

게르마늄 함유 감성의류용 직물의 원적외선 방출 특성

Far-Infrared Emission Characteristics of Germanium Included Fabrics for Emotional Garment

김현아* · 김승진**†

Hyun-Ah Kim* · Seung-Jin Kim**†

서울대학교 생활과학대학 의류학과*

Department of Clothing&Textiles, Seoul National University*

영남대학교 섬유패션학부**

School of Textiles, Yeungnam University**

Abstract

This paper surveys emission characteristics of Far-infrared of the fabrics fabricated with germanium imbedded sheath-core conjugate composite filaments. For this purpose, master batch chip was prepared with PET semi-dull chip and nano sized germanium particles and sheath-core type conjugate composite filament was spun using this master batch chip and polyester semi dull. The emission power and emissivity of the germanium imbedded fabrics were measured and investigated using FT-IR spectrophotometer by KICM- FIR 1005 measurement method. In addition, the fabric mechanical properties were measured and discussed with the effects of the optimum texturing process conditions and fabric structural design conditions. The sheath/core type PET composite germanium imbedded filaments were manufactured by the optimum spinning condition, its tenacity and breaking strain showed the same level as the regular PET filament. The tenacity and breaking strain of the DTY showed good physical properties and no problem in the weaving process. Then, wet and dry shrinkages showed higher values than those of regular PET filament. The emission power of the germanium imbedded fabric was $3.53 \times 10^2 \text{W/m}^2$ at the 5-20 μm wave length range, and emissivity was 0.874. The fabric hand of germanium imbedded fabrics was enhanced by the optimum texturing process and fabric structural design with improved mechanical properties such as fabric bending and compressional properties.

Keywords : Germanium, Far-infrared, Emission power, Emissivity, Master-batch, Weave density coefficient

요약

본 연구에서는 원적외선 방출 직물 소재를 개발하기 위해서 나노사이즈 게르마늄 입자와 PET chip을 마스터 배치 칩으로 제조하고 이를 PET와 용융 방사하여 sheath-core conjugate 복합사를 제조하여 이들의 물성과 이들 복합사로 제조한 직물의 원적외선 방출특성을 측정·분석하였다. 또한 게르마늄을 함유한 필라멘트와 직물의 물성을 측정하고 이들 물성이 사가공 공정의 중요공정 인자인 벨트각과 사속비 등의 공정인자와 직물 설계에서의 경사와 위사의 밀도에 관계하는 직물 밀도 계수 등의 설계 조건에 의해 직물 역학 특성과 직물 축감등의 물성이 어떠한 변화를 가져 오는가에 대한 분석을 하였다. 최적 방사조건에 의한 core부에 게르마늄이 함유된 sheath-core형 PET복합사를 제조하였으며 이들의 절단강신도 모두 일반 PET계의 물성치를 보였으며

† 교신저자 : 김승진(영남대학교 섬유패션학부 섬유신소재설계 전공), * 현재주소 : 김현아(한국니트산업연구원)

E-mail : sjkim@ynu.ac.kr

TEL : 053-810-2771

FAX : 053-812-5702

전라북도 익산시 석암동 639번지

E-mail : ktufl@naver.com

TEL : 063-830-3500

DTY는 제직성에 문제가 없는 강신도를 보였고 습건열 수축률은 일반 PET사 보다 높은 값을 보였다. 게르마늄 함유 직물의 원적외선 방사강도는 5~20 μm 파장 영역에서 $3.53 \times 10^2 \text{W/m}^2$ 을 보였으며 방사율은 0.874를 보였다. 그리고 최적 사가공 공정 조건 설정과 최적 직물밀도 설계로 직물의 역학 특성치와 촉감 특성의 저하를 막을 수 있음을 확인할 수 있었다.

