

함상 피복 직물의 겨울철 운용환경에서의 내후성 평가 및 열화거동

김병순^{1*}, 장연주²

¹국방기술진흥연구소 전력지원체계연구센터 ²한국건설생활환경시험연구원 생활본부 소비자제품안전부

Evaluation of Weatherability and Degradation Behavior of the Navy Combat Uniform Fabrics during Winter Season Outdoor Exposure

Byung-Soon Kim^{1*}, Yeonju Jang²

¹Combatant Support Systems Research Center, Korea Research Institute for defense Technology planning and advancement

²Consumer Product Safety Support, Korea Conformity Laboratories

요약 본 연구에서는 한국형 함상 피복의 개발에 있어 한국 자연환경의 조건에서 시간이 경과함에 따라 품질 노화나 제품의 수명에 미치는 영향과 기존의 평가 방법인 촉진 내후성과 옥외폭로시험과의 상관관계를 알아보고자 하였다. 이를 위하여 한국형 해군 함상 피복 직물의 한국 자연환경에서의 내후성 평가 및 열화거동에 대하여 평가하였다. 이때 사용된 직물은 연구 개발이 진행 중이었던 한국형 함상 피복 직물의 초기 단계 시제품을 대상으로 하였다. 내후성에 대한 평가는 물리적 특성 변화인 인장강도, 신도, 인열강도를 평가하였고, 촉진 내후성 시험 결과와 비교하였다. 또한 옥외폭로시험에 의한 열화거동을 비교 평가하기 위하여 주사 전자 현미경에 의한 형태학적 변화, FT-IR, 열중량 분석, 시차주사열량분석법 설을 통한 화학적 변화를 분석하였다. 옥외폭로시험 결과 한국형 함상 피복 직물은 강도의 저하가 발생하지 않은 것으로 확인되어 우수한 내후성을 입증했다. 옥외폭로시험과 촉진 내후성 시험은 유사한 결과를 나타내었으며, 외관 특성 및 화학적 특성 평가 결과 유의미한 화학구조의 변화는 없는 것을 확인할 수 있었다. 이상의 결과를 통해 연구 개발이 진행되고 있는 한국형 해군 함상 피복 직물은 개발 목적에 맞추어 연구 개발이 진행되고 있음을 확인할 수 있었다.

Abstract The purpose of this study was to evaluate the suitability of the navy combat uniform fabrics in the winter battlefields of South Korea. To evaluate the performance of the navy combat uniform under an actual operating environment and to analyze its degradation behavior, an outdoor exposure test was conducted together with an accelerated exposure test. To analyze the degradation behavior of the navy combat uniform under outdoor exposure conditions, the uniform was examined using SEM, FT-IR, TGA, and DSC. The outdoor exposure weather resistance test indicated that the navy combat uniform has good weatherability. The accelerated weathering of navy combat uniform showed a similar behavior as compared to a simple outdoor exposure under the same weathering circumstances. There were no significant changes chemically in the material, as seen from the FT-IR, TGA, and DSC results obtained after an outdoor exposure. The uniform's surface properties also didn't change after the outdoor exposure. Similar observations were made from the accelerated weathering test as well.

Keywords : Accelerated Weathering, Degradation, Navy Combat Uniform, Outdoor Exposure, Weatherability

*Corresponding Author : Byung-Soon Kim(Korea Research Institute for defense Technology planning and advancement)
email: kimbyungsoon@gmail.com

Received September 6, 2021

Revised October 12, 2021

Accepted November 5, 2021

Published November 30, 2021

1. 서론

대한민국은 의무 복무 제도를 시행하고 있는 국가로 그 중에서도 약 7만 여명의 해군 장병들이 의무 복무를 수행하고 있다[1]. 육상근무자용 전투피복은 육상 전투 환경에 적합하게 신규 개발되어 2011년부터 디지털 무닉 신형전투복으로 운용 증으로 시대적 요구 및 기술을 반영하여 여러 차례 개선되고 있는 반면, 해군이 함상에서 주로 착용하고 있는 복장인 해군 함상 피복은 다양한 환경에서 임무를 수행해야하는 열악한 조건임에도 불구하고 초창기 모델에서 기술적 큰 개선 없이 초기 모델이 유지되고 있는 실정이다[2]. 해군의 경우 함정이라는 좁고 밀폐된 공간과 기름과 물로 젖어있는 함정 바다, 열기로 매우 덥고 습한 기관실, 바다 위 생활로 인한 지속적인 염분과 자외선 노출 등 특수한 실내외 전투 환경에서 근무해야하므로 그 환경에 적합한 해군 함상 피복이 개발되어야 하며, 이를 위해서는 전투환경에 적합하지에 대한 운용환경의 내후성 평가가 필요한 실정이다. 기존 해군 함상 피복의 착용패적성 평가를 통한 디자인의 요소 요구 성능 분석[2] 이나 착용 생리반응 및 동작 적합성 등의 쾌적성에 관한 연구[3]는 진행된 바 있으나, 소재 기술이 적용된 해군 피복 연구사례 및 운용환경에서의 내후성 평가에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

