



## PU 나노웹 기반 전기전도성 텍스타일의 개발 및 스마트의류용 신호전달선으로의 적용 가능성 탐색

장은지 · 조길수<sup>†</sup>

연세대학교 의류환경학과

### Development of PU Nanoweb Based Electroconductive Textiles and Exploration of Applicability as a Transmission Line for Smart Clothing

Eunji Jang and Gilsoo Cho<sup>†</sup>

Dept. of Clothing & Textiles, Yonsei University; Seoul, Korea

**Abstract** : The purpose of this study is to develop the electroconductive textiles based on polyurethane(PU) nanoweb and to explore that it is applicable to smart clothing. The electroconductive textiles developed by coating 2.0 wt% aqueous dispersed non-oxidized graphene paste on the surface of PU nanoweb. The fabricated electroconductive nanoweb was applied as a transmission line to connect the LED lamp, and the brightness of the LED lamp was measured to confirm its performance. The nanoweb transmission line was fixed by two methods(seam sealing tape, embroidering) to connect the LED lamp and AA batteries. The results as follows, the brightness of the LED lamp fixed with seam sealing tape was about 82 lux, and which fixed with embroidering was about 57 lux. It represents that the nanoweb transmission line which fixed with the seam sealing tape has better electrical signal transmitting because the lux value higher than the one fixed by embroidering. In order to compare the performance of the nanoweb transmission line and the metal wire, we connected the LED lamp with copper wire. The brightness of copper wire connected LED lamp was about 193 lux. Although the electrical signal strength of the nanoweb transmission line was weaker than the copper wire, it was reachable to operate LED lamp. The results of this study will provide a basic data to develop the textile based electronic devices, and conducting wire for smart clothing.

**Key words** : nanoweb (나노웹), electroconductive textiles (전기전도성 텍스타일), smart clothing (스마트의류), transmission line (신호전달선), Information and Communication Technology(ICT) (정보통신기술)

## 1. 서 론

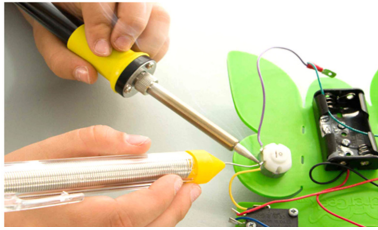

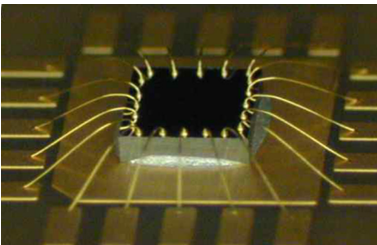

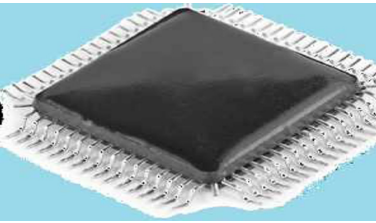




ICT(Information and Communication Technology)기술의 발전으로 스마트 기기의 사용이 보편화되었고, 스마트 기기는 스마트폰에서 스마트밴드, 스마트워치, 구글 글래스, 스마트의류 등 점차 웨어러블한 형태로 진화하고 있다. 이 중에서도 스마트의류는 일반적인 의복 형태로 구현되어 웨어러빌리티(wearability)가 뛰어나 미래 일상에서 사용 가능성이 높을 것으로 주목받고 있다(Cho & Cho, 2007; Cho, 2007). 최근 스마트의류는 옷에 전자장치를 장착(on-cloth)하는 형태로 개발되고

있지만, 향후 2030년대에는 전자장치의 기능이 의류에 내장(in-cloth)된 형태의 스마트의류가 개발될 것으로 예상되고 있다(Park & Kim, 2013). 전자장치 기능이 의류에 내장된 형태의 스마트의류를 개발하기 위해서는 직물의 특성과 전기적 성질을 동시에 갖는 전기전도성 소재의 개발이 필요하다(Cho et al., 1998; Cho et al., 2008; Jang et al., 2017). 전기전도성 소재는 섬유, 실, 직물 등의 텍스타일 단계에서 센서, 신호전달선, 회로 등을 구현한 것으로 의류 고유의 속성인 유연성, 심미성 등을 유지하면서 각종 신호의 감지와 구동 기능을 수행할 수 있어야 한다(Park, 2014). 의류 내에서 각종 전자소자를 구동하기 위해서는 안정적인 전기적 성능과 더불어 내구성과 착용감이 고려된 전기전도성 소재의 개발이 필요하다. 또한 의류 내에서 전자구동 시스템을 구현하기 위해서는 전기전도성 소재의 개발과 더불어 의류와 전자소자를 효율적으로 연결할 수 있는 인터커넥션 기술이 필요하다. 의류와 전자소자를 연결할 수 있는 인터커넥션 방법에는 솔더링(soldering), 웰딩(welding), 와이어본딩(wire-bonding), 플랫케이블(flat cable), 몰딩(molding), 프린

