

Silicon Carbide (SiC) 복합방적사로부터 제조된 원단의 방화복 활용 가능성에 관한 연구

A Study on the Possibility of Using Fire-Retardant Working Cloth Made
from Silicon Carbide (SiC) Composite Spun Yarns

강현주¹ · 강건웅² · 권오훈³ · 권현명⁴ · 황예은⁵ · 전해지⁶ · 주종현⁷ · 박용완^{8†}

Hyun-Ju Kang¹ · Gun-Woong Kang² · Oh-Hoon Kwon³ · Hyeon-Myoung Kwon⁴ ·
Ye-Eun Hwang⁵ · Hye-Ji Jeon⁶ · Jong-Hyun Joo⁷ · Yong-Wan Park^{8†}

Abstract

The mechanical properties of a woven fabric made of SiC (silicon carbide) fibers were determined in this study using the KES-FB system. The woven fabric is used in high heat settings above 1500°C. Composite spun yarns were used to create SiC fibers. By analyzing the wearing properties, we studied the prospect of using the textiles as fire-retardant work clothes. Mechanical properties determine the wearing attributes. Therefore, the tensile linearity (LT), tensile resilience (RT), and shear stiffness (G) values of the fabric varied according to the yarn type (filament or spun yarn). The thickness, weight per square meter, and density of the fabric were found to have an effect on the shear hysteresis (2HG) and compression resilience (RC) values. In terms of wearable clothing qualities, the fabric qualities of the SiC composite yarn demonstrated the highest ratio of compressive energy to thickness (WC/T), which indicates bulkiness. The fabric manufactured from SiC composite yarns passed the KFI criteria for carbonation length and cumulative flame time in the flame-retardant test. Therefore, we discovered that the material can be used as a fire-resistant work cloth.

Key words: Fire-Retardant Working Cloth, SiC Composite Spun Yarn, KES-FB System, Flammability

요약

본 연구에서는 1500°C 이상의 극한 열 환경에서 사용되는 소재인 SiC (silicon carbide) 섬유를 복합방적사로 제조한 후에 원단을 제작하고 제작된 원단의 역학적 특성을 KES-FB system으로 측정하고 측정된 역학적 특성 값으로부터 착용성능을 분석하여 방화복으로의 활용 가능성을 알아보았다. 그 결과 직물의 역학적 특성에서는 인장선형성(LT)과 인장레질리언스(RT), 전단강성(G)을 나타내는 값이 원사의 제조형태에 따라서 그 특성 값의 차이를 보였으며, 직물의 두께와 평량, 밀도 값이 전단히스테리시스(2HG)와 압축레질리언스(RC) 값에 영향을 준다는 것을 알 수

※ 이 논문은 2019년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임('20003890').

¹ 강현주: ECO융합섬유연구원 선임연구원

² 강건웅: ECO융합섬유연구원 연구원

³ 권오훈: ECO융합섬유연구원 선임연구원

⁴ 권현명: ECO융합섬유연구원 연구원

⁵ 황예은: ECO융합섬유연구원 연구원

⁶ 전해지: ECO융합섬유연구원 연구원

⁷ 주종현: ECO융합섬유연구원 선임연구원

^{8†} (교신저자) 박용완: ECO융합섬유연구원 책임연구원 / E-mail : pywspirit@kictex.re.kr / TEL : 063-830-3551

있었다. 의복착용 성능에서는 착용 시 부피감을 나타내는 두께에 대한 압축에너지의 비(WC/T) 값에서 SiC 복합방직사로 제조된 직물의 값이 가장 우수한 값을 나타내었으며, 방염성능에서는 SiC 복합방직사로 제조된 직물이 탄화길이와 잔염시간에서 KFI 성능기준을 만족하여 방화복으로서의 활용이 가능함을 확인할 수 있었다.

주제어: 방화복, SiC복합방직사, KES-FB 시스템, 방염성

1. 서론

일반적으로 화재현장에서 화재진압과 인명구조를 담당하는 소방공무원은 소방용 방화복을 착용하게 된다. 방화복은 불에 타지 않는 소재로 만들어져 화재 진압 시 화염속으로 들어가더라도 신체에 불이 옮겨 붙는 것을 막아주는 역할을 하는 의복으로, 화재현장에서 생존을 유지하고 화상의 최소화를 목적으로 한다.

