한국의류산업학회지
제20권 제5호, 2018
<연구논문>

pISSN 1229-2060
eISSN 2287-5743
Fashion & Text. Res. J.
Vol. 20, No. 5, pp.616-620(2018)
https://doi.org/10.5805/SFTI.2018.20.5.616

스마트 웨어러블의 신호와 전력 전송용 섬유형 케이블 개발

이혜원[1] · 임효빈[2] · 노정심[3]†

[1]조선대학교 IT융합신기술연구센터, [2]상명대학교 문화기술연구소, [3]상명대학교 의류학과

Design and Fabrication of Signal and Power Transmission Textile Cable for Smart Wearables

Hyewon Lee[1], Hyo bin Im[2], and Jung-Sim Roh[3]†

[1]IT Fusion Tech. Research Center, Chosun University; Gwangju, Korea
[2]Culture Technology Research Center, Sangmyung University; Seoul, Korea
[3]Dept. of Fashion & Textiles, Sangmyung University; Seoul, Korea

Abstract: Recently, many researches have been conducted to improve the performance and wearability of smart wearables. In this study, we designed and fabricated the signal and power transmission textile cables for smart wearables which have excellent wearability, durability and reliability. For the signal transmission textile cables, conductive yarns for the signal line and the ground line were developed. Three types of signal transmission textile cables have been developed using the conductive yarns. Linear density, tensile properties, electrical resistance and RF characteristics were tested to characterize the physical and electrical properties of three signal transmission textile cables. The conductive yarns have the very low resistance of 0.05Ω/cm and showed excellent uniformity of electric resistance. Therefore, the electrical resistance of the signal transmission fiber cable can be reduced by increasing the number of conductive yarns used in signal and ground lines. However, the radio frequency (RF) characteristics of the signal transmission textile cables were better as the number of strands of the conductive yarns used was smaller. This is because the smaller the number of strands of conductive yarn used in signal transmission textile cables, the narrower and more parallel the distance between the signal line and the ground line. It is expected that the signal and power transmission textile cable for signal and power transmission will be utilized in smart wearable products.

Key words: textile cable (섬유형 케이블), signal transmission (신호 전송), conductive yarn (전도성사); smart wearables (스마트 웨어러블)

1. 서 론

최근 웨어러블 스마트 기술 발달로 인해 스마트 시스템의 섬유 및 의류 통합에 대한 요구가 급증하고 있다(Roh, 2016). 웨어러블의 완성을 위하여 스마트 시스템의 센서, 소자 및 부품을 연결하는 신호와 전력 전송선, 액추에이터 등은 점차 착용자의 의복에 일체화되는 경향을 꾸준히 보이고 있으며(Lee et al., 2017), 특히 신호와 전력 전송용 섬유는 금속 와이어 전선을 대체하여 전송 손실을 최소화하는 동시에 유연성, 착용성, 내구성까지 향상시키기 위해 꾸준히 개발되고 있다.

웨어러블의 신호전송 기술로는 전도성 섬유, 전도성 잉크 프린팅, 무선 전력 전송 등의 방법이 연구되고 있다. 전도성 섬유를 계획된 간격과 배열로 직조(Weaving)하는 방법(Chen et al., 2004; Takamatsu et al., 2011; Zhao et al., 2016), 전도성사를 이용한 자수 회로(Embroidery)하는 방법(Gilliland et al., 2010; Kang et al., 2017; Kim et al., 2016), 그리고 전도성 잉크를 직물에 직접 인쇄(Printing)하는 방법(Fuh et al., 2017; Tajima et al., 2014) 등은 스마트 의류에 주로 적용되는 기술이다. 최근에는 직조, 자수, 프린팅 방법이 아닌 근·원거리의 디바이스에 전력을 전달하는 무선 전력 전송 기술에 대한 연구들 또한 꾸준히 이루어지고 있으나 유선 전력 전송보다 전송효율에 대한 신뢰가 떨어지고 있으며 무선 송신에 따른 배터리 소모 등의 기술적 제한이 유선 송신보다 많은 실정이다(Jeong et al., 2016).

2016년 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 보고서에 따르면 현재 출시된 웨어러블 스마트 제품들은 디바이스의 크기 및 무게,

†Corresponding author; Jung-Sim Roh
Tel. +82-51-510-2841, Fax. +82-2-781-7527
E-mail: jungsimroh@smu.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.

