

물리화학적 조건에 따른 은코팅 전도사의 전기적 특성

류종우 · 지영주¹ · 김홍제¹ · 권서윤¹ · 윤남식[†]

경북대학교 섬유시스템공학과, ¹한국패션산업연구원

Electrical Properties of Ag-coated Conductive Yarns Depending on Physical and Chemical Conditions

Jong-Woo Ryu, Young-Joo Jee¹, Hong-Jae Kim¹, Seo-yoon Kwon¹ and Nam-Sik Yoon[†]

Department of Textile System Engineering, Kyungpook National University

¹Korea Research Institute for Fashion Industry

(Received: December 3, 2010/Revised: December 22, 2010/Accepted: March 7, 2011)

Abstract— Electrically conductive yarn coated with silver particles are widely used to make smart wear but recent studies on smart fabrics are focused on measuring method of electrical characteristics and improving technologies of its electric properties. Also durability of conductive yarn with environmental change was also important work to make smart fabric. We compared resistance changes of silver coated conductive yarns under various physical and chemical conditions such as repeated strain, heat exposure and pH for basic informations on smart wear manufacturing process. And we deduct that repeated strain among the physical conditions was most effective factors on yarn resistance change and the low resistance change was observed with increasing the number of filaments in identical yarn fineness.

Keywords: *electrically conductive yarn, resistance changes, physical and chemical conditions, smart wear, effective factor, yarn fineness*

1. 서 론

정보통신의 발달로 현대인들의 라이프스타일은 급속도로 디지털화 되어가고 있으며 이에 따른 다양한 행동양식이 발생하고 다양한 콘텐츠가 개발되고 있다. 의생활 역시 예외일 수 없으며 디지털 기술을 반영한 제품과 의류가 경쟁적으로 출시되고 있는 등 새로운 가치창조 분야가 생성되고 있다¹⁾.

스마트의류는 이러한 디지털 기술을 반영한 의류이며 현대에는 생체정보를 파악하기 위한 센서나 생활편리를 위한 웨어러블 컴퓨팅 장치(wearable computing systems)들을 부착한 스마트 의류의 개발이 지속적으로 이루어지고 있다^{2,3)}. 스마트 의류에 센서, 컴퓨터, 디스플레이 등을 적용하기 위해서는 전원공급부(power supply)와 수많은 신호전달장치(communication channels)들이 부착되어야 하며 센서나 웨어러블 컴퓨팅 장치에 전력과 신호를 전달하기 위해서는 일반적으

로 2가지 방법이 사용된다⁴⁾.

한 가지는 케이블(cable)상의 와이어(wire)를 이용하는 방법(wired system)이며 다른 한 가지는 와이어 대신 전도성 원사로 제작된 직물이나 전도사를 직접 이용하여 신호와 전력을 공급하는 방법(wireless system)이다⁴⁾. 와이어를 이용하는 방법은 와이어를 의류에 결합하기 어렵고 와이어의 중량이 크기 때문에 구리선이 내장된 와이어 대신 전도성 원사를 이용하여 제작한 직물 및 원사자체를 이용하는 와이어리스 시스템이 스마트 의류에 선호되고 있다⁵⁾. 전도성 직물에 사용되는 전도사를 제조하는 방법은 쉬스/코어(sheath/core)구조, 코팅(coating), 일반사와 전도사를 합사하는 방법이 사용되고 있다. 특히, 은으로 코팅된 전도사는 우수한 전기전도성과 낮은 접촉저항(joint resistance) 때문에 스마트 의류용 전도성 직물의 제작에 많이 사용되고 있다. 그러나 은코팅 전도사의 경우 외부환경에 따른 표면의 전도성 물질이 이탈하는 현상이 가장 큰 문제로 대두되고 있다⁶⁻¹¹⁾.

[†]Corresponding author. Tel.: +82-53-950-5642; Fax.: +82-53-950-6617; e-mail: nsyoon@knu.ac.kr

©2011 The Korean Society of Dyers and Finishers 1229-0033/2011-3/43-50

현재 스마트 의류의 용도전개 및 전기적 특성을 측정하는 방법은 광범위하게 연구되고 있는 반면, 실제 전도사를 사용한 제직 시나 스마트의류 착용자가 활동함에 있어 전도사에 가해지는 인장, 굽힘의 변형과 체열, 땀과의 접촉 등의 물리/화학적 변화에 대한 전도사 고유의 전기적 특성변화와 관련된 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 스마트의류의 제조에 사용되는 은코팅 전도사가 제직공정 및 인체의 활동에 따른 물리적, 화학적 자극을 받았을 경우 발생하는 전기적 특성변화를 측정하여 향후 스마트 의류개발 시, 외부자극에 따른 신호전달능력 및 전원공급능력의 변화와 관련한 기초자료로 활용하고자 한다. 또한, 전도사의 전기적 특성변화에 가장 큰 영향을 주는 외부환경 영향인자를 도출하여 향후 스마트의류의 개발에 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실험

2.1 전도사

실험에 사용된 전도사는 나일론 66섬유표면에는 은으로 코팅한 아진일렉트론사의 전도사 Ag-line[®]을 사용하였다. 실험에 사용된 전도사의 기본특성은 Table 1과 같다.

