

## 원적외선 방출 특성을 갖는 나노 웹의 제조 및 원적외선 방사 특성에 관한 연구

홍소야 · 이창환 · 김주용<sup>†</sup>

승실대학교 유기 신소재 · 파이버 공학과

## Fabrication of Ceramic Particles Deposited Nano-web using Electrospinning Process and Its Far-infrared Ray Emission Property

Soya Hong, Changhwan Lee and Jooyong Kim<sup>†</sup>

Department of Organic Materials and Fiber Engineering, Soongsil University

(Received: February 24, 2010/Revised: April 7, 2010/Accepted: June 7, 2010)

**Abstract**— The interest in textile which has far-infrared ray emissive property has been increased in the field of biophysics and medicine. In this study, far-infrared ray emissive polyurethane nano-web was obtained using electrospinning of polyurethane(PU) solution mixed with ceramics powder and far-infrared ray emissive properties of nano-web were evaluated by measuring far-infrared ray emission power and emissivity(%). To investigate the influence of concentration of ceramics powder in PU solution and temperature for far-infrared ray emissive properties, far-infrared ray emissivity was measured at varied temperature using various nano-web including varied concentration of ceramics powder. Polyurethane nano-web was characterized by SEM to observe the deposition of ceramics powder on polyurethane nano-web surface. The far-infrared ray emissivity was increased with the concentration of ceramics powder in the nano-web. The far-infrared ray emission power was enhanced with increasing temperature of the samples; however, far-infrared ray emissivity was decreased with increasing temperature because the increase of emission power of ceramic containing nano-web was lower than the emission power of black body one.

**Keywords:** ceramics, far-infrared ray, polyurethane nano-web, electrospinning, far-infrared ray emission power, far-infrared ray emissivity

## 1. 서 론

최근 들어 원적외선 방사 특성의 무기 입자나 금속 분말을 섬유에 혼입하여 착용 중 인체에 원적외선을 방출하는 건강 기능성 의류나 침장류들이 고부가가치 섬유제품으로 주목을 받고 있다<sup>1,2)</sup>. 원적외선은 물체에 흡수되어 열작용을 하는 열선이다. 원적외선을 받은 물질은 물질내의 원자 간의 진동과 회전운동을 하게 되며 이것이 열로 전환되므로 물체의 가열·건조, 열처리 등에 이용되어 왔고 최근에는 섬유제품을 비롯하여 여러 분야에 응용되고 있다. 의복 소재로서 인체에서 방사되는 원적외선을 이용한 보온 효과란 인체로부터 나오는 원적외선 방사 에너지를 의복에 흡수시켜 의복의 온도를 상승시킴으로써 인체의복의 온도구배를 낮추어 인체의 열손실을 줄여주는 것을 의미한다. 이 경우 방

사체인 인체의 원적외선 파장특성과 흡수체인 의복의 원적외선 흡수특성을 가능한 일치시켜야 한다. Wien의 변위칙(Wien's Displacement Law)에 의하면 절대온도 T의 온도를 갖는 물체를  $\lambda_m=2897/T$ 로 주어지는 파장이 주로 방사되므로 37°C의 평균 피부 온도를 갖는 사람의 경우  $2897/(37+273)$ 로서 약 9.35 $\mu$ m의 방사 파장을 갖게 되며 이 파장대에서 인체는 최고의 방사 능력과 흡수 능력을 갖게 된다. 그리고 세라믹스 분말도 인체가 흡수방사율이 매우 크기 때문에 인체에서 발생하는 원적외선을 흡수하여 재방사함으로써 보온효과가 큰 의복환경을 만들 수 있다<sup>3-8)</sup>.

