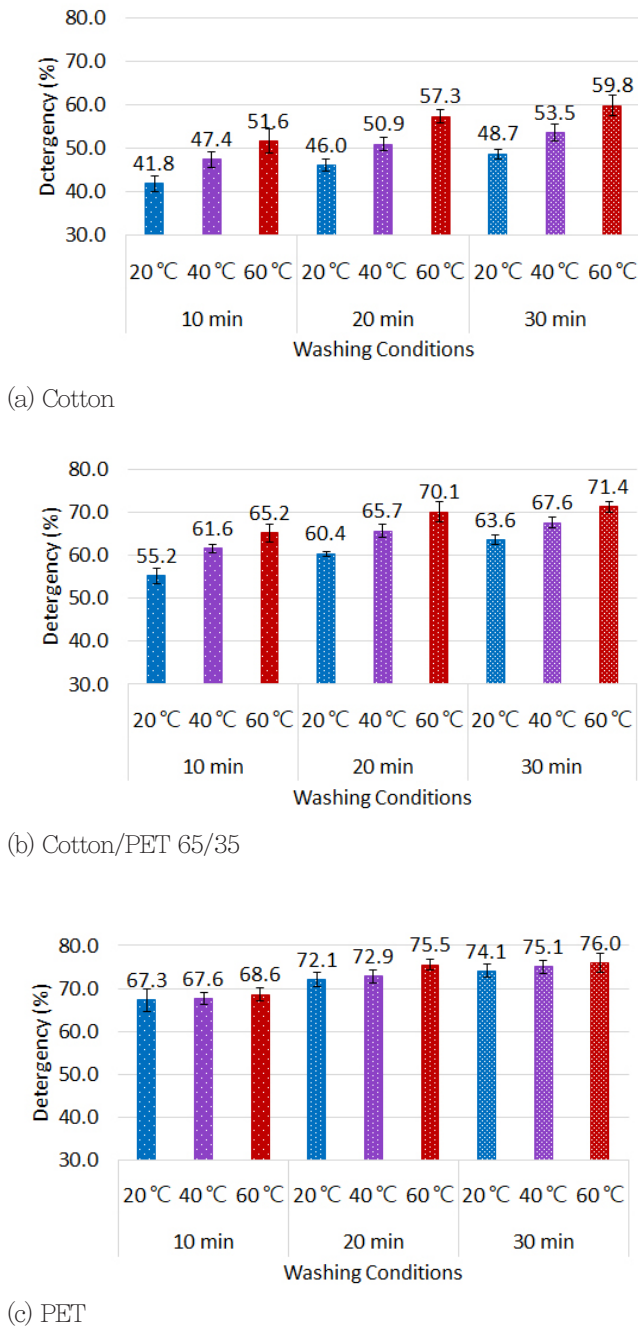


Figure 1. Detergency according to washing conditions.

연결되기 때문에, 지속가능성 측면에서는 세척성과 에너지 사용량이 모두 고려되어야 한다. Kim 등(2015)에 의하면 세탁 온도는 드럼세탁기의 전기 소비에 주도적 역할을 한다고 한다. 드럼세탁기에서 세탁온도를 60°C로 설정할 경우, 40°C 세탁온도의 조건보다 3배, 그리고 20°C의 세탁온도의 조건보다 약 7배의 전기를 소비한다고 한다. 또한 세탁-헹굼-탈수로 이루어진 전체 세탁과정에서 협의의 세탁이 차지하는 전기 사용량의 비율은, 40°C 및

60°C 세탁 조건에서는 85-95%이었고, 20°C 세탁온도 조건에서는 약 65%의 전기에너지가 세탁과정에서 소비되었다(Kim et al., 2015). 따라서 다음에 살펴볼 세탁 시간과의 조합을 통하여 적정 세탁온도를 살펴봄으로써, 일정 수준 이상의 세척성을 만족시키면서 지속가능성 또한 고려할 수 있는 세탁 방식을 찾을 수 있을 것으로 생각된다.