주제어 : 게르마늄, 원적외선, 방사강도, 방사율, 마스터배치, 직물밀도 계수

1. 서론

게르마늄을 함유한 섬유는 원적외선을 방출하는 것으로 알려져 있다. 원적외선은 중간매체 없이 직접적으로 순간적인 복사에너지로 전달하며 물체의 내부를 따뜻하게 해주는 특성이 있어 생체물질을 활성화 하는 것이 가능한 것으로 알려져 있다(根岸直樹, 菊地眞, 1988). 맥반석, 옥, 숯, 황토 등에서 방출되는 원적외선은 인체에 잘 흡수되는 최적의 파장 범위(5-20 μm)를 갖고 있다. 한편 원적외선 방출물질에는 세라믹(맥반석)과 게르마늄 등이 대표적 물질이며 이들 물질을 함유하면 항균성, 항곰팡이성, 냄새제거, 음이온 방출 등의 특성을 보이며, 특히 인체에 혈액 순환을 촉진시켜 혈류량을 증진시켜 주기도 한다(根岸直樹, 菊地眞, 1988). 원적외선 방출특성을 지닌 국내 섬유 기업의 제품으로는 미라웨이브가 있으며 원적외선 방사율 0.98, 방사에너지 $3.58 \times 10^2 \text{W/m}^2$ 원적외선 방사기능 88.9%의 기능을 가지고 있으나 현재 일라이트의 수급 불가로 생산이 중단된 상태이다. 한편 국외기업의 경우 대나무를 1000 $^{\circ}\text{C}$ 에서 탄화시킨 파우더를 방사공정에서 혼입하여 원적외선 방사기능 90% 이상의 장섬유 PET를 제조하는 기술이 대만기업에 의해 제품화가 되었으며 PET 외에 아크릴과 나일론 섬유에 세라믹을 혼입·방사하여 원적외선 방출기능의 기능사가 많이 시판되고 있다. 그러나 게르마늄을 사용한 원적외선 방출소재는 아직 발표된 바 없으며 게르마늄은 산소의 효율적인 활용을 돕는 산소촉매제 역할을 하여 혈액에 생명력을 공급하기 때문에 산소 결핍증에서 벗어날 수 있다고 알려져 있으며 T-임파구를 증식시켜 암세포, 독성물질, 바이러스에 의한 발병도 억제하는 작용이 있다는 것이 입증된 바 있다. 그러나 원적외선 방출특성을 가진 섬유에 대한 학술적인 연구는 기업에서의 제품 개발에 비해 그리 많은 편이 아니다. 여숙영(1998) 등은 세라믹 처리 나일론 직물의 원적외선 방사능과 보온효과를 연구한 논문에서 나일론 직물에 세라믹 코팅법을 적용하여 세라믹 종류와 함량에

따른 나일론 직물의 원적외선 방사율과 방사강도 그리고 열적특성등을 측정·분석한 논문을 발표하였다. 한편 백우현(2001)은 원적외선 복사체에 관한 복사특성이 인체의 생리활성화에 미치는 효과를 황토를 이용하여 원적외선 복사체를 제조하여 FT-IR 분석을 통해 복사율과 복사강도 그리고 써모그래피를 이용한 원적외선 온열효과를 측정·분석하였다.

한편 Lin과 Chang(2008) 등은 죽섬유 탄화파우더를 함유한 PET 부직포의 열차단에 의한 보온성을 죽섬유 탄화 파우더의 원적외선 방출 특성과 관련시켜 연구하였다. 한편 Shim(2009) 등은 20% 세라믹 함유 PET 투습·방수 직물의 열적 물성에 대한 세라믹의 효과를 분석 보고 하였다. 그러나 게르마늄 화합물의 원적외선 방사 특성에 대한 보고는 찾아보기 어려우며 이현경, 이경미(2006)가 연구한 논문에서 게르마늄 함량을 변화 시킨 미쇄분말을 몰딩하여 이들의 방사율과 방사에너지를 측정·분석한 논문을 발표하였으나 섬유나 직물에 게르마늄을 처리한 논문은 현재까지 발표된 바가 없다.

따라서 본 연구에서는 원적외선 방출 감성의류용 직물소재 개발을 위해서 나노사이즈 게르마늄 입자와 PET Chip을 마스터 배치 칩으로 제조하고 이를 방사하여 sheath-core conjugate 복합사를 제조하여 이들의 물성과 원적외선 방출성능을 분석하였다. 이를 위해서 최적 방사조건으로 제조된 복합사를 사용하여 감성 의류용 직물소재를 제조하고 이들 직물의 원적외선 방출 특성을 측정하므로써 원적외선 방출 감성의류용 직물개발에 관한 기초연구를 수행하고자 한다.

