

## 탄화지르코늄 함유 감성의류용 축열/발열 편물의 원적외선 방출특성

### Far-infrared Emission Characteristics of ZrC Imbedded Heat Storage Knitted Fabrics for Emotional Garment

김현아†

Hyun-Ah Kim†

한국패션산업연구원 연구개발본부

Korea Research Institute For Fashion Industry

#### Abstract

This paper investigated far-infrared emission characteristics of ZrC imbedded heat storage knitted fabrics for emotional garment. For this purpose, ZrC imbedded heat storage PET was spun with high viscosity PET imbedded ZrC powder on the core part and low viscosity PET on the sheath part by conjugated spinning method. Ingredient analysis and far-infrared emission characteristics assessment of spun filament were carried out by EDS and FT-IR spectrometer. Two kinds of knitted fabrics were made using texturized ZrC imbedded PET for measuring thermal characteristics of ZrC imbedded heat storage PET. Zr peak was certified by EDS measurement and it was confirmed that content of Zr was 19.29%.

Far-infrared analysis revealed that emission power at the range of wavelength, 5~20 $\mu$ m was  $3.65 \times 10^2$  W/m<sup>2</sup>, and emissivity was 0.906. Heat storage analysis by KES-F7 system revealed that  $Q_{\max}$  of ZrC imbedded PET knitted fabric was lower than that of regular PET one and warmth keepability rate was higher than that of regular one, which means that ZrC imbedded PET knitted fabric has heat storage property. Thermal conductivity of ZrC imbedded PET knitted fabric was higher than that of regular PET one which was caused by high thermal conductivity of Zr itself. Hand property of ZrC imbedded knitted fabric was not inferior compared to regular PET knitted fabric, which preferably was found to be dependent on knit structure and surface property.

**Key words:** far-infrared emission, ZrC imbedded PET, heat storage, emissivity, warmth keepability rate, thermal conductivity

#### 요 약

본 연구는 감성의류용 탄화지르코늄 함유 축열 니트의 원적외선 특성을 연구하였다. 탄화지르코늄 함유 축열 PET 원사가 이성분 방사법에 의해 방사되었다. 이 원사의 core부에는 고점도 PET와 탄화지르코늄을 혼합한 용액을, sheath부에는 저점도 PET 용액을 사용하여 콘주게이트 방사를 실시하였다. 이들 방사된 원사의 원소분석과 원적외선 특성 분석이 EDS와 FT-IR 계측기기에 의해 분석되었으며 두 가지 조직의 니트 소재를 편직하여 이들

\* 본 연구는 2014 글로벌전문기술개발사업(Hybrid Wool 50%이상 복합방적사를 이용한 세탁수축률 3% 이하, 펄링성 4급 이상의 경량보온성 Tra-biz Outdoor용 투습방수 소재 및 제품개발, 과제번호 : 10048297)의 연구결과 일부임.

† 교신저자 : 김현아(한국패션산업연구원 연구개발본부)

E-mail : ktufl@krifi.re.kr

TEL : 053-721-7459

의 열적특성을 분석하였다. EDS 분석에서 Zr 피크를 확인하였으며 원사내에 Zr 원소가 19.29% 함유되어 있음을 확인하였다. 또한 원적외선 분석에서 5~20 $\mu\text{m}$  파장 영역에서 원적외선 방사에너지가  $3.65 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ , 방사율이 0.906임을 확인하였다. KES-F7 측정기 분석에서 ZrC 함유 편성물의  $Q_{\text{max}}$  값이 일반 PET 편성물의 값보다 낮은 값을 보였고 보온을 값은 ZrC 함유 편성물이 일반 PET보다 더 높은 값을 보이므로서 ZrC의 축열성을 확인하였다. 열전도도는 Zr의 높은 열전도도 때문에 일반 PET 편물보다 더 높은 값을 보였다. ZrC의 함유가 편물의 촉감에 미치는 영향을 없었으며 편성 조직이 더 큰 영향을 주는 것을 확인하였다.

**주제어:** 원적외선방사, 탄화지르코늄 함유 PET, 축열, 방사율, 보온성, 열전도도

## 1. 서론

의류용 소재의 축열·발열 등에 의한 보온성을 부여하는 방법은 실제 상업적으로 여러 가지 방법이 응용되어 제품화가 되고 있다. 가장 보편화된 방법으로서 섬유내에 공기층을 만들어주는 중공 보온 섬유가 스포츠 의류 등에 여러 가지 브랜드로 제품화 되고 있다. 한편, 섬유가 수분을 흡수할 때 발열이 일어나는 특성을 응용한 제품으로 섬유 고분자 chain에 친수기를 도입하여 수분흡수열을 발생하는 제품으로 유니클로(일본)의 히트테크(heat-tech), 그리고 미즈노(일본)의 브레스 써모(breath-thermo)등이 언더웨어 시장에서 제품화 되고 있다. 그리고 PCM(phase change material)을 이용하여 상(phase)변화에 따른 발열·흡열 반응에 의해 의복내 온도를 조절 할 수 있는 기술도 많은 제품에 적용하여 상용화 되고 있다. 한편, 최근들어 여러 가지 세라믹 나노입자를 사용한 축열·발열 소재가 많이 제품화 되고 있으며 원적외선 방사와 관련된 연구결과와 기술적 특성이 논문을 통해 발표되고 있다.

