

동작 모니터링 스마트 의류를 위한 직물 센서의 성능 평가 더미 실험을 중심으로

Performance Evaluation of Fabric Sensors for Movement-monitoring Smart Clothing:
Based on the Experiment on a Dummy

조현승* · 박선형* · 강다혜** · 이강휘*** · 강승진***

Hyun-Seung Cho* · Sun-Hyeong Park* · Da-Hye Kang** · Kang-Hwi Lee*** · Seung-Jin Kang***

한보람**** · 오정훈**** · 이해동**** · 이주현***† · 이정환****†

Bo-Ram Han**** · Jung-Hoon Oh**** · Hae-Dong Lee**** · Joo-Hyeon Lee***† · Jeong-Whan Lee****†

*연세대학교 심바이오틱라이프텍연구원

*Institute of Symbiotic Life-TECH, Yonsei University

**연세대학교 생활과학대학 의류환경학과

**Department of Clothing & Textiles, College of Human Ecology, Yonsei University

***건국대학교 의료생명대학 의공학부

***School of Biomedical Engineering, College of Biomedical & Life Science, Konkuk University

****연세대학교 교육과학대학 체육교육학과

****Department of Physical Education, College of Science Education, Yonsei University

Abstract

This study explored the requirement of fabric sensor that can measure the motion of the joint effectively by measuring and analyzing the variation in electric resistance of a sensor in accordance with bending and stretching motion of the arm by the implementation of a motion sensor utilizing conductive fabric. For this purpose, on both sides of two kinds of knitted fabric, namely 'L' fabric and 'W' fabric Single Wall Carbon Nano-Tube(SWCNT) was coated, fabric sensor was developed by finishing them in a variety of ways, and the sensor was attached to the arm band. The fabric sensor consisted of total 48 cases, namely background fabric for coating, the method of sensor attachment, the number of layer of sensors, the length of sensor, and the width of sensor. The performance of fabric motion sensors in terms of a dummy arm, that is, a Con-Trex MJ with 48 arm bands around it was evaluated. For each arm band, a total of 48, fastened around the dummy arm, it was adjusted to repeat the bending and stretching at the frequency : 0.5Hz, ROM : 20°~120°, the voltage was recorded for each case after conducting

※ 본 연구는 문화체육관광부의 스포츠산업기술개발사업(S072014112014)에 의거 국민체육진흥공단의 국민체육진흥기금을 지원받아 연구되었습니다.

† 교신저자 : 이주현(연세대학교 생활과학대학 의류환경학과), 이정환(건국대학교 의료생명대학 의공학부)

E-mail : ljhyeon@yonsei.ac.kr, jwlee95@kku.ac.kr

TEL : 02-2123-3108, 043-840-3798

three sets of repeat measurement for a total of 48 cases. As a result of the experiment, and as a consequences of the evaluation and analysis of the voltage based on the uniformity of the base line of the peak-to-peak voltage(Vp-p), the uniformity of Vp-p within the same set, and the uniformity of the Vp-p among three sets, the fabric sensors that have been configured in SWCNT coated 'L' fabric / welding / two layers / 50×5mm, 50×10mm, 100×10mm, and SWCNT coated 'W' fabric / welding / two layers / 50×10mm exhibited the most uniform and stable signal value within 5% of the total variation rate. Through all these results of the experiment, it was confirmed that SWCNT coated fabric was suitable for a sensor that can measure the human limb operation when it was implemented as a fabric sensor in a variety of forms, and the optimal sensor types were identified.

Key Words: Movement Monitoring, SWCNT(Single Wall Carbon Nano-Tube), Fabric Sensor, Smart Clothing

요약

본 연구에서는 전도성 직물을 기반으로 동작 센서로 구현하여 팔의 굽힘, 펴 동작에 따른 센서의 전기저항의 변화를 측정, 분석함으로써 관절 동작을 효과적으로 측정 할 수 있는 직물 센서의 요건을 탐색하였다. 이를 위해 두 가지 편직물인 'L' 직물과 'W' 직물 양면에 Single Wall Carbon Nano-Tube(SWCNT) 코팅을 한 후 이를 다양한 형태로 후가 공하여 직물 센서를 개발하고 암 밴드에 부착하였다. 직물 센서는 코팅용 바탕 직물의 종류(2가지), 센서의 부착 방법(2가지), 센서의 layer 수(2가지), 센서의 길이(3가지), 센서의 너비(2가지)의 총 48개로 구성되었다. Con-Trex MJ에 48개의 암 밴드를 입힌 인체 모형 팔을 대상으로 직물 동작 센서의 성능을 평가하였다. 인체 모형 팔에 입혀진 총 48개의 암 밴드 각각에 대해서 frequency: 0.5Hz, ROM: 20°~120° 에서 굽힘과 펴 동작을 반복하도록 조정하였고, 48개 각 사례 당 세 세트(set)씩 반복 측정된 전압값을 기록하였다. 전압값을 peak-to-peak voltage(Vp-p)의 base line의 균일성, 동일 세트 내 Vp-p의 균일성, 세 세트 간의 Vp-p의 균일성을 기준으로 평가하고 분석한 결과, SWCNT 코팅된 'L' 직물을 두 겹으로 구성하여 열고정 방식으로 부착한 50×5mm, 50×10mm, 100×10mm 크기의 직물 센서와, SWCNT 코팅된 'W' 직물을 두 겹으로 구성하고 열고정 방식으로 부착한 50×10mm 크기의 직물 센서가 전체 변화율 5%이내의 가장 균일하고 안정적인 신호값을 나타내었다. 이상의 연구 결과를 통해 SWCNT 코팅 소재를 다양한 형태로 가공해 직물 센서로 구현했을 때 인체의 사지 동작을 측정할 수 있는 센서로서 적합함을 확인하였고, 최적의 센서 형태를 규명하였다.