소방용 특수방화복의 KFI 인정기준에는 방화복은 겹감, 중간층, 안감으로 이루어지며, 중간층은 투습 및 방수 기능이 있어야 한다고 명시되어있다(Korea Fire Institute, 2016). 이외에 방화복은 내열성, 단열성, 내구성, 방수성, 식별성 등 기능을 구비하여야 하며, 고기능성 섬유를 이용하여 3겹 내지 7겹의 다층화 된 구조로 만들어져야 한다.

소방용 특수방화복 인증규칙의 성능기준에서 제시하고 있는 방염성능은 KS K ISO 15025(2017) 시험표준에 의해 시험하며, 잔염시간 2초 이내, 탄화길이 100mm 이내이어야 한다(KS K ISO 15025, 2017). 소방용 특수방화복 내피는 방수투습의 역할을 수행하며, 땀을 수증기 형태로 배출해야 하고 외부로부터 물과 화학물질은 차단해야 한다. 이는 방화복 내부에 수분이 누적되면 화상(데임)의 가능성이 커질 수 있기 때문이다.

방화복으로 사용되는 섬유소재로는 PBO, p-aramid, m-aramid 등의 난연소재가 사용되며 소방용 특수방화복의 인증규칙(규칙 제 533호 2016.03.08.)에서 제시하는 특수 방화복 기준의 일반기준인 재료에 대한 기준에는 아라미드섬유 또는 동등이상의 재료(방화복의 KFI인정기준)라고 명시되어 있다. 따라서 현재 화재현장에서 사용되는 소방용 특수방화복의 소재는 아라미드 또는 아라미드 복합소재 등이 주를 이루고 있다.

아라미드 소재가 주를 이루고 있는 방화복은 소재자체의 특징과 화재현장에서 사용된다는 특징으로 인해 방화복 자체가 두껍고 무거우며 신축성이 없어 착용감

이 떨어진다는 단점이 있다. 이러한 문제점들에 대해 소방복의 실태에 관한 연구가 Kim & Lee(1997)에 의해 이루어진 바 있고 방염복의 형태개선에 관한 연구가 Kim et al.(2006)에 의해, 방염작업복용 직물의 역학특성 및 쾌적성에 관한 연구가 Song et al.(2016)에 의해, 고온 조건하에서 소방용 보호복의 신체영향에 관한 연구가 Bang(2018)에 의해 이루어진 바 있다.

이처럼 내열성이 강한 아라미드 섬유로 만들어진 방화복은 직접적인 불꽃접촉, 고온노출, 강한 복사열, 고온의 수증기, 화학약품, 유해물질, 전기감전 등으로부터 소방관들을 보호해주고 있다고 알려져 있다. 그렇지만 2018년 2월 대구의 한 숙박업소에서 발생한 화재로 소방공무원의 방화복과 헬멧 일부가 탄화되어 2도 가량의 화상을 입으면서 소방복의 안전성에 대한 문제가 제기되고 있는 실정이다.

난연 소재 중에 SiC (silicon carbide)는 1500°C 이상의 극한 열 환경을 견딜 수 있는 소재로 Si와 C의 강한 공유결합으로 이루어진 세라믹 재료로 분말형태, 박막형태, 소결체형태, 섬유형태로 만들 수 있으며 열전도도가 높고 강도, 경도 등 기계적인 물성이 뛰어나다(Hur et al., 2016; Joo & Cho, 2019). 그러므로 반도체 소자재료로부터 원자로용 재료에 이르기까지 다양한 응용분야를 가지고 있는 소재이다. 특히 SiC는 높은 내열성과 초고온 특성이 우수하기 때문에 우주항공 산업에서부터 군사용 소재에 이르기까지 고온에서의 응용분야가 다양하다.

현재 상업용으로 생산되고 있는 SiC 섬유는 ‘Yajima process’로 알려진 방법이 주로 이용되고 있으며, 일본(3개업체) 및 미국(2개업체)에서 해당공정으로 섬유직경이 약 10마이크론에 가까운 SiC섬유를 제조하여 일반 화학섬유와 직조가 가능한 것으로 알려져 있으며, 이외에도 독일, 중국 등 새로운 고성능 SiC섬유들이 개발되고 있다.

국내에서는 한국세라믹기술원에서 Polycarbosilane Pre-ceramic을 정제하여 용융방사법으로 PCS 섬유를

제조하고, 산화안정화 열처리-고온탄화열처리를 통하여 SiC 섬유 제조공정기술을 개발하였으며, 국내 중소기업에서 기술이전 및 공동개발을 통해 양산공정기술 및 장치개발과 이를 소방복에 적용시키기 위한 연구가 진행 중이다(Sin et al., 2005).