소재에 대한 내후성 시험은 고유 물성을 지속할 수 있는지에 대한 내구성 및 신뢰성 향상에 연관이 있다. 내후성 시험은 실제 기후를 인위적으로 모사한 촉진 내후성 시험으로 대부분 진행되고 있다[4,5]. 촉진 내후성 시험은 광원의 종류와 필터의 조합을 통하여 원하는 기후 조건을 모사하여 장소 물색 필요 없이 간단하게 실험을 진행할 수 있는 장점이 있지만, 기상상황의 재현의 어려우며 실사용 조건의 경향이 완벽하게 일치하는 결과를 얻기 힘들다는 단점이 있다. 특히, 해군 함상 피복 소재의 경우 외부에 노출되어 자외선, 습도, 염분 등에 의한 표면 품질과 물성 저하가 예상되어 지며, 제품 특성상 한낮의 강렬한 햇빛과 함께 때로는 눈, 비 등의 다양한 기상 변화에 노출되어야하기 때문에 촉진 내후성 결과로는 한계가 있을 것으로 생각된다[6]. 따라서, 태양광선 및 온도, 습도, 강우, 결로 등의 실제 자연 환경에서 이루어지는 옥외폭로시험(Outdoor exposure test)으로 자연환경으로 인한 내후성 및 내구성의 저하 변화에 대한 연구가 필요하다[7].

옥외폭로시험이란 시편을 거치대에 설치하여 시간이 경과함에 따라 품질의 노화나 제품의 수명에 미치는 영

향을 평가하는 시험으로 실제 조건에서 물성 변화를 비교적 정확하게 예측이 가능하다는 점에서 이상적이며, 선진국에서는 그 중요성이 인식되어 다양한 폭로 시험장이 운영되고 있다[8]. 그러나 지역과 환경에 따라 기후 조건이 다르기 때문에 국내의 환경 조건에 따른 데이터를 축적하고 그 환경에서 평가된 열화 거동을 평가하는 것이 필요하다[9,10].

이에 본 연구에서는 한국형 함상 피복의 개발에 있어 한국 자연환경의 조건에서 시간이 경과함에 따라 품질 노화나 제품의 수명에 미치는 영향과 기존의 평가 방법인 촉진 내후성과 옥외폭로시험과의 상관관계를 알아보고자 함을 목적으로 하였다. 이를 위하여 연구 개발이 진행 중이었던 한국형 해군 함상 피복 직물의 한국 자연환경에서의 내후성 평가 및 열화거동에 대하여 평가하였다. 이때 사용된 직물은 한국형 함상 피복 직물의 초기 단계 시제품을 대상으로 하였다. 내후성에 대한 평가는 물리적 특성 변화인 인장강도, 신도, 인열강도를 평가하였고, 촉진 내후성 시험 결과와 비교하였다. 또한 옥외폭로시험에 의한 열화거동을 비교 평가하기 위하여 주사전자 현미경(Scanning electron microscope, SEM)에 의한 형태학적 변화, FT-IR, 열중량 분석(Thermogravimetric analysis, TGA), 시차주사열량분석법(Differential scanning calorimetry, DSC) 분석을 통한 화학적 변화를 분석하였다.

2. 본론

2.1 시료

본 연구에서 사용된 직물은 연구 발이 진행 중이었던 한국형 함상 피복 직물의 초기 단계 시제품을 대상으로 하였으며, m-Aramid와 FR-Rayon 등으로 이루어진 복합소재로 시료의 특성은 Table 1과 같다. 시료는 (주)지구사에서 제공받았으며, 모든 시료는 시험이 진행되기 전 표준상태 하에 24시간 이상 유지하여 평형 상태에 도달한 후 진행하였다.

Table 1. Specification of the fabric

fabric code	fabric count (warp×weft/ 5cm×5cm)	weight (g/m ²)	thickness (mm)
Navy Combat uniform Fabrics	282/136	194	0.426

2.2 물리적 특성 평가

물리적 특성 평가를 위하여 일반적으로 군수품 및 민수품에서 규제하고 있는 물리적 특성인 인장강도, 신도 및 인열강도를 측정 하였으며, 이와 더불어 내후성 시험 후의 물리적 특성 변화를 평가하였다.

2.2.1 인장강도 및 신도

KS K 0520의 그래브법으로 인장강도시험기(tensile strength tester, QUASAR-25, GALDABINI, Italia)를 사용하여 측정하였다.

2.2.2 인열강도

KS K ISO 13937-1의 펜들럼법으로 인열강도시험기(Elmendorf tearing tester, FX 3750, TEXTTEST AG, Switzerland)를 사용하여 측정하였다.

2.3 내후성 시험 평가

한국형 자연환경에서 옥외폭로시험을 통해 내후성 시험을 진행하였고 내후성 평가에 대한 신뢰성을 확보하고자 유사한 광량의 축진 내후성 시험결과와 함께 비교하였다. 내후도 평가는 시험이 끝난 후 인장강도, 신도, 파단일을 측정하여 초기 대비 인장강도, 신도, 파단일 저하율로 평가하였다.