한편, 금속 산화물인 세라믹  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 는 광반사 효과가 우수하며 금속탄화물 세라믹 ZrC는 흡광 축열 효과가 우수한 것으로 알려져 있다. 세라믹 나노입자로 사용되는 탄화지르코늄(ZrC)은 원적외선을 방사하며 분광 방사율이 약 76%, 열용량이  $0.088\text{cal/g}^\circ\text{C}$ , 열전도율이  $12\text{W/m}^\circ\text{C}$ 의 물성을 가진 세라믹 소재이다(Kwon, 2007). 또한 탄화지르코늄은 태양광의 근적외선 범위의 광에너지를 흡수하여 열에너지로 변환시켜 보온성을 가지며 유니티카(일본)의 Thermotron, 도레이(일본)의 Megatron, 아사리카세히(일본)의 Reothermo 등이 이를 이용한 축열소재들이다. 탄화지르코늄의 다른 기능은 인체에서

방사되는 열을 탄화지르코늄이 흡수하거나 원적외선 형태로 반사시켜 외부로의 방열을 막아줌으로써 보온성 소재로써 열차단 기능도 가지고 있다.

적외선은 열선이라고도 하며 파장에 따라 4개 영역으로 구분되며 공기중에서 가장 흡수가 적은 적외선 영역인 6 $\mu\text{m}$ -14 $\mu\text{m}$  파장 영역을 원적외선 영역으로 정의하며 방사율(emissivity)이 약 91% 정도이며 물체에 닿으면 흡수되어 열에너지가 변화하여 체온상승과 함께 혈액순환도 증가되는 것으로 알려져 있다(根岸直樹, 菊地眞, 1988). Beak(2001)은 황토를 이용하여 원적외선 복사체를 제조하여 FT-IR 분석을 통해 원적외선 온열효가가 인체의 생리활성화에 미치는 영향을 연구하였다. Lin과 Chang(2008)은 죽섬유 탄화 파우더의 원적외선 방출특성을 PET 부직포에 파우더 처리를 하여 열차단에 의한 보온성을 연구하였다. Bahang et al.(2013)은 PET 섬유에 세라믹 파우더를 혼입하여 발열 섬유를 개발한 연구를 수행하였다. T. Furuta et al.(1996)은 탄화지르코늄을 PET에 혼입시켜 인체에서 방사되는 원적외선을 반사시켜 보온효과를 확인하는 연구를 수행하였다. Kim et al.(2010)은 게르마늄 나노입자를 PET에 용융방사하여 원적외선 방사강도와 방사율을 FT-IR 장치로 측정하였다. 그 외 세라믹 파우더를 직물표면에 코팅, 라미네이팅 처리하여 세라믹의 축열·보온 특성을 확인하는 연구도 많이 수행되었다(Shim et al, 2009; Yoo et al, 1993; Yeo et al, 1998; Hong et al, 2010). 현재까지의 이들 연구들은 세라믹 처리된 섬유제품들의 원적외선 방사 그리고 이들의 축열·보온 특성에 대한 기초연구가 대부분이며 현재 기업들에서 상용화 되고 있는 세라믹 처리 원사 및 편물 소재의 원적외선 방출 및 축열 특성에 대한 연구는 발

표된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 sheath부에 저점도 PET, core부에 고점도 PET 용액과 탄화지르코늄을 혼합한 conjugate spinning에 의한 원사를 방사하고 이들의 물성과 원적외선 방출성능을 분석하였다. 그리고 이들 축열 원사와 일반 PET 원사로 니트소재를 제편하여 이들의 축열특성을 비교하였으며, 착용성능 차이를 비교해 보기 위해 니트의 역학특성의 차이를 비교하여 탄화지르코늄을 혼합함에 따른 촉감의 변화 분석을 통해 축열·보온 소재의 감성 의류에의 적용 가능성을 확인하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 원사 및 사가공

국내 H사 pilot 방사기에서 sheath/core conjugate사를 방사하였다. Sheath부에 저점도 PET, core부에 고점도 PET와 탄화지르코늄(ZrC)을 함유한 마스터 배치 칩을 혼합하여 POY 125d/36f 원사를 방사하였다. 직물과 편물소재로 제편하기 위해서는 POY사는 텍스처드 가공사(Draw Textured Yarns)로 사가공이 되어야 하며 최적의 가공사 공정조건을 정하기 위해 네 가지의 DTY를 Murata 33H(일본)가연기에서 제조하여 최적의 물성가지는 조건을 결정하였다. Fig. 1에 Murata DTY 기계의 모식도를 나타내었다. DTY 기계에서 공정조건은 연신비(draw ratio), 히터온도, 속도비 등 세가지를 정하고 네 가지 DTY를 제조하였다. 연신비는 Fig. 1에서

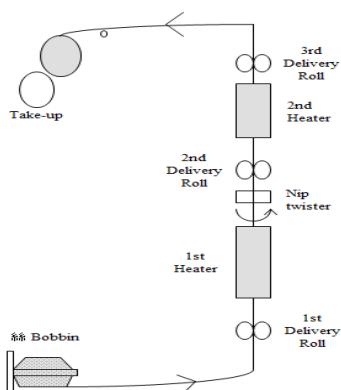


Figure 1. Illustration of Murata DTY(Murata 33H) machine

2<sup>nd</sup> delivery roller 표면속도에 대한 1<sup>st</sup> delivery roller 표면속도의 비로 계산하였으며 속도비(velocity ratio)는 Fig. 1에 나타난 가연부의 벨트를 빠져 나오는 가연사의 속도에 대한 두 개의 벨트가 교차하면서 지나가는 속도의 비에서 계산하였다. Table 1에 이들 조건을 보인다.