본 연구에서는 개발된 SiC섬유를 이용하여 아라미드 섬유와 복합 방직사를 제조한 후 직물을 제조 하였고 기존의 방화복으로 사용되는 원단과 비교를 통해 방화복으로서 사용 가능성을 연구하였다.

2. 연구방법

2.1. 재료

본 연구에서는 촉매법을 적용한 PCS중합-방사-안정

화-열분해(탄화) 공정을 거친 SiC섬유를 이용하여 S사에서 제조된 직물(SiC/LM/p-aramid)을 제공받아 실험을 진행하였다. SiC원사 및 원단의 제조공정과 소재는 Fig. 1과 Fig. 2에 제시하였다.

비교시료로는 기존 방화복 소재로 사용된 원단 2종(aramid/PBO 원단 및 p-aramid 100%)과 SiC원사와 동일한 무기계 방직사 소재인 SiO₂가 함유된 제직 원단(SiO₂/LM/m-aramid)을 S사에서 제공받아 사용하였다. 직물의 특성 및 외관은 Fig. 3과 Table 1에 제시하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 역학적 특성

KES-FB System (Kawabata Evaluation System, Kato. Tech Co. Ltd., Japan, 2004)을 사용하여 직물의 역학적 특성을 측정하였다(Kawabata, 1980).