주제어: 동작 모니터링, 싱글 월 탄소나노튜브, 직물 센서, 스마트 의류

1. 서론

최근 신체 활동과 개인 건강을 측정해주는 '피트니스 모니터' 기술이 반영된 제품이나 스마트폰 애플리케이션에 대한 관심이 증대되면서 스마트 워치, 스마트 안경 등 다양한 기능과 형태의 웨어러블 기기들이 출시되고 있다(ChosunBiz.com, 2014). Nike, Apple 등에서 개발된 제품들에서도 볼 수 있듯이 현재까지 운동량을 측정하는데 가장 많이 사용된 센서는 가속도 센서이며, 웨어러블 기기에 있어 가속도 센서는 걷는 동작, 운동량 등을 측정하는 용도로 사용되어 왔다(Currie et al., 1992). 그러나 가속도 센서를 기반으로 구현된 웨어러블 제품의 기능은 단순히 몸 전체의 동

작 여부와 속도를 측정하는 데에 국한되며, 인체 특정 부위의 동작을 측정하는 데는 한계가 있다. 한편 3D 전신스캐닝과 모션캡처시스템 등 정밀한 동작 센싱 기술은 거대한 측정 장비 및 기구를 필요로 하기 때문에 실시간으로 동작을 모니터링하는 것은 불가능하다.

따라서 본 연구에서는 전도성 직물을 기반으로 직물 센서를 구현하여 인체 내 관심 부위의 스포츠 동작을 측정하기 위한 가능성을 탐색하고자 한다. 이를 위한 본 연구의 세부 목표는 직물 동작 센서를 개발하여 암 밴드(arm band) 형태로 구현하고, 인체 모형 팔(dummy arm)을 이용해 직물 동작 센서의 성능을 평가함으로써 관절 동작을 효과적으로 측정할 수 있는 직물 센서의 요건을 탐색하는 것이다.

2. 선행연구 고찰

인체의 동작을 세부적으로 측정하는 데에 사용되는 기존의 방법으로는 3D 전신스캐닝, 모션캡처시스템 등을 예로 들 수 있다(Whittle, 1982). 이러한 시스템을 통한 동작 측정은 비교적 정밀한 데이터를 얻을 수 있으나 측정 대상 부위마다 적외선 마커를 붙여야 하는 등 측정 과정이 복잡하고 측정하고자 하는 동작 시 관절이 접히거나 가려지는 부위에는 적외선을 통한 동작 측정은 불가능하며, 한정된 공간에서만 측정이 가능하다는 단점이 있다. 이러한 기존 기술의 한계점을 극복하기 위한 방안의 하나로, Kang 등(2011)은 일상생활 중의 세부적인 인체 관절 동작 모니터링이 가능한 광섬유 기반 의류 소매형 동작 센서를 연구하여, 유연 광섬유 기반의 2D 관절 각도 센싱 의류의 측정 잡음을 감소시키기 위한 의복 구조 요건을 도출하였다. Cho 등(2011)은 전도성 실을 사용하여 브레이드(braid) 형태의 텍스타일 2D 관절 동작 센서를 구현하고 이를 의복에 적용하여 걷기 동작 센싱 방식을 연구하였다.

또한 Kolon Glotech, Inc.에서는 Pressure Sensor System(2013)을 연구하였다. 이 시스템은 자세 교정과 척추 등을 체크할 수 있는 것으로 보고되었으나 제품화 단계까지는 이르지 못하였다. 이밖에도 전자통신연구원에서 각종 생체 신호를 측정 후 이에 대응하는 생체 지수를 산출하여 건강관리 안내 서비스를 제공하는 생체 신호 측정 시스템(2007)을 구현한 바 있다.