2.3.1 축진 내후성 시험

준비된 인장 시험편을 KS K ISO 105-B02에 따라 제논 아크를 광원으로 사용하는 내후성 시험기(Weather-Ometers, Ci4000, Atlas Co. Ltd, USA)를 사용하여 63 ℃(블랙 패널 온도), 상대습도 30±5 % 조건에서 40, 90시간 동안 시험을 진행하였다[11].

2.3.2 옥외폭로시험

국내 유일하게 보유하고 있는 한국건설생활환경시험연구원(Korea Conformity Laboratories, KCL) 옥외폭로시험장(서산)에서 운영하였으며, 폭로기간에 따른 시험편의 특성 변화를 평가하였다. 옥외폭로시험은 2018년 3월 23일부터 4월 24일까지 진행하였다. Fig. 1과 같이 직접 폭로시험방법으로 시험편의 각도는 37도로 기울여, 자연 상태 그대로 폭로하였다.



Fig. 1. Photographs of outdoor exposure test site view and mounted samples

2.4 외관 특성 평가

시료의 내후성 시험 후의 외관 변화를 표면형태 관찰을 통해 살펴보았다.

2.4.1 표면형태 관찰

옥외폭로된 시료의 표면손상을 관찰하기 위하여 주사전자현미경(Focused Ion Beam Scanning electron microscopy, LYRA3, TESCAN ORSAY HOLDING a.s., Czech Republic)을 이용하였다. 가속전압은 5 kV이며, 백금코팅처리 후 관찰하였다.

2.5 화학적 특성 평가

시료의 내후성 시험 후의 화학적 변화를 FT-IR, TGA, DSC 분석을 통해 살펴보았다.

2.5.1 FT-IR

옥외폭로된 직물의 화학적 변화를 알아보기 위한 사슬 분해 및 피크 확인을 위해 반사적외선분광기(FT-IR Spectrophotometer, Alpha-P, Bruker, Germany)를 사용하여 측정범위 4,000~500cm⁻¹의 스펙트럼을 얻었다.

2.5.2 TGA

옥외폭로된 직물의 열안정성을 확인하기 위하여 열중량분석기(Thermal Analyzer, TGA/DSC 1, Mettler-Toledo, Korea)를 사용하여 측정하였다. 측정하는 조건은 질소분위기하에서 25 ℃에서부터 800 ℃까지 10 ℃/min로 승온시켰다.

2.5.3 DSC

옥외폭로된 직물의 열화에 의한 열 안정성을 확인하기 위하여 시차주사열량분석기(Differential Scanning Calorimetry, DSC 1, Mettler-Toledo, Korea)를 사용하여 측정하였다. 측정하는 조건은 25 ℃에서부터 600 ℃까지 10 ℃/min로 승온시켰다.

3. 실험결과

3.1 한국형 해군 함상 피복织물의 물리적 특성 평가

본 연구에 사용된 시료는 현재 연구 개발이 진행 중인 한국형 함상 피복织물의 초기 단계 시제품으로 m-Aramid가 혼방된 복합소재이다. 일반적으로 m-Aramid는 탁월한 내열성 및 방염성 등의 특성으로 전기절연지, 소방복, 건축자재 등의 극한 환경에 적용되는 산업용 섬유 소재로 전개가 활발히 진행되고 있다 [12]. 그러나 일광에 대한 안정성이 떨어진다는 단점을 가지고 있어 한국형 함상 피복织물로 사용함에 있어서 함상내외의 열악한 환경에 지속적으로 운용되는 경우 실제로 내구성이 유지되는지에 대한 성능평가가 장병들의 안전 확보를 위하여 매우 중요한 요소가 될 것이다. 그

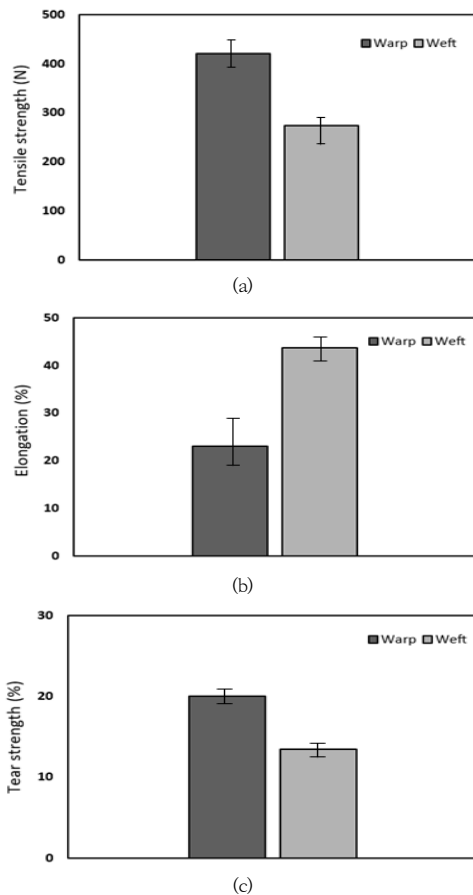


Fig. 2. (a) Tensile strength, (b) elongation, (c) tear strength comparison including results from the navy combat uniform fabrics

중 운용 환경적으로 일사광이 강하고 해수바람에 지속적으로 노출이 되는 함상 피복은 강도만큼이나 내후성에 대한 신뢰성 확보가 중요하다. 따라서 본 연구에서는 시료의 내후성 평가 전 후의 물리적 특성을 평가하였다.