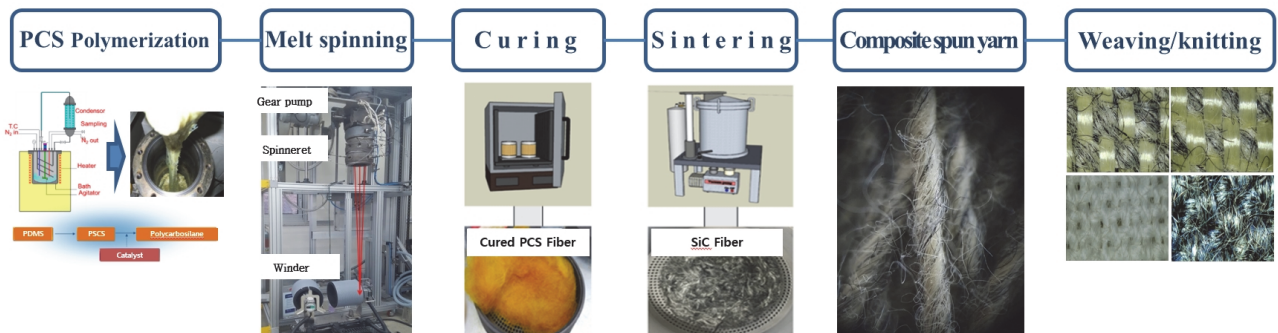


Fig. 1. SiC fiber and fabric manufacturing process

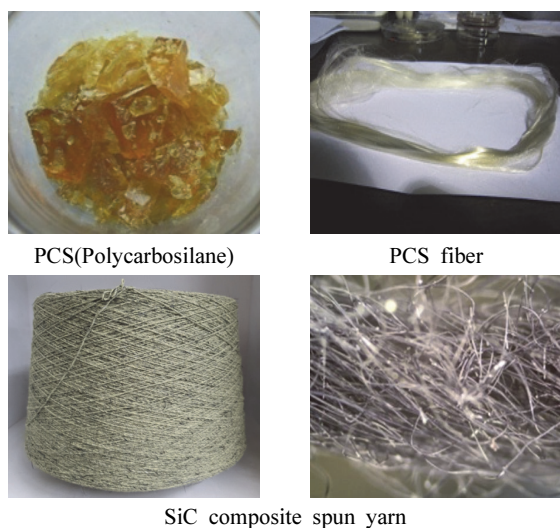


Fig. 2. Raw materials of SiC and SiC composite spun yarns

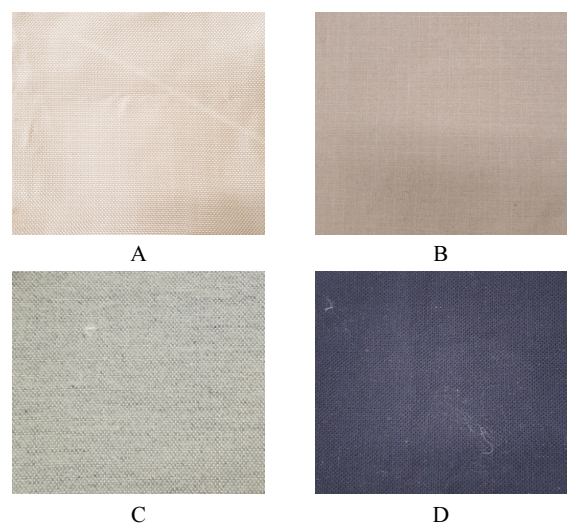


Fig. 3. Fabrics used in this study

Table 1. Characteristics of fabrics for fire-retardant working cloths

Sample	Material	Thickness (mm)	Density (threads/inch)		Weave type	Weight (g/m ²)	
			Warp	Weft			
Commercial fabric	A	p-aramid (1000d/667f) 100%	1.446	30	23	plain	947
	B	p-aramid 60%/m-aramid 20%/PBO 20%	1.357	56	60	plain	688
Prepared fabric	C	p-aramid 55%/LM 10%/SiC 35%	3.657	22	18	plain	1,365
	D	m-aramid 70%/LM 10%/SiO ₂ 20%	2.205	22	18	plain	1,174

* PBO (Polyphenylene Benzobisoxazole)
 * LMF (Low Melting Fiber)

시편은 20cm×20cm 크기로 잘라서 표준상태(20±2℃, 65±4%)에서 24시간 동안 프리컨디셔닝을 한 후 측정하였으며, 인장특성(Tensile), 전단특성(Shear), 압축특성(Compression) 3가지 항목에서 도출되는 9가지 특성치로 분석하였다. 굽힘특성과 표면특성 값은 측정이 불가능하여 실험에서 제외하였다.

2.2.2. 방염성능

방염성능은 방염성능시험기(HS-263A, 한원소웨이)를 이용하여 KFI 소방용특수방화복의 인증규칙에 따라 KS K ISO 15025의 절차 B 기준에 따라서 진행하였다. 이때 시험편을 시험불꽃에 하단점화로 10초 동안 노출한 후 잔염시간을 측정하였으며 인열된 부분의 길이를 측정하여 탄화 길이로 하고 시험결과는 경사와 위사 방향으로 측정한 평균값으로 하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1. 직물의 역학적특성

3.1.1. 인장특성(Tensile)

Fig. 4는 각 시료들의 인장특성 중 인장선형성(LT)값을 나타낸 것으로 인장선형성(LT)값은 직물을 경사나 위사방향으로 인장시켰을 때 인장선형성(linearity)을 나타내는 값이다. 인장선형성(LT)값은 직물의 경사/위사간 작용하는 응력의 영향을 받게 되는데, 인장선형성(LT)값이 작으면 초기 선형성이 낮아 드레이프성이 좋아 착용감이 좋다고 할 수 있으며 반대로 값이 크면 직물의 경위사간 구속력이 커져 착용감이 떨어질 수 있다.

4종류의 시료 중 A시료인 p-aramid 100% 원단의 인장선형성(LT)값이 다소 낮은 값을 나타냈으며 나머지 B, C, D 시료의 인장선형성(LT)값은 유사한 값을 나타내었다. 이는 A시료가 p-aramid 100%로 제작된 원단으로 다른 원단에 비해 장섬유의 단일 소재로 제작되었기 때문에 인장선형성(LT)값이 낮게 나타났으며, B, C, D 시료와 같이 2종 이상의 소재가 복합된 방적사를 제작하면 원단에서의 경사/위사간 구속력이 높아져 착용감이 저하되기 때문으로 생각된다.

Fig. 5와 Fig. 6은 시료를 경사나 위사방향으로 인장시켰을 때의 인장 에너지(WT), 인장레질리언스(RT), 신장률(EM)을 나타낸 그래프이다. 인장에너지(WT)는 주어진 최대하중에 대해 인장 변형시에 일의 양을 나타내는 것으로 값이 클수록 유연함을 나타낸다. 시료의 인장에너지(WT) 값은 D시료가 가장 높게 나타났으며 A, B, C 시료는 큰 차이를 보이지 않고 있음을 알 수 있다. 인장레질리언스(RT)값은 인장 후 회복정도를 나타내는 값으로 인장회복도(RT) 값이 크면 인장변형시에 인장이 잘 안되고 회복성이 커서 치수 안정성이 높

