

## 텍스타일 스트레인 센서에 마이크로 니들을 이용한 전도성입자 침투력 향상

Enhancement of Penetration by Using Mechanical Micro Needle in Textile Strain Sensor

윤하영<sup>1</sup> · 김원진<sup>2</sup> · 김주용<sup>3†</sup>

Hayeong Yun<sup>1</sup> · Wonjin Kim<sup>2</sup> · Jooyong Kim<sup>3†</sup>

### Abstract

Recently, interest in and demand for sensors that recognize physical activity and their products are increasing. In particular, the development of wearable materials that are flexible, stretchable, and able to detect the user's biological signals is drawing attention. In this study, an experiment was conducted to improve the dip-coating efficiency of a single-walled carbon nanotube dispersion solution after fine holes were made in a hydrophobic material with a micro needle. In this study, dip-coating was performed with a material that was not penetrated, and comparative analysis was performed. The electrical conductivity of the sensor was measured when the sensor was stretched using a strain universal testing machine (Dacell Co. Ltd., Seoul, Korea) and a multimeter (Keysight Technologies, Santa Rosa, CA, USA) was used to measure resistance. It was found that the electrical conductivity of a sensor that was subjected to needling was at least 16 times better than that of a sensor that was not. In addition, the gauge factor was excellent, relative to the initial resistance of the sensor, so good performance as a sensor could be confirmed. Here, the dip-coating efficiency of hydrophobic materials, which have superior physical properties to hydrophilic materials but are not suitable due to their high surface tension, can be adopted to more effectively detect body movements and manufacture sensors with excellent durability and usability.

**Key words:** Biological Signal Monitoring, CNT-based Sensor, Dip-coating Micro Needling Effect, Smart Textile Sensor, Strain Sensor

### 요약

최근 신체활동에 대해 인식하는 센서와 그 제품군에 대한 관심 및 수요가 증가하고 있다. 특히 유연하고 연신이 가능하며 사용자의 생체신호를 감지할 수 있는 웨어러블 소재에 대한 개발이 주목받고 있다. 본 연구에서는 소수성 소재에 Micro Needle을 통해 미세 구멍을 형성한 후 SWCNT 분산용액에 대한 함침 효율을 향상시키는 실험을 수행하였다. 본 연구에서는 구멍을 뚫지 않은 소재를 대조(control) 군으로 함침을 진행, 비교 분석하였다. 센서의 전기전도도를 평가하기 위해 Strain UTM (Universal Testing Machine, UTM, Dacell)과 저항을 측정하는 멀티미터(Keysight)를 이용해 센서를 인장했을 때의 센서의 전기전도도를 측정하였다. 또한 센서의 내구성을 평가하기 위해 시료별로 500회 인장을 진행한 후에 센서의 전기전도도를 평가하였다. 그 결과 Needling을 한 센서의 전기전도성이 Needling을 하지 않은 센서에 비해 최소 16배 이상 뛰어남을 알 수 있었다. 또한 센서의 초기 저항에 비해 게이지 팩터도 우수해 센서로서 좋은 성능을 확인할 수 있었

※ 이 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0012770, 2022년 산업혁  
신인재성장지원사업).

<sup>1</sup> 윤하영: 숭실대학교 스마트웨어러블공학과 석사과정

<sup>2</sup> 김원진: 숭실대학교 유기신소재파이버공학과 학사과정

<sup>3†</sup> (교신저자) 김주용: 숭실대학교 유기신소재파이버공학과 교수 / E-mail: jykim@ssu.ac.kr / TEL: 02-820-0631

다. 이를 통해 친수성 소재에 비해 물성이 뛰어나지만, 높은 표면장력 때문에 함침 효율이 좋지 않았던 소수성 소재의 함침 효율을 높여 신체의 움직임을 더 효과적으로 감지하고 내구성과 활용 가능성이 뛰어난 센서를 제작했다.

**주제어:** 생체신호 분석, CNT기반센서, 함침공정, 마이크로 니들링, 스마트 텍스타일 센서, 스트레인 센서

## 1. 서론

최근 들어 신체활동을 인식하고 이에 대응하는 센서와 그 제품군에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 한 자리에 고정되어 사용되는 기존의 센서와는 달리 유연하고 연신 이 가능하며 사용자의 일상적인 활동 및 사용자와 관련된 주변요소들에 관한 정보를 실시간으로 감지할 수 있는 웨어러블 디바이스의 출현으로 이에 발맞춰 유연하고 연신 가능한 웨어러블 소재에 대한 개발이 더욱 주목받고 있다 (Larson et al., 2016; Pantelopoulos & Bourbakis, 2010).

