

전투복 원단 다회 세탁에 따른 물성변화 연구

김지훈
국방기술품질원, 전투물자센터

A Study of the Changes for Military Uniform Fabric Properties according to Multiple Washing

Ji-Hoon Kim
Combat Materials Center, Defense Agency for Technology and Quality

요약 전투복은 인장 및 인열 강도적인 특성에 있어서 고강도를 요구하며, 최근 발전하고 있는 야간투시 장비로부터 야간에 전투원 생존을 보장하기 위한 적외선 반사율을 적용하고 있다. 다만 전투복은 민수에 다른 옷들과는 다르게 처음 지급된 옷을 다회 세탁하여 사용하며 다시 보급 받는 경우가 드물기 때문에 세탁에 대한 내구성이 필요한 제품이다. 따라서 본 연구에서는 전투복 원단의 다회 세탁 후 강도변화와 적외선 반사율 변화를 알아보고자 시험을 진행하였다. 실험결과 전투복 원단 15회 세탁 이후 강도 변화는 5회 세탁 이후 경/위사 방향 모두 인장, 인열 강도가 거의 일정하게 유지됨을 확인할 수 있었다. 그리고 적외선 반사율의 경우 세탁 처리 하지 않은 것과 세탁 처리 후 반사율 차이가 세탁횟수가 반복됨에 따라 커짐을 확인할 수 있었다. 이를 통해 전투복의 경우 강도적인 측면에서의 세탁 내구성은 있지만, 적외선 반사율은 소재 개발 또는 염료 개발을 통해 일정 수준 이상의 반사율을 유지하는 것이 필요함을 알 수 있었다.

Abstract Combat uniforms require higher tensile and tear strength than civilian products, and applied infrared reflectance from the recently developed nighttime fluoroscopy equipment to ensure combatant survival at night. Unlike other uniforms for civilian use, combat uniforms require durability against laundering because they may not be supplied again, once originally provided. Therefore, this study examined the changes in strength and changes in infrared reflectance after multiple washing of combat uniforms. The experiment confirmed that the strength change after the washing of combat uniforms 15 times was maintained in the same manner as the result after washing five times. In the case of infrared reflectance, the difference in reflectance after multiple washing treatments was greater than that in the case where washing was not performed. Therefore, although the durability in the case of combat uniforms is strong, it is necessary to maintain a reflectance higher than a certain level through the development of materials and the development of dyes.

Keywords : Military Uniform, Fabric, Multiple Washing, Strength, Near-Infrared Reflectance

1. 서론

급변하는 국가 안보환경에 따라 개인병사가 지급받아 전투 시 활용하는 전투물자체계도 빠르게 변화하고 있다 [1]. 특히 개인전투체계로 분류되는 전투물자 체계역시

무기체계 개발과 더불어 지속적인 변화를 지향하고 있는 추세이다. 이러한 추세에 발맞추어 전투물자 분야 중 가장 장비와 밀접한 전투복도 계속 변화해 가고 있다.

1991년 우리 군은 얼룩무늬 전투복 원단을 사용하여 주간 위장 효과를 부여함과 동시에 야간 위장 효과를 부

*Corresponding Author : Ji-Hoon Kim(Defense Agency for Technology and Quality)
email: jhkim@dtaq.re.kr

Received July 8, 2019
Accepted October 4, 2019

Revised August 14, 2019
Published October 31, 2019

여하기 위해 근적외선 반사율을 도입하였다. 이후 90년대 후반 미군에서 디지털 픽셀을 도입한 전투복을 적용하면서 우리 군에서도 디지털 픽셀을 활용한 전투복 개발이 시작되어 2011년 이후 디지털 사각 픽셀을 적용한 전투복이 보급되었다. 디지털 픽셀을 적용한 전투복의 원단 디자인을 진행하면서 민수 제품에서 적용되고 있는 여러 가지 기능성을 원단에 부여하였는데, 흡한속건성, 항균성 등이 그 예이다[2]. 이렇게 다양한 기능성과 위장효과를 부여한 현재 전투복 원단의 색상은 5가지이며, 각각 차콜, 초콜릿, 포레스트 그린, 다크 올리브 그린, 베이지 그레이 색상으로 이루어져 있다. 각각의 색상은 한국 지형에 맞게 색상 배분 및 픽셀 무늬가 설정된 것으로 이를 통해서 이전 전투복에 비해 주간위장 효과가 더 우수해 졌다고 할 수 있다. 이후 2015년부터 2011년 개발된 디지털무늬 전투복 원단에 품질개선을 목적으로 연구 과제가 수행되었으며, 이 결과물로 2018년도부터 신규 제작된 디지털무늬 원단으로 만들어진 전투복이 납품되었다. 해당 전투복은 기존 전투복에 비해 더 우수한 기능성을 부여하며, 촉감과 같은 감성적인 요소도 고려하여 장병들의 만족도를 높이고자 개발하였으며, 기능성뿐만 아니라 기존 전투복에 비해 야간 위장성능도 더 우수하게 설계 되었다. 특히 지속적인 근적외선 야간투시장비 발전과 더불어 근적외선 범위를 확대하여 위장효과를 부여한 전투복 원단을 개발하였다.