나노섬유란 엄밀한 의미에서 보면 1nm에서부터 100nm의 직경을 가진 섬유를 말하나 섬유 산업에 있어서 이러한 섬유의 용도가 극히 제한적이기 때문에 나노섬유란 마이크로(micro)섬유

<sup>†</sup>Corresponding author. Tel.: +82-2-820-0631; Fax.: +82-2-817-8346; e-mail: jykim@ssu.ac.kr

와의 차별화를 위하여 섬유의 직경이 1 $\mu$ m이하의 섬유를 지칭하며, 하나의 고분자사슬이 집합하여 나노섬유가 되고, 최종형태가 섬유, 박막, 부직포가 되는 매우 광범위한 가공기술로 얻어진다. 나노 섬유의 제조기술은 섬유직경이 나노 크기인 섬유를 직접 제조하는 것으로 복합방사, 부직포 방사 및 직접방사 등의 방법을 통하여 제조할 수 있다.

섬유의 크기를 나노 크기로 제어함으로써 기존의 기능을 크게 향상시킬 수 있고, 의류용뿐만 아니라 필터, 에너지 저장소재 및 의료용 까지 그 용도를 넓혀 가고 있다<sup>9,10</sup>.

본 연구에서는 고효율 원적외선 방사체인 Cordierite와 Platinum photon 파우더를 고분자 용액 내에 혼입한 뒤 전기 방사하여 원적외선을 방출하는 헬스 케어형 나노 웹의 제조를 하였다. 또한 고분자 용액 내에 혼입되는 세라믹스 파우더의 농도와 시료의 온도에 따른 원적외선 방사특성을 조사하였다.

## 2. 실험

### 2.1 무기입자 혼입 고분자 나노 웹의 제조

본 연구에서 사용할 Polyurethane(PU) 나노 웹을 제조하기 위해 SK Chemical Co.에서 제공받은 PU Chip을 dimethylformamide(DMF, 99%, Samchun Pure Chemical Co.)와 methyl ethyl ketone(MEK, 99%, Samchun Pure Chemical Co.)에 녹여 만든 용액(15 wt%)을 준비한 뒤, (주) 영우에서 제공받은 Cordierite 분말과 Rainbow Co.에서 제공받은 Platinum Photon<sup>®</sup> 분말을 1 wt%, 3 wt%, 5 wt% 혼입하고 상온에서 3시간 교반하여 균일한 용액 제조 후 나노섬유를 제조하였다.

전기방사 시 고전압 발생기(AU-100R6, Matsusada, Japan)를 사용하여 14kV의 전압을 인가하였고, 온도 25 $\pm$ 2( $^{\circ}$ C), 습도 37 $\pm$ 2(%RH), 방사거리 15 cm, 토출량 0.8 (ml/hr)로 하여 시료 당 4 시간 방사하였다. 전기방사조건은 Table 1로 정리하였다.

### 2.2 분석 장비

#### 2.2.1 나노 웹의 표면 구조분석

PU 나노 웹에 흡착된 무기입자의 흡착 특성을 알아보기 위해 주사전자현미경(JEOL, JSM-6360, Japan)을 사용하여 관찰하였다.

Table 1. Electrospinning conditions

Voltage (kV)	14
Temperature ( $^{\circ}$ C)	25 $\pm$ 2
Humidity (%RH)	37 $\pm$ 2
Spinning distance (cm)	15
Solution flow rate (ml/hr)	0.8
Spinning time (hr/sample)	4

### 2.2.2 원적외선 방사율(Emissivity)

써모파일을 이용한 원적외선 방사량 측정기를 이용하여 써모파일 센서 주파수 대역폭 내에서의 원적외선 방사량(Emissive Power)을 측정하는 방법을 통해 무기입자가 혼입된 PU 나노 웹의 원적외선 방사량을 측정한 뒤 흑체의 원적외선 방사량에 대한 시료의 원적외선 방사량 비를 통해 원적외선 방사율(Emissivity)을 구하였다.

원적외선 방사율 측정 시 시료의 표면 온도를 30 $^{\circ}$ C, 50 $^{\circ}$ C, 70 $^{\circ}$ C로 다양하게 하여 온도에 따른 원적외선 방사특성을 비교 분석하였다.