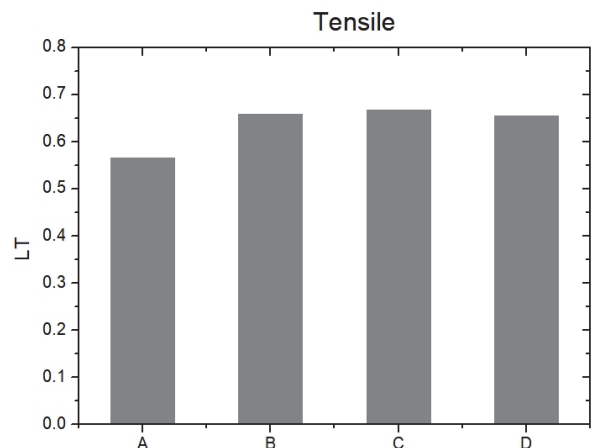


Fig. 4. Tensile properties (LT) of the sample fabrics

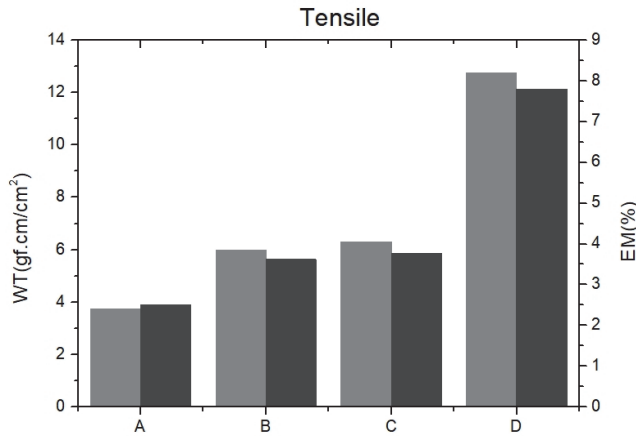


Fig. 5. Tensile properties (WT, EM) of the sample fabrics

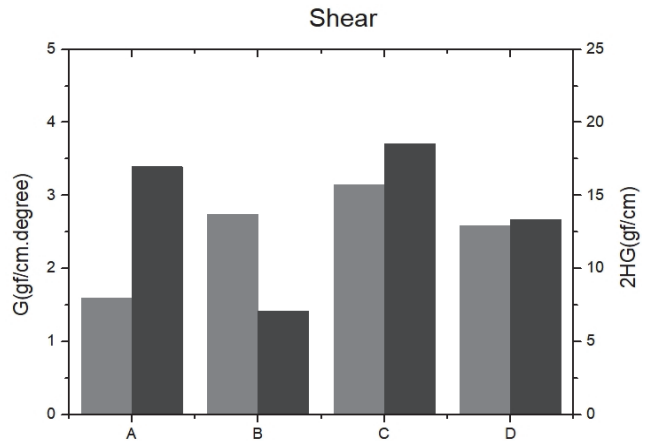


Fig. 7. Shear properties (G, 2HG5) of the sample fabrics

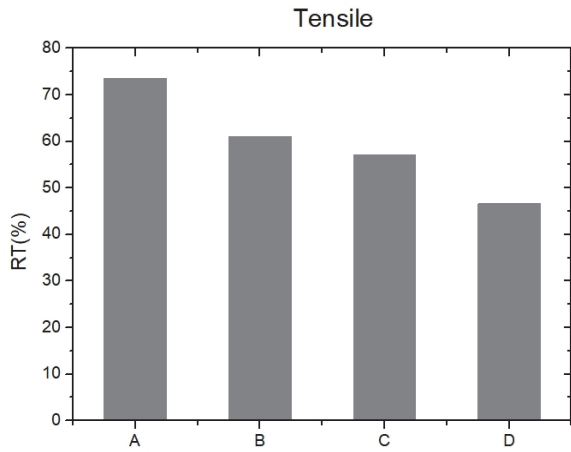


Fig. 6. Tensile properties (RT) of the sample fabrics

다는 것을 의미한다. 또한 값이 작으면 치수 안정성이 낮아 착용시 움직임이 부드럽게 느껴질 수 있다. 인장 회복도(RT)값은 A시료가 가장 높은 값을 나타내었으며 B, C, D 시료 순으로 점차 값이 작아지는 것을 볼 수 있다.

3.1.2. 전단특성(Shear)

전단강성(G)값은 직물의 경사와 위사가 교차할 때 마찰에 의해 발생하는 값으로 직물의 경사 또는 위사 방향으로 일정 하중을 부여한 다음 전단 방향으로 ± 8° 각도로 원단을 틀었을 때 작용하는 힘으로 의복 착용시 형태나 착용감과 관계되는 특징이다.

Fig. 7은 시료의 전단강성(G)값과 0.5°에서의 전단히스테리시스(2HG) 값을 나타낸 그래프이다. 전단 강성(G)값은 A 시료가 가장 낮게 나타났으나 값의 차이가 그리 크지 않았으며, 0.5°에서 히스테리시스를 나타내

는 2HG값은 B 시료가 가장 낮은 값을 나타내었다. 반면 A, C, D 값은 다소 높은 값을 나타내었다.