이렇게 개발된 전투복 원단으로 만들어진 전투복 형상을 Fig. 1과 같이 나타내었으며, 주요 특성을 Table 1에 정리하였다.



Fig. 1. Shape of combat uniform.

Table 1. Major characteristics of combat uniform fabrics.

Characteristic	Characteristic value
Materials	Polyester, Rayon
Textile System	1/2 Twill, Ribstop
Range of NIR Reflectance	600 ~ 1260 nm
Anti-bacterial Property (After 3 rd washing)	99 % above

다만 전투복은 일반 사병이나 간부 모두 평시/전시에 모두 착용하는 형태이다. 물론 각 군마다 활동복의 형태로 운동복을 지급하여 근무시간 이후에는 활동복 또는 운동복을 입고는 있지만, 결국 근무시간 중에는 전투복을 입고 있다. 이렇게 하루에 대부분을 거의 전투복을 입고 생활하지만, 전투복은 일반 입대 장병들(사병) 기준으로 사계용 전투복 2벌, 하계용 전투복 2벌을 각각 지급하고 있다. 일반적으로 민수 제품은 지속적으로 세탁하고, 다회 세탁 이후 늘어나거나, 색이 빠지거나 하는 경우 옷을 교체할 수 있지만, 전투복은 교체 지급이 거의 불가능하다. 따라서 전투복 원단은 기본적으로 다회 세탁에 대한 내구성을 가지고 있어야 한다고 볼 수 있다.

그러나 이전 전투복 원단은 기본적으로 다회 세탁에 대한 시험 자체가 없었으며, 전투복 원단 시험 중 세탁과 관련된 항목은 세탁견뢰도 및 세탁 치수변화율을 확인하는 행위뿐이었으나 현재 보급되는 전투복 원단의 경우 세탁 항목이 일부 추가되어 세탁을 진행하고 난 뒤 시험하는 내용이 있다. 하지만 현재 전투복 원단의 경우 다회 세탁을 하는 수행하는 횟수는 3회가 최대이며, 3회 세탁 후 모든 항목에 대한 결과를 보는 것이 아니라, 3회 세탁 후 항균도만을 측정하고 있다. 이는 실제 전투복을 운용하는 환경과 상당히 모순되는 것으로 실제 전투복을 사용하는 장병들은 민수 제품과 같이 전투복을 수시로 세탁하고 있다. 따라서 다회 세탁에 따른 전투복 원단의 물성 변화를 미리 파악하지 못하면, 다회 세탁에 따른 강도 저하, 신축성 저하 등으로 인한 착용성 저하뿐만 아니라 적외선 반사율 변동으로 인해 야간 위장 효과에도 영향을 미칠 수 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 납품되고 있는 전투복 원단의 다회 세탁에 따른 물성 변화를 파악하고자 하였다. 특히 전투복 원단이 현재 사계절용과 하계절용으로 구분되어 납품되고 있기 때문에, 사계절용 하계절용 각각에 대해서 다회 세탁에 따른 물성 변화를 시험하였다. 특히 시험 항목은 내구성, 착용성과 관계있는 인장, 인열강도에 대한 시험을 비롯하여, 야간 위장성능과 관계있는 적외선 반사율을 측정하였다.

2. 본론

일반적으로 민수제품에서는 세탁 후 내구성을 시험하기 위해 원단 또는 제품 상태에서 다회 세탁 후 외관, 봉제선 주름 등을 평가하고 있다[3]. 다만 군수 제품의 경우

일부 품목(동내의 원단)에서만 15회의 다회 세탁 후 성능 평가(항균도)를 진행하고 있어 현재 전투원이 가장 많이 사용하는 전투복에 대해 다회 세탁 후 실험을 진행하였다.