2. 세탁 시간이 세척성에 미치는 영향

세탁이 이루어지는 동안 물리적, 이화학적 작용이 일어나 오구의 제거가 이루어진다. 따라서 세탁 시간은 물리적, 이화학적 작용량에 영향을 미치며, 특히 세탁물에 대한 기계적 작용의 총량을 결정하게 된다(Kim, 1998). 일반적으로 세탁 시간이 길어지면 세척성이 향상되지만, 재오염의 가능성, 의류소재의 변형과 손상, 에너지 소비량 등을 고려해서 적정 세탁 시간을 설정하게 된다. 세탁시간은 10분, 20분, 30분으로 각 설정하였으며, 각 조건에서의 여섯 가지 오구에 대한 세척율을 평균한 결과는 Figure 1에 나타나 있으며, 세탁시간 증가에 따른 세척성 개선 효과는 Table 3에 나타나 있다.

세탁 시간이 늘어남에 따라 모든 세탁 조건에서 세척성이 증가하였다. 하지만 세탁 시간이 늘어남에 따른 세척성 개선 효과는 세탁 온도 증가에 따른 세척성 개선 효과에 미치지 못한 것으로 나타났다. 세탁 시간 10분과 30분에서의 세척성을 비교해보면 가장 큰 세척성 개선 효과가 나타난 조건은 면 오염포를 20°C에서 세탁한 경우였다. 10분에서 41.8%의 세척성, 30분에서 48.7%의 세척성을 나타내어 세척성이 16% 증가되었다. 또 세탁 시간이 10분과 20분에서의 세척성을 비교해보면 가장 큰 세척성 개선 효과가 나타난 조건은 면 오염포를 60°C로 세탁한 경우였다. 10분 세탁에서 51.6%인 세척성은 20분 세탁에서 57.3%의 세척성을 나타내어, 11%의 세척률 증가가 나타났다. 일반적으로 세탁 시간이 10분에서 20분으로 늘어났을 때 가장 큰 세척성 증가는 60°C 세탁 온도 조건에서 나타났고, 세탁 시간이 30분으로 늘어났을 때는 가장 큰 세척성 증가는 20°C 세탁 온도 조건에서 나타났다. 이것은 20°C 세탁 조건에서는 낮은 온도 때문에 세탁에 충분한 시간이 필요하기 때문으로 생각된다.

한편, 세탁시간이 길어지면 세척성이 향상되나, 일정 시간 이상에서는 세척성 향상이 둔화되거나, 더 이상 증가하지 않는 것을 알 수 있다. 이는 옷에서 탈락한 오구들이 세탁용수에 머물다 시간이 경과함에 따라 다시 의복에 부착되는 재오염이 발생했기 때문이다(Kim et al, 2008). 따라서 세탁시간 또한 각각의 세탁 조건에 맞춰 최적화하는 과정이 필요하며, 특히 세탁시간이 필요 이

Table 3. Improvement of Detergency by Washing Time (unit: %)

	20°C			40°C			60°C		
	10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min
Cotton	100	110	116	100	107	113	100	111	116
Cotton/PET 65/35	100	109	115	100	107	110	100	107	109
PET	100	107	110	100	108	111	100	110	111

상으로 길어지게 되면 과도한 기계적 작용으로 옷의 손상이 일어나기 때문에 이 부분 또한 유의해야 한다.