그 중에서도 스마트 텍스타일 센서(Smart Textile Sensor)는 섬유 특성을 유지하면서 전기적 특성 등을 가지고 있는 것으로, 텍스타일(섬유, 실, 직물 등) 단계에서 전자소자, 신호선, 회로 등을 개발한 것을 말한다 (Seyedin et al., 2019). 스마트 텍스타일 센서는 섬유나 실, 직물 등의 텍스타일을 기반으로 하여 각종 전자장치의 기능을 수행하도록 센서 형태로 구현된 것을 말한다. 즉, 텍스타일 고유의 특성을 유지하면서 기계적, 열적, 화학적, 전기적, 자기적 자극과 같은 외부 자극의 물리적 양을 감지하고 검출할 수 있는 센서(Sensor)의 성능을 수행할 수 있는 장치를 의미한다. 스마트 텍스타일 센서는 웨어러블 소재 특성상 정확한 센싱에 더불어 의복으로써 좋은 착용감과 세탁성, 내구성이 요구된다(Kim & Cho, 2018; Wu et al., 2019).

섬유 소재를 웨어러블 센서화 하기 위해서는 텍스타일에 전도성 입자를 부착하는 것이 일반적이다. 그 중에서도 그래핀(Graphene), 탄소나노튜브(Carbon Nano Tube, CNT)와 같은 0, 1, 2차원 탄소 기반 마이크로/나노 물질은 높은 전자 전달 속도 및 기계적 특성, 넓은 표면적, 환경 안정성 및 저렴한 비용 덕에 웨어러블 센서 제작에 많이 사용된다. 특히, CNT는 우수한 기계적 물성, 화학 안정성, 유연성, 높고 안전한 전기전도도로 인해 섬유계 미세전극 및 바이오 센서와 같은 광범위한 분야에서 사용되어지고 있다(Joshi et al., 2012; Shahidi & Moazzenchi, 2018).

소재에 전도성 입자를 부착하는 방법으로는 함침공정이 가장 많이 사용되어진다. 함침공정이 주로 사용되는 이유는 직물에 전도성 입자를 분산시키는 가장 간단하고 효율적인 방법이기 때문이다(Song et al., 2013; Spotnitz et al., 2004). 함침공정은 대부분 Water solvent의 SWCNT (Single Wall Carbon Nano Tube) 용액을 사용한다. 친수성 소재를 함침할 때는 효과적이지만 폴리우레탄(Poly Urethane, PU) 등을 이용하는 소수성 소재는 전도성 입자의 침투가 힘들어 함침 공정이 제대로 이루어지지 않는 경우가 많다. 이로 인해 소수성 섬유 소재는 물성은 뛰어나지만 함침이 쉽지 않아 전도성 소재로써 잘 사용되어지지 않고 있다(Makowski et al., 2014).

본 연구에서는 이를 해결하기 위해 소수성 소재에 Micro Needle Machine을 통해 미세 구멍을 형성해 소재의 함침 효율을 향상시키는 연구를 수행하였다. Micro Needle은 최근 약물학계에서 주로 사용되는 방법으로 피부 최외각 층인 각질층의 보호에 의한 전달학적 한계를 가지고 있는 기존 약물 투여구조의 한계를 극복하기 위해 각질에 수십 혹은 수백 마이크로의 미세 구멍을 형성해 약물을 효과적으로 투여하는 방식이다(Hou et al., 2017). 본 연구에서는 Micro Needle을 섬유소재에도 적용시켜 소수성 소재의 함침 공정의 효율을 높이는 연구를 수행하였다.

연구에서는 Micro Needle을 통해 미세구멍을 형성한 소재의 함침 횟수에 따른 함침 효율의 변화를 관찰하고 Micro Needle을 진행하지 않은 소재와의 함침효율, Gauge Factor 비교를 진행하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 재료 및 시료

본 연구에서는 증류수를 Solvent로 사용하는 SWCNT 분산액(wt0.1%)과 폴리에스터(Polyester) 90%, 폴리우

레탄(polyurethane)10%으로 이루어진 소재에 소재의 함침성을 높여주는 Micro Needle (Lifty 66, Auto MTS)을 통해 총 4200개의 미세 구멍을 형성했다. Fig. 1와 같이 레이저 커팅기를 이용해 30\*80mm크기로 자른 소재를 SWCNT 용액에 10분동안 담근 후 패딩기(Padder, Daelim)를 통해 함침 공정을 진행했다. 선행연구(Makowski et al., 2014).에 따르면 원단에 패딩기를 이용해서 함침공정을 진행할 때 전도성 입자가 소재에 효과적으로 분산되고 적절한 네트워크를 형성함을 확인할 수 있었다. 함침 후 60°C의 건조기(Dryer, DAELIM lab, 한국)에서 5분동안 건조하였다. 선행연구(Vu & Kim, 2020).에 따르면 60°C의 건조기에서 소재를 건조 시키면 시료 표면의 전도성 입자들이 네트워크를 이루게 되어 전도성이 높아져 저항값이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 이 후 소재를 실온(20°C)에서 24시간 동안 건조시켰다. 시료를 제작하는 과정은 Fig. 2와 같다.