2.1 재료

본 연구에서 사용한 시료는 P사에 제조한 전투복 사계용, 하계용 원단이다. 각 원단은 전투복 원단 국방규격에 적합한 품질기준을 갖는 원단으로 제조되었으며, 각각의 재질을 폴리에스터와 레이온 혼방섬유이다. 이때 각 원단을 시험하면서 별도의 처리 없이 그대로 사용하였다.

2.2 실험

실험 방법에 대해서는 개략적으로 Fig. 2와 같이 정리하여 아래에 나타내었다.

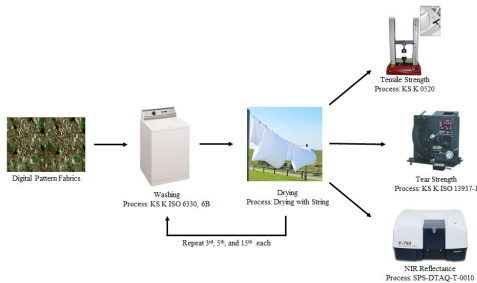


Fig. 2. Schematic diagram of experimental process.

2.2.1 세탁 및 건조처리

사계용 원단과 하계용 원단은 전투복 원단 국방규격에서 정한 세탁 및 건조 시험방법을 적용하여 세탁과 건조하였다. 해당 시험방법은 KS K ISO 6330:2011의 6B, 빨래줄 건조이며, 자세한 조건은 아래 Table 2에 정리하였다. 또한 다회 세탁에 따른 변화를 알아보기 위해서 사계용 전투복 원단 및 하계용 전투복 원단에 대해서 각각 세탁횟수를 0회(미처리), 3회, 5회, 15회 세탁하였다. 이때 사용한 세탁기기는 Whirlpool Co.(U. S. A)의 GCAM2792TQ Washer 모델을 사용하였다.

Table 2. Washing conditions of military uniform fabric.

Net weight(kg)	Temp.(℃)	Washing cycle time(min.)	Dehydration type
2 ± 0.1	40 ± 3	12	Normal

2.2.2 강도 시험

인장강도는 사계용, 하계용 전투복 원단 각각에 대해

서 세탁횟수별로 경사와 위사방향으로 모두 시험하였으며, 시험방법은 KS K 0520에 명시된 시험방법으로 시험하였다. 이를 통해 각 전투복 원단의 경사 및 위사방향에서의 인장강도를 구하였다. 이때 사용한 인장강도 시험기기는 Instron Co.(U. S. A)의 INSTRON-3365 모델을 사용하였다.

인열강도는 사계용, 하계용 전투복 원단 각각에 대해서 세탁횟수별로 경사와 위사방향으로 모두 시험하였으며, 시험방법은 KS K ISO 13937-1에 명시된 시험방법으로 시험하였다. 이를 통해 각 전투복 원단의 경사 및 위사방향에서의 인열강도를 구하였다. 이때 사용한 인열강도 시험기기는 DAIEI Co.(Japan)의 DAU-6400 모델을 사용하였다.

2.2.3 적외선 반사율 시험

적외선 반사율은 사계용, 하계용 전투복 원단 각각에 대해서 세탁횟수별로 SPS DTAQ T 0010에 명시된 시험방법을 따라 시험하였다. 이를 통해 사계 및 하계 전투복 원단 5가지 색상에 대해서 적외선 반사율을 구하였다. 이때 사용한 적외선 반사율 시험기기는 TS Science Co.(Japan)의 Jasco V-570 모델을 사용하였다.

2.3 실험 결과

2.3.1 강도 시험 결과

인장강도는 기본적으로 재료 자체가 갖는 당기는 힘에 저항하는 정도를 측정하는 것이다. 특히 전투복 원단과 같은 여러 환경 변화에도 그 특성이 크게 변화하지 않아야 하며, 특히 강도 측면에서의 변화는 더 적어야 오래 사용할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 각 세탁 횟수에 따른 인장강도를 측정하고 변화거동을 Fig. 3의 A, B와 같이 나타내었다. Fig. 3의 A는 경사방향에 따른 인장강도 측정결과이며, Fig. 3의 B는 위사방향에 따른 인장강도 측정결과이다.