2.2 형태학적 구조

전도사의 표면 및 단면구조는 JEOL FE-SEM (S-4200)장치를 이용하여 1000배, 2000배의 배율로 전도사의 표면 및 단면 구조를 관찰하였다.

2.3 물리 및 화학적 변화에 따른 전기적 특성

물리적, 화학적 변화에 따른 시료의 전기적 특성은 물체의 일반적인 전기적 특성측정에 사용되는 디지털 LCR 미터(GW-INSTEK LCR-816)를 이용하여 측정하였다. 전기적 특성을 측정하기 위한 장치는 동(銅)와이어를 이용하여 회로를

구성한 뒤에 10mA의 일정한 전류를 회로에 흐르게 하고 초기전압을 측정하였다.

전압 측정치가 안정화 된 후에 동와이어에 전도사를 병렬로 접촉시켰다. 이 때, 시험편은 10cm로 일정하게 이격된 전극위에 위치하였다. 전기적 특성을 측정하기 위하여 설치한 장치의 개략도는 Fig. 1에 나타냈으며 동와이어 위에 전기전도사의 환경조건 변화 전과 후의 전압을 측정하여 이를 식 (1)의 옴의법칙을 이용하여 저항값으로 환산하였다. 환경조건의 변화를 위한 변화요인들은 물리적 변형, 열노출, 화학적조건이며 각각의 조건을 변형시킨 후 식 (2)를 이용하여 환산된 저항값을 이용한 저항변형률을 계산하였다. 식 (1)에서 V는 전압, I는 전류, R은 저항이며 식 (2)에서 ΔR 은 물리적, 화학적 변화후의 저항, R_0 는 물리적, 화학적 변화 전의 저항이다.

$$V = I \times R \quad (1)$$

$$Resistance\ change\ (\%) = \frac{\Delta R - R_0}{R_0} \times 100 \quad (2)$$

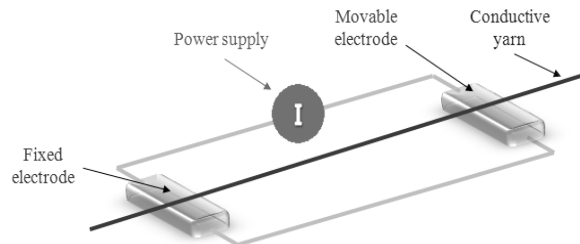


Fig. 1. Schematic diagram of testing platform.

2.4 신장률

Tinius Olsen社의 만능인장시험기(H5K-T)를 이용하여 신장률을 초기길이 10cm에 대하여 5%, 10%, 20%, 30% 신장시킨 뒤 10분간 고정시킨 후에 인장시험기의 조(Jaw)와 시료를 분리시켜 신장된 시료를 Fig. 1의 장치에 설치된 전극에 접촉시켜 전압값을 측정하였다. 이때 신장조건은 로드셀(Loadcell) 50N, 크로스헤드 스피드는 100mm/min으로 수행하였다.

Table 1. Basic properties of electric conductive yarns

Sample	Resistance (Ω/cm)	Fineness (d/f)	Fiber diameter (μm)	Initial modulus (kgf/d)	Breaking strain (%)	Tenacity (kgf/d)	Content of Ag particle (wt. %)
A	36.8	40/13	21.0 \pm 2.6	17.1 \pm 2.2	30.1 \pm 1.2	4.2 \pm 0.5	10
B	34.5	70/24	21.1 \pm 3.1	23.1 \pm 3.1	34.5 \pm 2.3	7.7 \pm 0.6	
C	26.3	100/24	23.2 \pm 1.8	22.8 \pm 1.9	38.3 \pm 4.6	8.5 \pm 0.8	
D	22.0	210/48	22.5 \pm 2.4	26.3 \pm 1.6	39.3 \pm 3.1	10.2 \pm 1.3	

2.5 반복신장

전도사의 반복신장은 Tinius Olsen社의 만능인장시험기(H5K-T)를 사용하였으며 10%의 신장률로 시료를 신장시킨 뒤 회복시키는 것을 1회로 정의하여 횡수변화를 20회, 40회, 60회, 80회 반복한 후, 전기적 특성을 측정하였다. 반복하중시 적용 로드셀(load cell)은 50N, 크로스헤드 스피드는 100mm/min의 조건으로 수행하였다.