<sup>†</sup>Corresponding author; Gilsoo Cho  
Tel. +82-2-2123-3104, Fax. +82-2-312-8554  
E-mail: gscho@yonsei.ac.kr

© 2018 (by) the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Interconnection technology for smart clothing

		
<p><a href="http://farhek.com/">http://farhek.com/</a></p>	<p><a href="http://medalistllc.com/">http://medalistllc.com/</a></p>	<p><a href="https://www.quora.com/">https://www.quora.com/</a></p>
<p>Soldering</p>	<p>Welding</p>	<p>Wire-Bonding</p>
		
<p><a href="http://AliExpress.com/">http://AliExpress.com/</a></p>	<p><a href="https://www.aitechnology.com/">https://www.aitechnology.com/</a></p>	<p><a href="https://www.hightechdad.com/">https://www.hightechdad.com/</a></p>
<p>Flat Cable</p>	<p>Molding</p>	<p>Printing</p>
		
<p><a href="https://www.pressebox.com/pressrelease/">https://www.pressebox.com/pressrelease/</a></p>	<p><a href="https://www.robotistan.com/">https://www.robotistan.com/</a></p>	<p><a href="https://www.migelatina.com/">https://www.migelatina.com/</a></p>
<p>Bonding</p>	<p>Embroidering</p>	<p>Snap</p>

팅(printing), 본딩(bonding), 엠브로이더링(embroidering), 스냅(snap) 등이 있다(Table 1). 이 중 솔더링은 납을 이용하여 전자소자를 접합시키는 방법으로 피부에 접촉되는 경우 인체에 유해하여 사용을 삼가고 있다. 웰딩이나 와이어본딩은 금속와이어를 열, 초음파 등으로 고정하는 것이며, 플랫케이블은 전자소자밴드를 제작하여 커넥터를 부착시키는 방법이다. 몰딩은 각종 전자소자를 패키징하여 옷에 연결하는 방법으로 의복의 착용감과 쾌적성을 저해시키지 않는 크기와 형태로 제작하여야 한다(Cho, 2006). 이러한 기술들은 전자제품 또는 반도체 공정 등에 사용하던 방법으로 의류에 적용 시 심미성, 착용성 등이 저하되는 단점을 가지고 있다. 그러나 프린팅, 본딩, 엠브로이더링, 스냅 등은 의류 제작에 흔히 사용되었던 기술로 전자소자의 연결뿐만 아니라 심미성 부여나 의류 기능성 향상에도 유리한 장점을 가지고 있다. 프린팅 방법은 회로를 다양한 패턴으로 프린트할 수 있으며, 본딩은 심실링테이프와 같은 접착 물질을 이용하여 전자소자를 고정하는 것으로 의류의 방수성능도 함께 향상시킬 수 있다. 또한 엠브로이더링 방식은 자수를 통해 다양한 디자인을 구현할 수 있으며, 의류 부자재인 스냅은

커넥터로 활용하면 손쉽게 부품 탈착이 가능하다.

본 연구에서는 인터커넥션 기술 중 심실링테이프와 엠브로이더링 방식을 이용하여, 전기전도성 텍스타일을 신호전달선으로 적용해보고자 하였다. 신호전달선으로 사용할 전기전도성 텍스타일을 제작하기 위해 형태 및 구조적인 특성으로 경량성, 유연성, 미세다공성, 신축성 등을 가지고 있는 폴리우레탄(polyurethane, 이하 PU) 나노웹(Jeong et al., 2013)과 인체 친화적인 전도성 물질로 주목받고 있는 그래핀을 이용하였다. 제작한 시료를 신호전달선으로 적용하기 위해 Cho and Jeong (2013)의 연구에서 제시된 스마트의류용 신호전달선으로 사용 가능한 비저항값 기준에 따라 약  $10^{-1} \sim 10^1 \Omega \cdot \text{cm}$ 의 비저항값을 가지는 시료를 선택하였다(Table 2). 선택한 시료의 신호전달선으로써의 사용 가능성을 살펴보기 위해 LED 램프를 연결하여 인터커넥션 방법에 따른 조도값의 차이를 측정하였다. 또한 기존 구리도선으로 연결한 LED 램프의 조도값과의 차이를 통해 전기신호전달 성능을 비교하였다. 본 연구의 결과는 향후 착용감이 향상된 스마트의류 제작에 필요한 텍스타일 기반의 전자장치, 배터리, 신호전달선 등의 개발에 기초자료로 활용