신호 전달 및 통신, 전력 소모, 착용성 등 기술적 제약으로 완전한 웨어러블 형성이 어렵다(Han et al., 2016). 완전한 웨어러블을 위해 전원 공급이 문제없는 저전력 소자 개발 및 저전력 운영시스템이 필요하며, 동시에 장시간 착용해도 우수한 활동성으로 착용자의 피로감을 최소화할 수 있는 웨어러블한 소재 개발이 촉구된다.

본 연구의 목적은 우수한 착용성과 내구성과 신뢰성을 가지는 스마트 웨어러블의 신호와 전력 전송용 섬유형 케이블을 개발하는 것이며, 이를 통해 다양한 웨어러블 기기의 전력 공급 및 회로 구동을 위한 기반 기술로 활용하고자 한다. 본 연구에서는 신호 전송용 섬유형 케이블 제작을 위해 먼저 전도성사가 개발되었고 이를 이용하여 신호 전송용 섬유형 케이블이 설계되고 제작되었다. 개발된 전도성사와 신호 전송용 섬유형 케이블의 전기적·물리적 성능이 평가되었다.

2. 연구 방법

2.1. 전도성사 제작

신호 전송용 섬유형 케이블(Signal and power transmission textile cable (TC)) 개발을 위해 먼저 전도성사가 제작되었다. 신호 전송용 케이블에 사용되는 전도성사의 제조 방법은 선행연구(Kang et al., 2017; Roh, 2014)를 참조하였다. 전도성사는 폴리우레탄이 코팅된 구리 필라멘트(PU-Cu, $Ø_{PU\text{-}Cu}$: 0.040mm)와 폴리에스터사의 다중 복합 방식으로 제작되었다. 신호선(Signal line)과 접지선(Ground line)의 명확한 구별을 위해 폴리에스터사는 신호선을 위한 흰색과 접지선을 위한 검정색의 두 가지 색상을 준비하여 사용하였다.

2.2. 전송용 섬유형 케이블 설계 및 제작

Fig. 1은 설계된 신호 전송용 섬유형 케이블의 도식화이다. 전도성사는 Fig. 1과 같이 흰색의 신호선과 검정색의 접지선 다발이 각각 중심부의 좌측과 우측에 위치하도록 하였다. 전도성사 가닥수에 따른 성능의 차이를 알아보기 위해 신호선과 접지선에 각각 6가닥, 12가닥, 18가닥을 사용하여 세 가지 섬유형 케이블을 제작하였다(TC 신호선/접지선; TC 6/6, TC 12/12, TC 18/18). 케이블의 중심부에 위치한 전도성사 다발은 폴리에스터 필라멘트사(300D/96f, DTY) 32가닥으로 짜인 브레이드 덮개(Braided cover)로 절연되고 보호된다. 이렇게 설계되어 제작된 신호 전송용 섬유형 케이블은 의복 내측에 더욱 유연하게 밀착될 수 있고, 스마트 의류의 파이핑(Piping) 디자인으로도 응용될 수 있다.

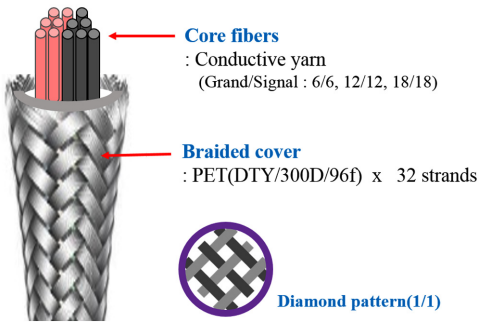


Fig. 1. The structure of textile cable transmission line.