한편, 국외에서는 동작 센싱 관련 연구 및 제품화가 국내에 비해 활발히 진행되고 있는 추세이다. 웨어러블 제품에 가장 보편적으로 사용되는 가속도 센서를 적용하여 개발된 사례는 Adidas의 Techfit Elite 셔츠, TUM(Technische Universität München)의 MiMed system, FAU(Friedrich-Alexander Universität)의 Shimmer system 등이 대표적이다. Adidas(2013)에서는 miCoachTM 프로젝트를 통하여 가속도 센서를 기반으로 축구 경기 및 러닝 시 스피드와 거리, 최대 스피드, 분당 보속, 심박수, 칼로리 등을 감지하고 피드백 하는 기능의 웨어러블 코칭 시스템인 Techfit Elite 셔츠를 개발하였다. TUM(2013)에서도 가속도 센서를 이용하여

동작을 측정하는 MiMed system을 개발하였는데, 8개의 동작 감지센서를 의복에 장착하여 움직임을 감지하고 데이터를 생성하여 다양한 목적에 사용할 수 있다. 독일의 FAU(2013)는 adidas, ESI, ASTRUM IT와 Digital Sports Group을 형성하고 ‘miLife Research Project’를 진행하였는데, 그 일환으로 가속도 센서를 이용하여 동작을 감지하는 Shimmer system을 개발, 이를 다양한 제품에 적용하였다. Fraunhofer(2013)에서도 MEMS 가속도 센서를 이용하여 자세를 모니터링 하고 동작을 분석하며 움직임을 감지하는 시스템을 개발한 바 있다. 가장 최근에는 Xsens에서 소형화 및 집적화된 MEMS 관성 측정 센서(IMU) 기술을 기반으로 무선으로 관절 동작을 측정하고 측정 정보를 전송하는 MVN suit를 개발하였는데, 이 의복에는 동작 센서를 최대 17개까지 부착할 수 있으나 부착되는 각 센서가 딱딱하고 무거워서 착용하기에 불편하다는 단점이 있다(Figure 1).

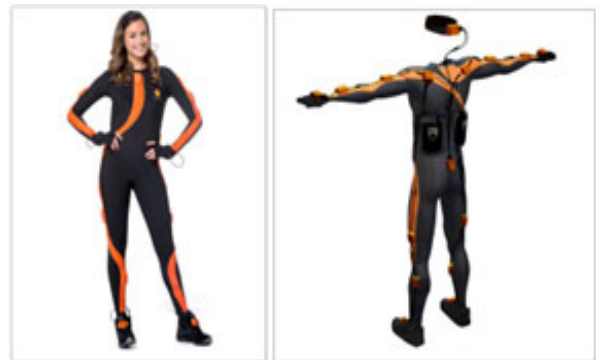


Figure 1. MVN suit (Xsens, 2014)

이밖에 압전 센서, 광 센서, 정전용량 기반의 연구 들은 다음과 같다.

스위스의 EMPA(2014)는 Piezoresistive sensor 원리를 적용한 stretchable motion sensor(Bend Sensor®)를 개발하여, 이를 장착한 의복형 동작 센싱 시스템을 개발하였고, 미국의 Minnesota 대학의 Wearable Product Design Center (2010)에서는 동작 시 광 센서의 bending에 따른 광(light) 양의 손실률(loss)을 기반으로 측정하는 single optical bend sensor를 의복에 장착해 착용자의 앉은 동작을 감지하여 자세를 바로잡도록 알려주는 조끼 형태의 의복을 연구하였다. 덴마크의 Danfoss (2013)에서는 변형률에 따른 정전용량 변화 기반의

동작감지용 스트레치 센서인 PolyPower®를 개발하였다(Figure 2).



Figure 2. PolyPower® (Danfoss, 2013) (<http://www.gizmag.com/danfoss-polypower-sport-sensors/26324/pictures#1>)

3. 연구 방법 및 절차

3.1. 직물 센서의 설계

탄소섬유는 전기를 통하기 때문에 전극 재료로 사용될 수 있으며, 특히 탄소나노튜브(CNT)가 원사에 그대로 적용될 경우에는 전기적 특성이 크게 달라지고 전도성 등에 탁월한 성능을 도출할 수 있다. 특히 활성탄소 섬유는 수많은 표면에 기공(pore) 비표면적이 상당히 크기 때문에 기공 사이즈를 잘 조절할 경우, 고용량 슈퍼캐패시터 전극재료로 사용이 가능하다(Figure 3)(Kang et al., 2009).