원적외선 방사율(Emissivity)은 다음과 같이 계산되었다.

$$\text{Emissivity}(\%) = \frac{E_{\text{Sample}}}{E_{\text{Black body}}} \times 100$$

이 때,  $E_{\text{Sample}}$ 은 시료의 원적외선 방사량(W/m<sup>2</sup>)이며,  $E_{\text{Black body}}$ 는 흑체의 원적외선 방사량(W/m<sup>2</sup>)이다.

## 3. 결과 및 고찰

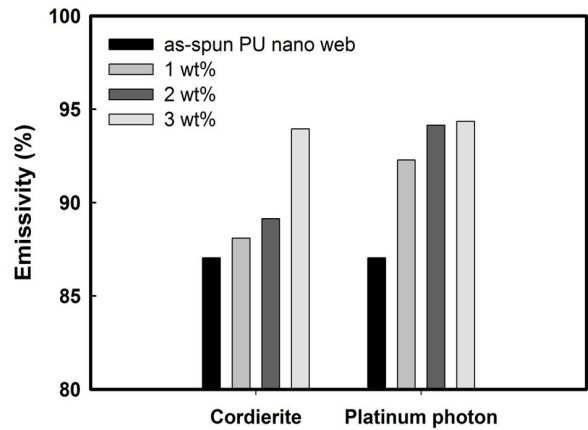
### 3.1 무기입자에 따른 원적외선 방사특성

무기 입자의 종류 및 혼입 농도에 따른 원적외선 방사 특성을 알아보기 위해 Cordierite와 Platinum Photon<sup>®</sup> 분말이 각각 1 wt%, 3 wt%, 5 wt%의 농도로 혼입된 Polyurethane 나노 웹을 이용하여 50 $^{\circ}$ C에서 원적외선 방사율을 측정한 결과를 Table 2와 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 확인 할 수 있듯이 Cordierite와 Platinum Photon<sup>®</sup> 분말 모두 혼입 농도가 높아짐에 따라 원적외선 방사량이 증가 하는 것을 볼 수 있는데 Cordierite 분말의 경우에는 1 wt%, 3 wt%, 5 wt%의 분말 혼입에 의해 약 1.10 %, 2.00 %, 6.95 wt%의 원적외선 방사율이 증가되는 반면

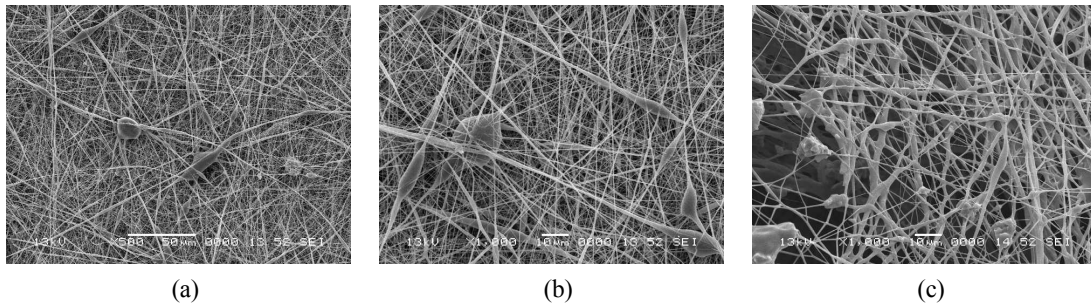
**Table 2.** Emissive power and emissivity of polyurethane nano web including ceramics powder at 50°C

Conc. of Ceramics in Solution	Cordierite		Platinum Photon <sup>®</sup>	
	Emissive Power (W/m <sup>2</sup> )	Emissivity (%)	Emissive Power (W/m <sup>2</sup> )	Emissivity (%)
0 wt%	417	87.06	417	87.06
1 wt%	422	88.10	442	92.28
3 wt%	427	89.14	451	94.15
5 wt%	450	93.95	452	94.36