2.6 열노출

열에 대한 전기적 특성변화는 이플렉스社의 열풍건조기(E2-03-TAPE)를 이용하여 40℃에서 5시간, 10시간, 20시간, 30시간 노출된 전도사의 전기적 특성을 측정하였다. 열노출온도는 실제 착용 환경에서의 여름철 최고기온을 고려하여 40℃를 기준으로 하였다.

2.7 화학적 조건

화학적 조건변화에 따른 전도사의 전기적 특성을 조사하기 위하여 pH가 다른 용액에 전도사를 침지하였다. pH조건에 따른 전도사의 전기적 특성은 Disodium phosphate(Na_2HPO_4)와 Citric acid ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$)를 이용하여 제조된 pH 5, 6, 7, 8의 수용액에 5시간 동안 침지한 뒤에 측정하였으며 침지시료는 24시간 동안 상온에서 자연건조 후 전기적 특성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 형태학적 구조

Fig. 2는 물리적, 화학적 변화를 받지 않은 초기 은코팅 전도사의 표면구조와 단면구조를 나타낸 것이다. SEM 사진에서 은코팅 전도사의 표면에 은입자가 전체적으로 고르게 코팅되어 있으며 은입자가 코팅된 전도사의 단면형태는 다각형 형태를 가지고 있음을 확인하였다. 또한 단면구조에서 보듯이 은코팅입자가 나일론 원사 표면을 고르게 감싸고 있다. Fig. 3은 신장정도에 따른 은코팅 전도사의 표면구조 변화를 나타낸 것이다. 신장률의 증가에 따라 코팅면의 표면이 나무껍질 모양으로 갈라져 이격되는 변화를 확인하였다. SEM사진 상의 검은 반점은 나일론 섬유 표면이 손상되어 구멍이 발생한 것으로 검은부분 이외의 섬유표면 대부분은 은코팅면의 완전이탈보다 부분적인 이탈이 관찰되었다.

신장증가에 따른 은코팅면의 이격현상은 모든 시료에서 관찰되었으며 시료의 전체보다 한쪽면에 중점적으로 갈라짐이 발생한 것으로 관찰되었다. 시료의 이격현상은 신장을 10%가한 상태에서부터 발생하였으며 신장률이 증가함에 따라 갈라짐과 이격현상이 증가하였다. 이러한 현상은 길이방향의 신장에 의하여 단면적이 감소하게 되어 고체상의 은코팅입자에 균열이 발생하기 때문이다.

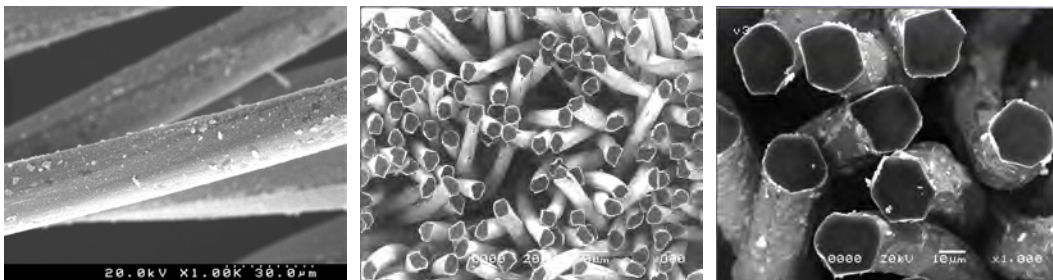


Fig. 2. Surface and cross section structures of samples.

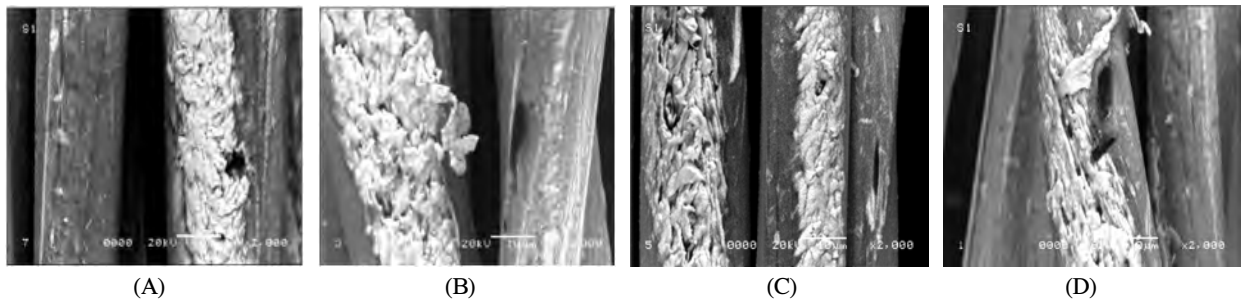


Fig. 3. Surface morphological structures of samples at repeated strain(30%) condition.