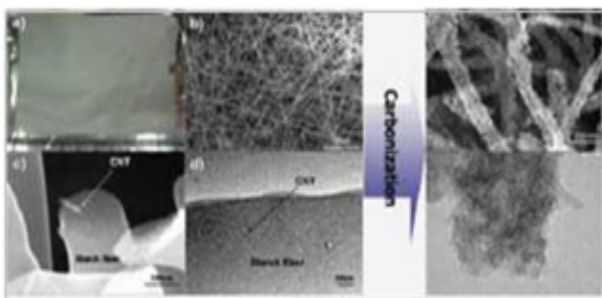


Figure 3. Morphology of CNT / Starch / PVA Fiber by Electrospinning

따라서 본 연구에서는 두 가지 편직물인 ‘L’직물(74% NYLON / 26% SPANDEX)과 ‘W’직물(77% POLYESTER / 23% SPANDEX) 양면에 싱글 월 나노튜브(Single Wall Carbon Nano-Tube: SWCNT) 코

팅을 한 후 이를 다양한 형태로 후가공하여 직물 센서를 개발하였다. 특히 센서의 성능 최적화를 위해 SWCNT 코팅 직물을 one layer 구조와 두 겹의 layer를 접착(bonding)한 two layers 구조로 센서의 신축 비율을 다르게 제작하였으며, 다양한 길이와 너비로 구현하였다.

3.2. 직물 센서를 부착한 암 밴드(arm band) 제작

국가기술표준원에서 2010년에 발표한 대한민국 표준 20대 남성 기준 사이즈(팔길이: 58.8(cm) / 겨드랑이둘레: 42.9(cm) / 위팔둘레: 30.1(cm) / 팔꿈치둘레: 28.6(cm) / 손목둘레: 16.4(cm))를 기반으로 제작된 인체 모형 팔(dummy arm)(Figure 4)에 맞추어 암 밴드(arm band)를 제작하고, 48개 사례의 센서를 각각 부착한 후 암 밴드를 마감처리 하였다. 이때 인체 모형 팔의 팔꿈치 선을 기준으로 세로 방향으로 센서를 배치(센서의 중심을 팔꿈치 선에 맞춰 봉제(sewing) 또는 열고정(welding)) 하였다. 암밴드에 부착된 직물 센서는 ‘L’ 직물에 SWCNT를 코팅한 경우, ‘L’직물의 암밴드에 부착하였고, ‘W’직물에 코팅된 것은 ‘W’직물로 제작된 암밴드에 부착하였다. 또한 센서의 양 끝단에 전압(voltage) 측정을 위한 신호선 연결용 스냅 버튼(snap button)을 부착하였다(Figure 5).



Figure 4. Dummy arm(Yang, 2015)

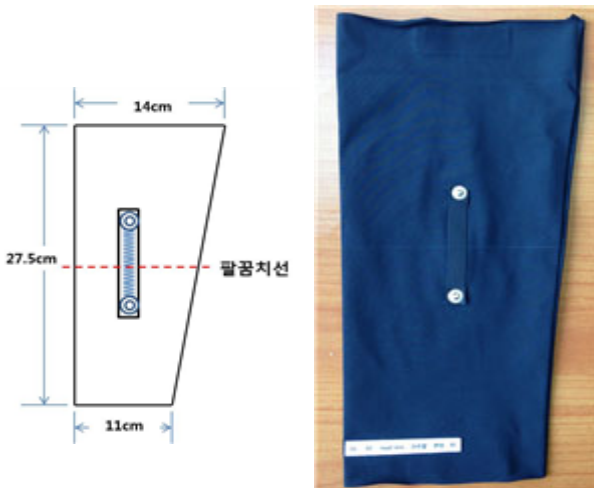


Figure 5. Arm band design(Lee et al., 2015)

Base fabric(Fabric types)	Method of sensor attachment	Number of layer of sensor	Length of sensor	Width of sensor
two cases	two cases	two cases	three cases	two cases
'L' fabric (74% NYLON / 24% SPANDEX) 'W' fabric (77% POLYESTER / 23% SPANDEX)	welding sewing	one layer two layers	50mm 100mm 150mm	5mm 10mm

Figure 6. Experimental variable(Lee et al., 2015)

드를 입힌 인체 모형 팔을 고정시킨 후, 팔꿈치의 ROM(range of motion) 및 frequency를 자동으로 일정하게 유지하도록 세팅하고, 이때의 전압을 기록하였다(Figure 7). 즉 센서의 형태에 따라 인체 모형 팔에 입혀진 총 48개의 압 밴드 각각에 대해서 frequency: 0.5Hz, ROM: 20°~120°에서 굽힘과 펴는 동작을 반복하도록 조정하였고, 48개 각 사례 당 세 세트(set)씩 반복측정 하였다. 굽힘과 펴는 10회 연속 동작 후 1분 동안 휴지기를 두었고, 이어서 다시 10회 연속 동작 후 1분 동안 휴지기를 두는 방식으로 세트를 반복하여 총 세 세트의 전압값을 기록하였다. 실험은 무선으로 진행하였다.