2. 실험

2.1. 게르마늄 직물시료 제조

2.1.1. 마스터 배치 칩 제조

나노 입자를 함유한 기능성 섬유를 제조하기 위하

여 I.V.가 0.8(bottle grade, S 사)인 PET Virgin Chip을 입자크기가 1.01 μ m인 Ge(게르마늄)를 농도 15wt%로 제조한 후 마스터 배치 칩을 제조하였으며 진공건조기를 이용하여 40ppm 정도로 건조하여 방사공정에 투입하였다.

2.1.2. 방사

무기소재 이용 원적외선 방출 기능성 원사 개발을 위하여 Ge 함유 15wt%의 마스터 배치 칩을 PET semi-dull과 mixing 하여 1% 농도로 조절하여 core부에 사용하였다. Sheath부에는 PET semi-dull을 투입하여 Sheath-Core Conjugated Spinning 방식을 진행하였다. 원사 개발을 위하여 방사조건(방사온도, Take-up Speed) 등을 변화시켜 기본 물성 및 품질이 직물에 적용 가능한 조건으로 120d/36f POY사 방사를 진행하였다. 이때 방사조건을 표 1에 보인다.

표 1. 게르마늄 함유 120d/36f POY 방사조건

| 항목 | S/C 비율 | S/C Polymer 구성 | | 방사온도 (°C) |
|----|--------|----------------------------|--------|-----------|
| | | C부 | S부 | |
| 조건 | 60:40 | 게르마늄 1wt% MB chip + PET SD | PET SD | 290 |

| 항목 | GR1 속도(m/분) | GR2 속도(m/분) | 권취 속도 |
|----|-------------|-------------|-------|
| 조건 | 3120 | 3120 | 3100 |

note : S/C : Sheath/Core, GR : Godet Roller

2.1.3. 사가공 조건

120d/36f POY PET 원사를 75d/36f DTY로 사가공하기 위해 Murata 33H 사가공 기계를 사용하였다. 가장 중요한 공정인자인 벨트각(α)은 아래 보이는 (1)식을 이용하여 결정하였다. (1)식에서 ρ 는 PET의 밀도이며 D는 원사의 굵기인 denier이며 T는 가연 꼬임수를 나타낸다. 한편 속도비 (D/Y)는 벨트의 속도 (D)를 사속 (Y)으로 나눈 값으로 실의 벌크성과 장력을 고려하여 벨트의 속도를 548m/분으로 맞춤으로써 사속 400m/분으로 할 때 1.37의 사속비가 최적의 속도비임을 확인하였다.

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{26800} \frac{1}{\sqrt{\rho}} \sqrt{DT} \tag{1}$$

벨트각을 포함한 가연조건을 표 2에 나타낸다.

표 2. Murata 33H에서의 가연 조건

| 항목 | 사속 (m/분) | 1st roller over feed(%) | 2nd roller over feed(%) | 벨트각 (도) |
|----|----------|-------------------------|-------------------------|---------|
| 조건 | 400 | 1.29 | 2.28 | 105 |

| 항목 | 1st 히터온도 (°C) | 연신비 | 속도비 |
|----|---------------|-------|------|
| 조건 | 180 | 1.655 | 1.37 |

2.1.4. 직물 제조

직물제조는 경사로 면소재의 코머 사(combed yarn) 20Ne와 위사로 게르마늄 처리 가연사 75d/36f를 위입시켜 1/3 twill 직물을 제작하였다. 이때 최적 경사밀도와 위사 밀도는 (2)식에 의해 결정하였으며 직물 사양은 표 3에 보인다. (2)식에서 WC는 직물밀도 계수이며 WF는 조직계수를 나타낸다. 그리고 제작된 생지는 일반적인 면/PET 교직물 염·가공 공정을 거쳐 가공지를 제조하였다. 그리고 직물역학 특성과 물성 비교를 위해서 위사를 게르마늄 처리치 않은 PET 75d/36f를 사용하여 비교직물을 제작하였다.

$$\text{경사밀도} \times \text{위사밀도} = \frac{WC}{(WF)^2} \times \frac{(25.4)^2}{(\text{경사직경} + \text{위사직경})^2} = \text{constant} \tag{2}$$