**Table 2.** Usage of electroconductive textiles by specific resistance value (Cho et al., 2013)

Specific resistance ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	Product	Usage
$10^5 \sim 10^8$	Dust-free clothing	Discharge prevention
	Car sheet	Electric shock protection
	Glove	Prevent of flammable explosion
	Carpet	Noise prevention
$10^2 \sim 10^5$	Working clothing	Prevent of flammable explosion
	Electric conduction clothing	Prevent of electrostatic induction disturbance
	Packing	Antistatic
$10^{-1} \sim 10^1$	Heating unit	Antifreeze
	Smart clothing	Transmission line

하고자 한다.

## 2. 실험

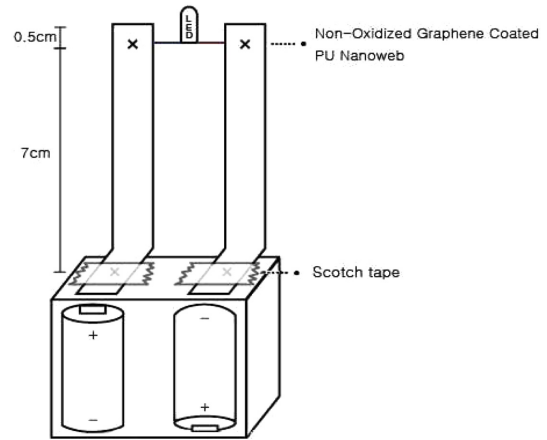
### 2.1. PU 나노웹 기반 전기전도성 텍스타일의 개발

본 연구에서는 원심용융방사법으로 제조된 PU 나노웹과 2.0 wt% 농도의 수분산 된 비산화그래핀 페이스트로 전기전도성 텍스타일을 개발하였다. Jang(2017)의 연구에 따라 PU 나노웹의 표면에 수분산 된 비산화그래핀 페이스트를 코팅하여 전기전도성 텍스타일을 제작하였다. 본 연구에서 사용한 PU 나노웹과 수분산 된 비산화그래핀 페이스트의 기본 특성은 Table 3과 같다.

### 2.2. 신호전달선으로의 적용

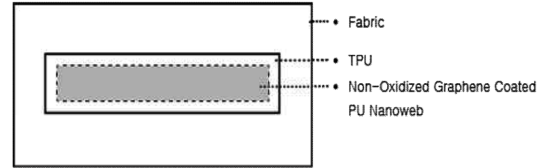
본 연구에서 제작한 수분산 된 비산화그래핀 페이스트로 코팅된 PU 나노웹을 신호전달선으로 사용하기 위하여 1cm×7cm 크기의 직사각형 형태로 재단하였다.

Fig. 1은 LED 램프에 그래핀 코팅된 PU 나노웹을 신호전달선으로 적용한 개요도이다. 그림과 같이 LED 램프의 (+)극과 (-)극을 각각 연결하기 위하여 직사각형 형태로 재단된 PU 나노웹 2개를 사용하였다. 한 쪽 끝에는 AA배터리의 (+)극과 (-)극을 각각 연결하기 위해 스카치테이프를 사용하였으며, 다른

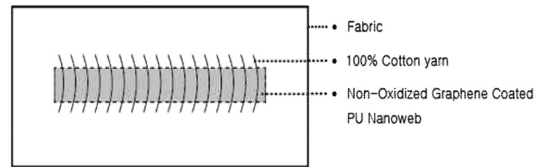


**Fig. 1.** Schematic of LED lamp connected with non-oxidized graphene coated nanoweb as a transmission lines.

쪽은 LED 램프의 (+)극과 (-)극을 연결하였다. 본 연구에서 개발된 나노웹 신호전달선으로 LED 램프와 배터리를 연결하고, 이를 고정하기 위해 TPU(thermoplastic polyurethane) 심실링테이프(seam sealing tape)를 이용한 방법과 엠브로이더링(embroidering) 방법을 이용하였다.