반복된 하중을 가할 경우 전도사의 은코팅면이 이탈한 것으로 관찰되었다. 모든 시료에서 동일하게 은코팅면이 이탈하는 것으로 나타났으며 D 시료의 경우 가장 이탈이 적게 나타난 것으로 관찰되었다. 반복하중의 횟수가 증가할수록 은코팅 입자의 이탈이 증가하였으며 필라멘트의 수가 많을수록 이탈면적이 감소하는 경향을 나타냈다. 반복하중횟수에 따른 은코팅 전도사의 표면구조는 Fig. 4에 나타났다. 신장률의 증가조건과는 다르게 반복신장의 경우에는 은입자가 완전히 이탈하는데 이것은 길이방향의 신장과 수축을 반복함에 따라 초기에 꺾질처럼 단순히 격 형태가 되어 있던 입자들이 반복된 신장에 의하여 서서히 이탈하기 때문이다.

열노출 시간에 따른 전기전도사의 표면구조 변화는 Fig. 5에 나타났다. 40°C에서 5시간부터 30시간까지 노출시킨 후 시료의 표면구조이다. 이것은 나일론의 열안정성이 우수하기 때문에 열에 의한 팽창이나 변형이 발생하지 않았기 때문으로 판단된다. 또한 가장 섬도가 가는 A 시료의 경우에

은코팅면의 이탈이 가장 적고 미세한 균열만이 발생하였다. 그러나 구성필라멘트 수의 증가에 따라 코팅면의 이탈이 증가하였지만 신장률 변화 및 반복신장에 의한 영향에 비하여 은코팅면의 이탈 및 표면변화는 적게 나타났다. 이는 유리전이온도 이하 40°C의 조건에서 나일론 섬유의 열안정성이 우수하기 때문에 열팽창 및 수축에 의한 표면적 변화가 거의 나타나지 않았기 때문으로 판단된다.

pH 변화에 따른 시료의 은코팅면 이탈은 거의 나타나지 않았다. 또한 pH 차이에 따른 표면변화도 크게 나타나지 않았다. pH 조건에 있어 시료의 표면변화는 다른 조건에 비하여 가장 적게 나타났으며 A, B 시료에서의 이탈보다 C, D 시료에서의 이탈이 적게 관찰되었다. 구성필라멘트가 많은 시료 C, D 시료는 수용액에 첨가될 경우 섬유가 밀착되어 은입자의 이탈공간을 주지 않았으며 반면에 구성필라멘트 수가 적은 A, B 시료는 은코팅 입자의 이탈공간이 많이 있기 때문으로 판단된다. pH 변화에 따른 시료의 표면 변화 SEM 사진은 Fig. 6에 나타났다.

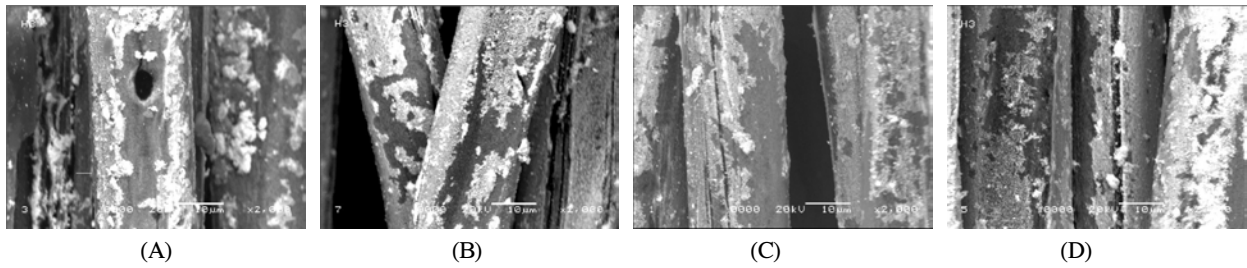


Fig. 4. Surface morphological structures of samples at repeated strain condition(80 times).

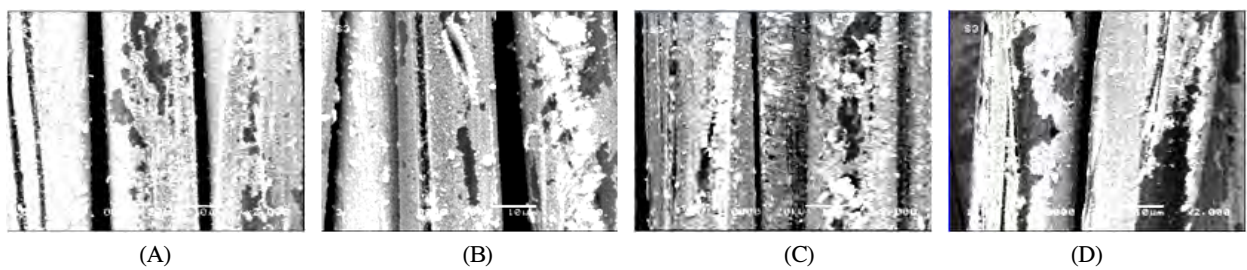


Fig. 5. Morphological structures of samples at heat exposure time of 30hr.