Fig. 2 (a)는 시료의 인장강도(경/위사)를 측정된 결과이다. 경사방향은 420.1 N이고, 위사방향은 274.1 N으로 측정되었다. 이 결과는 항공 피복의 경사 400N, 위사 360N의 수치와 유사한 값을 확인할 수 있다[2]. Fig. 2 (b)는 시료의 신도(경/위사)를 측정된 결과로 경사방향 23.0%, 위사방향 43.7 %의 신도를 나타냈다. 이 결과는 상용하는 폴리에스터 직물 수준의 우수한 신축성을 가지는 소재임을 확인할 수 있었다. Fig. 2 (c)는 시료의 인열강도(경/위사)를 측정된 결과로, 경사방향 20.1N, 위사방향 13.4 N의 인열강도를 나타냈다. 전체적인 물리적 특성 결과를 볼 때 한국형 함상 피복 개발을 위한 최종 목표성능에는 부족한 물리적 특성을 나타냈으나, 현재 연구 개발이 진행 중인 한국형 함상 피복织물의 초기 단계 시제품을 고려할 경우 유의미한 물리적 강도를 얻었음을 확인하였다.

3.2 한국형 해군 함상 피복织물의 내후성 특성 평가

3.2.1 물리적 특성 변화

내후성의 품질을 확인하는 기준은 일정시간 일광 노출 후 인장강도 변화를 보는 것이 일반적인 방법이다 [13,14]. 따라서 본 연구에서도 일광 노출 시간별 인장강도를 측정하여 기존 강도 대비 저하율을 확인하였다. 내후성 시험은 실제 운용환경에서 옥외폭로 실험을 통해 진행하였고 내후성 평가에 대한 신뢰성을 확보하고자 유사한 광량의 축진 내후성 시험결과와 함께 비교하였다. 옥외폭로시험 기간의 옥외폭로시험장(서산)의 온도, 습도, 자외선 조사량의 변화는 Table 2와 같다. 옥외폭로 기간의 평균 온도는 9.9 ℃, 평균 습도는 62.3 %, 평균 자외선 조사량은 27.4 MJ/m² 였다.

Fig. 3 (a)는 시료를 실제 옥외폭로시험장에 연속적으로 15, 33일 노출시킨 후 강도변화를 나타낸 측정된 결과이다. 시료는 옥외에 노출된 시간이 증가함에 따라 강도는 15일 이후 86 %, 33일 이후 70 % 정도 유지하는 내후성능을 보였다. 또한, Fig. 3 (b)는 인장강도 평가 시에 측정된 인장신도의 변화를 나타낸 것이다. 인장신도는 연속적인 33일의 옥외노출에도 강도의 저하가 발생하지 않은 것으로 확인되어 우수한 내후성을 입증했다.

축진 내후성 시험은 제논 아크 광원으로 사용하는 내

후성 시험기에서 40, 90시간 처리하였다. 각 시간에 노출된 광량은 사용된 제논아크 램프의 필터의 경우 ATLAS irradiance conversion calculator에 의해 계산된 계수 0.3024 MJ/m²를 램프 노출시간에 곱하여 얻을 수 있다. 램프노출 시간에 따른 계산된 자외선 노출량과 옥외폭로 자외선 노출량은 Table 3에 나타내었다. Fig. 4는 옥외노출시험에 대한 내후성 평가에 대한 신뢰성을 확보하고자 유사한 광량의 축진 내후성 시험결과와 함께 비교한 결과이다. 옥외폭로시험과 축진내후성시험 결과 두 가지 조건 모두 시간이 지남에 따라 강도가 저하되는 경향을 나타내었으며, 옥외폭로시험에 비하여 축진 내후성시험은 상대적으로 완만한 변화를 나타내었으나 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났다.

Table 2. Changes of temperature, humidity and exposure energy amount of ultraviolet light during the outdoor exposure tests