Fig. 3의 A, B를 보면 크게 3가지를 관찰할 수 있다. 우선 첫 번째로 사계용 전투복 원단이 하계용 전투복 원단에 비해서 인장강도가 우수하다는 것이고, 두 번째로는 경사방향의 인장강도가 위사방향의 인장강도보다 더 우수하다는 것, 마지막으로 세 번째는 사계용 및 하계용 전투복 원단의 경사, 위사 방향 모두 세탁 횟수가 증가함에 따라 인장강도는 감소하는 경향을 보인다는 것이다.

첫 번째로 사계용 전투복 원단이 하계용 전투복 원단에 비해 인장강도가 경/위사 방향 모두 우수한 이유는 두 원단의 재질 및 중량 차이에 기인한다. 사계용 전투복 원

단의 경우 하계용 전투복 원단에 비해 강도 측면에서 불리한 레이온의 비율이 낮다[4]. 사계용 전투복 원단은 약 27 %의 레이온 비율을 갖으나, 하계용 원단의 경우는 레이온 비율이 약 30 % 정도이다. 또한 중량의 경우 사계용 전투복 원단은 약 230 g/m² 정도이나, 하계용 전투복 원단은 약 200 g/m² 정도이다. 일반적으로 중량이 높을수록 인장강도 측면에서는 유리하기 때문에[5], 레이온 비율 및 중량에 의해 사계용 전투복 원단이 하계용 전투복 원단에 비해 보다 우수한 인장강도를 갖는 것이다.

두 번째로 경사 방향의 인장강도가 위사 방향의 인장강도보다 높은 것은 위사에 삽입되는 실 종류가 다름에 기인한다. 현재 전투복 원단의 경우 위사 방향에 흡한속건성, 항균성 등 기능성이 부여된 원사를 사용한다. 따라서 해당 기능성을 원사에 부여하기 위해서는 기본적으로 여러 가지 가공 공정을 거쳐야 하는데, 이 공정 중에서 기능성은 추가되지만, 강도 저하를 가져오게 되는 것이다 [6]. 이러한 이유로 경사 방향의 인장강도가 위사방향에 비해 더 높은 것으로 나타났다.

마지막으로 세탁 횟수가 증가함에 따라서 사계용/하계용 전투복 원단에 경/위사 방향에 대해 모두 인장강도가 감소하다가 일정 수준의 값을 갖는 것을 확인할 수 있다. 기본적으로 세탁이라는 것은 섬유 소재에 물(수분)과 함께 강한 비틀림, 인장력 등을 가하는 행위이다[7]. 따라서 세탁을 진행하면, 당연히 강도는 저하될 수밖에 없다. 다만 Fig. 3의 A, B 모두 인장강도가 5회 세탁 후에는 인장강도 변화가 거의 없는데, 이는 원단을 이루는 섬유 조직 특성 및 고분자 재료에 기인하는 것으로 보인다. 전투복 원단은 사계용의 경우 능직, 하계용의 경우 변화평직(Rib stop) 조직으로 되어있다. 해당 조직은 세탁을 거치면서도 다른 조직에 비해 비교적 세탁에 대한 내구성이 있는 것으로 알려져 있다[8]. 따라서 세탁을 반복하여 진행하더라도 강도 변화가 크지 않은 것이다. 실제 강도 저하율은 사계용 원단에서 최대 17 % 정도만 저하됨을 확인할 수 있는데, 이는 세탁에 대한 내구성이 있는 조직을 사용하여 다회 반복 세탁에도 강도 저하가 덜 한 것이다.

다음으로 인열강도는 재료가 갖는 찢어지는 정도에 대한 저항성을 측정하는 것으로, 전투복의 경우 민수의 다른 옷들과는 다르게 특수한 상황에서 사용하는 옷으로 민수의 다른 옷들에 비해 인열강도가 비교적 우수한 특성을 갖는다. 다음 Fig. 4는 각 세탁 횟수에 따른 인열강도 변화거동이며, Fig. 4의 A는 경사방향 인열강도, Fig. 4의 B는 위사방향 인열강도 측정결과이다.

Fig. 4의 A와 B를 보면 앞서 설명한 인장강도 변화 거

동과 유사한 것을 알 수 있다. 이는 강도측면의 시험이 결국 재료의 혼용률(재질)과 조직과 관련된 특성으로 해석할 수 있다.