표 3. 직물 시료사양

| 항목 | 변수 | | 직물밀도 (올수/인치) | | 조직 | 비고 |
|----|---------|-------------|--------------|----|--------|----|
| | 경사 | 위사 | 경사 | 위사 | | |
| 조건 | 코마 20Ne | PET 75d/36f | 68 | 72 | 1/3 능직 | |

2.2. 물성 분석

원소분석 : 게르마늄을 함유한 PET 원사의 원소분석을 위하여 EDX(Energy Dispersive X-ray Spectrography, Hitachi S4300)를 사용하여 정성적 분석을 실시하였다.

섬도 : KS K 0416 필라멘트사의 섬유 측정 방법(타래법)에 의거하여 사의 섬도를 측정하였다.

인장강신도 : Textechno Statimat Me.(German)을 이용하여 각각의 시료를 sample 길이 200mm, Test speed 2000m/min의 조건으로 10회 실험하였다.

수축특성 : Hank(KS K 0215)습열 수축률 실험방법에 의거 사의 습열 수축률을 측정하였다.

단면 : 실의 단면 형상을 관찰하기 위해 75 \times 10³mmHg

감압하에서 Au-Pd 코팅한 다음 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, S-3200N, Hitachi, Co., Ltd)을 이용하여 관찰하였다.

원적외선 방출성능 : KICM-FIR1005 시험법에 의해 원적외선 방출성능을 측정하였다. 이때 기준이 되는 흑체는 MCT 검출기를 장착한 원적외선 측정기로 FT-IR Spectrometer (Midac M2400-C, USA)를 사용하였으며 측정시 온도는 40℃, 분해능은 8cm⁻¹, 파장범위는 5~20μm이었다. 원적외선 방출성능은 원적외선 방사율(Emissivity)과 원적외선 방사강도 (Emissive power)로 측정되며 이는 모두 흑체를 기준으로 계산되며 방사율이 1인 흑체의 방사강도는 아래 (3)식에 보인 Planck 공식에 의해 각 파장영역에서 계산된다.

$$E_b\lambda = \frac{C_1\lambda^{-5}}{\exp(C_2/\lambda T) - 1} \quad (3)$$

(3)식에서 $E_b\lambda(W/m^2 \cdot \mu m)$ 는 파장 $\lambda(\mu m)$ 에서 흑체의 방사강도를 나타내며 $T(K)$ 는 절대온도, C_1 과 C_2 는 상수로서 C_1 은 3.7402×10^8 , C_2 는 1.43×10^4 을 나타낸다.

직물역학특성 분석 : 게르마늄 함유 직물의 촉감을 분석하기 위해 KES-FB system에 의해 직물의 역학특성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. PET사의 게르마늄 원소분석

그림 1은 게르마늄 함유 PET사의 원소분석 결과를 나타낸 것이다. EDX 분석결과는 정성적인 원소분석 기기에서 측정된 결과로서 PET 고유한 원소인 H, C, O 이외에 Ge가 나타남을 확인할 수 있었다.

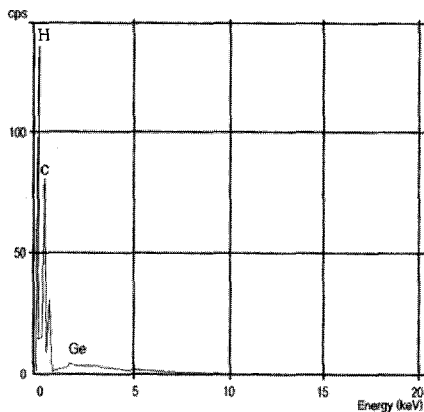


그림 1. PET사 소재의 원소분석 결과(EDX)

3.2. 게르마늄 PET사의 물성변화

게르마늄을 방사단계에서 혼합을 시킴으로써 원사로서의 제직성 등을 예측하기 위해서 기본물성으로서 섬도와 강신도를 측정하였으며 DTY사의 습·건열 수축률 등을 분석함으로써 염·가공 공정에서의 직물의 수축특성을 예측할 수가 있다. 이들 실험 data를 표 4에 보인다.