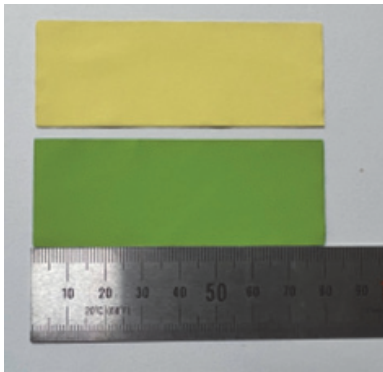


Fig. 1. Fabric used in this paper (PE90/PU10)

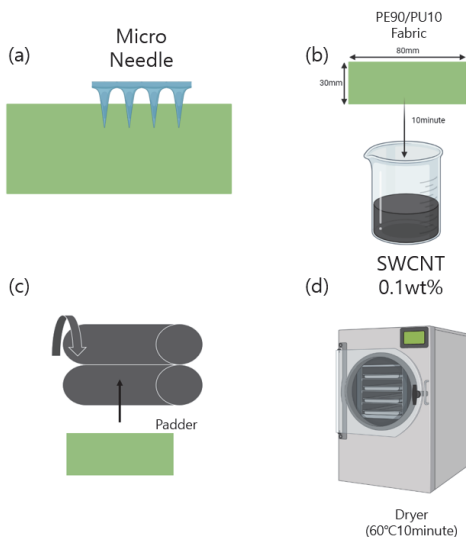


Fig. 2. (a)-(d) Progress of conductive specimen fabrication

## 2.2. 측정 항목

본 연구는 소재에 Micro Needling에 의한 함침효율의 증가를 확인하는 연구이기 때문에 모든 실험은 소재에 Needling을 한 소재와 하지 않은 소재의 비교 실험으로 진행하였다.

텍스타일 센서의 성능에 중요한 요건으로 전기전도도를 선정했다(Vu & Kim, 2020).의하면 전기 전도성은 텍스타일 센서의 성능을 평가하기 위한 중요한 요소이기 때문이다.

첫번째로는 SWCNT 함침 횟수에 따른 센서의 전기적 특성 변화를 관찰했다. 소재에 SWCNT를 함침하는 횟수에 따라 소재에 전도성 입자의 분산이 증첩되어 전기적 특성이 변화하는 과정을 분석하였다.

두번째로는 센서의 게이지 팩터(Gauge Factor, GF)를 측정한다. 게이지 팩터는 센서의 민감도를 나타낸다(Yun et al., 2021). 센서의 민감도는 센서의 성능을 나타내는 중요한 지표 중 하나이다.

마지막으로 센서의 센싱 내구성을 평가했다. 내구성은 텍스타일 센서의 가장 큰 단점 중 하나이다. 의복의 특성상 전도성 입자의 탈락으로 인해 센서의 Baseline Drift 현상이 일어나게 되면 정상적인 센싱이 힘들기 때문이다. 이번 실험에서는 소재에 인장을 500회 진행했을 때 센서의 저항변화율과 센서의 Baseline의 경향을 살펴본다.

## 2.3. 평가 방법

센서의 전기전도도를 평가하기 위해 Fig. 3과 같이 Strain UTM (Universal Testing Machine, UTM, Dacell).와 저항을 측정하는 멀티미터(Keysight)를 이용해 센서를 30% 인장했을 때의 저항변화율을 5회 측정 후 평균치를 산출한다. 또한 센서의 민감도를 평가하기 위해 게이지 팩터(Gauge Factor, GF)를 평가한다. 게이지 팩터는 아래의 식을 통해 구한다.

$$GF = \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{\frac{\Delta L}{L_0}} = \frac{\Delta R}{\epsilon R_0}$$

GF: 게이지 팩터(Gauge Factor)

L0:최초 길이(Initial Length)

ΔL: 길이 변화(Applied Length)

R0:최초 저항(Initial Resistance)

ΔR: 저항 변화(Applied Resistance)