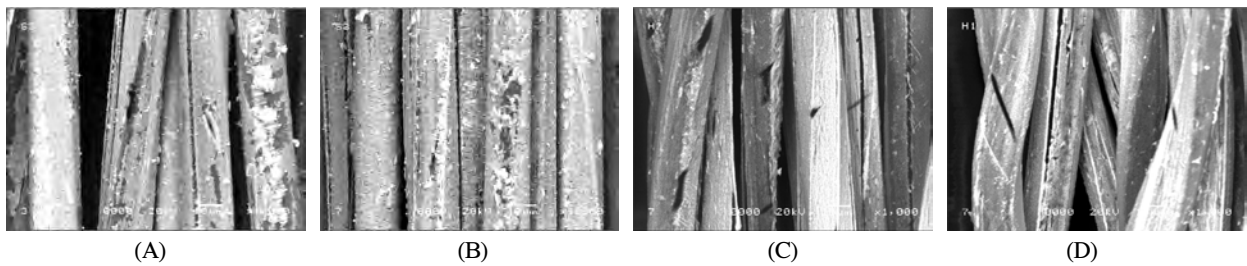


Fig. 6. Morphological structures of samples at pH 8.

3.2 전기적 특성

3.2.1 신장률 증가에 따른 전기적 특성

Fig. 7은 신장률이 증가함에 따른 시료의 저항변형률을 측정된 결과이다. 실의 구성 필라멘트수가 크고 섬도가 큰 시료일수록 저항변형의 폭이 작게 나타났다. 그러나 C 시료의 경우 다른 세 가지 시료에 비하여 신장률의 증가에 따라 저항변형률이 가장 크게 나타났다. 그러나 섬도가 21.0~21.5 μm 거의 유사한 A, B, D 시료는 저항변형률의 차이가 크지 않았으며 20%이후에 저항변형률은 거의 유사하게 나타났다. 그러나 측정 시료 중에서 D 시료를 제외한 A, B, C 시료는 저항변형률이 선형적인 증가를 나타냈지만 D 시료는 10% 신장률 이후에 다른 시료와 다르게 변형률의 증가폭이 크게 나타나지 않았다. 이러한 이유는 구성 필라멘트의 섬도가 굵고 구성필라멘트의 수가 많아 신장시 발생하는 접촉 면적이 증가하여 은코팅면의 이탈이 방지되었기 때문으로 판단된다.

섬도가 다른 시료에 10%의 신장률로 변형을 가한 뒤의 전기적 특성변화를 Fig. 8에 나타냈다. 변형을 가하는 횟수에 비례하여 저항변형률이 증가하였다. 신장률에 따른 저항변화의 결과와 동일하게 C 시료의 신장횟수 증가에 따른 저항변형률 증가가 가장 크게 나타났으며 D 시료의 신장변형률이 가장 적었다. 또한 A 시료는 다른 세 가지 시료의 증가가 선형적으로 증가하는데 비하여 불규칙적으로 증가하며 필라멘트수가 많은 B 시료에 비하여 오히려 저항변형률의 증가폭이 작은 것으로 나타났다. 이는 반복신장의 경우 필라멘트수가 너무 많으면 오히려 필라멘트간의 마찰에 의한 은코팅면의 이탈이 발생하기 때문으로 판단된다.

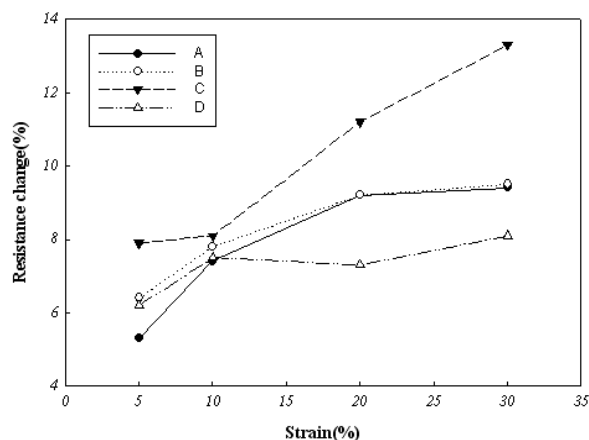


Fig. 7. Resistance changes of samples with different strain.