앞선 세탁 온도와 세탁 시간의 조합을 통해 지속가능한 세탁방식을 제안할 수 있다. 모든 의류소재에서 20°C의 세탁 온도로 30분 세탁한 조건의 세척성이 40°C의 세탁 온도로 10분 세탁한 조건의 세척성보다 높았다. 또한 40°C의 세탁 온도로 30분 세탁한 조건의 세척성이 60°C의 세탁 온도로 10분 세탁한 조건의 세척성보다 높다는 것을 알 수 있다. 가장 효과가 높은 조건은 PET 오염포에서 나타나는데, 20°C 세탁온도에서 30분 세탁한 경우 세척성이 74.1%인 반면, 60°C 세탁온도에서 10분 세탁한 경우 세척성이 68.6%로 낮은 온도에서 긴 시간동안 세탁을 함으로써 높은 온도에서의 세탁보다 향상된 세척성을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이는 Sinner's wash circle의 설명과 일치한다(Bartels, 2011; Hauthal, 2012). 즉, 세탁 시간이 길어지면서 기계적 작용이 더 많이 작용한 결과로 낮은 세척 온도로 인한 세척성이 보상된 것이다. 실제 드럼세탁기를 이용한 세탁에서 20°C 세탁 온도 조건에서 249Wh, 40°C 세탁 온도 조건에서는 598Wh, 60°C 세탁 온도 조건에서는 1790Wh의 에너지를 소비한다(Kim, 2015). 이러한 에너지 사용량의 차이는 세탁 온도를 높이기 위한 세탁기 내 히터에 의한 것이다. 드럼세탁기의 히터가 동작되지 않는 조건에서, 세탁시간이 30분인 경우 30Wh의 에너지를 소비한 반면, 세탁시간이 22분인 경우 22Wh의 에너지를 소비한 것으로 나타났다(Yun & Park, 2016). 즉 세탁온도를 20°C에서 60°C로 올리기 위해서는 1541Wh의 추가적인 에너지가 필요하지만, 세탁시간을 10분에서 30분으로 늘리기 위해서는 20Wh의 에너지가 필요하기 때문에, 세탁온도를 낮추고 세탁시간을 길게 하면 동등 수준의 세탁 성능을 유지하면서 에너지 사용량을 절감할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 에너지 절감의 방법에서 몇 가지 유의해야 할 점이 있다. 피지와 같은 오구는 체온에서 옷에 부착되는 것이기 때문에, 이러한 경우에는 체온보다 약간 높은 온도인 40°C에서의 세탁이 제거에 효율적이라 할 수 있다. 또한 앞서 언급한 것처럼 세탁시간이 늘어나는 경우 재오염이나 섬유 손상도 유의하여야 한다.

3. 의류소재의 구성섬유가 세척성에 미치는 영향

Figure 1을 보았을 때, 의류소재에 따른 세척성이 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 같은 세탁온도와 세탁시간의 조건에서, 폴리에스터가 가장 높은 세척성을 보인 반면 면이 가장 낮은 세척성을 나타내었다. 이는 낮은 온도의 세탁 조건에서 두드러지게 나타났는데, 가장 차이가 많이 나는 조건은 20°C 세탁온도에서 20분간 세탁한 경우로, 면은 46.0%의 세척성을 나타낸 반면 폴리에스터는 72.1%의 세척성을 나타내어 26.1%p의 세척성 차이가 나타났다. 또한 가장 높은 온도인 60°C와 가장 긴 세탁시간인 30분 조건에서 면을 세탁한 경우 59.8%의 세척성을 나타낸 반면, 가장 낮은 온도인 20°C에서 가장 짧은 세탁시간인 10분 동안 폴리에스터를 세탁한 경우 67.3%의 세척성을 나타내었다. 이는 옷감을 구성하는 섬유의 화학적 특성과 그 구조에서 기인한 결과이다(Kang, 2005). 친수성인 면섬유는 표면장력이 커서 오구를 잘 부착한다는 특징은 갖는 반면, 소수성 섬유인 폴리에스터는 표면장력이 낮아 오구와의 결합이 쉽지 않다는 특징을 갖는다. 또한 평활한 구조를 갖는 필라멘트사보다 표면이 거칠고 불규칙한 구조를 갖는 스테이플사의 경우 오구의 흡착이 상대적으로 쉽기 때문에 낮은 세척성을 나타내게 된다.

이와 같은 결과에서 구성 섬유의 종류에 따라 면, 면/폴리에스터 혼방, 폴리에스터의 각각의 오염포가 동일한 세척성을 확보하기 위한 세탁온도와 세탁시간이 서로 다르기 때문에, 각 의류소재의 종류에 따른 분류세탁이 중요하다는 것을 알 수 있다. 동일한 온도와 시간으로 세탁하였을 때, 면과 같은 소재에 있어서는 낮은 세척성으로 인해 소비자의 불만이 있을 수 있고, 폴리에스터의 경우 필요 이상의 세탁으로 인해 에너지 낭비와 함께, 과도한 세탁으로 인한 섬유의 손상으로 옷의 기대수명이 저하될 가능성이 있다고 생각된다.