3.1.3. 압축특성(Compression)

압축특성은 직물의 두께, 볼륨감과 밀접한 관계가 있으며, 특히 직물의 보온성, 풍문감 등에 영향을 주는 역학적 특성이다. 압축선형도(LC)는 압축에 대한 선형성을 나타내는 값으로 값이 클수록 초기 압축에 대한 저항 값이 크다는 것을 의미하고 압축에너지(WC)값은 압축에 필요한 에너지를 의미하며 값이 클수록 두께가 두껍고 표면이 단단하다는 것을 의미한다. 압축레질리언스(RC)값은 압축변형에 대한 회복정도를 나타내는 것으로 이 값이 클수록 두께방향으로 탄력이 있다는 것을 의미한다.

Fig. 8은 4종류 시료의 압축 선형성(LC)과 압축에너지(WC) 값을 나타낸 그래프이다. 압축선형성(LC)값은 C 시료가 가장 높은 값을 나타내었으며 압축에너지(WC) 또한 C 시료가 높은 값을 나타내었는데, 이는 SiC섬유를 포함하고 있는 복합방적사가 SiC섬유의 강직성에 의해 두께감과 부피감이 다른 원사에 비해 높게 나타났기 때문으로 판단된다.

Fig. 9는 압축레질리언스(RC)값을 나타낸 그래프이다. 압축레질리언스(RC)값은 B 시료가 가장 낮은 값을 나타내었으며 C, D 시료가 다소 높게 나타난 것은

SiC 섬유와 SiO₂ 섬유의 특징으로 강직한 섬유가 복합되었을 때 방적사와 원단에서 나타나는 특징으로 생각된다.

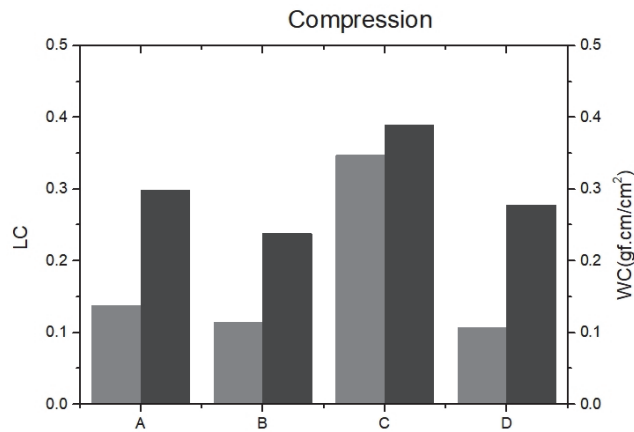


Fig. 8. Compression properties (LC, WC) of the sample fabrics

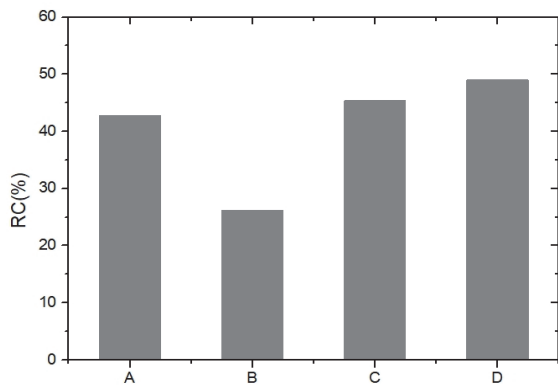


Fig. 9. Compression properties (RC) of the sample fabrics

3.2. 의복착용 성능

측정된 역학적 특성 값으로부터 각각의 특성치를 조합하면 의복착용특성의 변화를 분석할 수 있는데, Bae et al.(2005) 등은 의복착용 성능의 지표로 역학적 특성 값에서 2HG/G, WC/W, WC/T, W/T, 값을 계산하여 시료의 태값과 의복착용 성능의 상관관계를 연구하였다.

Table 2는 4종의 시료로부터 측정된 태값의 기계적인 특성 값으로부터 형태안정성에 관계한 특성들인 전단과 굽힘특성에서의 탄성성분과 히스테리시스 성분의 비(2HG/G)를 계산하였으며, 봉제성 및 부피감에 관

Table 2. Wearing properties of the sample fabrics

Sample	2HG/G	WC/W	WC/T	W/T
A	10.667	0.031	0.205	6.558
B	2.571	0.028	0.144	5.073
C	5.908	0.029	0.106	3.731
D	5.171	0.035	0.189	5.324

계하는 의복착용 특성인 단위면적당 중량에 대한 압축 에너지의 비(WC/W), 두께에 대한 압축에너지의 비(WC/T), 두께에 대한 단위면적당 중량의 비(W/T) 값의 변화를 나타내었다.