Table 1. Process condition of DTY

	Draw ratio	Heater temp.(℃)	Velocity ratio
T-1	1.55	180	1.70
T-2	1.65	190	1.75
T-3	1.75	190	1.75
T-4	1.65	200	1.80

note : velocity ratio: belt speed/feed speed

### 2.2. 편물제조

Table 1에 보인 DTY 중에서 최적조건을 만족한 T-2 시료를 선택하여 축열시료를 편직하였으며(H) 이것과 비교하기 위해 일반 PET DTY를 사용하여 비교시료(P)로 편직하였다. 두 가지 조직(Crepe, Corduroy)의 편물을 국내 제작 환편기(금용기계, 더블니팅기)에서 제편하였다. 30인치 직경, 28게이지, 18rpm의 속도로 제편하였으며 총 2,640 침으로 제편하였다. Corduroy 조직은 표면은 PET DTY 100d/48f를 사용하고 이면사는 방사한 탄화지르코늄 원사 T-2(H)와 일반 PET사(P)를 사용하였다. Crepe 조직은 표면사에 PET DTY 150d/144f를 사용하고 이면사에 T-2(H)시료와 일반 PET사(P)를 사용하여 편직하였다.

Table 2에 이들 편물 시료의 특성을 나타내었다. Fig. 2에 편물시료의 조직과 표면조직의 SEM 사진을 나타내었다.

Table 2. Characteristics of knitted fabric specimens

Design	Specimens	Weight(g/m)	Loop length
Corduroy	H	263.2	cylinder : 11 dial : 13.5
	P	250.5	
Crepe	H	214.2	cylinder : 12 dial : 20
	P	208.3	

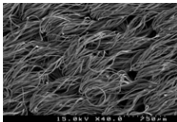

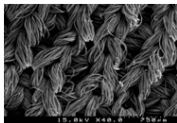
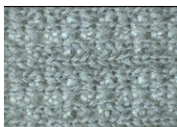
Pattern item	Pattern design	Knitted structure																																																																																					
Corduroy	· CAM sequence	SEM																																																																																					
	<table><tr><td>yarn</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr><tr><td>dial</td><td>B</td><td>∨</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td></td><td>A</td><td>-</td><td>∨</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>cylinder</td><td>B</td><td>-</td><td>∧</td><td>∧</td><td>∧</td><td>∧</td><td>∧</td><td>∧</td></tr><tr><td></td><td>A</td><td>∧</td><td>-</td><td>∧</td><td>∧</td><td>∧</td><td>∧</td><td>∧</td></tr></table> <p>note : ∨, ∧ : knit - : miss 1, 2 : 75d/36f 3-8 : 100d/48f</p>	yarn	1	2	3	4	5	6	7	8	dial	B	∨	-	-	-	-	-	-		A	-	∨	-	-	-	-	-	cylinder	B	-	∧	∧	∧	∧	∧	∧		A	∧	-	∧	∧	∧	∧	∧																																									
	yarn	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																														
	dial	B	∨	-	-	-	-	-	-																																																																														
	A	-	∨	-	-	-	-	-																																																																															
cylinder	B	-	∧	∧	∧	∧	∧	∧																																																																															
	A	∧	-	∧	∧	∧	∧	∧																																																																															
·Stitch sequence	Optical microscope																																																																																						
	<table><tr><td>yarn</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>dial</td><td>A</td><td>B</td><td>A</td><td>B</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>cylinder</td><td>A</td><td>B</td><td>A</td><td>B</td><td>A</td><td>B</td></tr></table> <p>note : 1, 2 : 75d/36f : 3-6 : 100d/48f</p>	yarn	1	2	3	4	5	6	dial	A	B	A	B	A	B	cylinder	A	B	A	B	A	B																																																																	
yarn	1	2	3	4	5	6																																																																																	
dial	A	B	A	B	A	B																																																																																	
cylinder	A	B	A	B	A	B																																																																																	
Crepe	· CAM sequence	SEM																																																																																					
	<table><tr><td>yarn</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td></tr><tr><td>dial</td><td>A</td><td>∨</td><td>-</td><td>∨</td><td>-</td><td>∨</td><td>-</td><td>∨</td><td>-</td><td>∨</td><td>-</td><td>∨</td><td>-</td><td>∨</td><td>-</td><td>∨</td></tr><tr><td></td><td>B</td><td>-</td><td>∨</td><td>-</td><td>∨</td><td>-</td><td>∨</td><td>-</td><td>∨</td><td>-</td><td>∨</td><td>-</td><td>∨</td><td>-</td><td>∨</td><td>-</td></tr><tr><td>cylinder</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td></tr><tr><td></td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td></tr></table> <p>note : ∩ : tuck ∨, ∧ : knit - : miss note : 1, 3, 5, ....15 : 75d/36f 2, 4, 6, ....16 : 150d/144f</p>	yarn	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	dial	A	∨	-	∨	-	∨	-	∨	-	∨	-	∨	-	∨	-	∨		B	-	∨	-	∨	-	∨	-	∨	-	∨	-	∨	-	∨	-	cylinder	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	yarn	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																																																																						
	dial	A	∨	-	∨	-	∨	-	∨	-	∨	-	∨	-	∨	-	∨																																																																						
	B	-	∨	-	∨	-	∨	-	∨	-	∨	-	∨	-	∨	-																																																																							
cylinder	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																																																																							
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																																																																							
·Stitch sequence	Optical microscope																																																																																						
	<table><tr><td>yarn</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr><tr><td>dial</td><td>A</td><td>B</td><td>A</td><td>B</td><td>A</td><td>B</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>cylinder</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr></table> <p>note : 1, 3, 5, 7 : 75d/36f 2, 4, 6, 8 : 150d/144f</p>	yarn	1	2	3	4	5	6	7	8	dial	A	B	A	B	A	B	A	B	cylinder	A	B	C	D	A	B	C	D																																																											
yarn	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																															
dial	A	B	A	B	A	B	A	B																																																																															
cylinder	A	B	C	D	A	B	C	D																																																																															

Figure 2. Design pattern and surface photograph by SEM of knitted fabric specimens

## 2.3. 물성 측정

### 2.3.1 원사 물성 실험

#### 1) 인장특성

KS K 0416 필라멘트사의 강도 및 신도 시험 방법에 의거하여 Testometric Co.(England) Model MICRO 350 을 이용하여 시료 길이 100mm, 인장속도 100mm/min 의 조건으로 절단강도, 절단신도, 초기탄성률을 10회 실험하여 평균치를 사용하였다.