**Fig. 2.** Non-oxidized graphene coated PU nanoweb fixed by seam sealing tape.



**Fig. 3.** Non-oxidized graphene coated PU nanoweb fixed by embroidering (100% Cotton Yarn).

**Table 3.** Characteristic of the materials

<i>PU Nanoweb</i>	Fiber structure	Randomly oriented
	Typical fiber diameter	200-500 nm
	Fiber length	Continuous
	Physical form	Thin layer
	Web area density	0.5~20 g/m <sup>2</sup>
<i>Aqueous disperse Non-Oxidized graphene paste</i>	Contents	Graphene sheets, distilled water, a trace of additive
	Concentration	2.0 wt%
	Specific resistance	~1X 10 <sup>-2</sup> Ω·cm

Fig. 2은 심실링테이프를 LED 램프를 고정한 방법을 나타낸 것이며, 0.3mm 두께의 열부착성 TPU 심실링테이프를 이용하여 수분산 된 비산화그래핀 페이스트로 코팅된 PU 나노웹을 면 직물에 고정하였다. 이 때 LED 램프의 (+)극과 (-)극의 끝이 Fig. 1의 'x' 표시 부분에 위치하도록 고정하고, 나노웹 신호전달선의 그래핀코팅 면이 각 전극과 맞닿아 있도록 하였다. 나노웹 신호전달선 위에 TPU 심실링테이프를 덮은 후 열을 가하여 부착하였다.

Fig. 3는 엠브로이더링으로 LED 램프를 고정한 방법을 나타낸 것이며, 고정할 위치에 코팅된 PU 나노웹을 두고 100% 면사로 윗면을 엠브로이더링하여 면 직물에 고정하였다. 이 때 LED 램프의 (+)극과 (-)극의 끝이 Fig. 1의 'x' 표시 부분에 위치하도록 고정하고, 그래핀코팅 면이 각 전극과 맞닿아 있도록 한 후 면 직물에 촘촘하게 엠브로이더링하여 트랩(trap) 방식으로 나노웹 신호전달선을 가두어 고정하였다.

2.3. PU 나노웹의 표면분석

미처리 PU 나노웹과 수분산 된 비산화그래핀 페이스트로 코팅된 PU 나노웹의 표면차이를 분석하기 위하여 이온빔 단면 가공기(Cross Section Polisher, IB-19510CP)와 FE-SEM(Field Emission Scanning Electron Microscope, JEOL-7800F)을 사용하였다. 미처리 PU 나노웹과 수분산 된 비산화그래핀 페이스트로 코팅된 PU 나노웹 두 가지 시료의 표면분석 시 기계적 변형에 의한 영향을 최소화하기 위하여 시료를 이온빔 단면 가공기로 절단하였다. 시료의 절단된 단면을 FE-SEM으로 촬영하여 수분산 된 비산화그래핀을 코팅하기 전과 후의 PU 나노웹 표면차이를 관찰하였다.

2.4. PU 나노웹의 두께 측정

PU 나노웹에 수분산 된 비산화그래핀 페이스트를 코팅하기 전과 후의 두께 변화를 살펴보기 위해 디지털 캘리퍼스(digital calipers)를 사용하여 측정하였다. PU 나노웹 제조특성 상 시료의 두께가 불균일할 수 있으므로 세 곳을 임의로 선택하여 측정하였으며 측정된 데이터의 평균값을 산출하였다.

2.5. 그래핀 코팅된 PU 나노웹의 전기저항값 측정

수분산 된 비산화그래핀 페이스트로 코팅된 PU 나노웹의 전

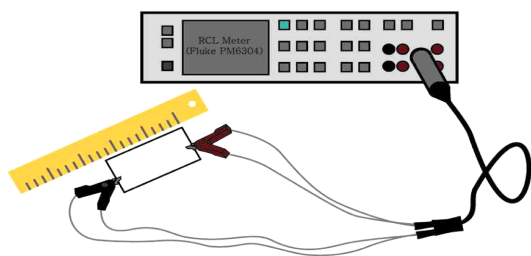


Fig. 4. Schematic of measuring electrical resistance.