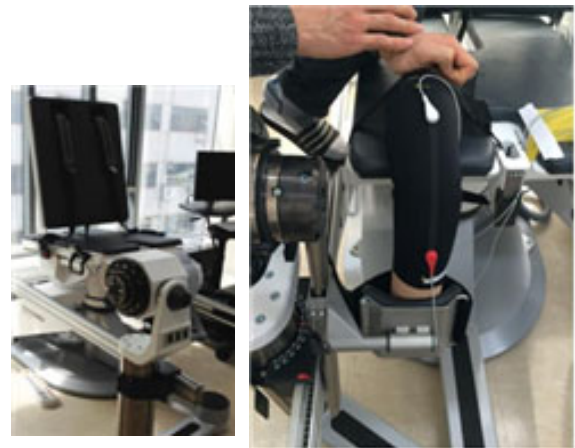


Figure 7. Main experiment

3.3. 실험 설계

3.3.1. 직물 센서의 유형

관절 동작을 효과적으로 센싱 할 수 있는 직물 센서의 요건을 규명하기 위하여 직물 동작 센서의 센싱 성능에 영향을 미칠 수 있는 요건들을 연구 변인으로 선정하였다. 즉, 전도성 재료(Single Wall Carbon Nano-Tube (SWCNT) : 싱글 월 카본 나노튜브 용액)가 코팅되는 바탕 직물, 센서의 부착 방식, 센서의 layer 수, 센서의 길이, 센서의 너비가 실험 변인으로, 이들의 조합에 따른 총 48가지 직물 센서 유형이 선정되었다(Figure 6).

3.3.2. 실험 프로토콜

Bio-mechanical test and training systems인 Con-Trex MJ (CMV AG Co., Switzerland)에 48개의 압 밴

4. 결과 및 논의

4.1. 직물 센서 성능 평가 방식

인체 모형 팔 대상 실험의 결과 데이터를 다음의 3가지 기준을 적용하여 각 직물 센서 유형에 따른 센싱 성능을 평가하였다. 세 세트의 동작 전반에 걸친 peak-to-peak voltage (Vp-p)의 base line의 균일성, 동일 세트 내에서 Vp-p의 균일성, 세 세트 간에 Vp-p의 균일성을 기준으로 평가하고 분석하였다. 대부분의 직물 동작 센서는 hysteresis 현상이 나타나는 한계점을 보이는데, base line이 균일하다는 것은 굽힘과 펴는 동작 시 직물 센서의 회복력이 양호함을 의미한다. 또한 동일 세트 내에서 균일한 Vp-p값과 세 세트

간 Vp-p값의 균일성은 센서 기능의 재현성과 신뢰성이 높음을 나타낸다. 따라서 double peak형 신호, Vp-p값과 base line이 불규칙적인 경우는 센서 성능 평가에서 부적합함으로 평가하였다. 다음의 Figure 8은 SWCNT 코팅된 'W'직물을 두 겹으로 열고정한 50×10mm 크기의 직물 센서에 대한 동작 실험 결과로, Vp-p와 base line이 균일한 결과 그래프 중 하나의 예를 제시한 것이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 Vp-p값이 균일하게 나타나고 있으며 base line도 안정적으로 나타나고 있다. 단, 이 유형은 신호의 크기가 작다는 단점이 있으나, 이는 증폭에 의해 보완이 가능하다. 한편, Figure 9는 SWCNT 코팅된 'W'직물을 한 겹으로 구성하고 봉제 방식으로 부착한 100×5mm의 직물 센서의 동작 실험 결과 그래프이며, double peak형 신호가 획득되며, base line도 불균일한 형태로 매우 불안정한 형태를 나타내는 것을 볼 수 있다.

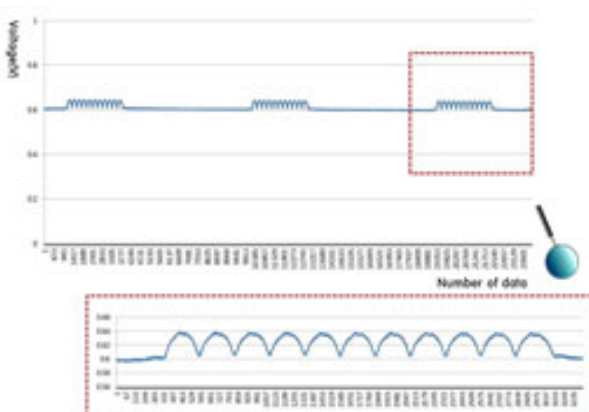


Figure 8. Example of the uniformity of Vp-p base line (SWCNT coated 'W' fabric/welding/two layers/50×10mm)