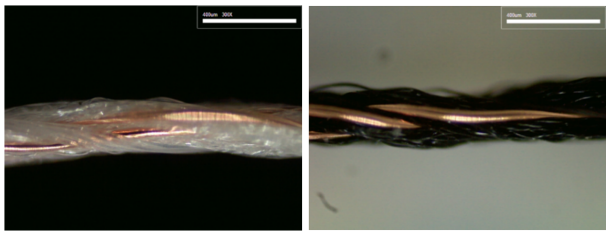
2.3. 특성 평가

개발한 전도성사와 신호 전송용 섬유형 케이블의 물리적 전기적 특성을 평가하기 위하여 외관, 인장특성, 전기저항 특성, RF(Radio frequency) 특성 등을 평가하였다. 전도성사 및 신호 전송용 섬유형 케이블의 외관은 실사 현미경 시스템(SV-55 video microscope system)을 사용하여 외관평가를 실시하였다. 전도성사의 인장특성은 만능재료시험기(Instron 5543)를 이용하여 측정되었다. 전도성사와 전송용 텍스타일 케이블의 전기적 특성은 10cm, 50cm, 100cm, 200cm 길이별로 준비된 5개의 시료를 대상으로 측정되었다(측정기: Agilient: Milliohmeter 4338A). 전송용 섬유형 케이블의 RF 특성 분석을 위해 10cm, 50cm, 100cm, 200cm 길이별로 준비된 전송용 섬유형 케이블의 양 끝에 SMA(SubMiniature version A)커넥터를 연결하여 네트워크 분석기(Agilient: Network Analyzer E8358A)를 사용하였다.

3. 결과 및 논의

3.1. 전도성사의 특성

Fig. 2는 개발된 전도성사의 측면을 실사 촬영한 모습이다. Fig. 2(a)는 신호선에 사용된 흰색의 전도성사이고 Fig. 2(b)는 접지선에 사용된 검정색의 전도성사이다. Table 1은 전도성사의 물리적 특성과 전기저항을 나타낸 표이다. 전도성사는 폴리에스테르사와 PU-Cu 필라멘트사의 다중 복합사로 일반 합연사와 마찬가지로 매끈한 외관을 가지고 있으며, 전기저항이 0.06Ω/cm 이하로, 동일 선밀도로 비교시에 시판중인 스테인스틸사와 은코팅사보다 13~70배 정도로 전기전도도가 매우 높았다(Roh, 2010). 개발된 흰색과 검정색의 두 가지 전도성사는 혼용율, 두께, 데니어, 저항, 인장강도 모두 유사한 물리적 특성으로 제작되어 각각 텍스타일 케이블 내의 신호선과 접지선



(a) (b)

Fig. 2. The conductive yarn for textile cable transmission line; (a) signal yarn and (b) ground yarn.

Table 1. Characteristics of the conductive yarn

ID	Signal yarn (S)	Ground yarn (G)
Composition (%)	PU-Cu 63.5%, PET 36.5%	PU-Cu 63.5%, PET 36.5%
Thickness (μm)	245	246
Denier	510	531
Load at yield (N)	2.260	2.112
Max. load (N)	8.453	7.741
Strain (%)	38.9	38.6
Resistance (Ω/cm)	0.0573	0.0580

으로 사용되기에 적합한 것으로 확인되었다.

Fig. 3은 두 전도성사의 길이와 전기저항의 선형성을 잘 보여준다. 길이의 증가에 따라 전기저항이 매우 일정하게 선형적으로 증가하고 있어 전기저항의 균제도가 매우 높음을 알 수 있다.

3.2. 전송용 섬유형 케이블의 특성

3.2.1. 물리적 특성

신호 전송용 섬유형 케이블은 개발된 전도성사를 이용하여 세가지 유형(TC 6/6, TC 12/12, TC 18/18)으로 제작되었다. Table 2는 제작한 세가지 전송용 섬유형 케이블의 특성을 정리한 표이다. 전송용 섬유형 케이블에 사용된 전도성사의 가닥 수는 세가지 타입에 대해 신호선과 접지선에 각각 6가닥, 12가닥, 18가닥씩 사용되었다. 제작된 TC 6/6, TC 12/12, 그리고 TC 18/18의 두께와 선밀도는 각각 1.73mm(33,000denier), 1.92mm(41,000denier), 그리고 2.23mm(47,000denier)로, 내부에 사용된 전도성사의 가닥수가 12개씩 증가함에 따라 굵기가 약 0.2~0.3mm씩 증가하였다. 제작된 전송용 섬유형 케이블은 Fig. 4과 같이 USB를 연결하여 다양한 웨어러블 기기를 쉽게 연결하여 신호전달 및 전력전송을 위한 용도로 활용될 수 있다.