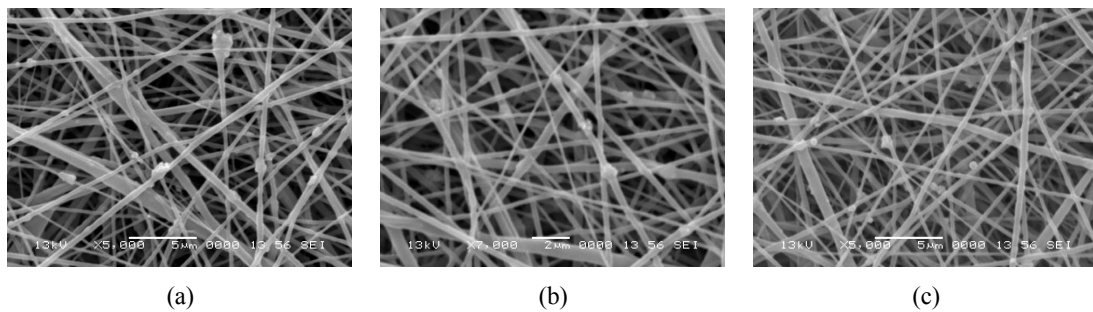
\*Emissive power of black body at 50°C = 479 W/m<sup>2</sup>



**Fig. 1.** Far-infrared ray emissivity of as-polyurethane nano-web and polyurethane nano-web including ceramics powder.



**Fig. 2.** SEM images of Cordierite/PU nano-web electro spun using PU solution including Cordierite powder of (a) 1 wt%, (b) 3 wt%, (c) 5 wt%.



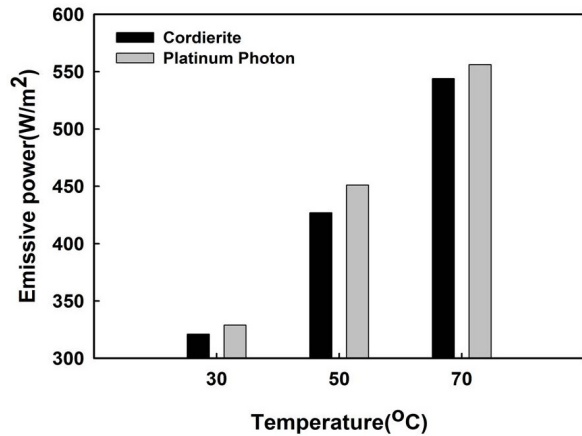
**Fig. 3.** SEM images of Platinum Photon<sup>®</sup>/PU nano-web electro spun using PU solution including Platinum Photon<sup>®</sup> powder of (a) 1 wt%, (b) 3 wt%, (c) 5 wt%.

Platinum Photon<sup>®</sup>의 경우에는 각각 5.17 %, 7.09 %, 7.10 %의 원적외선 방사율이 증가됨을 확인 할 수 있다. 따라서 Platinum Photon<sup>®</sup> 분말을 혼입하는 경우 Cordierite 분말에 비해 적은양의 분말 혼입으로 높은 원적외선 방출특성을 갖는 나노 웹의 제조가 가능한 것을 확인 할 수 있다. Cordierite와 Platinum Photon<sup>®</sup> 분말이 혼입된 나노 웹의 SEM 관찰결과를 Figs. 2, 3에 나타내었다. Figs. 2, 3에서 확인 할 수 있듯이 Cordierite 분말을 혼입하여 전기방사 하는 경우 나노 섬유