표 4에서 볼 수 있듯이 측정된 게르마늄 POY사의 섬도는 거의 120d를 만족시키고 있으며 절단강도와 신도는 일반 PET POY와 비슷한 값을 유지하였으며 이들의 사가공후 DTY의 강도는 3.83g/d, 절단신도가 40.2%를 보임으로써 제직성에는 문제가 없는 역학특성을 보였다. 한편 DTY의 건열 수축률이 27.4%, 습열 수축률이 20.1%를 보임으로써 일반 PET 가연사의 건열 수축률 12~14%, 습열 수축률 8~10%보다 높은 값을 보였다. 이는 게르마늄 미립자 함유로 인해 절단강도 저하를 우려하여 표 2에 보였듯이 가연에서의 연신비를 1.655로 다소 높혀 줌으로써 열수축의 증가를 보이는 것으로 판단되며 게르마늄이 함유되어 열적 형태안정성이 떨어짐으로써 직물 설계 시 염·가공 공정에서의 공정 수축률을 좀 더 높게 고려해야 한다는 정보를 준다. 열적 형태안정성 감소의 원인이 되는 게르마늄 입자는 그림 2에 SEM 사진으로 확인하였다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 Sheath-Core 복합사 구조에서 Core 부분에 검은 점으로 보이는 게르마늄을 확인할 수 있다.

표 4. 게르마늄 POY 원사 및 DTY사의 물성

| 구분 | 게르마늄 POY원사 | | |
|-----|------------|-----------|---------|
| | 섬도(d) | 절단강도(g/d) | 절단신도(%) |
| 물성치 | 119.98 | 2.18 | 127.58 |

| 구분 | DTY사 | | | |
|-----|-----------|---------|----------|----------|
| | 절단강도(g/d) | 절단신도(%) | 건열수축률(%) | 습열수축률(%) |
| 물성치 | 3.83 | 40.23 | 27.4 | 20.1 |

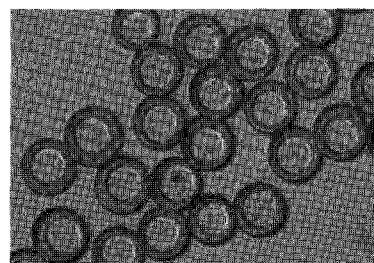


그림 2. SEM of sheath-core cross-section of filament

3.3. 게르마늄 함유 직물의 원적외선 방출성능

그림 3과 4는 각각 0~20 μm 파장 영역에서의 게르마늄 함유 직물의 방사강도와 방사율의 결과를 도시한 것이다.