4. 오구에 따른 세척성

본 실험에는 pigment/sebum, carbon black/mineral oil, soot/mineral oil, cocoa, red wine, blood 여섯 가지의 오염포를 사용하였으며, 오염의 종류에 따라 각 세탁 조건에서의 세척성을 살펴보

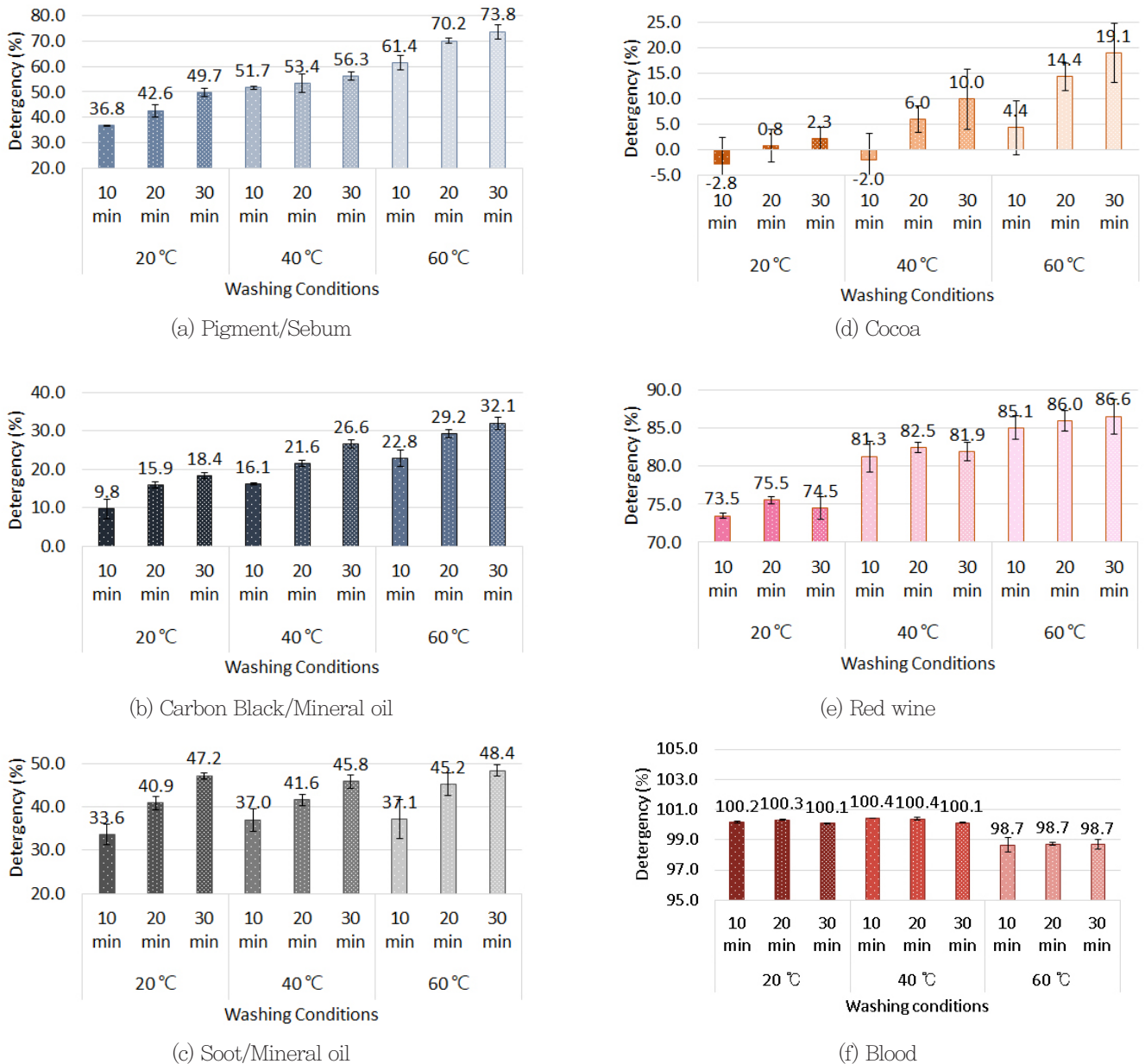


Figure 2. Detergency according to the soil attached to cotton fabric.

았다. 오구에 따른 세척 메커니즘이 서로 다르고 이로 인해 세척성이 다르기 때문에, 각각의 오구에 대한 최적 세탁조건을 찾아, 지속 가능한 세탁방법을 찾는 것 또한 중요하다. 따라서 면직물에 부착된 여섯 가지 오구에 대한 세척성능 결과를 Figure 2에 나타내었다.