형태안정성에 관계되는 2HG/G 값은 p-aramid (1000d/667f) 단일 소재로 제작된 원단인 A 시료가 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 전단 강성을 나타내는 값인 G 값이 작고 0.5°에서 히스테리시스를 나타내는 2HG 값이 크기 때문에 나타난 결과로, A 시료는 착용 시 전단력에 의해 쉽게 변형이 발생하고 그 형태를 유지할 가능성이 높아 형태안정성이 다른 시료에 비해 비교적 낮을 것으로 판단된다. 이는 A 시료가 667가닥의 1000데니어 장섬유로 제조된 직물이기 때문에 나타나는 특징으로 판단된다. 반면 B 시료는 2HG/G 값이 가장 낮게 나타났으며, 이는 다른 시료들에 비해 전단 강성 G 값이 높고 2HG 값이 낮기 때문에 나타난 결과로 형태안정성은 높을 것으로 판단되나 착용 성능 면에서는 착용 시 사용자가 다소 불편할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 C, D 시료는 A 시료와 B 시료의 중간 값을 나타내고 있는데, 이는 C와 D 시료가 유사한 비율의 복합 방적사로부터 제조되었기 때문인 것으로 판단된다.

의복의 착용특성에서 단위면적당 중량에 대한 압축 에너지를 나타내는 WC/W 값은 A, B, C, D 시료가 큰 차이를 나타내지 않았다.

두께에 대한 압축에너지의 비를 나타내는 WC/T 값은 A 시료가 가장 높은 값을 나타내었으며 D, B, C 순으로 낮은 값을 나타내었다. 이는 A 시료가 두께에 비해 압축에너지 값이 높게 나타났기 때문으로 두께는 얇고 표면이 단단하여 착용 시 사용자가 다소 딱딱한 느낌을 받을 수 있을 것으로 판단된다. 반면에 C 시료가 가장 낮은 WC/T 값을 나타내었는데, 이는 압축에너지 값에 비해 시료의 두께가 크기 때문으로 착용시 사용자가 다른 시료들에 비해 다소 부드러운 느낌을 받을 수 있을 것으로 판단된다.

직물의 밀도에 관계되는 값인 W/T 값은 A 시료가 가장 높은 값을 나타내었으며 C 시료가 가장 낮은 값을 나타내었다. A 시료는 방적사가 아닌 1000데니어 장섬유로 제작된 원단이기 때문에 다른 시료들에 비해 직물의 밀도가 높게 나타났으며 C 시료는 SiC 섬유 함유의 강

직한 특성으로 인해 복합 방직사 내부에서 벌키한 구조를 형성하여 가장 낮은 밀도 값을 나타낸 것으로 판단된다.

3.3. 방염성능

소방용 특수방화복으로 사용가능성을 확인하기 위해 “소방용 특수방화복의 인증규칙”의 성능기준에서 방염성능시험에 해당하는 KS K ISO 15025 절차 B(하단점화)기준에 따라 시험하였으며 그 결과 값을 Table 3에 나타내었다.

방염성능 기준은 잔염시간 2초 이내, 탄화길이 100mm 이내이어야 하고 용융하거나 적하현상이 발생되지 않아야 한다. 잔염시간은 4종류의 시료 중에서 A, B, C시료는 성능기준을 만족하였으며, D시료는 잔염시간 2.3초로 성능기준을 만족하지 못하였다. D시료가 내열성이 우수한 m-aramid로 제조된 혼방사임에도 불구하고 잔염시간의 성능기준을 만족하지 못한 이유는 방직사 제조를 위해 혼방된 LM원사와 SiO₂ 원사가 방직사 내부에서 벌키한 구조를 형성하였기 때문으로 판단된다.

탄화길이는 4종류 시료 모두 성능기준인 100mm 기준을 만족하였으나 A, B, C 시료는 탄화길이가 0mm였으며, D시료는 다른 시료들에 비해서 탄화길이가 24mm로 다소 낮은 성능을 나타내었다. 이는 앞서 기술한 것과 같이 D시료의 방직사 내부의 벌키한 구조에서 나타나는 결과인 것으로 판단된다.