#### 2) 열수축률 실험

필라멘트의 습·건열 수축률 시험법(KS K 0215)에 따라 0.1g/d의 초하중을 걸어 열처리전 원장을 측정하고 습·건열 처리 후 길이를 측정하여 원장에 대한

열처리 전·후 길이 차이를 백분율로 계산하였다.

### 3) SEM 측정

원사의 단면과 직물표면을 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, S-4300, Hitachi Co. 일본)과 광학현미경(i Camscope 305A, 한국)을 사용하여 측정하였다.

### 2.3.2 원소 분석 및 원적외선 방출특성

#### 1) 원소분석

탄화지르코늄을 함유한 PET 원사의 원소분석은 EDS (Energy Dispersive X-ray Spectrography, JEOL LV 8500, 일본)를 사용하여 정성, 정량분석을 실시하였다.

#### 2) 원적외선 방출특성

탄화지르코늄 함유 PET 원사의 원적외선 방출특성은 KICM-FIR 1005 시험법에 의해 MCT 검출기를 장착한 FT-IR Spectrometer(Midac M 2400-C, 미국)를 사용하였다. 측정시 온도는 40℃, 분해능은 8cm<sup>-1</sup>, 파장범위는 5-20μm 이었다. 원적외선 방출성능은 원적외선 방사율(Emissivity)과 원적외선 방사강도(Emissive power)로 측정되며 흑체 기준으로 계산된다. 방사율이 1인 흑체의 방사강도는 Plank 공식(Yeo et al., 1998)에 의해 각 파장영역에서 계산된다.

### 2.3.3 니트소재의 열전도 및 보온특성

탄화지르코늄 함유 PET 니트소재의 원적외선 방출에 의한 축열·발열 특성을 확인하기 위해 KES-F7 (Thermolabo II, Kato Tech. Co. Ltd., 일본)을 이용하여 열전도도(thermal conductivity, K),보온율(warmth keepability rate) 그리고 Q<sub>max</sub>를 측정하였다. 그리고 일반 PET 니트 소재를 control 시료로 하여 그 값을 비교하였다.

#### 1) 열전도도

KES-F7(Thermolabo II, Kato Tech. Co., Ltd., 일본)을 이용하여 열전도도를 측정하였으며 항온항습실(실내 온도 22±1℃, 70±5% RH)에서 측정하였다. 5cm x 5cm 크기의 직물시료를 3개 준비하여 정상 상태에서의 열손실을 측정하여 아래식에 의해 열전도도(thermal conductivity, K, W/cm℃)를 측정하였다.

$$\text{thermal conductivity}(K) = \frac{W \cdot D}{\Delta T}$$

where, W : 열손실(W/cm<sup>2</sup>)

D : 시험편의 두께(cm)

ΔT : 시료의 온도차(℃)

## 2) 보온율

실온보다 10℃ 높은 B.T box를 평형상태에서 2-3분 후의 평균 열 방산속도 W<sub>0</sub>를 측정하고 시료를 올린 후 W 값을 측정하여 아래 식으로 보온율을 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{warmth keepability rate}(I) &= \frac{W_0 - W}{W_0} \times 100(\%) \\ &= \left(1 - \frac{W}{W_0}\right) \times 100 \end{aligned}$$

보온율 측정 실험은 주위 온도, 습도, 풍속 등의 환경변화에 따라 영향을 많이 받기 때문에 아크릴 판으로 된 box내에 시료를 놓고 실험을 하게 된다.

## 3) Qmax

항온항습실(실내온도 22±1℃, 70±5% RH)에서 KES-F7(Thermolabo II, Kato Tech. Co., Ltd., Japan)을 이용하여 순간 열유속 최대치(Qmax)를 측정하였다.

### 2.3.4 니트소재의 역학특성

탄화지르코늄의 함유에 따른 의류상태에서의 착용과 관련된 촉감 특성 값은 의류의 착용 물성에 대단히 중요하며 간접적으로 이들 물성을 예측하기 위해 니트 소재의 역학특성을 FAST 시험기로 측정하였다.

FAST system을 사용하여 편물의 신장성을 측정하기 위해 13cm x 5cm의 시료를 준비한 후 5, 20, 100 gf/cm 하중으로 인장하여 신도를 측정하였고, 편물의 전단강성은 FAST-3 시험기로 측정하였다. 시료를 경사 또는 위사 방향의 45°로 취하여 13cm x 5cm 크기로 준비하여 5gf/cm 하중으로 인장하여 바이어스 방향의 신도를 측정하였다. 전단강성(G)은 아래 식을 이용하여 계산하였다.

$$G = \left(\frac{123}{EB5}\right) \times 1N/m$$

where, EB5 : bias extension under 5gf/cm(%)

편물의 굽힘강성은 FAST-2 시험기로 측정하였다. 경사와 위사방향의 굽힘 길이와 편물의 무게로 다음

의 식에서 굽힘강성을 계산하였다.

$$B = W \times C^3 \times 9.81 \times 10^6$$

where, B: bending rigidity(μN·m)

C: bending length(mm)

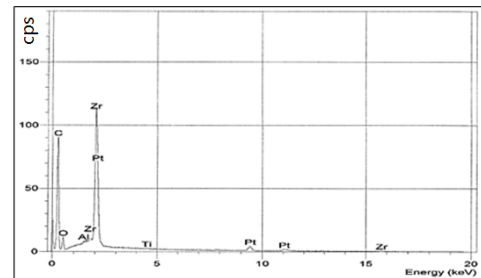
W: weight per unit area(gf/m<sup>2</sup>)

그리고 편물의 압축특성은 2gf/cm<sup>2</sup>, 100gf/cm<sup>2</sup> 하중으로 압축하여 편물의 압축성을 측정하였다.