Measurement date (day/month/year)	Average temperature (°C)	Average humidity (%)	Energy amount of ultraviolet light (MJ/m ²)
23/03/2018	3.2687	71.293	1.0864
24/03/2018	5.833	71.809	0.68297
25/03/2018	5.279	81.675	0.97485
26/03/2018	5.905	80.211	1.0227
27/03/2018	10.566	67.168	0.78856
28/03/2018	12.173	66.674	0.86804
29/03/2018	11.38	76.975	0.42429
30/03/2018	8.6409	75.966	0.78874
31/03/2018	10.458	62.624	0.94619
1/04/2018	12.348	68.163	0.26616
2/04/2018	15.77	65.929	1.0786
3/04/2018	15.807	70.297	0.65496
4/04/2018	11.138	71.947	0.75503
5/04/2018	8.7543	85.968	0.17248
6/04/2018	5.9758	64.88	0.77296
7/04/2018	4.9511	36.209	1.1129
8/04/2018	6.7699	48.244	0.55205
9/04/2018	7.7376	54.117	1.0865
10/04/2018	14.314	50.905	0.91023
11/04/2018	9.5725	59.397	1.2786
12/04/2018	9.5241	48.861	1.1847
13/04/2018	12.009	34.711	0.55125
14/04/2018	8.3364	70.441	0.18962
15/04/2018	7.9376	61.005	1.0239
16/04/2018	9.0374	47.637	1.2006
17/04/2018	8.8959	46.848	1.1629
18/04/2018	7.7528	49.153	1.2417
19/04/2018	10.96	46.166	1.1228
20/04/2018	12.539	52.805	1.1672
21/04/2018	13.79	57.551	1.3382
22/04/2018	14.914	67.728	0.2844
23/04/2018	10.671	82.738	0.15084
24/04/2018	12.215	60.167	0.54717
(average)	9.9	62.3	27.4
		(average)	(sum)

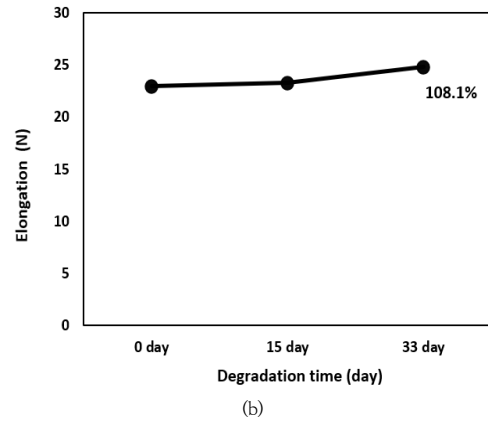
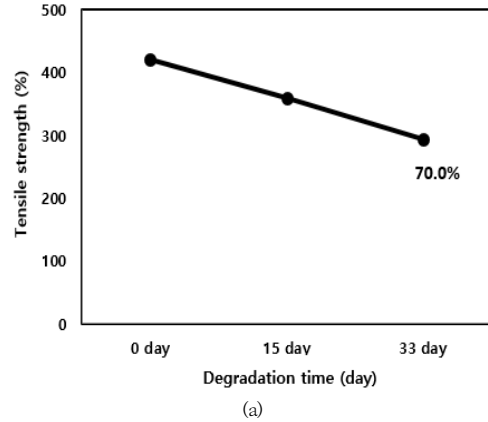


Fig. 3. Degradation of the Navy Combat uniform Fabrics after outdoor exposure test

Table 3. Energy amount of accelerated weathering and outdoor exposure tests

Accelerated weathering test time (h)	Computed irradiance (MJ/m ²)	Outdoor exposure test time (day)	Irradiance (MJ/m ²)
0	0	0	0
40	12.1	15	11.3
90	27.2	33	27.4

축진 내후성 시험이 상대적으로 완만한 변화를 나타내는 이유는 축진 내후시험의 경우 63°C의 온도와 30%의 습도 조건만 고려하여 진행되는 시험이므로, 실제 옥외 환경에서 햇빛에 포함된 자외선 이외의 환경 조건에 의한 고분자의 분해를 발현할 수 없기 때문인 것으로 사료

된다. 일반적으로 고분자는 햇빛에 포함된 자외선에 의해 쉽게 분해가 일어나나 표면온도의 상승은 반응을 촉진시키는 역할을 하므로 광분해를 촉진시키게 된다. 옥외폭로시험은 옥외폭로 기간의 평균 온도는 9.9 °C, 평균 습도는 62.3 %, 평균 자외선 조사량은 27.4 MJ/m² 의 운용환경이므로 사계절의 온도 및 습도 변화가 뚜렷한 국내의 자연환경을 고려할 때 내후성 시험방법에 따른 신뢰성을 확보하기 위해서는 사계절의 시험을 통한 결과 확보로 국내의 자연환경에 부합하는 결과를 축적하는 것이 필요할 것이다.

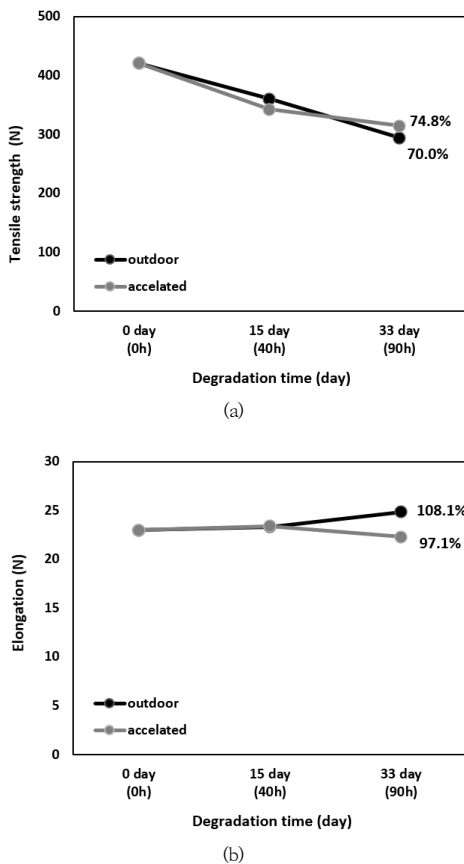


Fig. 4. Trend of the (a) tensile strength and (b) elongation as a function of exposure energy