Table 3. Flammability of the sample fabrics

Sample	Carbonation length (mm)	Cumulative flame time (sec)
A	0	0.3
B	0	0
C	0	0.8
D	24	2.3

4. 결론 및 제언

본 연구는 1500℃이상의 극한 열환경에서 주로 사용되는 SiC 섬유의 방화복으로 활용 가능성을 알아보기

위해 원료 중합에서부터 복합방직사를 제조하여 만든 원단의 역학적 특성, 의복착용 성능 및 방염성능을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 직물의 역학적 특성에서는 인장선형성(LT)과 인장레질리언스(RT) 특성이 장섬유로 제작된 A 시료가 복합방직사로 제조된 B, C, D 시료와는 다른 특성을 나타내었으며, 전단 강성(G)에서도 A 시료가 가장 낮은 값을 나타내었다. 또한 0.5°에서의 전단히스테리시스(2HG) 값과 압축레질리언스(RC) 값에서는 두께와 평량은 낮고 밀도가 높은 B 시료가 가장 낮은 값을 보여 직물의 역학적 특성이 원사의 특성과 직물의 특성에 따라 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다.
2. 의복착용 성능에서는 형태안정성에 관계되는 2HG/G 값이 A 시료가 가장 높은 값을 나타내었고 B 시료가 가장 낮은 값을 나타내어 형태안정성에서는 B 시료가 높을 것으로 예상되며, 착용 시 부피감을 나타내는 두께에 대한 압축에너지의 비(WC/T) 값은 SiC 복합방직사인 C 시료가 가장 낮은 값을 나타내어 착용 시 다른 시료에 비해 다소 부드러운 느낌을 받을 수 있을 것으로 판단된다.
3. 방염성능에서는 4가지 시료가 탄화길이에서 KFI 성능기준을 만족하였으며, 잔염시간에서는 SiC 복합방직사를 포함한 A, B, C 시료는 성능기준을 만족하였으나 D 시료는 성능기준을 만족하지 못하였다.

본 연구를 통해 4종류 직물의 역학적 특성은 사용된 원사의 특성과 직물의 특성에 따라서 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 의복착용 성능에서는 SiC 복합방직사로 제조된 직물이 형태안정성과 부피감에서 기존 방화복으로 사용되는 직물과 유사하거나 다소 높은 성능을 나타내었다. 방염성능 또한 KFI 성능기준을 만족하여 방화복으로 활용이 가능할 것으로 기대되며 향후에는 발수도, 내수도, 투습저항시험과 같은 성능평가가 수반되어야 할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- Bae, J. H., Park, J. W., & An, S. K. (2005). The mechanical properties and hand of cotton fabrics

- with the variation of weft density. *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 8(4), 345-354.
- Bang, C. H. (2018). Effects of repetitive work and workload for body while wearing firefighting protective clothing in hot conditions. *Korean Institute of Fire Science & Engineering*, 32(4), 35-41. DOI: 10.7731/KIFSE.2018.32.4.035
- Hur, E. V., Seo, J. M., & Cho, K. Y. (2016). Silicon carbide fibers derived from polycarbosilane doped with Iodine as Oxygen Inducer. *Journal of Korean Fiber Society*, 53(6), 385-390. DOI: 10.12772/TSE.2016.53.385
- Joo, Y. J., & Cho, K. Y. (2019). Flexibility of SiC-based ceramic fibers synthesized from polycarbosilane. *Journal of Korean Fiber Society*, 56(5), 327-333. DOI: 10.12772/TSE.2019.56.327
- Kawabata, S. (1980). *The standardization and analysis of hand evaluation (2nd ed)*. Japan, Osaka.
- Kim, E. K., & Lee, M. S. (1997). A study on the actual condition of Korean firefighter's protective clothing. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 21(1), 93-103.
- Kim, S. J., & Park, K. S. (2008). A study on analysis of the physical properties of domestic and foreign sensitive worsted fabrics. *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 11(1), 113-122.
- Korea Fire Institute. (2016). *KF Standard for Accrediation of Fire Protection Clothing*.
- KS K ISO 15025 (2017). *Protective clothing - protection against heat and flame - Method of test for limited flame spread*.
- Sin, D. G., Riu, D. H., Kim, Y. H., Kim, H. R., Park, H. S., & Kim, H. E. (2005). Characterization of SiC fiber derived from polycarbosilanes with controlled molecular weight. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 42(8), 593-598.
- Song, Y. K., Baek, Y. M., Chang, B. Y., & An, S. K. (2016). Mechanical and comfort properties of fabrics for fire-retardant work clothes. *Journal of Korean Fiber Society*, 53(6), 414-420. DOI: 10.12772/TSE.2016.53.414
- 원고접수: 2021.01.04
수정접수: 2021.11.16
게재확정: 2021.11.19