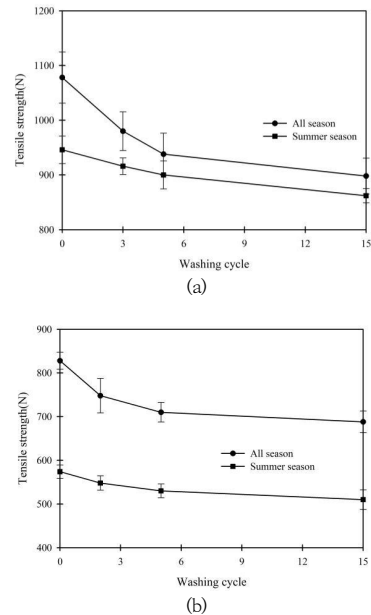


Fig. 3. Changes in the tensile strength of the military uniform fabrics according to washing times. (a) Tensile strength at warp direction (b) Tensile strength at weft direction

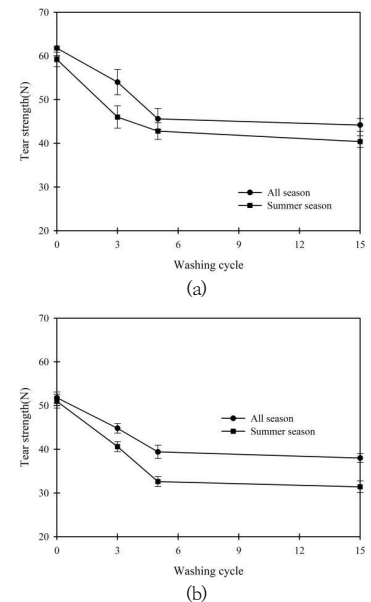


Fig. 4. Changes in the tear strength of the military uniform fabrics according to washing times. (a) Tear strength at warp direction (b) Tear strength at weft direction

2.3.2 적외선 반사율 시험 결과

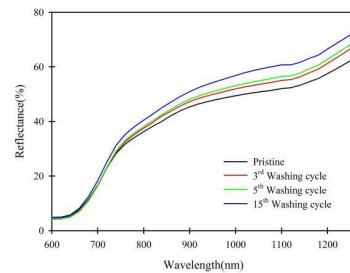
전투복 원단에서 적외선 반사율은 야간 위치에 필요한 조건으로 야간 작전 시 적군의 야간 투시장비로 야군의 위치를 노출시키지 않는데 그 목적이 있다. 일반적으로 야간 투시장비는 물체가 반사하는 근적외선 범위의 파장대를 감지하는 것으로 특정 파장에서 주의 물체와 비슷한 반사율을 갖는다면, 야간에 적에게 식별되지 않을 수 있다[9]. 따라서 본 연구에서는 세탁 횟수에 따른 사계용 전투복 원단 및 하계용 전투복 원단의 5가지색상별 적외선 반사율을 측정하고 Fig. 5, Fig. 6과 같이 나타내었다. Fig. 5는 사계용 전투복 원단의 색상별 적외선 반사율 측정 결과이며, Fig. 6은 하계용 전투복 색상별 적외선 반사율 측정 결과이다.

Fig. 5 및 Fig. 6을 보면 사계용 및 하계용 전투복 원단 각 색상에서 모두 반복 세탁에 따라 적외선 반사율이 커지는 것을 확인할 수 있으며, 15회 세탁의 경우는 3회나 5회 세탁에 비해 반사율 값이 커지는 현상을 확인할 수 있다. 이 이유는 앞서 설명한 강도 측면의 결과인 조직, 재질 등 재료 고유의 성질과 다르게 전투복 원단에 적외선 반사율을 갖게 하는 원리에 기인한다.

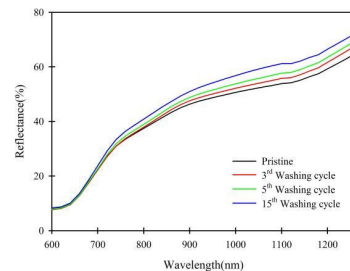
적외선 반사율을 원단에 나타내는 것은 일반적으로 민수에서는 사용하지 않는 기술로, 전투복 등 특정 제품군에만 부여되는 성질이다. 이를 발현시키는 원리는 기본적으로 염료에 있는데, 염료란 섬유제품에 특정 색상을 나타내게 하는 것을 목적으로 사용한다[10]. 이러한 염료 중 특정 염료는 적외선 부분에서 반사율을 갖게 하는 특징이 있다. 따라서 전투복 원단을 염색할 때 사용되는 염료 조합에 적외선 반사율을 갖는 염료를 조합하여 사용하게 된다.