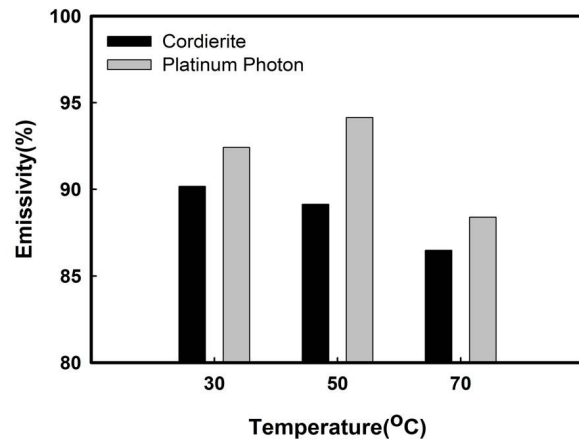
직경에 비해 크기가 큰 분말에 의해 안정적인 나노 웹의 형성이 어려우며, 또한 분말이 나노 웹의 표면에 흡착되기 보다는 고분자 용액에 의해 표면이 감싸져 있는 형태로 존재하는 경우를 많이 관찰 할 수 있었다. 이와는 다르게 약 300nm 정도의 직경을 갖는 Platinum Photon<sup>®</sup> 분말을 혼입하여 전기 방사하는 경우 전기방사를 통한 나노 웹 형성에 큰 영향을 미치지 않고, 미세한 크기의 분말들이 나노 섬유의 표면에 안정적으로 흡착이 되어 있는 것을 관찰 할 수 있다.

**Table 3.** Emissive power and emissivity of polyurethane nano web including 3 wt% of ceramics powder

Temperature (°C)	Black Body	Cordierite		Platinum Photon <sup>®</sup>	
	Emissive Power (W/m <sup>2</sup> )	Emissive Power (W/m <sup>2</sup> )	Emissivity (%)	Emissive Power (W/m <sup>2</sup> )	Emissivity (%)
30	356	321	90.17	329	92.42
50	479	427	89.14	451	94.15
70	629	544	86.49	556	88.39



**Fig. 4.** Far-infrared ray emissive power of as-polyurethane nano-web and polyurethane nano-web including ceramics powder.



**Fig. 5.** Far-infrared ray emissivity of as-polyurethane nano-web and polyurethane nano-web including ceramics powder.

Table 2에서 확인 할 수 있듯이 Polyurethane 나노 웹의 원적외선 방사율은 88.14 %로 무기 분말들에 비해 낮은 것을 확인 할 수 있다. 이것은 Polyurethane 섬유가 무기 분말들을 감싸게 되면 무기 분말의 원적외선 방사특성을 낮추는 작용을 할 수 있다는 것을 시사한다. 플라스틱 수지에 세라믹스를 혼합하여 사출한 제품이나 세라믹스를 혼합한 수지를 섬유에 도포 처리한 연구에서는 세라믹스가 들어가지 않은 제품과 세라믹스가 들어간 제품들의 방사율에 변화가 없었던 결과를 세라믹스들이 플라스틱 수지로 코팅되었기 때문으로 해석하였다<sup>1,2)</sup>. 따라서 고분자 용액에 의해 표면이 감싸진 형태로 섬유형성이 된 Cordierite 분말 혼입 나노 웹의 경우 혼입량이 적은 경우 Platinum Photon<sup>®</sup> 분말 혼입 나노 웹에 비해 낮은 원적외선 방사율을 갖는다.

### 3.2 온도에 따른 원적외선 방사특성

Cordierite 분말과 Platinum Photon<sup>®</sup> 분말이 각각 3 wt% 혼입된 나노 웹의 온도별 원적외선 방사 특성을 알아보기 위해 시료의 표면 온도를 각각 30°C, 50°C, 70°C로 하여 측정된 원적외선

방사량과 방사율을 비교 분석하여 Table 3과 Figs. 4, 5에 나타내었다. Table 3과 Fig. 4에서 확인 할 수 있듯 두 세라믹 분말을 함유한 나노 웹 모두 온도가 높아질수록 원적외선 방사량이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 Fig. 5에서와 같이 원적외선 방사율의 경우에는 온도가 증가할수록 감소하는 것을 확인 할 수 있는데, 이는 온도가 높아질수록 원적외선 방사특성이 감소하는 것이 아니라 온도에 따른 세라믹 분말 함유 나노 웹의 원적외선 방사량 증가율이 흑체(Black body)의 원적외선 방사량 증가율에 못 미치기 때문인 것으로 원적외선 방사특성 자체가 저하되는 것을 의미 하지는 않는다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 헬스케어용 원적외선 방출 나노 웹의 제조를 위해 고분자 용액 내에 원적외선을 방출하는 세라믹스를 혼입하여 전기방사함으로써 원적외선 방출 특성을 갖는 나노 웹을 제조 하였다. 세라믹스의 종류와 혼입 농도에 따른 원적외선 방출 나노 웹의 원적외선 방사 특성을 알아보기 위해 세라믹스의 종류 및 혼입