3.2.2 열노출 시간에 따른 전기적 특성

Fig. 9는 열노출 시간에 따른 전기전도사의 저항변형률을 나타낸 것이다. 열노출에 의한 저항변형률 변화는 신장률 변화와 반복신장 조건에 비하여 작았다. 일반적으로 열노출 시간이 증가할수록 저항변형률이 증가하였으며 전체시료에서 10시간 이후에 저항변형률의 증가폭이 급격히 감소하였으며 섬도에 따른 저항변형률의 차이가 큰 것으로 나타났다. 10시간 이후와 이전의 저항변형률의 차이가 크게 나타났으며 섬도가 가장 큰 D 시료가 열노출 시간에 따른 저항변형률 변화가 가장 크게 나타났다.

열노출에 의한 저항변형률의 증가가 발생한 이유는 온도상승에 의하여 미세하게 발생한 열팽창에 의하여 시료의 꼬임이 느슨해진 뒤, 측정을 위하여 재집합 시키는 과정에서 불규칙하게 재집합 되었기 때문으로 판단된다. 또한 온도가 증가할수록 전도사의 표면적 및 은입자와의 결합이 느슨해져 코팅된 은입자가 이탈되었기 때문이다.

3.2.3 화학적 조건에 따른 전기적 특성

Fig. 10은 pH조건에 따른 전기전도사의 저항변형률을 나타낸 것이다. pH조건에 따른 전도사의 저항변화는 거의 나타나지 않았으며 가장 증가가 큰 변형률도 9.14%로 다른 세 가지 조건에 비하여 가장 적게 나타났다. 이는 나일론섬유와 은입자의 특성상 내화학적성이 우수하기 때문에 섬유구조적인 변형 및 화학적인 변형이 발생하지 않아 안정적인 저항변화가 이루어 졌기 때문이다. 그러나 약염기성용액에 침지한 경우에 산성용액에 침지한 경우에 비하여 상대적으로 저항이 약간

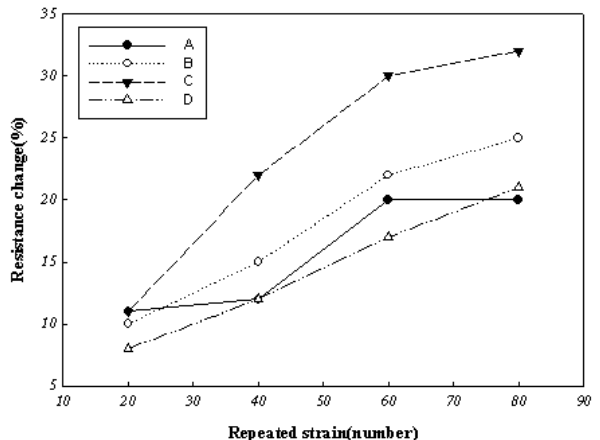


Fig. 8. Resistance changes of samples with different repeated strain.

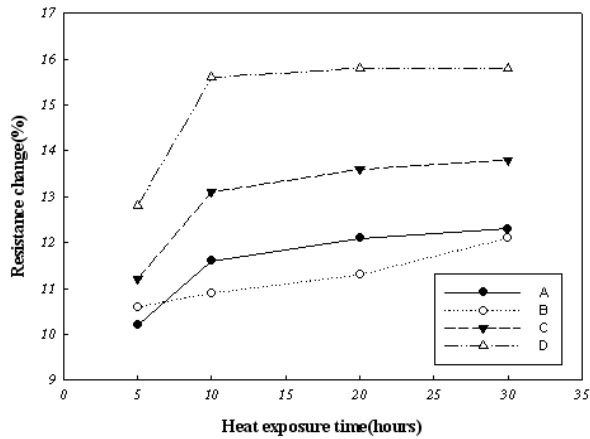


Fig. 9. Resistance changes of samples with different heat exposure time.

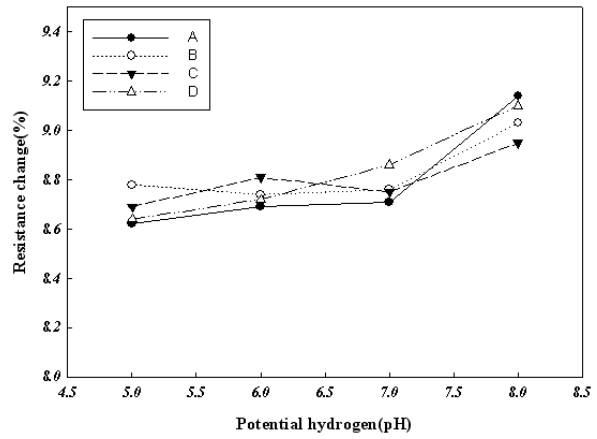


Fig. 10. Resistance changes of samples at different pH conditions.