ε(strain value): 섬유에 외력이 발생하는 방향으로 인장이 생겨 최초 길이 L0인 섬유가 ΔL만큼 변할 때의 길이변형을 ΔL/L0

센서의 내구성을 평가하기 위해서 UTM을 통해 500회 연속 인장시험을 한 후 Baseline Drift의 경향을 살펴 보았다. Baseline Drift의 경향은 500회 인장을 진행한 후의 센서의 초기저항을 인장하기 전 센서의 초기저항으로 나눈 임의의 값 BD를 이용해 계산한다.

$$BD = \frac{R_f}{R_0}$$

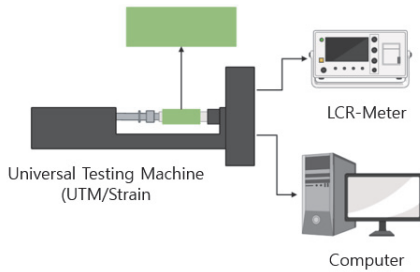


Fig. 3. Universal testing machine (UTM) & multimeter to measure resistance

BD: Baseline Drift value

R<sub>0</sub>: 센서의 초기저항

R<sub>f</sub>: 500회 인장 후 센서의 초기저항

### 3. 연구 결과

#### 3.1. SWCNT 함침 횟수에 따른 센서의 전기적 특성 변화 분석

30mm\*80mm 크기의 센서를 각각 SWCNT로 2,3회 함침 후 Micro Needling을 진행하지 않은 센서와 비교를 통해 전도성의 변화를 측정하였다. 공정은 Fig. 2의 과정을 반복해서 진행하였다. 그 결과 Fig. 4의 형태가 되었다. 함침 공정을 2, 3회 진행한 이유는 SWCNT를 소수성 소재에 함침을 하는 과정에서 SWCNT를 1회만

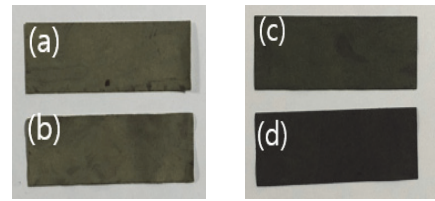
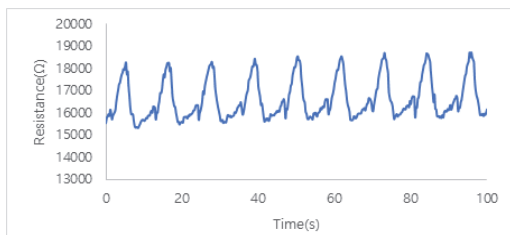
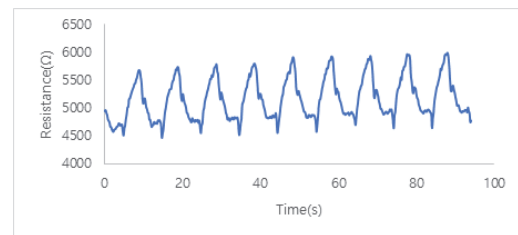


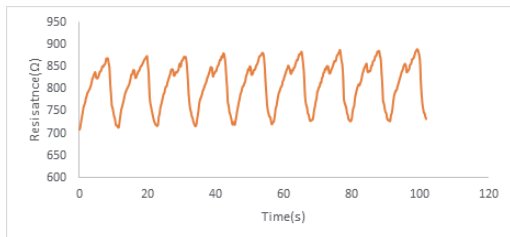
Fig. 4. Spicemen with dip coating process  
 (a) Non Needled Spicemen with 2 dip coating process  
 (b) Non Needled Spicemen with 3 dip coating process  
 (c) Needled Spicemen with 2 dip coating process  
 (d) Needled Spicemen with 3 dip coating process



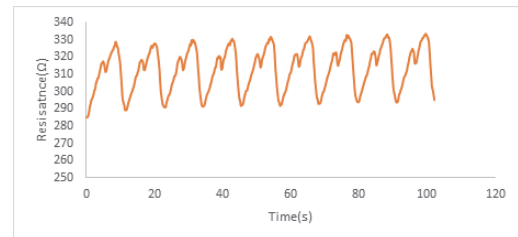
(a) Non Needled Spicemen with 2 dip coating process



(b) Non Needled Spicemen with 3 dip coating process



(c) Needled Spicemen with 2 dip coating process



(d) Needled Spicemen with 3 dip coating process

Fig. 5. Resistance changes of spicemen

(a)-(b) Non Needled Spicemen (c)-(d) Needled Spicemen (SWCNT 0.1% Water Solvent, 30\*80mm Spicemen)

함침하는 경우에는 전도성입자가 충분히 침투하지 못해 센서의 초기 저항값이 너무 높고 스트레인에 대한 정확한 센싱이 힘들었기 때문이다. 센서의 전기전도도는 UTM과 Multimeter를 통해 30%인장을 9회동안 반복하고 이때의 센서의 저항 변화값을 측정했다.