3.3.2. 전기적 특성

개발된 전송용 섬유형 케이블 TC 6/6, TC 12/12, 그리고 TC 18/18의 전기저항(Ω/cm)은 신호선/접지선 각각 0.0084/0.0084Ω/cm, 0.0045/0.0044Ω/cm, 0.0032/0.0031Ω/cm로(Table 2), 개발된 모든 전송용 섬유형 케이블에 있어서 각각의 신호선과 접지선의 저항이 유사하게 제작된 것을 확인하였다. 또한 전송용 섬유형 케이블의 10cm, 50cm, 100cm, 200cm 길이별

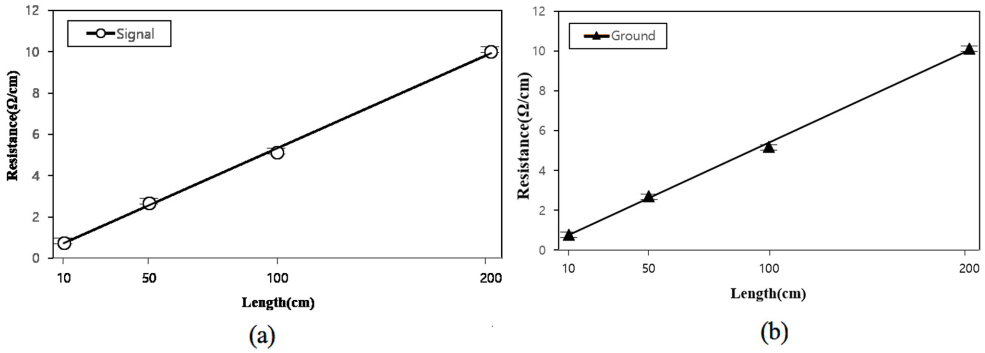


Fig. 3. Linearity of resistance with increasing length of conductive yarn; (a) white yarn for signal line and (b) black yarn for ground line.

Table 2. Characteristics of textile cables transmission lines

ID	TC 6/6	TC 12/12	TC 18/18
Transmission line configuration	Signal line : Ground line = 1 : 1		
Side view			
Number of conductive yarn(S/G)	6/6	12/12	18/18
Thickness (mm)	1.73	1.92	2.23
Linear density (Denier)	33,000	41,000	47,000
Resistance(S/G) (Ω/cm)	0.0084/0.0084	0.0045/0.0044	0.0032/0.0031

Fig. 4. The USB type product of textile cable transmission line.

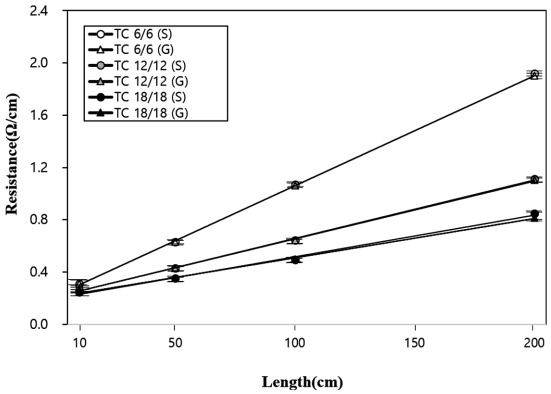


Fig. 5. Linearity of resistance with increasing length of textile cable transmission lines.

전기저항을 측정한 결과, 전송용 섬유형 케이블의 길이가 증가함에 따라 전기저항이 매우 선형적으로 증가하며 전기저항의 균제도도 매우 균일함을 확인하였다(Fig. 5).

전송용 섬유형 케이블의 RF(Radio Frequency) 특성을 분석하기 위해 시료를 10cm, 50cm, 100cm, 200cm 길이별로 준비하여 전송용 섬유형 케이블의 길이별로 S21(dB, Insertion loss)을 측정하였다. S21(dB)은 입력전압에 대한 출력전압의 비율을 나타내는 S(Scattering) 파라미터로, 입력신호가 전송하고자 하는 포트까지 얼마나 도달하느냐를 평가한다. Fig. 6는 1MHz에서 1GHz 주파수 영역에서 전송용 섬유형 케이블의 길이별 S21(dB)을 측정한 결과이다. Table 3은 각 시료의 S21(dB)이 -3dB에 해당하는 주파수(MHz)를 보여주고 있다. -3dB에 해당하는 S21(dB)이란 입력전압 또는 전류가 출력으로 전달되었을 때 0.0707배로 감소하는 지점, 즉 전력이 절반으로 줄어드는 주파수를 의미하며, 이는 업계에서 통상적으로 이 주파수까지 전송선으로 사용가능하다고 판단하는 기준이다.

측정 결과, TC 6/6이 가장 성능이 좋았다. 사용된 전도성사의 가닥수가 가장 적어서 전기저항이 가장 높았던 반면에, 사용된 전도성사가 적은 만큼 시그널선과 그라운드선 사이의 간격이 좁고 거리가 일정하기 때문에 RF 특성이 더 우수한 것으로 해석된다.