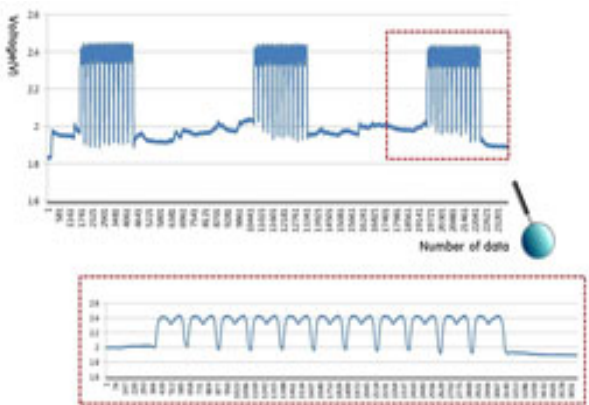


Figure 9. Example of the ununiformity of Vp-p base line & double peak graph(SWCNT coated 'W' fabric/sewing/one layer/100×5mm)

4.2. 정성적 분석을 통한 직물 센서 성능 1차 평가 결과

상기한 세 가지 기준에 따른 정성적 평가를 통해 동작 측정에 상대적으로 적합한 것으로 평가된 직물 센서 유형은 12개로, ① SWCNT 코팅된 'L'직물을 두 겹의 레이어로 구성하고 봉제(sewing) 방식으로 부착한 50×10mm 크기의 직물 센서, ② SWCNT 코팅된 'L'직물 / 한 겹의 레이어 / 열고정(welding) / 50×10mm, ③ SWCNT 코팅된 'L'직물 / 한 겹의 레이어 / 열고정 / 100×10mm, ④ SWCNT 코팅된 'L'직물 / 두 겹의 레이어 / 열고정 / 50×5mm, ⑤ SWCNT 코팅된 'L'직물 / 두 겹의 레이어 / 열고정 / 50×10mm, ⑥ SWCNT 코팅된 'L'직물 / 두 겹의 레이어 / 열고정 / 100×10mm, ⑦ SWCNT 코팅된 'L'직물 / 두 겹의 레이어 / 열고정 / 150×10mm, ⑧ SWCNT 코팅된 'W'직물 / 한 겹의 레이어 / 봉제 / 50×10mm, ⑨ SWCNT 코팅된 'W'직물 / 두 겹의 레이어 / 열고정 / 50×10mm, ⑩ SWCNT 코팅된 'W'직물 / 두 겹의 레이어 / 열고정 / 100×10mm, ⑪ SWCNT 코팅된 'W'직물 / 두 겹의 레이어 / 열고정 / 150×5mm, ⑫ SWCNT 코팅된 'W'직물을 두 겹의 레이어로 구성하고 열고정(welding) 방식으로 부착한 150×10mm 크기의 센서인 것으로 나타났다(Table 1).

전반적으로 볼 때, SWCNT 코팅된 'L'직물과 'W'직물 모두에 있어 센서 부착 방식은 봉제 방식보다는 열고정 방식이, 센서의 레이어 수는 한 겹보다는 두 겹일 때, 센서 너비는 5mm보다 10mm인 경우에 동작 센싱 성능의 재현성과 신뢰도가 높은 것으로 나타났다. 열고정(welding) 방식으로 부착한 직물 센서의 경우 내에서는 센서 길이에 따른 성능 차이가 명확히 나타나지 않았다. 센서는 봉제 방식보다 열고정 방식으로 부착한 경우가 전체적으로 더 잘 밀착되어서 안정적인 전압값이 나타나는 것으로 보이며, 센서의 레이어 수는 두 겹의 경우에 한 겹일 때 보다 신축률이 적어져서 hysteresis 값이 상대적으로 줄어들어 보다 안정적인 값을 보이는 것으로 예측해 볼 수 있다. 한편, 센서의 길이와 너비에 대해서는 실제 인체의 어느 부위(팔, 다리 등)의 동작을 측정할 것인가에 따라 달라질 수 있을 것으로 판단되어 향후 이에 대한 더욱 심도 있는 실험 연구가 필요할 것으로 사료된다.