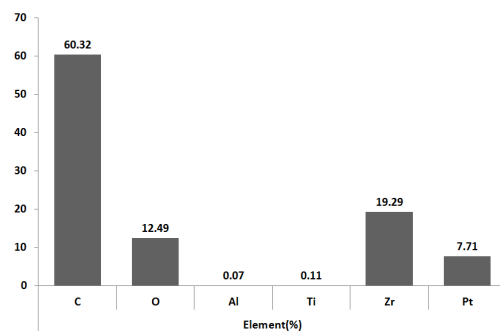
## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 탄화지르코늄 함유 축열 PET 원사의 원소분석

Figure 3은 탄화지르코늄 함유 축열/발열 원사의 EDS 원소분석 결과를 나타낸 것이다. PET 원사의 고유한 원소인 C, O 이외에 Zr 원소가 19.29% 함유되어 있으며 그림에서 피크를 확인할 수 있다. 이들 원소 이외에 Al 원소 검출은 EDS 기계 holder의 원소가 검출된 것이며 Pt는 시료준비 시 백금 코팅된 원소가 검출된 것이다. Ti는 PET 방사시 소광제로써 넣은 TiO<sub>2</sub>의 원소가 검출된 것이다.



(a) peak curve



(b) content of element

Figure 3. Ingredient analysis of ZrC imbedded yarns by EDS

### 3.2. 축열 PET 원사의 원적외선 방출 특성

Figure 4와 5는 각각 탄화지르코늄 함유 축열 PET 원사의 0-20 $\mu\text{m}$  파장 영역에서의 원적외선 방사 에너지와 방사율 결과이다. Figure 4는 40 $^{\circ}\text{C}$ 를 기준으로 흑체와 탄화지르코늄 함유 PET 원사의 방사에너지를 FT-IR을 이용하여 측정한 결과이다.

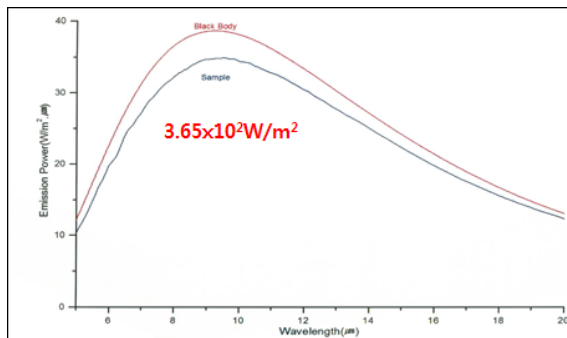


Figure 4. Emissive power of ZrC imbedded PET

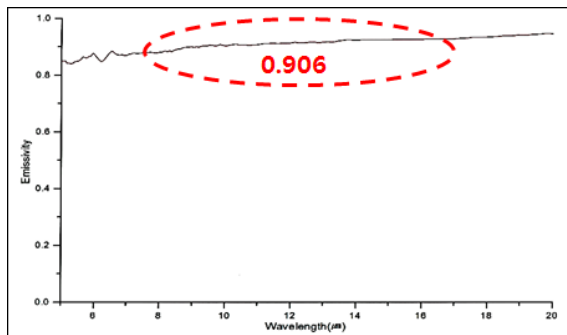


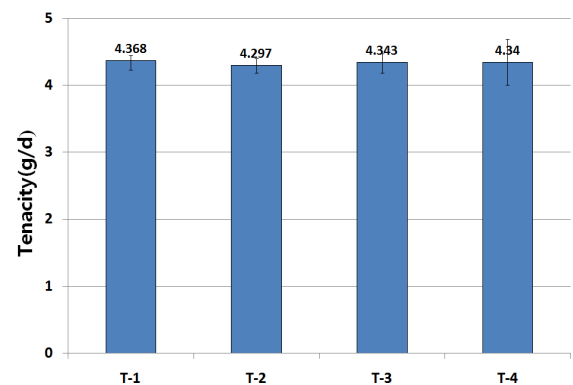
Figure 5. Emissivity of ZrC imbedded PET

5-20 $\mu\text{m}$  파장영역에서의 원적외선 방사에너지의 합은  $3.65 \times 10^2 \text{W/m}^2$ 이며 게르마늄 함유 PET의 원적외선 방사에너지 값  $3.53 \times 10^2 \text{W/m}^2$  (Kim and Kim, 2010)과 Lee와 Lee(2006)의 연구에서 일반 게르마늄의 방사에너지  $3.44 \times 10^2 \text{W/m}^2$  보다 높은 값을 보였다. 방사에너지가 높은 값을 가질 때 원적외선 방사 효율성이 높은 것으로 알려져 있다. 따라서 게르마늄 보다 탄화지르코늄이 원적외선 방출 효율이 더 높은 것을 알 수 있다. Figure 4의 원적외선 방사에너지 그래프에서 볼 수 있듯이 최대 원적외선 방사에너지를 보이는 파장영역은 9-9.5 $\mu\text{m}$  영역이며 이 영역에서의 흑체의 방사에너지는  $39.2 \text{W/m} \cdot \mu\text{m}$ 이며 탄화지르코늄 PET의 방사에너지는  $35.1 \text{W/m} \cdot \mu\text{m}$ 의 값을 보였다. Figure 5는