4. 결 론

본 연구에서는 전도성사를 이용하여 세가지 타입의 스마트 의류용 신호 및 전력 전송용 섬유형 케이블이 성공적으로 개발되었다. 신호선과 접지선에 사용하기 위한 전도성사는 폴리우

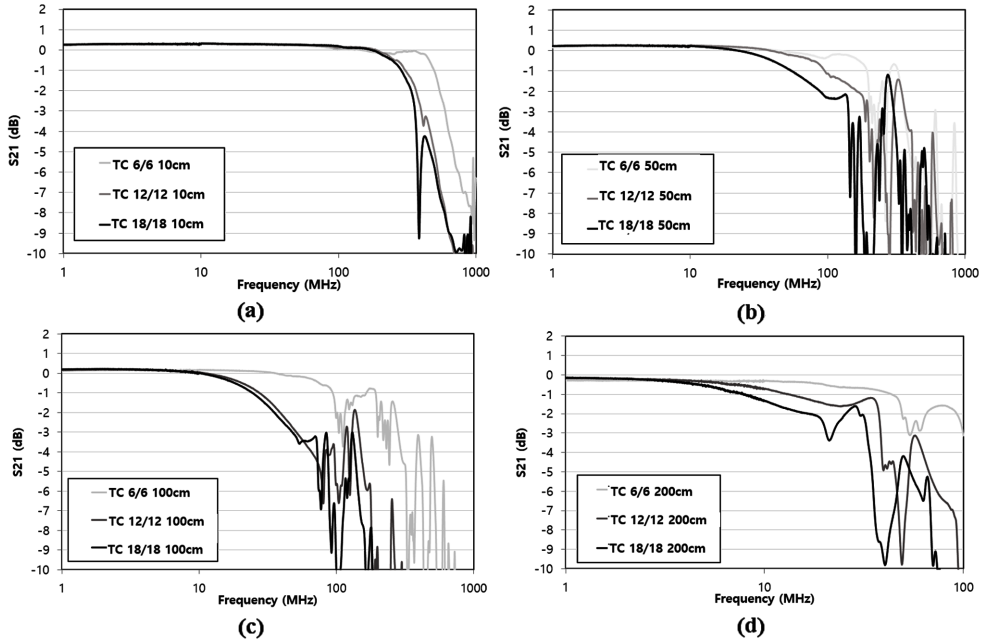


Fig. 6. S21(insertion loss) characteristics according to the length of textile cable transmission line; (a) 10cm, (b) 50cm, (c) 100cm, (d) 200cm.

Table 3. Frequency of textile cables corresponding to -3dB insertion loss

ID	Line configuration	Frequency (MHz)			
		10cm	50cm	100cm	200cm
TC 6/6	SG	593.71	209.37	109.75	52.54
TC 12/12	SG	400.45	187.13	50.29	37.78
TC 18/18	SG	359.50	142.10	47.46	20.34

레탄 코팅된 구리 필라멘트사와 폴리에스터사의 다중복합사 형태로 제작되었다. 신호 전송용 섬유형 케이블은 신호선과 접지선에 같은 전도성사 가닥 수를 사용하여 TC 6/6, TC 12/12, 그리고 TC 18/18 세가지 유형으로 제작되었다. 제작된 신호 전송용 섬유형 케이블의 끝에는 USB를 달아 다른 스마트 기기와의 연결이 용이하게 활용될 수 있다.

개발한 전도성사와 신호 및 전력 전송용 섬유형 케이블의 물리적 전기적 특성이 평가되었다. 개발한 전도성사는 금속 필라멘트사의 돌출 없이 매끈한 외관을 가졌으며, 시판중인 전도성사와 비교하여 낮은 선밀도와 전기저항을 나타냈고, 길이의 증가에 따라 전기저항이 매우 일정하게 선형적으로 증가하고 있어 전기저항의 균제도가 매우 높았다. 이 전도성사를 이용하여 개발된 신호 및 전력 전송용 섬유형 케이블 또한 가닥수가 증가함에 따라 두께와 선밀도가 일정하게 증가하였다. 신호 및 전력 전송용 섬유형 케이블의 전기저항은 길이가 증가함에 따라 매우 선형적으로 증가하였고 전기저항의 균제도도 매우 균일하였다. 신호 전송용 섬유형 케이블의 전력 전송 능력은 전기저항이 낮을수록 우수하지만, RF 특성은 개발한 세가지 타입 중 적은 개수의 전도성사를 사용할수록 성능이 더욱 우수하였다.