Pigment/sebum, carbon black/mineral oil, soot/mineral oil은 세탁과정의 기계적 작용에 의한 제거효율을 나타내는 오염포이다. 색상을 나타내는 오구를 부착시키기 위해 같이 사용된 지용성 오구에 따라 세척율이 다소 다르게 나타나지만, 모든 조건에서 세탁시간이 증가함에 따라 늘어난 기계력으로 인해 세척성

이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 특히 soot/mineral oil 오구의 경우 세탁 온도의 증가에 따른 세척성 차이는 거의 나타나지 않는 대신, 세탁 시간 증가에 의한 차이가 두드러지게 나타났다. 이와 같은 오구의 제거에는 많은 양의 에너지를 사용하는 높은 온도의 세탁온도 대신, 긴 세탁 시간이 필요함을 알 수 있었다.

Cocoa 오구는 유기물의 분해를 대표하는 오구이다. 본 실험 조건에서는, cocoa 오구가 세탁과정에서 완벽하게 제거되지 않으면, 오염포의 색상이 더 진해지는 경향이 있어 세탁효과가 낮게 나타났다. 특히 20°C 세탁온도에서 10분 세탁한 조건과 40°C 세탁온

도에서 10분 세탁한 경우 -2.8%와 -2.0%의 세척성을 나타내어, 면직물에 부착된 유기오구를 제거하기 위해서는 충분한 세탁시간과 세탁온도가 필요함을 알 수 있었다. 참고로 면/폴리에스터 혼방직물에 부착된 cocoa 오구의 세척율은 12.3%~26.5%였으며, 폴리에스터 직물에서의 세척율은 33.1%~62.8%로 나타났다.

Red wine 오구를 제거하기 위해서는 표백제를 이용하는 것이 일반적이다. 본 실험에 사용된 세제 IEC reference detergent A*에는 표백제 (Sodium perborate tetrahydrate)와 표백활성화제 (Tetra-acetylenediamine)가 포함되어 있어서, 모든 조건에서 70% 이상의 세척성이 나타났으며, 특히 세탁온도가 40℃ 이상인 경우 세탁시간에 상관없이 80% 이상의 세척성을 나타내었다. 하지만 20℃와 40℃ 세탁온도에서 세탁시간이 20분에서 30분으로 증가함에 따라 세척성이 다소 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 세탁과정으로 인해 오염포의 표면에서 제거된 후 세액 중에 분포되어 있던 오구가 세탁시간이 길어짐에 따라 다시 직물 표면에 부착되는 재오염에 의한 것으로 생각된다. Table 1에 나와 있는 것처럼, 본 연구에 사용된 세제에는 carboxymethyl cellulose라는 재오염 방지제가 1.2% 함유되어 있다. 하지만 이의 양이 충분하지 않아, 세액 중의 오구와 직물 표면 사이의 전기적인 반발력 또한 충분하지 못해 재오염이 일어난 것으로 생각된다. 따라서 에너지소비량을 줄이기 위해 세탁온도를 낮추고 세탁시간을 늘리는 세탁방법을 적용한다면, 재오염방지제의 함량을 늘려야 할 것으로 생각된다.

Blood 오구를 제거하기 위해서는, 단백질의 변성을 막기 위해 가급적 40℃ 이하의 물로 씻어 내는 것이 중요하고, 더불어 세제 내 단백질 분해효소의 유무가 중요하다. Table 1에서 볼 수 있듯이, 실험에 사용된 세제에는 단백질 분해효소(Protease; Savinase 8.0)를 함유하고 있기 때문에 대부분의 모든 조건에서 혈액이 완전히 제거된 것을 알 수 있으며, 60℃ 세탁 온도에서의 세척성보다 20℃와 40℃의 세탁온도에서의 세척성이 다소 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 모든 온도 조건에서 시간의 영향은 미미하여, 단백질 분해효소가 있는 경우 10분의 세탁으로도 혈액 오구의 제거가 가능한 것을 알 수 있었다. 위의 결과들을 통해, 옷에 오염된 오구의 종류에 따라 적합한 세탁 조건이 각각 다르며, 유효한 세제의 성분이 다르기 때문에 지속가능한 방식의 세탁을 위해서는 역시 분류세탁이 필요함을 알 수 있다.