하지만 세탁 과정은 물, 세제 그리고 일정 수준 이상의 장력을 받는 조건으로 염료가 섬유로부터 이탈될 가능성을 안고 있다. 이를 개선하기 위해서 염료와 섬유가 화학결합하는 반응성 염료를 사용하기도 하는데[11], 반응성 염료 중에서는 적외선 반사율을 나타내게 할 수 있는 염료가 없어 전투복 원단 염색시 사용이 불가능하다. 따라서 전투복 원단의 경우 폴리에스터를 염색하기 위해 분산염료를 사용하고 셀룰로오스 계열 섬유인 레이온을 염색하기 위해서 배트 염료(Vat dye)를 사용한다. 해당 염료는 반응성 염료와는 다르게 적외선 반사율 특성을 부여할 수 있는 염료 그룹을 갖고 있지만, 섬유와 염료가 화학결합 하는 형태가 아니라 섬유 고분자 사슬에 염료를 위치시키는 형태이다[11]. 따라서 일상적인 상황에서

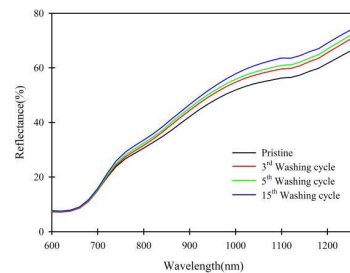
는 염료의 이탈이 거의 없지만 세탁과 같이 외부 자극이 있는 상황에서는 염료가 이탈 가능성이 충분히 있다. 반사율은 기본적으로 완전한 백색일 때 100%의 반사율을 갖기 때문에 반복 세탁을 진행하면 할수록 전투복 원단의 색이 옅어져 백색에 가까워지므로 반사율 값은 높아지는데, 결국 반복세탁에 따라 염료의 이탈이 더 심해지면서 적외선 반사율을 나타내게 하는 염료가 없어져 반사율 값이 더 높아지는 것이다. Fig. 5에서 반사율 값이 가장 크게 벌어지는 색상인 베이지 그레이 색상은 그 반사율 값이 미처리 시료와 비교했을 때 15회 세탁 후 23% 정도 차이가 나고 Fig. 5, Fig. 6 모두 색상별 그래프 모두는 15회 세탁까지 진행한 결과 5회 세탁과 비교해 많은 반사율 차이를 보인다. 다만 본 연구에서는 반복 세탁 15회 이상에 대한 세탁 시험은 진행하지 않았는데, 추후 15회 세탁 이후에 대한 시험을 추가한다면, 더 자세한 적외선 반사율 변화 거동을 파악할 수 있을 것으로 예상된다.



(a)



(b)



(c)

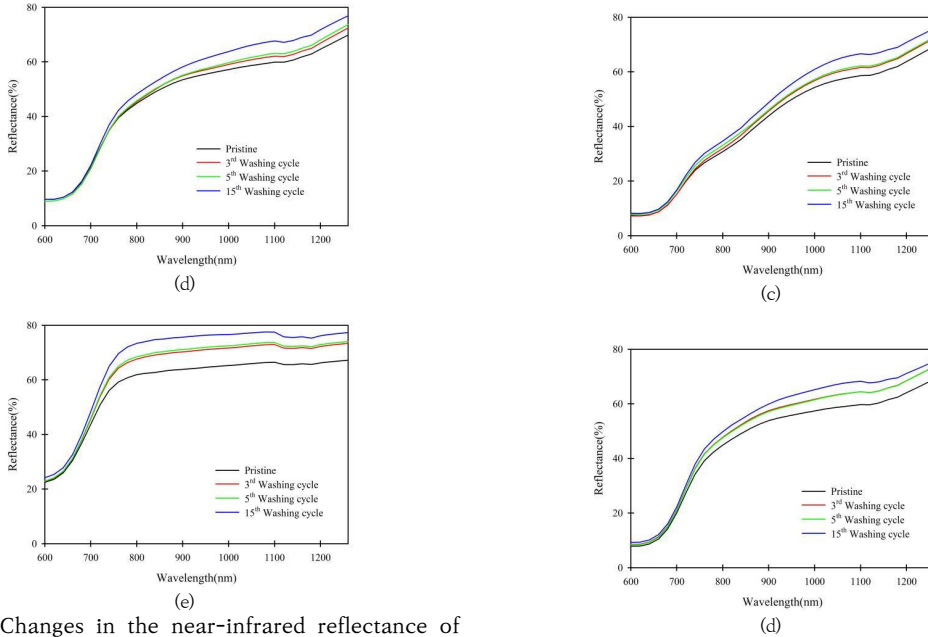


Fig. 5. Changes in the near-infrared reflectance of the all-weather military uniform fabrics according to washing times. (a) Charcoal color (b) Chocolate color (c) Dark olive green color (d) Forest green color (e) Beige gray color