본 연구에서 개발된 신호 전송용 섬유형 케이블은 다양한 웨어러블 디바이스들의 정상적 구동과 시스템간 연결을 위한 소재 및 부품의 기반 기술이다. 본 연구에서 개발된 신호와 전력 전송용 섬유형 케이블을 바탕으로 우수한 활동성, 내구성, 신뢰성이 요구되는 스마트 웨어러블 제품에 활용되기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터 대학ICT연구센터 육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2018-2015-0-00390).

References

Chen, H. C., Lee, K. C., & Lin, J. H. (2004). Electromagnetic and electrostatic shielding properties of co-weaving-knitting fabrics reinforced composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 35*(11), 1249-1256. doi:10.1016/j.compositesa.2004.04.006

Fuh, Y. K., Lee, S. C., & Tsai, C. Y. (2017). Application of highly flexible self-powered sensors via sequentially deposited piezoelectric fibers on printed circuit board for wearable electronics devices. *Sensors and Actuators A: Physical, 268,* 148-154. doi:10.1016/j.sna.2017.11.024

Gilliland, S., Komor, N., Starner, T., & Zeagler, C. (2010, October). The Textile interface swatchbook: creating graphical user interface-like widgets with conductive embroidery. In *Wearable Computers (ISWC), 2010 International Symposium on* (pp. 1-8). IEEE. doi:10.1109/ISWC.2010.5665876

Han, S. C., Jang, J. C., & Jeong, J. S. (2016). *웨어러블 스마트 디바이스용 핵심부품 및 요소기술 개발 사업 기획보고서* [Development of core component and element technology for wearable smart device project planning report]. KEIT PD Issue Report, 16-03.

Jeong, M. J., Yun, T. I., Baek, J. J., & Kim, Y. T. (2016). Wireless power transmission using a resonant coil consisting of conductive yarn for wearable devices. *Textile Research Journal, 86*(14), 1543-1548. doi:10.1177/0040517515586163

Kang, S. W., Choi, H., Park, H. I., Choi, B. G., Im, H., Shin, D., ... & Roh, J. S. (2017). The development of an IMU integrated clothes for postural monitoring using conductive yarn and interconnecting technology. *Sensors, 17*(11), 2560. doi:10.3390/s17112560

Kim, S., Roh, J. S., & Lee, E. Y. (2016). Development and wearability evaluation of all-fabric integrated smart jacket for a temperature-regulating system based on user experience design. *Fashion & Textile Research Journal, 18*(3), 363-373. doi:10.5805/SFTI.2016.18.3.363

Lee, H. W., Suh, S. E., & Roh, J. S. (2017). Analysis on the characteristics and product trend of wearable smart actuator. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles, 41*(6), 1022-1038. doi:10.5850/JKSCT.2017.41.6.1022

Roh, J. S. (2014). Textile touch sensors for wearable and ubiquitous interfaces. *Textile Research Journal, 84*(7), 739-750. doi:10.1177/0040517513503733

Roh, J. S. (2016). Wearable textile strain sensors. *Fashion & Textile Research Journal, 18*(6), 711-745. doi:10.5805/SFTI.2016.18.6.733

Roh, J. S., Chi, Y. S., & Kang, T. J. (2010). Wearable textile antennas. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education, 3*(3), 135-153. doi:10.5805/SFTI.2016.18.6.733

Tajima, R., Miwa, T., Oguni, T., Hitotsuyanagi, A., Miyake, H., Katagiri, H., ... & Hiroki, M. (2014). Truly wearable display comprised of a flexible battery, flexible display panel, and flexible printed circuit. *Journal of the Society for Information Display, 22*(5), 237-244. doi:10.1002/jsid.242

Takamatsu, S., Kobayashi, T., Shibayama, N., Miyake, K., & Itoh, T. (2011, May). Meter-scale surface capacitive type of touch sensors fabricated by weaving conductive-polymer-coated fibers. In *Design, Test, Integration and Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP), 2011 Symposium on* (pp. 142-147). IEEE.

Zhao, Y., Tong, J., Yang, C., Chan, Y. F., & Li, L. (2016). A simulation model of electrical resistance applied in designing conductive woven fabrics. *Textile Research Journal, 86*(16), 1688-1700. doi:10.1177/0040517515590408

(Received 23 August, 2018; 1st Revised 12 September, 2018; 2nd Revised 21 September, 2018; Accepted 5 October, 2018)