기적 특성을 알아보기 위해 선 및 면 저항값을 측정하고, 이 값에 따라 비저항값을 산출하였다. 선 저항값은 RCL meter (Fluke PM6304)를 사용하여 측정하였으며, 측정 시 시료의 접촉 면적을 균일하게 하기 위해 Fig. 4와 같이 양 끝을 집게로 고정하여 측정하였다. 또한 그래핀 코팅된 PU 나노웹의 면 저항값은 표면저항측정기(CMT-SR1000N)를 사용하여 측정하였으며 코팅된 PU 나노웹의 접촉면을 임의로 세 번 설정하여 측정 후 평균값을 계산하였다. 이를 통해 얻은 데이터를 이용하여 면 저항값을 비저항값( $\Omega\text{-cm}$ , specific resistance)으로 환산하였으며 이 때 비저항값은 물질 고유의 저항으로 아래의 식에 따라 구할 수 있다.

$$\text{Sheet Resistance}(\Omega/\square) * \text{Specimen Thickness}(\text{cm}) = \text{Specific Resistance}(\Omega\text{-cm})$$

2.6. LED 램프의 조도값 측정

본 연구에서 개발한 나노웹 신호전달선의 성능을 확인하기 위하여 LED 램프를 이용하였다. 나노웹 신호전달선의 고정방법(심실링테이프, 엠브로이더링)에 따른 전기신호전달능력을 확인하기 위해 LED 램프 조도값을 측정하고 비교하였다. 또한 금속 신호전달선과 나노웹 신호전달선의 전기신호전달능력 비교를 위해 나노웹 신호전달선으로 연결한 것과 같은 LED 램프를 구리도선(copper wire)로 연결하고 각각의 조도값을 측정하여 비교하였다.

각각 LED 램프의 조도값을 측정하기 위해 조도계(digital light meter)를 사용하였으며, 외부 조도의 영향을 최소화하기 위해 Fig. 5와 같이 나무상자를 제작하였다. 20cm×20cm 크기 나무상자의 아랫면과 윗면을 제거하고, 윗면에 흑색 폴리에탄을 덮어 측정자의 손과 조도계만 넣을 수 있도록 자른 뒤 외부의 빛이 투과되지 않도록 하여 조도값을 측정하였다. 각각

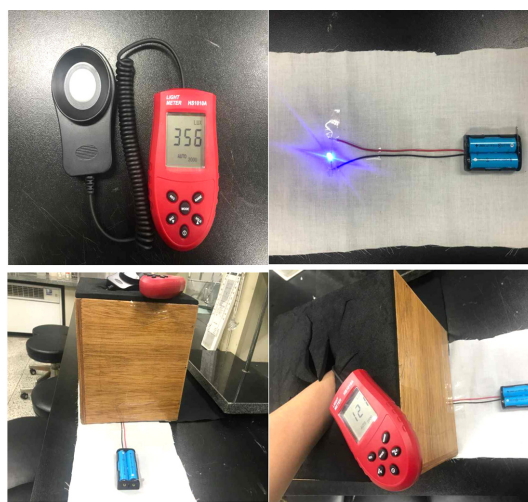


Fig. 5. Measuring of LED lamp consistency(lux).

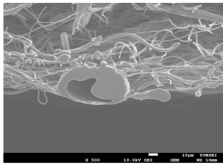


Fig. 6. Untreated PU nanoweb.

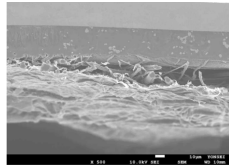


Fig. 7. Non-oxidized graphene coated PU nanoweb.

의 방법으로 고정된 나노웹 신호전달선과 구리도선으로 LED 램프를 연결하고 배터리 전원을 켜 후 나무상자로 덮어 외부의 빛을 차단한 상태로 조도값(consistency, lux)을 측정하였다.

### 3. 결과 및 논의

#### 3.1. PU 나노웹의 표면특성

Fig. 6은 미처리 PU 나노웹을 이온빔 단면 가공기로 절단한 후 단면을 FE-SEM으로 촬영한 이미지로 가느다란 나노섬유 가닥이 불규칙하게 배열되어 있음을 살펴볼 수 있다. 이러한 나노웹의 형태는 다수의 미세기공을 만들고, 비표면적이 넓게 형성되기 때문에 전도성 물질을 코팅하였을 때 전기전도성 부여에 유리한 구조를 가지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 PU 나노웹 표면에 수분산 된 비산화그래핀 페이스트를 코팅하고 이온빔 단면 가공기로 절단한 후 단면을 FE-SEM으로 촬영한 이미지로 미처리 PU 나노웹에서 나타났던 표면의 불규칙한 나노섬유들이 그래핀 시트로 덮여있음을 확인할 수 있다. 수분산 된 비산화그래핀을 PU 나노웹에 코팅 시, 구조적인 특성으로 형성되어 있는 나노섬유의 미세기공 틈으로 그래핀이 들어가 얽힌 형태로 불규칙하게 배열되어 있는 나노섬유 가닥의 표면이 코팅된다. 이처럼 얽힌 나노섬유의 가닥 표면이 각각 코팅되기 때문에 전기전도성이 부여된 비표면적이 넓다고 할 수 있다. 또한 PU 나노웹의 가장 바깥에 형성된 나노섬유 표면층은 나노섬유 가닥이 얽혀있는 내부보다 상대적으로 많은 양의 그래핀이 응집되므로 코팅이 완료된 후 그래핀의 자체적 성질로 인해 시트형태의 막으로 형성된다. 이는 수분산 된 비산화그래핀 페이스트가 나노섬유 내부로 침투하지 않고, 나노웹의 표면에 막을 형성하여 코팅되었음을 나타낸다.