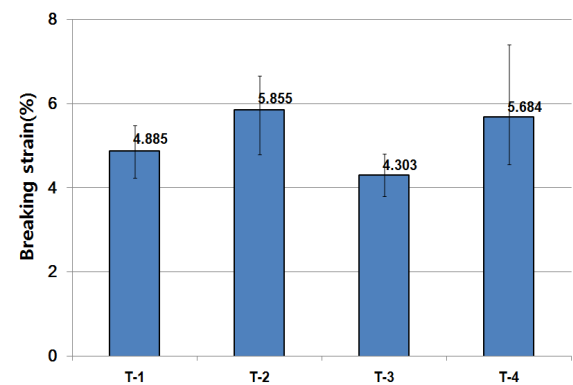
탄화지르코늄 PET의 5-20 $\mu\text{m}$  파장영역에서의 원적외선 방사 에너지 값의 합을 흑체의 이 영역에서의 원적외선 방사 에너지 값의 합에 대한 비율을 도시킨 방사율로서 평균 원적외선 방사율이 0.906였다. 이 값은 Lee와 Lee(2006)의 순수게르마늄의 방사율 0.892와 게르마늄 함유 PET (Kim and Kim, 2010)의 방사율 0.874 보다 더 높은 값을 보임을 알 수 있다.

### 3.3. 사가공 조건을 변화시킨 탄화지르코늄 함유 PET사의 물성변화

Figure 6은 Table 1에 보인 4가지 DTY 공정조건을 변화시켜 가연(texturing)한 DTY의 역학물성을 나타내었다. 탄화지르코늄을 혼합하므로써 사의 절단강도와 신도에 미치는 영향과 인장 모듈러스가 직물의 촉감에 어떠한 변화를 주는지에 대해 DTY 공정인자와의 관계를 분석하여 최적 DTY 조건을 탐색하였다.

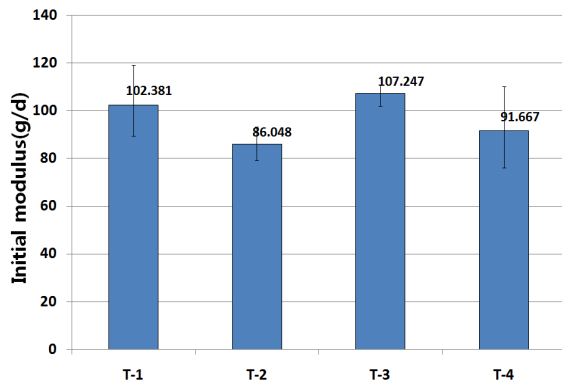


(a) Tenacity



(b) Breaking strain





(c) Initial modulus

Figure 6. Tensile property of ZrC imbedded DTY

Figure 6(a)에서 4가지 조건의 DTY사 절단강도는 4.2g/d-4.4g/d 값을 보였으며 이는 일반 PET사의 절단강도와 비교했을 때 차이가 없었으며 결과에서 볼 수 있듯이 DTY 공정조건에 따라서 큰 차이를 보이지 않았다. Figure 6(b)의 절단신도는 T-2 시료가 가장 높았으며 제직성 면에서 절단신도가 높은 값을 가지는 T-2 시료의 DTY 조건이 적절한 것으로 판단된다. Figure 6(c)의 인장 모듈러스는 T-2 시료가 가장 낮은 값을 나타내며, 편차가 가장 작아 직·편물의 촉감이 부드러운 값을 가질 것으로 판단된다. 따라서 제직성(weavability) 측면에서 보면 DTY 조건 4가지 중 T-2 조건인 draw ratio 1.65, 히터온도 190℃, 속도비 1.75 조건에서 인장강·신도 특성이 가장 우수한 최적 조건으로 판단된다. Figure 7은 4가지 DTY 시료의 습·건열 수축률을 나타낸다.

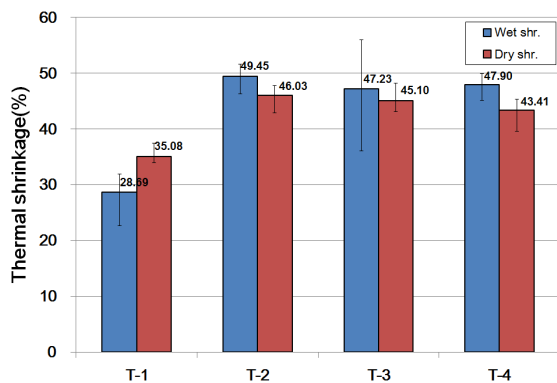
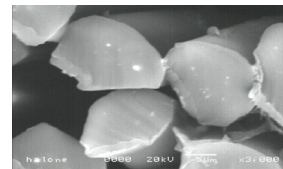


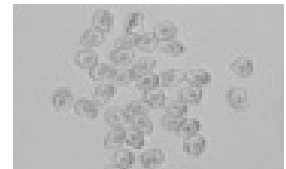
Figure 7. Thermal shrinkage of ZrC imbedded DTY

T-2 시료가 습열 수축률 49.45%, 건열수축률 46.03%를 보였으며 4가지 시료 중 가장 높은 값을 나타냈다.

일반 PET DTY의 건열 수축율이 12-14%, 습열 수축률이 8-10%의 분포를 가지는 것에 비해 다소 높은 습·건열 수축률을 보이고 있으며(Kim, 1997), 이는 무기입자인 탄화지르코늄이 함유되어 절단강도의 감소를 우려하여 DTY 공정에서 연신비를 1.65로 다소 높혀 주므로서 열수축의 증가를 보이는 것으로 생각되며 탄화지르코늄 함유 PET의 경우 직물 설계시 염·가공 공정 수축률을 좀 더 높게 고려해야 한다는 정보를 얻을 수 있었다. 또한 습열세탁시 열 수축에 대한 주의가 요구된다는 것을 알 수 있다. 이들 탄화지르코늄 입자는 Figure 8에서 광학현미경과 SEM 사진에서 확인하였다. SEM 단면(a)의 흰점이 탄화지르코늄이며 광학현미경 사진(b)에서는 검은 점들이 탄화지르코늄 입자로 보여진다.