농도를 다르게 하여 제조한 나노 웹의 원적외선 방사량 및 방사율을 측정하고, 원적외선 방출 나노 웹의 사용온도에 따른 원적외선 방사 특성을 알아보기 위해 시료의 표면온도를 다르게 하여 원적외선 방사량 및 방사율을 측정함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Polyurethane 고분자 용액 내에 Cordierite와 Platinum Photon<sup>®</sup> 분말을 1~3 wt%가량 혼입하여 14 kV 전압을 인가하여 전기 방사함으로써 원적외선 방출 나노 웹의 제조가 가능하였다.
2. 세라믹스 분말의 혼입 농도가 높아짐에 따라 원적외선 방사량 및 방사율이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다.
3. Platinum Photon<sup>®</sup> 분말의 경우 Cordierite 분말에 비해 입자의 사이즈가 작아 전기방사를 통한 나노 웹의 제조가 용이하며 표면에 드러나는 세라믹스의 양이 많아 높은 원적외선 방사량과 방사율을 갖는 나노 웹의 제조가 가능하였다.
4. Platinum Photon<sup>®</sup> 분말과 Cordierite분말이 혼입된 나노 웹 모두 온도가 증가할수록 높은 에너지의 원적외선을 방출한다.

### 감사의 글

이 논문은 숭실대학교 교내 학술연구지원에 의해 연구되었음.

### 참고문헌

1. S. Y. Kim, Y. Kim, K. T. Kwon, and T. H. Kim, Effect of Far Infrared Rays Emitted from the Calcined Ceramics on Ethylene Production in Mungbean Hypocotyls, *Journal of Plant Biology*, **41**(4), 298-303(1998).
2. C. M. Lin, Y. T. Huang, Y. -T. Yao, and C. H. Lin, “Manufacturing Process and Properties

Evaluation of Anti Electromagnetic/Far Infrared Ray for Complex Nonwoven”, Proceedings of the 10<sup>th</sup> Asian Textile Conference ATC-10, Ueda, Japan, 2009.

3. X. Fu and D. D. L. Chung, Submicron-Diameter-Carbon-Filament Cement-Matrix Composite, *Carbon*, **36**, 459-462(1998).
4. P. W. Chen and D. D. L. Chung, Improving the Electrical Conductivity of Composites Comprised of Short Conducting Fibers in a Non-Conducting Matrix: the Addition of a Non-Conducting Particulate Filler, *J. Electron. Mater.*, **24**, 47-51(1995).
5. D. D. L. Chung, Electrical Conduction Behavior of Cement-Matrix Composites, *J. Mater. Eng.*, **11**, 194-204(2002).
6. X. Fu, W. Lu and D. D. L. Chung, Improving the Bond Strength between Carbon Fiber and Cement by Fiber Surface Treatment and Polymer Addition to Cement Mix, *Cement and Concrete Research*, **26**, 1007-1012(1996).
7. X. Fu and D. D. L. Chung, Submicron Carbon Filament Cement-Matrix Composites for Electromagnetic Interference Shielding, *Cement and Concrete Research*, **26**, 1467-1472(1996).
8. B. V. Karlekar and R. M. Desmond, “Heat transfer(2nd Ed.)”, West Publishing Co., 1982.
9. M. M. Demir, Electrospinning of Polyurethane Fibers, *Polymer*, **43**, 3303-3309(2002).
10. K. Kim, C. Lee, I. W. Kim, and J. Kim, Performance Modification of a Melt-Blown Filter Medium via an Additional Nano-Web Layer Prepared by Electrospinning, *Fibers and Polymers*, **10**, 60-64(2009).