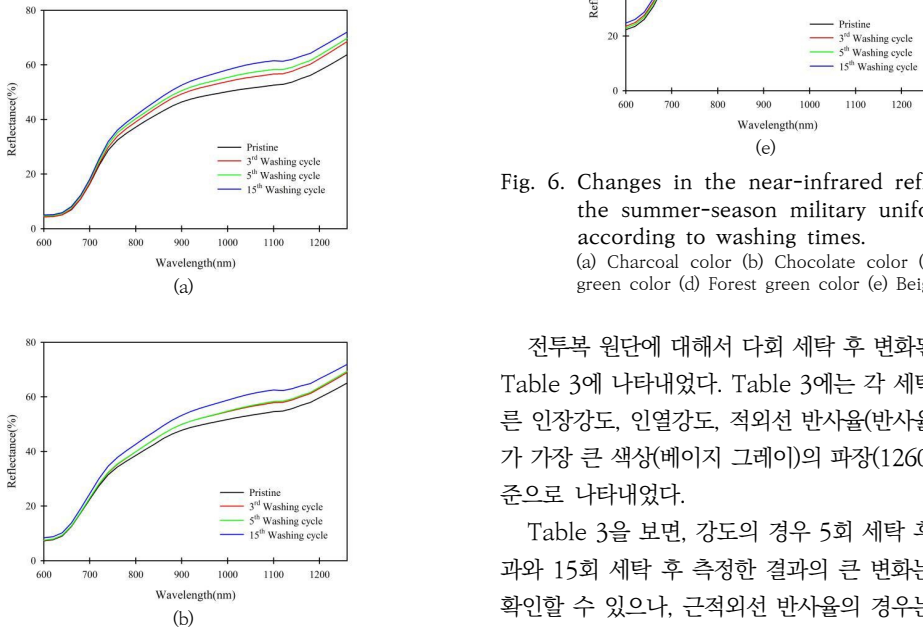


Fig. 6. Changes in the near-infrared reflectance of the summer-season military uniform fabrics according to washing times. (a) Charcoal color (b) Chocolate color (c) Dark olive green color (d) Forest green color (e) Beige gray color

전투복 원단에 대해서 다회 세탁 후 변화된 값을 다음 Table 3에 나타내었다. Table 3에는 각 세탁 횟수에 따른 인장강도, 인열강도, 적외선 반사율(반사율 값의 차이가 가장 큰 색상(베이지 그레이)의 파장(1260 nm)을 기준으로 나타내었다.

Table 3을 보면, 강도의 경우 5회 세탁 후 측정된 결과와 15회 세탁 후 측정된 결과의 큰 변화는 없는 것을 확인할 수 있으나, 근적외선 반사율의 경우는 세탁 횟수가 늘어남에 따라 차이가 커짐을 알 수 있었다.

Table 3. Experimental data(tensile/tear strength(warp direction), NIR reflectance) of military uniform fabrics after multiple washing.

Washing times	Season	0	3	5	15	Changes (5-15)
Tensile (Warp) (N)	All	1.078	980	938	898	40
	Summer	946	916	900	862	38
Tear (Warp) (N)	All	61.8	54	45.6	44.2	1.4
	Summer	59.2	46	42.8	40.4	2.4
NIR Reflectance (%)	All	67.22	73.42	74.07	77.35	3.28
	Summer	67.48	74.24	73.70	77.54	3.84

3. 결론

본 연구에서는 전투복에 사용되는 디지털무늬 원단 2종인 사계절용 원단과 하계절용 원단을 가지고 반복 세탁 횟수에 따른 인장 및 인열강도와 적외선 반사율을 시험하였다. 이때 반복 세탁조건은 전투복 원단 국방규격에 명시된 조건으로 시험하였으며, 이에 따른 인장강도 인열강도 및 적외선 반사율 시험역시 전투복 원단 국방규격에 명시된 시험방법을 사용하였다.