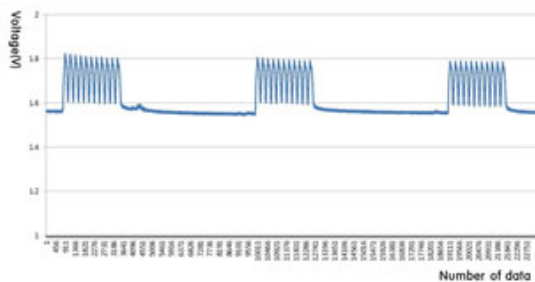
Table 1. Experimental results

Experimental variables					Evaluation factors						Overall valuation results			
Fabric types	Method of sensor attachment	Number of layer of sensor	Length of sensor (mm)	Width of sensor (mm)	Uniformity of Vp-p base line		Uniformity of Vp-p within the same set		Uniformity of Vp-p among three sets		Proper	Improper		
					good	bad	good	bad	good	bad				
SWCNT coated 'L' fabric (N74%/U26%)	welding	one layer	50	5		○		○		○		○		
				10	●		●		●		●		○	
			100	5		○		○		○		○		○
				10	●		●		●		●		○	
			150	5		○		○		○		○		○
				10		○		○		○		○		○
		two layers	50	5	●		●		●		●		●	
				10	●		●		●		●		●	
			100	5		○		○		○		○		○
				10	●		●		●		●		○	
			150	5		○		○		○		○		○
				10	●		●		●		●		○	
	sewing	one layer	50	5		○		○		○			○	
				10		○		○		○			○	
			100	5		○		○		○			○	
				10		○		○		○			○	
			150	5		○		○		○			○	
				10		○		○		○			○	
		two layers	50	5		○		○		○			○	
				10	●		●		●		●		○	
			100	5		○		○		○			○	
				10		○		○		○			○	
			150	5		○		○		○			○	
				10		○		○		○			○	
SWCNT coated 'W' fabric (P77%/U23%)	welding	one layer	50	5		○		○		○		○		
				10	●		●		●		●		○	
			100	5		○		○		○			○	
				10		○		○		○			○	
			150	5		○		○		○			○	
				10		○		○		○			○	
		two layers	50	5		○		○		○			○	
				10	●		●		●		●		○	
			100	5		○		○		○			○	
				10	●		●		●		●		○	
			150	5	●		●		●		●		○	
				10	●		●		●		●		○	
	sewing	one layer	50	5		○		○		○			○	
				10		○		○		○			○	
			100	5		○		○		○			○	
				10		○		○		○			○	
			150	5		○		○		○			○	
				10		○		○		○			○	
		two layers	50	5		○		○		○			○	
				10		○		○		○			○	
			100	5		○		○		○			○	
				10		○		○		○			○	
			150	5		○		○		○			○	
				10		○		○		○			○	

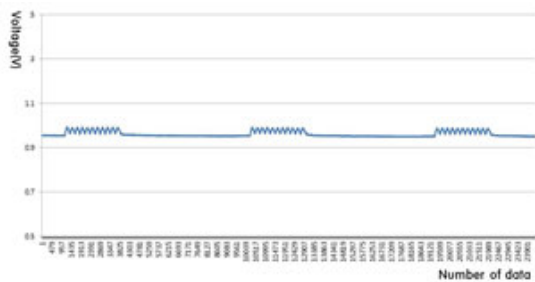
4.3. 정량적 분석을 통한 직물 센서 성능 2차 평가 결과

4.3.1. 베이스 라인의 변화량 분석

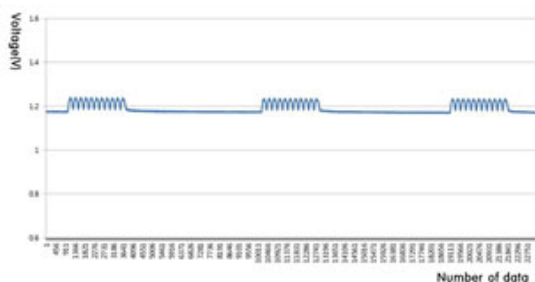
1차 선정된 12개의 직물 센서 중 전압 그래프 (voltage graph)의 모양과 세 세트의 반복 실험에 따른 그래프의 경사도(decline) 등을 더욱 세밀히 고려했을 때 특히 안정적인 전압값을 보인 것은 다음의 4가지 사례인 것으로 분석되었다. 즉, SWCNT 코팅된 'L'직물을 두 겹의 레이어로 구성하고 열고정 방식으로 부착한 50×5mm 크기의 직물 센서(Figure 10(a)), SWCNT 코팅된 'L'직물을 두 겹의 레이어로 열고정한 50×10mm 크기의 직물 센서(Figure 10(b)), SWCNT 코팅된 'L'직물을 두 겹의 레이어로 열고정한 100×10mm 크기의 직물 센서(Figure 10(c)), 그리고 SWCNT 코팅된 'W'직물을 두 겹의 레이어로 구성하고 열고정 방식으로 부착한 50×10mm 크기의 직물 센서(Figure 10(d))가 가장 안정적인 전압값을 나타내었다.