Fig. 5에 의하면 Micro Needling Machine을 통해 Needling을 진행한 후 함침공정을 진행한 센서의 전기 전도도가 Needling을 하지 않고 함침공정을 진행한 비교군의 센서에 비해 매우 높은 것을 볼 수 있다. Fig. 5에 의하면 Needling을 진행하지 않은 센서의 초기 저항값은 Needling을 진행한 센서에 비해 2회 함침한 센서기준(Non Needling: 15703Ω, Needling 709Ω) 약22배, 3회 함침한 센서 기준(Non Needling: 4514, Needling 285Ω) 약 16배 차이 나는 것을 볼 수 있다. 이 것은 Micro Needling을 통해 SWCNT입자의 함침효율이 매우 높아졌음을 알 수 있다. 그리고 Fig. 5를 통해 Micro Needling을 진행한 센서의 경우 Strain에 의한 저항의 변화는 Needling을 진행하지 않은 센서에 비해 Baseline이 더 안정적인 거동을 보이는 것을 확인할 수 있다.

### 3.2. 센서의 Gauge Factor

각 센서의 저항값 변화의 양상과 게이지 팩터(Gauge

Factor, GF)값을 알아보기 위해 Fig. 6, Table 1을 제작하였다. GF값은 스트레인 센서의 외부 힘에 의한 길이 변화에 대한 센서의 저항 변화의 정도를 알아보는 수치로 인장에 의한 센서의 민감도를 나타낸다.

Needling을 한 센서, 하지 않은 센서 모두 2회 함침을 진행한 센서의 GF가 더 높게 나왔다. 그 이유는 2회 함침한 센서는 3회 함침한 센서에 비해 함침된 전도성 입자의 분포가 적기 때문에 인장에 의해 전도성입자 분포의 간격의 변화가 더 크기 때문이다.

그리고 Needling을 하지 않고 함침한 센서가

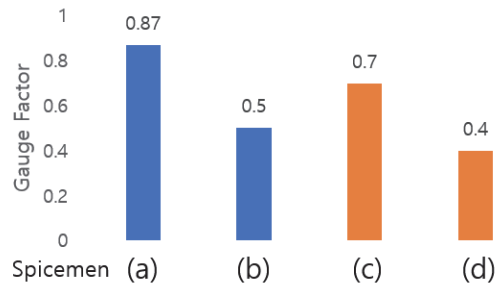


Fig. 6. Gauge Factor of sensors  
 (a) Non Needed Spicemen with 2 dip coating process  
 (b) Non Needed Spicemen with 3 dip coating process  
 (c) Needed Spicemen with 2 dip coating process  
 (d) Needed Spicemen with 3 dip coating process

Table 1. Comparison of resistance & gauge factor with strain

Non Needling 2 time Dip-coating Resistance										
(Unit:Ω)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Average
R <sub>0</sub>	15703	15697	15687	15928	15751	15943	16074	15795	16076	15850.4
R <sub>f</sub>	18127	18028	18162	18162	18372	18480	18452	18603	18537	18324.7
ΔR	2424	2331	2475	2234	2621	2537	2378	2808	2461	2474.3
Non Needling 3 time Dip-coating Resistance										
(Unit:Ω)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Average
R <sub>0</sub>	4514	4476	4556	4586	4564	4580	4700	4643	4646	4585
R <sub>f</sub>	5654	5626	5655	5740	5873	5879	5865	5940	5903	5792.7
ΔR	1140	1150	1099	1154	1309	1299	1165	1297	1257	1207.7
Needling 2 time Dip-coating Resistance										
(Unit:Ω)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Average
R <sub>0</sub>	709	714	719	717	720	724	729	728	734	721.5
R <sub>f</sub>	859	870	866	872	872	874	877	874	884	872
ΔR	150	156	147	155	152	150	148	146	150	150.4
Needling 3 time Dip-coating Resistance										
(Unit:Ω)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Average
R <sub>0</sub>	285	289	291	291	291	292	293	293	294	291
R <sub>f</sub>	326	326	328	327	329	331	331	330	331	328.7
ΔR	41	37	37	36	38	39	38	37	37	37.7