#### 3.2. 그래핀 코팅된 PU 나노웹의 두께

수분산 된 비산화그래핀 페이스트를 코팅하기 전과 후 PU 나노웹의 두께변화를 관찰하기 위해 디지털 캘리퍼스를 사용하여 두께를 측정하였다. 이 때 임의로 설정한 세 부분의 PU 나노웹 두께를 측정하고 평균값을 산출하였다. 미처리 PU 나노웹은 약 0.19mm의 두께를 가지고 있었으며, 수분산 된 비산화

Table 4. Thickness of PU nanoweb (mm)

Untreated (Mean)	0.19mm
Non-oxidized graphene coated (Mean)	0.23mm

Table 5. Electrical resistance of non-oxidized graphene coated PU nanoweb

Non-oxidized graphene paste	
Specific resistance	0.01Ω·cm
Non-oxidized graphene paste coated PU nanoweb	
Linear resistance (Mean)	37Ω
Sheet resistance (Mean)	29.63Ω/□
Specific resistance (Mean)	0.6814Ω·cm

그래핀 페이스트가 코팅된 PU 나노웹의 경우 약 0.23mm의 두께를 가지고 있었다(Table 4).

#### 3.3. 그래핀 코팅된 PU 나노웹의 전기적 특성

2.0 wt% 농도의 수분산 된 비산화그래핀 페이스트가 표면에 코팅된 PU 나노웹의 전기적 특성을 알아보기 위해 선 저항, 면 저항을 측정하였으며 면 저항값의 평균과 코팅된 시료의 두께 값을 이용하여 비저항값을 산출하였다. PU 나노웹에 전기전도성을 부여하기 위해 사용한 비산화그래핀 페이스트는 약 10<sup>-2</sup> Ω·cm의 비저항값을 가지고 있다. 비산화그래핀을 코팅한 PU 나노웹의 선 저항값 평균은 37Ω으로 나타났으며, 면 저항값 평균은 29.63Ω/□로 나타났다. 면 저항값과 시료의 두께를 곱하여 비저항값을 산출한 결과 0.6814Ω·cm으로 나타났다(Table 5).

#### 3.4. LED 램프 조도값 비교

LED 램프 조도값을 측정하여 나노웹 신호전달선의 고정방법에 따른 차이를 관찰하고, 금속도선과의 성능비교를 위해 구리도선을 연결하였을 때의 조도값과 비교하였다. 각각 LED 램프의 조도를 측정한 결과 심실링테이프로 고정하였을 때는 약 82 lux의 조도값을 나타냈으며, 엠브로이더링 방법으로 고정하였을 때는 약 57 lux, 구리도선으로 연결하였을 때 193 lux의 조도값이 나타났다. 조도값에 따르면 심실링테이프 LED 램프를 고정하였을 때 엠브로이더링 방법을 이용한 것보다 신호가 더 잘 전달됨을 확인할 수 있었다. 그러나 심실링테이프는 한 번 부착한 후 재활용할 수 없는 단점을 가지고 있으며, 엠브로이더링 방식은 실을 제거한 후 손쉽게 회로를 재구성할 수 있는 장점이 있었다. 또한 나노웹 기반의 전기전도성 텍스타일은 LED 램프의 구동은 가능하나 기존 금속도선에 비해서는 전기신호전달성능은 떨어지는 것으로 나타났다(Table 6).