결론

본 연구에서는 재료, 생산, 유통, 사용, 폐기로 이루어진 의류

제품의 생애 중, 지속가능성에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려진 사용 과정에 대해 지속가능성을 살펴보고자 하였다. 이를 위해 면, 면/폴리에스터 혼방, 폴리에스터 세가지 종류의 오염포를 이용하여, 세탁시간과 세탁온도를 달리하며 다양한 오구에 대한 세탁 성능을 확인하였다. 이러한 과정을 통하여 최종적으로는 섬유별 적정 세탁온도 및 세탁시간을 찾아 과도한 세탁으로 인한 에너지를 절감함으로써 지속가능한 세탁방법을 제시하고자 하였다.

다양한 세탁온도와 세탁시간의 조합에 있어, 20℃의 세탁온도로 30분 세탁한 조건의 세척성이 40℃의 세탁온도로 10분 세탁한 조건의 세척성보다 높게 나타났다. 또한 40℃의 세탁온도로 30분 세탁한 조건의 세척성이 60℃의 세탁온도로 10분 세탁한 조건의 세척성보다 높게 나타났다. 이는 에너지를 많이 필요로 하는 높은 온도의 세탁을 대신하여, 상대적으로 낮은 온도에서 긴 시간동안 세탁함으로써 세척효율을 보상할 수 있다는 것을 의미한다. 이는 Sinner's circle의 설명과 일치하는 것으로, 세탁성능을 동등수준으로 유지하면서 세탁에 소비되는 에너지를 절감할 수 있는 지속가능한 방법으로 확인되었다.

의류소재에 따른 세척성과 오구종류에 따른 세척성에서도 유의한 결과를 도출할 수 있었다. 면, 면/폴리에스터 혼방, 폴리에스터 세 가지 오염포의 세탁에서 동일한 세척성을 확보하기 위한 세탁온도와 세탁시간이 다르게 나타났다. 또한 여섯 가지 오구별 세탁 실험에서도 각 오구별로 동일한 세척성을 확보하기 위한 세탁온도와 세탁 시간이 다르게 나타났고, 특히 세제의 성분이 중요한 역할을 한다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 의류소재와 오구의 종류를 고려해서 적정 세탁시간과 세탁 온도를 설정하고 나아가 세제를 달리 사용할 수 있도록 분류 세탁하는 것이 중요하다는 점을 확인할 수 있었다. 다양한 오구에 오염된 다양한 옷을 한꺼번에 넣고 세탁을 하는 경우, 세탁이 가장 어려운 빨래감의 오구 제거를 목표로 하여 세탁 온도, 세탁 시간, 세제 조건을 결정할 수밖에 없기 때문에, 이는 과도한 에너지 및 세제 사용을 초래한다. 의류소재와 오구에 따른 분류세탁은 이러한 낭비를 줄일 수 있는 지속가능한 세탁방법으로 확인되었다.

본 연구는 섬유 및 의류 제품에서 지속가능한 세탁 과정을 제안할 수 있도록 실험적 연구 결과를 통해서 유용한 정보를 제공한다는 점에서 의의가 있다. 하지만 세탁에 영향을 주는 인자는 세탁 온도와 세탁 시간, 섬유의 종류, 오구의 종류 외에 세제의 종류 및 농도, 예침과 예세, 세탁기의 종류 등 다양한 인자를 모두 고려하지 못한 결과, 실제 세탁 과정으로 일반화하기에는 한계점이 있다. 또한, 본 연구는 규격 실험법에 준하여 세탁성능을 평가하였지만, 일반적으로 소비자는 오염이 심하지 않은 옷을 세탁하지 않

는 등 소비자의 실제 세탁 상황이 반영되지 않았다. 따라서 세탁 시간, 세탁 온도, 세제량 등 세탁의 다양한 요인과 실제 세탁 상황을 전반적으로 고려한 환경 친화적 세탁방식에 대한 고민이 필요하다는 것을 알 수 있었다. 즉, 소비자 조건에서 Sinner's circle에 나오는 화학 작용, 기계적 작용, 온도 및 시간의 네 가지 요소를 관리하여 환경 지속 가능성 및 세척 성능을 모두 만족시킬 수 있는 최적의 세탁 조건을 찾기 위한 후속적인 연구가 필요하다.