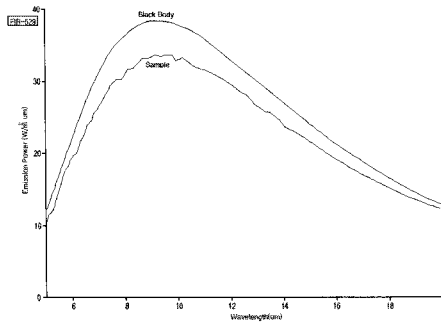


그림 3. Emission power of the germanium treated fabrics

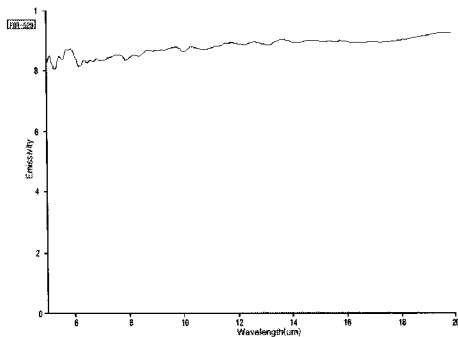


그림 4. Emissivity of the germanium treated fabrics

그림 3은 40 $^{\circ}\text{C}$ 를 기준으로 흑체와 게르마늄 함유 직물의 방사강도를 FT-IR을 사용하여 측정한 결과이다. 그림 3에서 5~20 μm 파장영역에서의 모든 방사에너지 값의 합은 $3.53 \times 10^2 \text{W/m}^2$ 이며 이 방사강도가 높은 값을 가질 때 효율성이 높은 것으로 알려져 있으며 이 값은 이현경, 이경애(2006)가 연구한 결과에서 일반 게르마늄의 방사강도 3.44×10^2 보다 다소 높은 값을 보이고 있다. 그리고 그림 3에서 최대 원적외선 방사강도를 보이는 파장영역은 9.5~10 μm 영역이며 이때 흑체의 방사강도를 Plank 공식에 따라 계산하면 $38.1 \text{W/m} \cdot \mu\text{m}$ 정도가 되며 게르마늄 함유 직물의 방사강도는 $33.5 \text{W/m} \cdot \mu\text{m}$ 의 값을 보임을 알 수 있다. 그림 4는 5~20 μm 파장영역에서의 모든 방사에너지 값의 합을 흑체와 게르마늄 함유 직물에서의 비로 도시한 것으로 방사율이 0.874를 보인다. 이 값은 이현경, 이경애(2006)의 논문에서는 순수 게르마늄의 경우 0.892를 가진다고 보고하고 있는데 본 실험에서는 0.874를 보이므로써 다소 낮은 값을 나타내었다.

3.4. 직물의 역학특성 비교

그림 5는 게르마늄 함유 직물과 이것과 비교되는 직물의 역학특성을 비교한 그래프이다. 실의 굵기와 직물밀도 및 조직 등 동일한 설계 조건으로 제조한 비교 직물의 역학 특성치 대비 게르마늄 함유 직물의 역학특성치의 비를 도시한 것이다. 직물설계시 경사는 동일하게 면사를 사용하였고 위사는 일반 PET사와 게르마늄 함유 PET사를 위입시켜 각각의 직물시료를 만들었기 때문에 위사방향의 역학량을 비교하여 도시하였다.

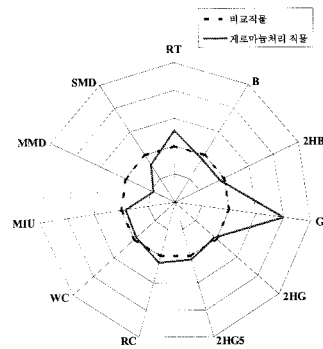


그림 5. Comparison of the fabric mechanical properties between germanium and standard fabrics

그림 5에서 볼 수 있듯이 게르마늄 처리 직물의 인장 회복성(RT)이 비교 직물보다 높은 값을 보이고 있다. 이는 비록 게르마늄 입자가 원사내에 함유되어 있더라도 사가공시의 사가공 공정인자나 직물밀도를 조정하면 신축 회복성을 높일 수 있다는 것을 보여주는 것이며 게르마늄 입자 때문에 직물의 역학물성이나 촉감이 나빠질 수 있다는 우려는 불식시킬 수 있다는 것을 확인 할 수 있었다. 한편 굽힘강성(B)은 비교직물과 비슷한 값을 보였으며, 특히 굽힘 히스테리시스 는 비교직물보다 더 작은 값을 보임으로써 인장 회복성(RT)이 게르마늄 직물이 더 높은 값을 보이는 결과와 동일하게 굽힘 탄성회복성이 뛰어난 것을 확인 할 수 있다. 한편 전단강성(G)은 직물의 경사와 위사의 교차점에서의 저항을 나타내는 값으로 게르마늄 직물이 더 큰 값을 보인다. 이것은 인장과 굽힘의 탄성 회복성은 게르마늄 직물이 더 좋은 값을 보이나 역학 변형의 mode가 다른 전단특성, 즉 경사와 위사의 교차점에서의 마찰거동은 원사내의 게르마늄 입자의 영향으로 게르마늄 직물이 더 큰 값을 보이는 것으로 사료된다. 이러한 사실은 게르마늄이 함유됨으로써

실 상태에서 발생한 열적 형태안정성의 저하를 전단 강성치가 큰 값을 가짐으로써 커버할 수 있는 여지를 보여준다고 하겠다. 압축일(WC)은 두 직물이 비슷한 값을 보이거나 압축회복성(RC)은 게르마늄 직물이 더 큰 값을 보임으로써 인장 회복성과 굽힘 회복성처럼 게르마늄 직물이 더 우수함을 알 수 있다.