## 4. 결 론

본 연구에서는 PU 나노웹 표면에 수분산 된 비산화그래핀

Table 6. Consistency of LED lamp (lux)

Nanoweb transmission line (Fixed by seam sealing tape)	82 lux
Nanoweb transmission line (Fixed by embroidering)	57 lux
Copper wire	193 lux

페이스트를 코팅하여 전기전도성 텍스타일을 제작하고 스마트 의류용 나노웹 신호전달선으로써의 적용가능성을 탐색하였다. 제작한 나노웹 신호전달선의 성능을 확인하기 위해 LED 램프를 연결하였으며, 이 때 나노웹 신호전달선을 고정하기 위해 스마트의류 인터커넥션 기술 중 심실링테이프를 이용한 본딩방법과 자수를 이용한 엠브로이더링 방법을 이용하였다. 각각 LED 램프의 조도값을 살펴본 결과 심실링테이프로 고정한 경우 더 높은 조도값을 가져 엠브로이더링 방법으로 고정한 나노웹 신호전달선에 비해 나은 전기신호전달능력을 가지고 있음을 확인하였다. 그러나 심실링테이프 부착 시 한 번 구현된 회로를 재구성할 수 없고, 전자소자의 교체 또한 어려운 단점을 가지고 있었다. 이에 비해 엠브로이더링 방식은 심실링테이프로 고정한 나노웹 신호전달선에 비해 전기신호전달은 약하지만, 고정한 실을 손쉽게 제거할 수 있을 뿐만 아니라 전자소자의 교체와 회로변경이 용이하다는 장점이 있었다. 또한 본 연구에서 제작한 나노웹 신호전달선은 LED 램프의 구동은 가능하나 구리도선에 비해서 성능은 떨어지는 것으로 나타났다. 일반적으로 금속은 전기적 성질을 가진 도체인 반면, 섬유는 전기가 흐르지 않는 절연체이므로 이에 전기전도성을 부여하기 위해서는 다양한 시도가 필요하다. 스마트의류에 대한 연구가 활발히 진행되면서 전기전도성 텍스타일은 금속사, 금속섬유 등 여러 형태로 개발되어 왔다. 금속을 기반으로 한 전기전도성 텍스타일의 경우 뛰어난 전기전도성을 가지고 있지만, 인체와 장시간 접촉 시 피부염을 유발할 수 있다는 단점이 있어 스마트의류에 적용하기는 무리가 있다. 따라서 의류에 가장 적합한 재료인 섬유를 기반으로 하여 인체친화적인 전기전도성 텍스타일의 개발이 필요하다. 본 연구에서 사용한 수분산 된 비산화그래핀 페이스트는 인체친화적이며 섬유에 손쉽게 코팅하여 제작할 수 있는 장점이 있으나, 전기전도성이 낮게 나타나 향후 이를 향상시키기 위한 연구가 필요하다. 그래핀의 농도를 높이거나 그래핀과 같은 탄소동소체인 탄소나노튜브(CNT, Carbon Nanotube)를 복합하여 코팅용액을 제조하면, 보다 높은 전기전도성을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

마지막으로 본 연구 결과에 따라 스마트의류 인터커넥션 기술에 대한 제안과 더불어 LED 램프를 활용한 스마트의류 개발 방안을 제시하고자 한다. 먼저, 스마트의류 인터커넥션 기술은 의류 고유의 속성을 유지하면서 전기적 특성을 동시에 가질 수 있도록 새로운 유형의 연결 방식이 고안되어야 한다. 기존의 의류 산업에서 사용한 엠브로이더링 방식과 스냅 방식은 현재에도 다양하게 스마트의류 개발에 활용되고 있다. 스마트의류 착용성 향상을 위해서는 전자기기적 속성보다는 의류의 속성에 보다 중점을 두어 개발하여야 한다. 전자제품 개발을 위해 사용되는 솔더링이나 플랫케이블과 같은 방식보다는 의류 부자재를 활용하여 스마트의류의 전자소자 구동 시스템을 구현해야 할 것이다. 예를 들면, 금속 지퍼를 전자소자를 연결하는 신호전달선으로 사용하거나 금속 단추를 스위치로 부착하는 방법 등이 있다. 다음으로, 나노웹 신호전달선의 성능을 확인하기

위해 사용된 LED 램프는 특별한 기능 없이 단순히 빛을 내는 것만으로도 다양한 종류의 스마트의류를 제안할 수 있다. 유아가 걸음마를 한걸음씩 걸을 때마다 빛을 내는 의류나 어린이가 체육 활동을 할 때 뛰는 속도에 따라 빛이 다르게 출력되도록 하여 즐거움을 줄 수 있는 인포테인먼트(infotainment)의 특성을 가진 교육용 스마트의류 등으로 개발할 수 있다. 이 외에도 시간에 따라 각기 다른 색으로 출력시켜 착용자에게 시간을 즉각적으로 시간을 인지할 수 있도록 하는 스마트의류를 제안할 수 있다.