3.2.2 외관 변화

섬유는 옥외노출에 의해 일광, 공기, 수분 등의 작용으로 강도가 저하되는데 주로 일광 중의 자외선에 의해 손상을 받는 것으로 알려져 있다. 옥외노출에 의한 원단

의 표면 손상을 확인하기 위하여 SEM(주사전자현미경)으로 ×500 및 ×3000으로 원단 표면을 비교 관찰 하였다. Fig. 5는 옥외노출 후 시료의 표면을 나타낸다. 표면 관찰 결과 옥외노출로 인한 먼지 오염도가 증가하나 노출시간이 증가하여도 표면의 변화는 없는 것으로 나타났다. 이는 33일이라는 오랜 기간 노출에도 70% 이상의 강도를 유지하는 등 유의미한 원단의 노화가 발생하지 않은 것을 설명해준다.

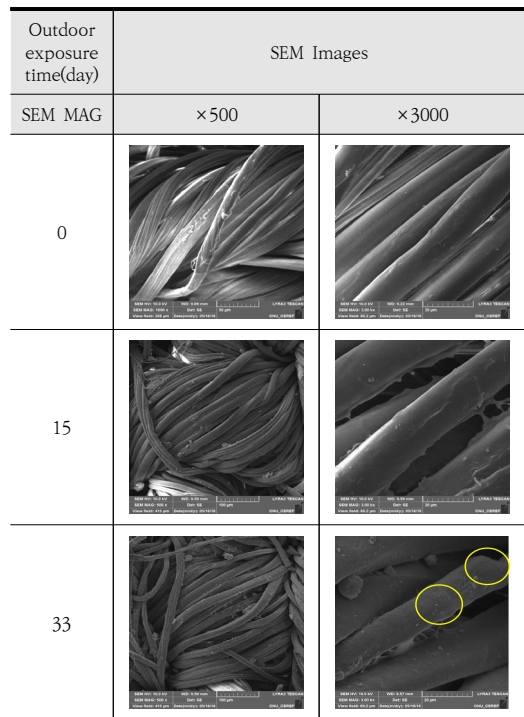


Fig. 5. SEM images(×500, ×3000) of the Navy Combat uniform Fabrics after outdoor exposure

3.2.3 FT-IR 분석

Fig. 6은 옥외노출 경과에 따른 시료의 FT-IR 스펙트럼을 보여준다. 3284 cm⁻¹ 에서 관찰되는 피크는 아라미드에 존재하는 아미드기의 N-H에 기인하고, 1530 cm⁻¹ 부근에서 C=C 진동, 1732 cm⁻¹에서 C=O 신축진동을 관찰할 수 있다. 2922 cm⁻¹, 2852 cm⁻¹ 의 피크는 레이온에 존재하는 C-H 신축진동과 관련 있으며, 중요한 피크로 1000 cm⁻¹에서 C-O-C 신축진동을 확인할 수 있다.

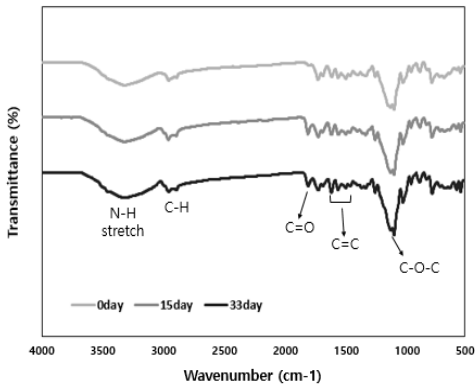


Fig. 6. FT-IR spectrums for the navy combat uniform fabrics after outdoor exposure

옥외노출의 경과에 따라 전체적인 피크의 이동은 없는 것으로 보아 큰 화학구조의 변화는 없이 분해가 발생하는 것을 확인할 수 있었으나, 산소를 함유하는 관능기의 생성과 비결정영역의 분해로 1732 cm^{-1} 에서 피크의 변화는 확인할 수 있다. 고분자의 열화는 빛, 열 등의 작용에 의해 고분자사슬 위에 활성화한 반응점이 생성되면 산소가 들어가 화학반응이 연쇄적으로 진행되며 고분자사슬의 분자량의 저하와 더불어 산소를 갖는 관능기가 생성되며, 고분자의 열화는 비결정영역에서 우선적으로 일어나므로 초기에는 결정영역이 증가하나 최종적으로는 주사슬이 절단되게 된다.