Needling을 하고 함침한 센서에 비해 GF값이 2회 함침한 센서기준 약 24%, 3회 함침한 센서기준 약 25% 높음을 확인할 수 있었다. 이 결과로 인해 Needling 하지 않고 함침을 진행한 센서가 Needling을 한 후에 함침을 진행한 센서에 비해 인장에 대한 민감도가 높다고 볼 수 있다. 하지만 이는 센서의 고유 기본 저항값 차이에 비해 미미한 결과이다. Fig. 5에 의해 센서의 전체적인 민감도를 나타내는 초기 저항은 2회 함침한 센서 기준 약 22배, 3회 함침한 센서 기준 약 16배 차이 나는 것을 감안한다면 인장에 의한 민감도인 GF값이 Needling을 하지 않고 함침을 진행한 센서와 Needling을 하고 함침을 진행한 센서가 약 20%밖에 차이 나지 않기 때문에 Needling을 하지 않은 센서가 더 민감도가 좋은 센서라고 보기는 힘들다. 오히려 GF는 20% 떨어지지만 초기 저항값이 낮아 전기전도성이 우수한 Needling을 진행한 센서의 민감도가 더 훌륭함을 알 수 있다.

### 3.3. 센서의 내구성 평가

각 센서의 내구성을 평가하기 위해 각 종류의 센서를 UTM과 Multimeter를 이용해 30% 인장을 500회 진행한 후에 센서의 전기전도도를 평가하였다. 센서의 전기전도도는 Baseline(초기저항값)의 Drift 경향을 임의의 값 Baseline Drift value (BD)를 통해 평가했다. 센서

의 500회 인장에 따른 Baseline Drift현상을 내구성 평가로 선정한 이유는 기존 선행연구(Wu et al., 2020; Wu et al., 2019).에서 텍스타일 센서의 Baseline Drift는 센서의 반복된 사용으로 인한 센서 초기저항값의 변화 경향을 나타내는 값으로 텍스타일 센서의 내구성과 신뢰도의 중요한 평가 항목으로 꼽히기 때문이다. Fig. 7의 그래프에 의하면 Needling을 진행하지 않고 함침을 진행한 센서는 반복된 인장으로 인해 Baseline이 불안정하게 상승함을 볼 수 있다. 반면에 Needling을 진행한 후 함침한 센서의 경우 500회 반복 인장을 진행하는 동안 일정한 수준의 Baseline을 유지하는 것을 볼 수 있다. 그리고 인장에 의한 전기전도도의 변화 경향도 그래프 상으로 살펴보았을 때, Needling을 진행한 후 함침한 센서의 경향이 Needling을 진행하지 않고 함침을 진행한 센서에 비해 매우 안정적인 거동을 보이는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과가 나온 이유는 Micro Needling을 진행한 센서의 경우 전도성 입자가 Needling에 의해 시료 표면에 형성된 구멍에 침투하기 때문에 전도성 입자의 탈락이 될 확률이 적기 때문이다. 그리고 Table 2를 토대로 임의의 값 BD로 평가했을 때, 2회 함침을 한 센서 기준 약 26배, 3회 함침을 한 센서 기준 12배 정도 차이 나는 것을 알 수 있다. 센서의 Baseline이 매우 안정적인 이유 중 하나는 센서의 소재로 물성이 좋은 PE, PU 소재를 사용했기 때문이다. PE,PU 소재는 인장에