Table 2. Correlation of samples with environmental condition

Sample	Environmental condition	Regression equation	R ²
A	Strain	$y = -0.002x^2 + 0.2731x$	0.9485
	Repeated strain	$y = -0.25x^2 + 4.75x + 5.75$	0.8454
	Heat exposure	$y = -0.3x^2 + 2.18x + 8.35$	0.9933
	pH	$y = 0.09x^2 - 0.292x + 8.845$	0.9369
B	Strain	$y = -0.0024x^2 + 0.3041x$	0.6206
	Repeated strain	$y = -0.5x^2 + 7.7x + 2.5$	0.9870
	Heat exposure	$y = 0.125x^2 - 0.135x + 10.625$	0.9964
	pH	$y = 0.0775x^2 - 0.3105x + 9.0225$	0.9675
C	Strain	$y = -0.0019x^2 + 0.312x$	0.5879
	Repeated strain	$y = -2.25x^2 + 18.35x - 5.25$	0.9984
	Heat exposure	$y = -0.425x^2 + 2.955x + 8.725$	0.9857
	pH	$y = 0.02x^2 - 0.028x + 8.72$	0.7398
D	Strain	$y = -0.0003x^2 + 0.0587x + 5.275$	0.8344
	Repeated strain	$y = 4.4x + 3.5$	0.9979
	Heat exposure	$y = -0.7x^2 + 4.42x + 9.2$	0.9556
	pH	$y = 0.04x^2 - 0.048x + 8.65$	0.9993

증가하였는데 이는 염기성용액의 경우, 용액내에서의 화학반응에 의하여 나일론에 코팅된 은입자의 일부 Ag⁺가 Citric acid의 COOH⁻와 반응하여 미세하게 이탈되었기 때문으로 판단된다.

3.2.4 환경조건에 따른 저항변화율

Table 2는 시료의 물리적, 화학적 조건과 저항변형률간의 상관관계를 나타낸 것이다. 시료마다 각 회귀식에 대하여 상관관계가 가장 높은 조건은 다르게 나타났으나 반복신장조건에 대한 저항변형률의 상관성이 일반적으로 가장 크게 나타났다. 저항변형률의 증가폭이 가장 작은 A 시료와 D 시료가 각 조건인자에 대한 상관성이 높

게 나타났기 때문에 조건변화에 대한 예측가능성이 가장 높다. 특히 D 시료의 경우, 반복신장과 pH 조건에 대한 예측성은 0.9979와 0.9993으로 1에 근사하게 나타나 각 조건인자와의 상관관계가 가장 높은 것으로 나타났다.

Fig. 11은 환경조건에 따른 시료의 저항변형률을 비교한 결과이다. 반복신장에 의한 저항변형률이 가장 큰 변화를 나타냈으며 pH변화에 의한 저항변형률의 변화가 가장 작게 나타났다. 시료간의 비교에서는 A, D 시료가 B, C 시료보다 저항변형률의 증가폭이 작게 나타났다. 이는 구성 필라멘트의 수에 의한 영향으로 판단되며 필라멘트간의 접촉에 의한 전도면적의 증가와 마찰에

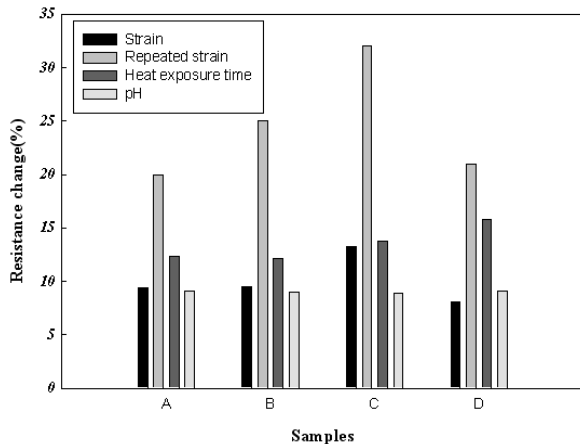


Fig. 11. Comparison of resistance changes with different physical and chemical conditions.

의한 은코팅입자의 이탈이 저항변화에 영향을 주었기 때문이다. 특히 D 시료의 경우 저항변형률이 신장률 증가 및 반복신장의 조건에서 모두 20% 미만으로 가장 안정적으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 신장률, 반복신장, 열노출시간, pH의 환경변화 조건에서의 섬도별 은코팅 전도사의 저항변형률을 측정하였다. 각 조건에서의 저항변형률 측정결과 신장률증가와 반복신장조건에서 가장 큰 저항변형률의 증가를 나타냈으며 pH 조건에서 가장 적은 저항변형률의 증가를 나타냈다. 시료의 특성에 따른 비교에서는 40de의 섬도를 가진 A 시료와 210de를 가진 D 시료의 저항변형률이 각 환경조건에서 가장 적은 저항변형률 증가를 나타내어 환경조건에 따른 전도사의 저항특성 변화가 가장 적은 것으로 나타났다.