Declaration of Conflicting Interests

The authors declared that they had no conflicts of interest with respect to their authorship or the publication of this article.

Acknowledgments

This research was supported by Korea National Open University Research Fund.

References

- Agyeman, J. (2005). *Sustainable communities and the challenge of environmental justice*. New York: New York University Press.
- Allwood, J. M., Laursen, S. E., Rodriguez, C. M. & Bocken, N. M. P. (2006). *Well dressed? The present and future sustainability of clothing and textiles in the United Kingdom*. Cambridge: University of Cambridge Institute for Manufacturing.
- Bartels, V. T. (2011). *Handbook of medical textiles*. Oxford: Woodhead Publishing.
- Franklin Associates. (1993). *Resource and environmental profile analysis of a manufactured apparel product: Woman's knit polyester blouse*. Washington DC: American Fiber Manufacturers Association.
- Goldin, I. & Winters, L. A. (1995). *The economics of sustainable development*. New York: Cambridge University Press.
- Han, H. R., Chung, S. E., Kim, J., & Park, C. H. (2015). Mechanical and physicochemical contribution in removal of different soil types on cotton fabric. *Textile Research Journal*, 85(19), 2009-2019. <https://doi.org/10.1177/0040517515580515>
- Hauthal, H. G. (2012). Washing at low temperatures—saving energy, ensuring hygiene. *Tenside Surfactants Detergents*, 49(2), 171-177. <https://doi.org/10.3139/113.110181>
- International Electrotechnical Commission. (2010). *Clothes washing machines for household use – Methods for measuring the performance*, IEC 60456 Edition 5.0 2010-02.
- Jakobi, G., & Löhr, G. (1987). *Detergents and textile washing*. New York: VCH Publishers.
- Kang, Y. S. (2005). *Theory and practice in laundry detergent*. Cheongju: Yewonsa.
- Kim, J. Y., Park, Y. W., Yun C. S., & Park, C. H. (2015). Comparison of environmental and economic impacts caused by the washing machine operation of various regions. *Energy Efficiency*, 8(5), 905-918. <https://doi.org/10.1007/s12053-015-9333-7>
- Kim, J. Y., Yun C. S., Park, Y. W., & Park, C. H. (2015). Post-consumer energy consumption of textile products during 'use' phase of the lifecycle. *Fibers and Polymers*, 16(4), 926-933. <https://doi.org/10.1007/s12221-015-0926-8>
- Kim, S. R., Lee, J. S., Chung, H. W., Kang, I. S., & Park, C. H. (2008). *Care of textile products*. Paju: Kyomunsa.
- Kim, S. R. (1998). *Science of detergents and textile washing*. Paju: Kyomunsa.
- Kymalainen, H. R. (2007). Comparison of the washing efficiencies of a laboratory washing device (Lauder-Ometer) and of automatic household washing machines with horizontal drums. *International Journal of Consumer Studies*, 31(6), 565-570. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2007.00597.x>
- Laitala, K., Klepp, I. G., & Boks, C. (2012). Changing laundry habits in Norway. *International Journal of Consumer Studies*, 36(2), 228-237. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2011.01081.x>
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future: The world commission on environment and development*. Oxford: Oxford University Press.
- Yamaguchi, Y., Seii, E., Itagaki, M., & Nagayama, M. (2011). Evaluation of domestic washing in Japan using life cycle assessment (LCA). *International Journal of Consumer Studies*, 35(2), 243-253. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2010.00975.x>
- Yun, C., Islam, M. I., LeHew, M., & Kim, J. (2016). Assessment of environmental and economic impacts made by the reduced laundering of self-cleaning fabrics. *Fibers and Polymers*, 17(8), 1296-1304. <https://doi.org/10.1007/s12221-016-6320-3>
- Yun, C., & Park, C. H. (2016). The effect of fabric movement on washing performance in a front-loading washer III: Focus on the optimized movement algorithm. *Textile Research Journal*, 86(6), 563-572. <https://doi.org/10.1177/0040517515590417>
- Yun, C., Patwary S, LeHew, M. L. A., & Kim, J. (2017). Sustainable care of textile products and its environmental impact: tumble-drying and ironing processes. *Fibers and Polymers*, 18(3), 590-596. <https://doi.org/10.1007/s12221-017-6957-6>