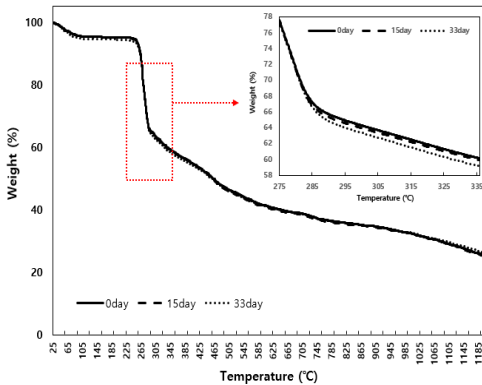


Fig. 7. TGA Curve for the navy combat uniform fabrics after outdoor exposure

3.2.4 TGA 분석

옥외노출 경과에 따른 한국형 해군 함상 피복 직물의 열 안정성(Thermal Stability)을 확인하기 위하여 TGA 분석을 시행한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 고분자가 열

화되면 고분자의 주쇄가 절단되고 그 분해 생성물은 휘발성을 가지게 되어 중량이 가벼워지는 것으로 알려져 있으나, 본 연구에 사용된 시료는 33일 옥외 노출에도 유의미한 변화를 관찰하기 어려웠으며, 이는 본 개발 시제품이 열 안정성이 높은 것을 나타낸다.

3.2.5 DSC 분석

옥외노출 경과에 따른 한국형 해군 함상 피복 직물의 열에 의한 형태 거동을 확인하기 위해 DSC 분석을 실시하였다. Fig. 8은 시료의 옥외노출 0일, 15일, 33일 후 DSC 곡선을 나타낸다. 40 $^{\circ}\text{C}$ 부근부터 90 $^{\circ}\text{C}$ 까지 이 구간에서 고분자 분자 사슬의 무정형 영역 일부분이 열에 의해 회전하기 시작하여 흡열반응이 일어나는 것을 볼 수 있다. 이 온도 범위를 유리전이온도라고 하며, 0일 노출시킨 시료는 88.2 $^{\circ}\text{C}$, 옥외노출 15일 후 90.3 $^{\circ}\text{C}$, 33일 후 92.3 $^{\circ}\text{C}$ 로 측정되었다. 또한, 260 $^{\circ}\text{C}$ 부근에서 용융되는 것을 확인할 수 있는데 0일 노출시킨 시료는 269.8 $^{\circ}\text{C}$, 옥외노출 15일 후 269.8 $^{\circ}\text{C}$, 33일 후 258.8 $^{\circ}\text{C}$ 로 옥외노출 기간이 길어짐에 따라 용융온도(T_m)가 미세하게 감소하는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다.

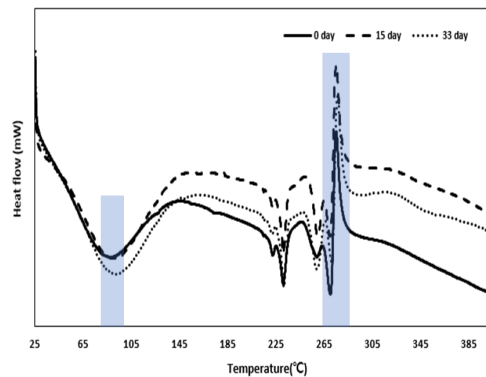


Fig. 8. DSC Thermogram for the navy combat uniform fabrics after outdoor exposure

265 $^{\circ}\text{C}$ 부근부터 가장 높은 피크는 발열반응으로 해석할 수 있으며, 옥외노출 0일 시료는 274.8 $^{\circ}\text{C}$, 옥외노출 15일 후 275 $^{\circ}\text{C}$, 옥외노출 33일 후는 276.2 $^{\circ}\text{C}$ 로 측정되었으며, 이 부분에서 경화가 일어난 것으로 볼 수 있다. 일광 노출 시간이 길어짐에 따라 고분자가 열화되면서 고분자의 주쇄가 절단되고 일부분이 분해되어 분자량에 작아짐에 따라 용융온도(T_m)와 결정화온도(T_c)가 점점 변화되는 현상을 보이는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 한국형 해군 함상 피복 직물에 대하여 열악한 환경에서 실제로 내구성이 유지되는지에 대한 성능평가 시행을 위해 옥외폭로시험에 의한 내후성을 평가하였고, 옥외폭로 후의 열화거동을 살펴보아 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 연구 개발이 진행 중이었던 한국형 함상 피복 직물의 초기 단계 시제품 직물의 실제 내구성을 평가를 위해 옥외폭로시험장에서 약 한 달간 노출시킨 후 물리적 평가를 시행한 결과 강도는 70% 정도 유지하는 내후성을 보였으며, 인장신도는 연속적인 33일의 옥외노출에도 물리적 성능의 저하가 발생하지 않은 것으로 확인되어 내후성을 확인하였다. 또한, 연구 발이 진행 중이었던 한국형 함상 피복 직물의 초기 단계 시제품 직물은 옥외폭로 기간이 지남에도 표면 및 화학적 변화는 크게 발생하지 않다.
2. 옥외노출시험에 대한 내후성 평가에 대한 신뢰성을 확보하고자 유사한 광량의 축진 내후성 시험결과와 함께 비교하였으며 그 결과, 옥외폭로 시험에 비하여 축진 내후성 시험이 완만한 감소율을 보였다. 그 이유로는 축진 내후시험의 경우 온도와 습도 조건만 고려하여 진행되는 시험이므로, 실제 옥외환경에서 햇빛에 포함된 자외선 이외의 환경 조건에 의한 고분자의 분해를 발현할 수 없기 때문인 것으로 사료된다.