시험결과 인장 및 인열강도는 5회 세탁 이후에는 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있었다. 이는 원단 재질 및 조직과 관련된 사항으로 판단되며, 원단 재질 및 조직이 세탁 후 강도에 대한 내구성을 가지고 있음을 알 수 있었다. 다만 적외선 반사율의 경우 세탁 횟수가 반복될수록 반사율 값이 점점 커지는 것을 확인할 수 있는데, 이는 전투복 원단 염색 방법에 따른 염료 내구성에 관련한 것으로 판단된다. 따라서 추후 다른 연구 등을 통해 현재 전투복 재질에 적합한 염료, 염색법에 대한 개발이 이루어진다면, 다회세탁에도 일정 수준의 적외선 반사율을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

References

[1] I. Cil and M. Mala, "A multi-agent architecture for modelling and simulation of small military unit combat in asymmetric warfare", *Expert Systems with Applications*, Vol. 37, No. 2, pp.1331-1343, Mar. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.06.024>

[2] Y. Xu, J. Sheng, X. Yin, J. Yu and B. Ding, "Functional modification of breathable polyacrylonitrile/polyurethane/TiO2 nanofibrous membranes with

robust ultraviolet resistant and waterproof performance", *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 508, No. 15, pp.508-516, Dec. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.08.055>

[3] E. Toshikj, G. Demboski, I. Jordanov, and B. Mangovska, "Functional Properties and Seam Puckering on Cotton Shirt Influenced by Laundering", *Tekstilec*, Vol. 62, No. 1, pp.4-11, Jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.14502/Tekstilec2018.62.4>

[4] K. H. Hong, "Preparation of Rayon Filament based Woven Fabric and PCM Treatment for Developing Cool Touch Summer Clothing Material", *Fashion and Textile Research Journal*, Vol. 16, No. 2, pp.326-332, Mar. 2014. DOI: <https://doi.org/10.5805/SFTI.2014.16.2.326>

[5] P. C. Varelidis, N. P. Kominos, and C. D. Papaspyrides, "Polyamide coated glass fabric in polyester resin: interlaminar shear strength versus moisture absorption studies", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 29, No. 12, pp.1489-1499, Dec. 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(98\)00102-X](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(98)00102-X)

[6] A. Yadav, V. Prasad, A. K. Sheel, R. D. Yadav, and S. N. Vigneshwaran, "Functional finishing in cotton fabrics using zinc oxide nanoparticles", *Bulletin of Materials Science*, Vol. 29, No. 6, pp.641-645, Nov. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12034-006-0017-y>

[7] A. J. Lee, M. H. Seo, S. D. Yang, J. S. Koh, H. S. Kim, "The effects of mechanical actions on washing efficiency", *Fibers and Polymers*, Vol. 9, No. 1, pp.101-106, Feb. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12221-008-0017-1>

[8] K. P. Tang, J. T. Fan, J. F. Zhang, M. K. Sarkar, and C. W. Kan, "Effect of softeners and crosslinking conditions on the performance of easy-care cotton fabrics with different weave constructions", *Fibers and Polymers*, Vol. 14, No. 5, pp.822-831, May 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s12221-013-0822-z>

[9] P. Jeevanandam, R. S. Mulukutla, M. Phillips, S. Chaudhuri, L. E. Erickson, and K. J. Klabunde, "Near Infrared Reflectance Properties of Metal Oxide Nanoparticles", *Journal of Physical Chemistry C*, Vol. 111, No. 5, pp.1912-1918, Jan. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1021/jp066363o>

[10] B. Zhang, L. Wang, L. Luo, and M. W. King, "Natural dye extracted from Chinese gall the application of color and antibacterial activity to wool fabric", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 80, pp.204-210, May 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.100>

[11] J. J. Long, G. D. Xiao, H. M. Xu, L. Wang, C. L. Cui, J. Liu, M. Y. Yang, K. Wang, C. Chen, Y. M. Ren, T. Luan, and Z. F. Ding, "Dyeing of cotton fabric with a reactive disperse dye in supercritical carbon dioxide", *The Journal of Supercritical Fluids*, Vol. 69, pp.13-20, Sep. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.05.002>

김 지 훈(Ji-Hoon Kim)

[정회원]



- 2013년 2월 : 숭실대학교 유기신소재·파이버 공학과(공학학사)
- 2015년 2월 : 숭실대학교 유기신소재·파이버 공학과(공학석사)
- 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

국방품질경영, 신소재공학, 재료공학