본 연구의 결과는 향후 착용감이 향상된 스마트의류 제작에 필요한 텍스타일 기반의 전자장치, 배터리, 신호전달선 등의 개발에 기초자료로 활용하고자 한다.

## 감사의 글

이 논문은 2018년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었으며(No. NRF-2016R1A2B4014668), 2018년도 BK21플러스 사업(연세대학교 의류환경학과)에 의하여 지원된 연구임.

## References

- 'Bonding'. (n. d.). *Quora*. Retrieved December 17, 2017, from <https://www.pressebox.de/pressemitteilung/pfaff-industriesysteme-und-maschinen-gmbh/Nahtabdichten-mit-PFAFF-INDUSTRIAL-Bandschweissmaschinen/boxid/869143>
- Cho, G. S., Barfield, W., & Baird, K. (1998). Wearable computers. *Fiber Technology and Industry*, 2(4), 490-508.
- Cho, G. S. (2006). *New development in textiles*, revised edition. Seoul: Sigmappress
- Cho, G. S., & Cho, J. Y. (2007). Development of smart clothing technology for future life. *Journal of the Korean Fiber Society*, 11(2), 111-118.
- Cho, G. S. (2007). Laboratory of the development of smart clothing technology in Yonsei university. *Journal of the Fashion & Textile Research Journal*, 9(4), 455-456.
- Cho, G. S., Yang, Y. J., & Sung, M. S. (2008). Bio monitoring smart clothing and development of current situation of E-textile. *Fashion & Textile Research Journal*, 10(1), 1-10.
- Cho, K. N., & Jeong, J. S. (2013). Development trend of conductive fiber for IT converted fiber products. *Korea Information Science Society*, 31(1), 88-96.
- 'Embroidering'. (n. d.). *Robotistan*. Retrieved December 17, 2017, from <https://www.robotistan.com/lilypad-arduino-usb-with-atmega-32u4-processor>
- 'Flat Cable'. (n. d.). *AliExpress*. Retrieved December 17, 2017, from <https://www.aliexpress.com/item/Free-Shipping-NEW-FFC-FPC-Flexible-Flat-Cable-Connector-Socket-0-5mm-Pitch-12-pin-Connector/32361571065.html>
- Jang, E. J., Kim, I. H., Lee, E. G., & Cho, G. S. (2017). Exploration requirements of the smart textiles for bio-signal measuring based on smart watch user sensibility. *Korean Society for Emotion and*

- Sensibility*, 20(4), 89-100. doi:10.14695/KJSOS.2017.20.4.89
- Jang, E. J. (2017). *Development of electronic smart textiles via aqueous dispersed non-oxidized graphene coating based on polyurethane nanofiber web*. Unpublished master's thesis, Yonsei University, Seoul.
- Jeong, T. Y., Lee, E. G., Lee, S. S., & Cho, G. S. (2013). Characteristics of rustling sound of laminated fabric utilizing nano-web. *Fashion & Textile Research Journal*, 15(4), 620-529. doi:10.5805/SFTI.2013.15.4.620
- 'Molding'.(n. d.). *Aitechnology*. Retrieved December 17, 2017, from <https://www.aitechnology.com/products/chip-protection/glob-top/>
- Park, H. W. (2014). Department of R&D management. *Korea High Tech Textile Research Institute*, 11, 11-19.
- Park, S. K., & Kim, W. K. (2013). Electronic and smart textiles. *Polymer Science and Technology*, 24(1), 38-44.
- 'Printing'. (n. d.). *Hightechdad*. Retrieved December 17, 2017, from <https://www.hightechdad.com/2016/05/23/print-a-circuit-board-using-your-home-printer-its-coming-with-printem/>
- 'Snap'. (n. d.). *Migelatina*. Retrieved December 17, 2017, from <https://www.migelatina.com/genio/ropa-deportiva-inteligente-3687>
- 'Soldering'. (n. d.). *Farhek*. Retrieved December 17, 2017, from <http://farhek.com/jd/b2e1079/package-iron/6p97r0/>
- 'Welding'. (n. d.). *Medalistllc*. Retrieved December 17, 2017, from <http://medalistllc.com/wp-content/uploads/2016/10/Welding-1.jpg>
- 'Wire-Bonding'. (n. d.). *Quora*. Retrieved December 17, 2017, from <https://www.quora.com/What-metals-are-generally-used-in-electrical-wires-cables>

(Received 20 December 2017; 1st Revised 5 January 2018; 2nd Revised 18 January 2018; Accepted 25 January 2018)