저항변형률의 증가에 영향을 주는 은코팅입자의 이탈 역시 신장률 증가와 반복신장 횟수의 증가에 의하여 가장 크게 나타났으며 신장에 의하여 발생하는 표면변화는 완전한 이탈이 아닌 나무껍질 모양의 갈라짐이 주로 발생한 것으로 관찰되었다. 반면에 반복신장의 경우에는 완전한 이탈로 인한 코팅면의 손상이 관찰되었다. 그 외에 열노출 및 pH 조건에 따른 은코팅 입자는 신장률 증가와 반복신장의 조건에 비하여 이탈이 적게 나타났다. 이러한 섬유표면의 은코팅 입자의 이탈은 신장변형률과 반복신장조건에서 저항변형률이 크게 증가하는 이유이다. 시료의 저항변형률은 필라멘트간 접촉에 의하여 D 시료의 저항변형이 가장 적게 나타났으며 A 시료와 B 시료보다 구성필라멘트수가 많은 C 시료의 경우

에는 환경변화에 의한 영향과 더불어 필라멘트간 마찰에 의한 코팅면의 이탈이 발생하여 오히려 저항변형률의 증가가 크게 나타났다. 또한 각 시료에 있어 저항변형률의 변화폭이 가장 크게 나타난 반복신장 조건에서의 회귀분석 결과 저항변형률과 관련된 상관계수가 가장 크게 나타나 은코팅 전도사의 저항변형의 예측이 가능하여 스마트의류 제조에 유용한 자료가 될 것으로 판단된다.

결론적으로 스마트의류 제조에 있어 은코팅 전도사를 사용할 경우 가장 크게 고려해야 할 환경조건은 신장률 증가와 반복신장의 조건이며 pH에 의한 영향과 열노출에 의한 영향은 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 또한 구성필라멘트의 수가 많은 전도사가 적은 전도사보다 저항변형률의 변화가 적은 것으로 나타나 향후 스마트의류 제조에 있어 동일섬도의 전도사를 사용할 경우, 구성 필라멘트수가 많은 전도사를 사용하는 방법이 스마트의류 설계와 제조 시 내구성 유지 및 신호전달에 유리할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. J. M. Chae, H. S. Cho, and J. H. Lee, A Study on Consumer Acceptance Toward The Commercialized Smart Clothing, *Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility*, **12**(2), 181-192(2009).
2. J. Akita, T. Shinmura, S. Sakurazawa, K. Yanagihara, M. Kunita, M. Toda and K. Itawa, Wearable Electromyography Measurement System Using Cable-free Network System on Conductive Fabric, *Artificial Intelligence in Medicine*, **42**(2), 99-108(2008).
3. C. T. Huang, C. L. Shen, C. F. Tang and S. H. Chang, A Wearable Yarn Based Piezo Resistive Sensor, *Sensors and Actuators. A, Physical*, **141**(2), 396-403(2008).
4. J. Akita, T. Shinmura, M. Toda, T. Murakami and M. Yao, "Flexible Network System for Wearable Computing Using Conductive Fabric", *Proceeding of the 7th International Conference on Mobile Data Management(IEEE2006)*, p.101, 2006.
5. M. Amberg, K. Grieder, P. Barbadoro, M. Heuberger and D. Hegemann, Electromechanical Behavior of Nanoscale Silver Coatings on PET

- Fibers, *Plasma Processes and Polymer*, **5**(9), 874-880(2008).
6. P. Gibbs and H. H. Asada, "Wearable Conductive Fiber Sensors for Measuring Joint Movements", Proceedings ICRA '04. International Conference on Robotics & Automation(IEEE 2004), pp.4753-4758, 2004.
 7. K. Tappura and S. Nurmi, Computational Modeling of Charge Dissipation of Fabrics Containing Conductive Fibers, *Journal of Electrostatics*, **58**, 117-133(2003).
 8. B. Kim, V. Koncar and C. Dufour, Polyaniline-Coated PET Conductive Yarns : Study of Electrical, Mechanical and Electro-Mechanical Properties, *Journal of Applied Polymer Science*, **101**(3), 1252-1256(2006).
 9. K. S. Moon and W. L. Wong, "Electrical Property of Conductive Adhesives During Temperature/Humidity Aging", Proceedings 9th International Symposium on Advanced Packaging Materials: Processes, Properties and Interfaces, pp.126-131, 2004.
 10. J. W. Cho and J. S. Choi, Relationship between Electrical Resistance and Strain of Carbon Fibers upon Loading, *Journal of Applied Polymer Science*, **77**, 2082-2087(2000).
 11. B. Xu, F. Wu, S. Chen, C. Zhang, G. Cao and Y. Yang, Activated Carbon Fiber Cloths as Electrodes for High Performance Electric Double Layer Capacitors, *Electrochimica Acta*, **52**(13), 4595-4598(2007).