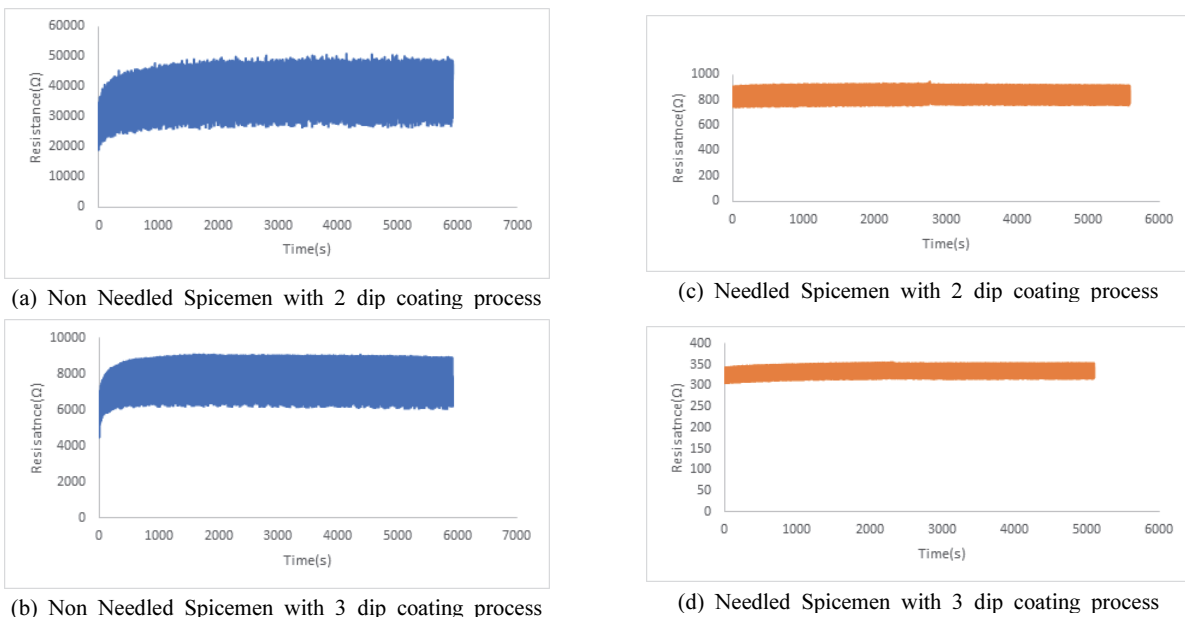


Fig. 7. Resistance changes of spicemens with 500 times strain  
 (a)-(b) Non Needed Spicemen (c)-(d) Needed Spicemen (SWCNT 0.1% Water Solvent, 30\*80mm Spicemen)

Table 2. Baseline drift of sensors

(Unit: Ω)	Non Needling 2 time Dip-coating	Non Needling 3 time Dip-coating	Needling 2 time Dip-coating	Needling 3 time Dip-coating
R <sub>0</sub>	19000	4476	751	307
R <sub>r</sub>	27338	6208	764	317
ΔR	8338	1732	13	-10
BD	0.439	0.387	0.017	0.032

의한 소재의 변형이 잘 일어나지 않고 회복강도도 뛰어나기 때문에 소재의 변형에 의한 Baseline Drift도 거의 일어나지 않았음을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 소수성 소재 표면에 Micro Needling Machine을 통해 미세 구멍을 형성한 후, 함침공정의 효율을 높은 Strain Sensor를 제작하고 이를 UTM과 Multimeter를 통해 평가하는 연구를 진행하였다. 이를 통해 친수성 소재에 비해 물성이 뛰어나지만 표면의 높은 표면장력에 의해 떨어졌던 소수성 소재의 함침 효율을 극대화시켜 신체의 움직임을 더 효과적으로 센싱하고 내구성과 활용가능성이 뛰어난 센서를 제작할 수 있게 되었다. 연구 결과 Needling을 진행한 후에 함침을 한 센서 중에 3회 함침을 진행한 센서의 초기저항과 전기전도도가 가장 뛰어난 것으로 확인되었다. 하지만 3회 함침한 센서의 경우 Gauge Factor가 2회 함침한 센서에 비해 낮게 형성되는 것을 볼 수 있다. 이 것은 센서가 가지고 있는 기본적인 전기전도성은 우수하지만 인장에 대한 전기전도도의 민감도가 낮음을 말한다. 센서에 전도성 입자가 과하게 분포되면 오히려 기초 저항이 매우 낮아 외부의 스트레스에 대한 반응의 민감도가 떨어질 수 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 내구성 평가에서도 Baseline Drift 경향 측정을 통해 Needling을 진행한 후 함침을 한 센서의 내구성이 비교군의 센서에 비해 매우 뛰어남을 알 수 있었다. 이는 Needling을 통해 미세구멍에 정착된 전도성 입자는 기존의 함침된 전도성입자에 비해 탈락할 확률이 적고 입자의 분포가 고르게 형성되기 때문이다.

센서의 민감도나 내구성은 텍스타일 센서의 성능을 평가할 때 매우 중요한 요소지만 이것들이 센서의 절

대적인 지표라고 할 수는 없다. 예를 들어 신체의 큰 관절의 움직임을 센싱하는 팔꿈치 인장 센서, 허벅지 근육 인장센서 같은 경우는 민감도는 조금 떨어지지만 높은 내구성을 필요로 한다. 반대로 손가락이나 얼굴 표정같은 미세한 움직임을 센싱하기 위한 텍스타일 센서는 높은 민감도가 필요하기 때문에 용도에 맞춰 다양한 종류의 센서의 사용을 필요로 한다.