이상의 결과를 통해 한국형 해군 함상 피복 직물은 개발 목적에 맞추어 연구 개발이 진행되고 있음을 확인할 수 있었으나, 강도를 증가시킬 수 있는 개발 방향이 요구되었다. 옥외폭로시험을 포함한 연구 결과를 기반으로 하여 보다 우수한 한국형 함상 피복이 연구 개발될 수 있도록 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 보인다. 아울러 향후에는 내후성 평가의 신뢰성 확보를 위해서 사계절의 온도 및 습도 변화가 뚜렷한 국내의 자연환경을 고려할 때 장기간 및 사계절 옥외폭로시험을 통한 결과 확보로 국내의 자연환경에 부합하는 결과를 축적하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

References

[1] Ministry of National Defense, *2014 Defense white paper*, pp. 8-292, 2014.

[2] H. Lee, S. Shin, J. Lee, J. "Design Requirements by Evaluating Comfort while Wearing Korean Naval Duty Uniforms for Summer and Winter". *The Korean Journal of Community Living Science*, 27(3), pp. 419-435, 2016.

[3] H. Lee, S. Shin, Y. Kim, S. Park, J. Lee, "Evaluation of Mobility and Physiological Performance while Wearing the Present Korean Navy Summer Uniform and Prototype". *J. Korean Soc. Living Environ. Sys.*, 23(6), pp 853-867, 2016.

[4] P. Brennan, C. Fedor, "Sunlight, UV, and Accelerated Weathering". Technical Bulletin LU-0822, The Q-Panel Lab Products, Cleveland, pp. 1-8, 1994.

[5] A. Temiz, U. C. Yildiz, I. Aydin, M. Eikenes, G. Alfredsen, G. Colakoglu, "Surface Roughness and Color Characteristics of Wood Treated with Preservatives after Accelerated Weathering Test". *Appl. Surf. Sci.*, 250, pp. 35-42, 2005.

[6] L. F. E. Jacques, "Accelerated and Outdoor/Natural Exposure Testing of Coatings". *Prog. Polym. Sci.*, 25, pp. 1337-1362, 2000.

[7] I. Park, "Understanding of Weathering Test". *LG Polym. J.*, Spring, pp. 11-16, 2015.

[8] Q-Lab Corporation, "Polymer Degradation and Stability". Technical Bulletin LL-9025, Q-Lab Corporation Westlake, pp. 1-8, 2011.

[9] Y. Azuma, H. Takeda, S. Watanabe, H. Nakatani, "Outdoor and Accelerated Weathering Tests for Polypropylene and Polypropylene/talc Composites: A Comparative Study of Their Weathering Behavior". *Polym. Degrad. Stab.*, 94, pp. 2267-2274, 2009.

[10] P. Gijmsan, J. Hennekens, K. Janssen, "Comparison of UV Degradation Chemistry in Accelerated(xenon) Aging Tests and Outdoor Tests (II)". *Polym. Degrad. Stab.*, 46, pp. 63-74, 1994.

[11] "Textiles-Tests for Colour Fastness-Part B02: Colour Fastness to Artificial Light : Xenon arc Fading Lamp Test", *Korean Agency for Technology and Standards*, KS K ISO 105-B02 (2015).

[12] M. Kim, J. Lee, "Dyeing of meta-Aramid Woven Fabric with Vat Dyes". *Textile Science and Engineering*, 50(6), pp 393-400, 2013.

[13] W. Jung, J. Weon, "Characterization of Thermal Degradation of Polyamide 66 Composite: Relationship between Life Time Prediction and Activation Energy". *Polym.(Korea)*, 36, pp. 712-720, 2012.

[14] S. Hong, B. Kim, Y. Jeon, J. Lee, "A Study on the Improved Lightfastness Test Method for Military Textile Products". *Textile Coloration and Finishing*, 27, pp. 288-300, 2015.

김 병 순(Byung-Soon Kim)

[정회원]



- 2008년 8월 : 충남대학교 유기소 재섬유시스템공학부 (공학석사)
- 2011년 9월 : 일본 요코하마 국립 대학 환경정보학부 (공학박사)
- 2011년 10월 ~ 2020년 12월 : 국방기술품질원 선임연구원
- 2021년 1월 ~ 현재 : 국방기술진흥연구소 선임연구원

<관심분야>

유기재료, 국방소재

장 연 주(Yeonju Jang)

[정회원]



- 2009년 2월 : 충남대학교 생활과학대학 의류학과 (생활과학석사)
- 2012년 3월 : 일본 신슈대학교 생명공학파이버공학과 (공학박사)
- 2013년 1월 ~ 현재 : 한국건설생활환경시험연구원 책임연구원

<관심분야>

소재가공, 의료용 소재