이러한 사실은 사가공의 최적 크림프 형성을 위한 공정조건 설정과 직물 설계시 최적 설계 조건을 적용함으로써 직물의 역학물성을 착용성이 더 좋은 쪽으로 만들 수 있는 가능성을 보여준다. 또한 직물의 마찰계수(MIU), 마찰계수의 편차(MMD), 직물 표면 요철도(SMD) 등에서도 게르마늄 직물이 낮은 값을 보임으로써 직물의 표면이 더 매끈하고 부드러운 텍스처를 보임을 확인할 수 있었다.

3.5. 직물의 촉감 평가

그림 6은 3.4절에서 설명된 역학량에서 직물의 촉감 평가식을 이용하여 계산된 촉감치를 도시한 것이다.

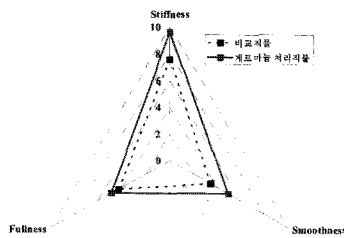


그림 6. Hand value of germanium and standard fabrics

그림 6에서 볼 수 있듯이 직물의 Stiffness, Smoothness, Fullness 모두 게르마늄 직물이 표준직물 대비 더 높은 값을 보이고 있으며 이러한 사실은 원사 제조시 게르마늄 미립자가 포함됨으로써 직물의 촉감이 거칠고 탄력성에 문제가 있을 것이라고 예측할 수 있지만 사가공과 설계에서 최적 공정조건과 최적 설계조건을 잘 고려함으로써 이러한 촉감의 문제는 해결 할 수 있다는 가능성을 보여주는 결과로서 의미를 찾을 수 있다고 보여진다.

4. 결론

게르마늄 함유 원사를 방사하여 사가공, 제직공정에서 최적 공정 설계를 거쳐 게르마늄 함유 직물을 만들고 이들의 물성과 원적외선 방출특성 그리고 직물의 촉감 특성 등을 측정·분석한 결과 다음과 같은

결론을 얻었다.

- 1) 최적 방사조건을 설정하여 core부에 게르마늄이 함유된 sheath-core PET사를 제조하였다. 실험결과 절단강도와 신도 모두 일반 PET사 수준의 물성치를 보였으며 사가공을 거친 DTY는 제직성에 문제가 없는 강·신도를 보였으며 습·건열 수축률은 일반사보다 높은 값을 보였다
- 2) 게르마늄 함유 직물의 원적외선 방사강도는 5~20 μ m 파장영역에서 3.53 $\times 10^2$ W/m²을 보였으며 방사율은 0.874를 보였다.
- 3) 최적 사가공 공정조건 설정과 최적 직물밀도 설계로 제조한 게르마늄 직물의 역학 특성치는 비교직물과 비교하여 인장과 굽힘 특성의 탄성 회복도가 우수하며 압축성도 우수하나 전단 강성이 높은 값을 보였다.
- 4) 직물의 촉감 특성은 stiffness, smoothness, fullness 모두 게르마늄 직물이 높은 값을 보임으로써 게르마늄 입자첨가에 의한 직물 촉감의 저하는 사가공 공정 설계와 직물 최적 설계로서 커버할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

백우현 (2001). 원적외선 복사특성에 관한 온열효과. *한국의류산업학회지*, 3(3), 195-199.

여숙영, 이동화, 김은애 (1998). 세라믹스 처리된 나일론 직물의 원적외선 방사성능과 보온 효과. *한국의류학회지*, 22(4), 515-524.

이현경, 이경미 (2006). 게르마늄 화합물의 원적외선 방사특성. *공업화학*, 17(6), 597-603.

Lin, C. M. and Chang, C. W. (2008). Production of Thermal Insulation Composites Containing Bamboo Charcoal. *Textile Res. J.* 78(7), 555-560.

Shim, M. H., Park, C. H. and Shim, H. S. (2009). Effect of Ceramics of the Physical and Thermo-physical Performance of Warm-up Suit. *Textile Res. J.* 79(17), 1557-1564.

根岸直樹, 菊地眞 (1988). 赤外線の生体作用, *セラミックス* 23(4), 335-342.

원고접수 : 10.09.29

수정접수 : 10.11.15

게재확정 : 10.12.02