본 연구는 마이크로 니들링 공정을 통해 기존에 좋은 물성에도 불구하고 함침효율이 떨어져 텍스타일 센서로 사용되지 못했던 소수성 소재를 이용해 텍스타일 센서를 제작하였다. 제작된 센서는 물성과 기능이 다소 제한적이었던 기존의 텍스타일 센서보다 더 다양한 분야에서의 활용이 가능할 것으로 사료된다.

#### REFERENCES

Hou, A., Cohen, B., Haimovic, A., & Elbuluk, N. (2017). Microneedling: A comprehensive review. *Dermatologic Surgery*, 43(3). [https://journals.lww.com/dermatologicsurgery/Fulltext/2017/03000/Microneedling\\_\\_A\\_Comprehensive\\_Review.1.aspx](https://journals.lww.com/dermatologicsurgery/Fulltext/2017/03000/Microneedling__A_Comprehensive_Review.1.aspx)

Joshi, U. A., Sharma, S. C., & Harsha, S. P. (2012). Effect of carbon nanotube orientation on the mechanical properties of nanocomposites. *Composites Part B: Engineering*, 43(4), 2063-2071.

Kim, I., & Cho, G. (2018). Polyurethane nanofiber strain sensors via in situ polymerization of polypyrrole and application to monitoring joint flexion. *Smart Materials and Structures*, 27(7). DOI: 10.1088/1361-665X/aac0b2

Larson, C., Peele, B., Li, S., Robinson, S., Totaro, M., Beccai, L., Mazzolai, B., & Shepherd, R. (2016).

- Highly stretchable electroluminescent skin for optical signaling and tactile sensing. *Science*, 351(6277), 1071-1074. DOI: 10.1126/science.aac5082
- Makowski, T., Kowalczyk, D., Fortuniak, W., Jeziorska, D., Brzezinski, S., & Tracz, A. (2014). Superhydrophobic properties of cotton woven fabrics with conducting 3D networks of multiwall carbon nanotubes, MWCNTs. *Cellulose*, 21(6), 4659-4670. DOI: 10.1007/s10570-014-0422-0
- Pantelopoulos, A., & Bourbakis, N. (2010). A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, 40, 1-12. DOI: 10.1109/TS-MCC.2009.2032660
- Seyedin, S., Zhang, P., Naebe, M., Qin, S., Chen, J., Wang, X., & Razal, J. M. (2019). Textile strain sensors: A review of the fabrication technologies, performance evaluation and applications. *Materials Horizons*, 6(2), 219-249. DOI: 10.1039/c8mh01062e
- Shahidi, S., & Moazzenchi, B. (2018). Carbon nanotube and its applications in textile industry – A review. *The Journal of The Textile Institute*, 109(12), 1653-1666. DOI: 10.1080/00405000.2018.1437114
- Song, Y. I., Lee, J. W., Kim, T. Y., Jung, H. J., Jung, Y. C., Suh, S. J., & Yang, C.-M. (2013). Performance-determining factors in flexible transparent conducting single-wall carbon nanotube film. *Carbon Letters*, 14(4), 255-258. DOI: 10.5714/cl.2013.14.4.255
- Spotnitz, M. E., Ryan, D., & Stone, H. A. (2004). Dip coating for the alignment of carbon nanotubes on curved surfaces. *Journal of Materials Chemistry*, 14(8). DOI: 10.1039/b308548a
- Vu, C. C., & Kim, J. (2020). Highly elastic capacitive pressure sensor based on smart textiles for full-range human motion monitoring. *Sensors and Actuators A: Physical*, 314. DOI: 10.1016/j.sna.2020.112029
- Vu, C. C., & Kim, J. (2020). Highly sensitive e-textile strain sensors enhanced by geometrical treatment for human monitoring. *Sensors*, 20(8). DOI: 10.3390/s20082383
- Wu, R., Ma, L., Patil, A., Hou, C., Zhu, S., Fan, X., Lin, H., Yu, W., Guo, W., & Liu, X. Y. (2019). All-textile electronic skin enabled by highly elastic spacer fabric and conductive fibers. *ACS Appl Mater Interfaces*, 11(36), 33336-33346. DOI: 10.1021/acami.9b10928
- Yun, H.-Y., Kim, S.-U., & Kim, J.-Y. (2021). Carbon-nanotube-based spacer fabric pressure sensors for biological signal monitoring and the evaluation of sensing capabilities. *Korean Society for Emotion and Sensibility*, 24(2), 65-74. DOI: 10.14695/kjsos.2021.24.2.65

원고접수: 2022.07.14

수정접수: 2022.08.05

게재확정: 2022.08.09