(a) SEM

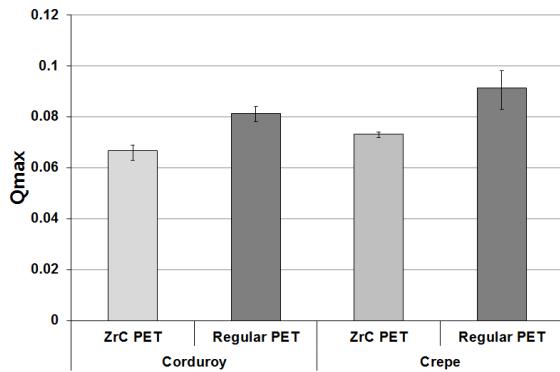
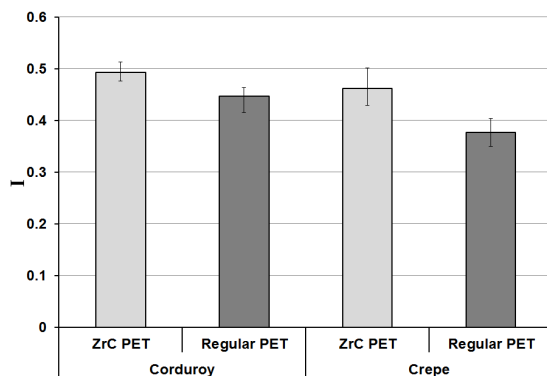


(b) Microscope

Figure 8. SEM and Microscope photograph of ZrC imbedded PET

### 3.4. 탄화지르코늄 함유 니트의 축열/발열 특성

Figure 9는 탄화지르코늄 함유 PET 니트소재와 레귤러 PET 니트 소재의 신체 접촉시 순간적인 최대 열유동량( $Q_{max}$ )과 보온율(I)을 나타낸 것이다. Figure 9(a)에서 볼 수 있듯이 탄화지르코늄 함유 PET 니트소재가 레귤러 PET 니트소재보다  $Q_{max}$  값이 Corduroy, Crepe 조직 모두 낮은 값을 보여 니트소재를 통해 빠져나가는 인체의 열유동량이 PET 사 내에 함유되어 있는 탄화지르코늄의 축열성에 의해 적음을 예측할 수 있다. 또한 Figure 9(b)에서 보온율은 탄화지르코늄 함유 PET 니트소재가 레귤러 PET 니트소재보다 Corduroy, Crepe 조직 모두 높은 값을 나타내어 탄화지르코늄의 축열특성을 확인 할 수 있었다.

(a)  $Q_{\max}$ 

(b) I

Figure 9. Thermal property of ZrC imbedded and regular PET knitted fabrics

Figure 10은 탄화지르코늄 함유 PET 니트소재와 레귤러 PET 니트소재의 열전도도를 나타낸 것이다.

Corduroy와 Crepe 조직 모두 탄화지르코늄 함유 PET 니트소재의 열전도도가 높은 값을 보였다. 이는 탄화지르코늄의 열전도도가 일반 레귤러 PET 보다 매우 높은 값을 가지며, 따라서 탄화지르코늄을 함유한 PET 니트소재의 열전도도가 레귤러 PET 니트소재보다 높은 값을 보였다.

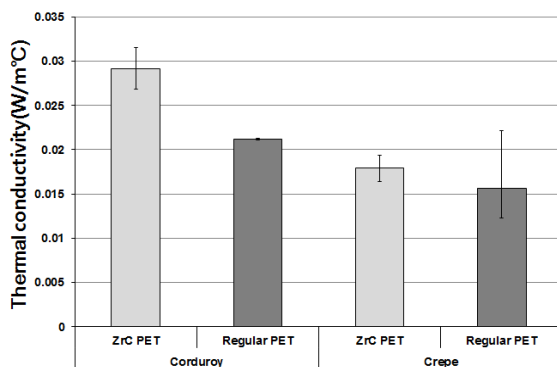
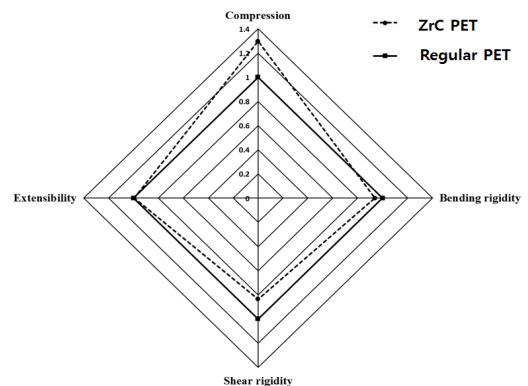


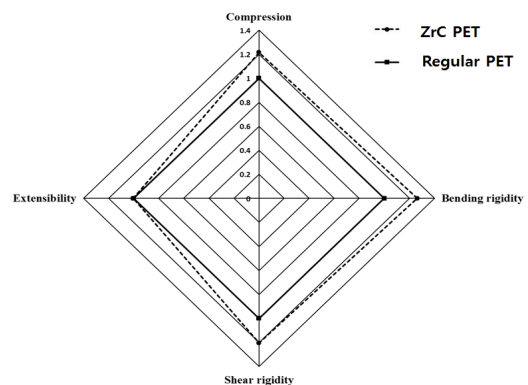
Figure 10. Thermal conductivity of ZrC imbedded and regular PET knitted fabrics

### 3.5. 탄화지르코늄 함유 니트의 역학특성

Figure 11은 탄화지르코늄 함유 니트의 역학특성을 보인 것이다. 레귤러 PET 니트 소재의 역학량을 기준으로 탄화지르코늄 니트소재의 상대적인 값을 비교하였다. Corduroy 조직에서 니트 lateral 방향의 압축성(compression)은 레귤러 제품 대비 탄화지르코늄 니트가 더 큰 값을 가져 촉감특성이 더 우수한 결과를 보였다. 탄화지르코늄이 필라멘트 내부에 나노 스케일로 혼입되므로서 원적외선 축열특성을 위해 탄화지르코늄이 혼입 되더라도 촉감 특성을 저하시키는 영향은 없음을 확인하였다. 니트의 길이 방향의 신축성(extensibility)에서는 두 소재가 큰 차이가 없었으며, 굽힘강성과 전단강성은 탄화지르코늄 니트소재가 더 낮은 값을 보여 부드러운 촉감을 가짐을 확인하였다. 그러나 crepe 조직에서는 굽힘강성과 전단강성이 corduroy 조직과 다르게 탄화지르코늄 니트 소재가 더 높은 값을 보이므로서 딱딱한 촉감을 보여 니트소재의 조직에 따른 역학



(a) Corduroy



(b) Crepe

Figure 11. Mechanical property of ZrC imbedded and regular PET knitted fabrics



량 변화를 확인하였다. 이러한 corduroy 조직의 역학량 변화는 Figure. 2에서 볼 수 있듯이 loop 형상과 wale, course의 교차점이 명확하지 않아 원사의 x mr성보다 니트 조직의 효과가 원단의 역학특성에 더 큰 영향을 주어 crepe 조직과는 다른 굽힘강성과 전단강성을 가지는 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

감성의류용 직·편물 소재에 많이 적용되는 축열/발열 소재 개발에 적용한 탄화지르코늄 함유 PET 소재의 원적외선 방출 특성을 연구한 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 1) EDS 원소 분석 결과, Zr 함량이 19.29% 함유된 탄화지르코늄 함유 PET 원사에서 FT-IR을 사용하여 원적외선 방출특성 분석을 통해 5-20 $\mu$ m 파장 영역에서 방사에너지 3.65 x 10<sup>2</sup>W/m<sup>2</sup>, 방사율 0.906을 확인하였다.
- 2) 탄화지르코늄 함유 PET POY의 제직성 및 촉감이 우수한 가공사(DTY) 공정조건은 draw ratio 1.65, 히터온도 190 $^{\circ}$ C, 속도비 1.75였으며 이 조건에서 DTY의 인장강신도 특성이 가장 우수하였다. 습·건열 수축률이 49.45%와 46.03%로 매우 높은 열 수축률을 보였으며 염가공 공정에서 공정수축율과 세탁시 열수축에 주의가 요구되었다.
- 3) 탄화지르코늄 함유 축열 PET 니트소재의  $Q_{max}$ 는 레귤러 PET보다 낮은 값을 보였으며, 보온을 결과로는 더 높은값을 보여, 축열/보온성을 확인할 수 있었다.
- 4) 탄화지르코늄 함유 축열 PET Corduroy 니트소재의 역학특성을 레귤러 PET 소재와 비교한 결과 압축탄성이 더 높은 값을 보였고, 굽힘강성과 전단강성은 더 낮은 값을 보여 더 부드러운 촉감특성을 나타냈으나 Crepe 조직에서는 다소 stiff한 촉감을 보였다.

#### REFERENCES

- Bahang, G. W., & Lee, J. D. (2013). Development of heat-generating polyester fiber harnessing catalytic ceramic powder combined with heat-generating super microorganisms, *Text. Res. J.*, 84(11), 1-11.
- Beak, W. H. (2001). Review : Optimal Hyperthermic Effect of Spectral Characteristic of Far - infrared Radiation Ceramics, *Fashion & Tex. Res. J.*, 3(3), 195-199.
- Furata, T., Shimizu, Y., & Kondo, Y. (1996). Evaluating the temperature and humidity characteristics of solar energy absorbing and retaining fabric, *Text. Res. J.*, 66(3), 123-130.
- Hong, S. Y., Lee, C. H., & Kim, J. Y. (2013). Fabrication of Ceramic Particles Deposited Nano-web using Electrospinning Process and Its Far-infrared Ray Emission Property, *Textile coloration and finishing.*, 22(2), 118-122.
- Kim, H. A., & Kim, S. J. (2010). Far-Infrared emission characteristics of germanium included fabrics for emotional garment, *Korean Journal of the Science of emotion & sensibility.*, 13(4), 687-692.
- Kwon, O. K. (2007). Heat delivery mechanism of textile products and development trend of warmth keepability unctionalized product. Textopia, Retrieved October 20, 2014. <http://textopia>
- Kim, S. J. (1997). Polyester data related to physical property. 148-152, RRC in Yeungnam University.
- Lin, C. M, & Chang C. W. (2008). Production of thermal insulation composites containing bamboo charcoal. *Text. Res. J.*, 78(7), 555-560.
- Oğlakcioğlu, N., & Marmarali, A. (2007). Thermal comfort properties of some knitted structures. *Fibers & Textiles in Eastern Europe* January/December., 15(5-6), 64-65.
- Shim, M. H., Park, C. H., & Shim, H. S. (2014). Effect of ceramics on the physical and thermo-physiological performance of warm-up suit, *Textile Research Journal.*, 79(17), 1557-1564.
- Yeo, S. Y., Lee, D. H., & Kim, E. A. (1998). Far IR emission and thermal properties of ceramics coated Nylon fabrics, *J. Korean Soc. Clothing textiles.*, 22(4),

515-524.

- Yoo, H. H., Kim, Y. H., Cho, H. T., Shim, H. J., and Lee, K. B. (1993). Improvement of warmth retaining property of water vapor permeable/waterproof coated Nylon fabric, *J. Korean Fiber Soc.*, 30(3), 250-258.
- 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: 2015.02.05

수정접수: 2015.03.11

게재확정: 2015.03.11