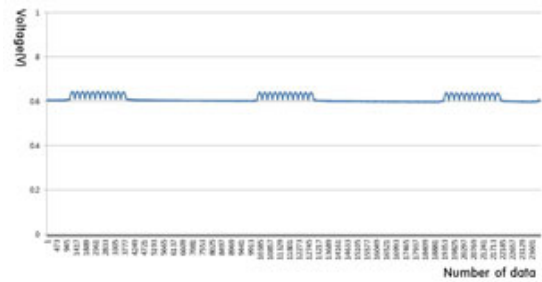
(a) SWCNT coated 'L' fabric/two layers/welding/50×5mm



(b) SWCNT coated 'L' fabric/two layers/welding/50×10mm



(c) SWCNT coated 'L' fabric/two layers/welding/100×10mm



(d) SWCNT coated 'W' fabric/two layers/welding/50×10mm

Figure 10. Variation of the Vp-p according to the sensor type

이상의 4가지 직물 센서의 베이스 라인 변화량을 정량적으로 분석하고 검증해보기 위해 동작 측정 실험 데이터 세트(set)의 Vp-p의 최고점과 최저점을 Savits-golay 필터링 방식으로 찾아내어 베이스 라인 변화량의 평균을 분석하였으며, 그 결과 변화율 5% 이내로 매우 안정적인 성능을 검증하였다(Table 2).

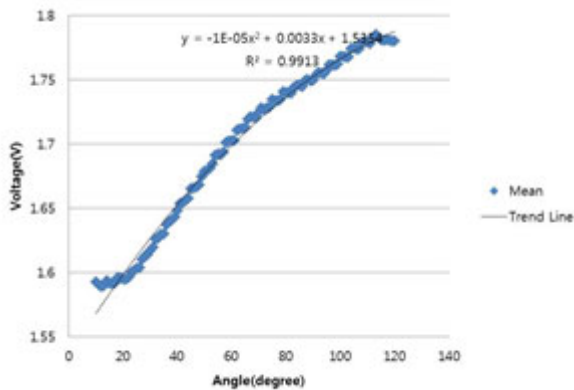
Table 2. Variation rate of the Vp-p according to the sensor type

Sensor types	Evaluation factors	Variation rate of base line (%)	Variation rate of Vp-p within the same set(%)	Variation rate of Vp-p among three sets(%)
SWCNT coated 'L' fabric, welding, two layers, 50×5mm		1.9	1.5	2.3
SWCNT coated 'L' fabric, welding, two layers, 50×10mm		1.8	2.8	4.2
SWCNT coated 'L' fabric, welding, two layers, 100×10mm		0	0	0
SWCNT coated 'W' fabric, welding, two layers, 50×10mm		0	0	0

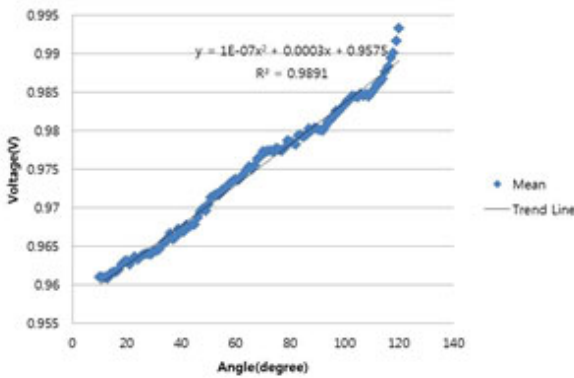
4.3.2. 회귀분석에 의한 동작 각도 센싱의 성능 평가

본 연구에서 측정된 관절 동작의 전압값을 통해 동작 각도를 추정하기 위하여 전 단계에서 적합한 것으로 평가된 4가지 직물 센서의 동작 실험 데이터에 대한 회귀분석(추세선 분석)을 수행하였다. 데이터 분석 자료는 Savits-golay 필터링을 수행한 실험데이터를 MATLAB을 이용하여 Peak값과 Valley값을 찾아내어, 10회 연속 반복 동작한 팔의 굽힘과 폼에 대한 값의 평균을 취하여 획득하였다. 관절 동작을 통한 비선형

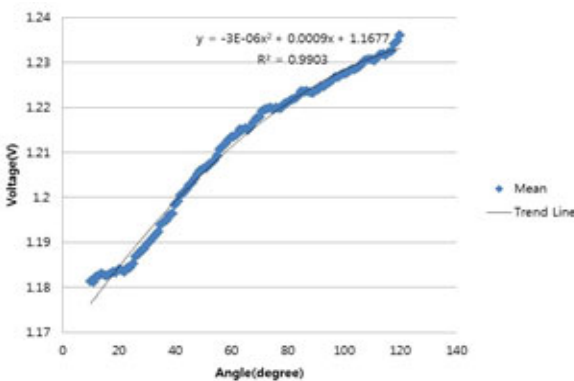
적인 측정 전압(Voltage)값을 선형적인 각도값으로 변환하기 위해서 두 상관 데이터를 2차 회귀분석법으로 통계분석 하였다. 분석 결과 회귀선에 대한 2차 방정식과 이를 대변하는 추세선에 대한 결정계수(R^2)가 0.99 이상으로 산출되어, 추론한 회귀방정식에 의해 비선형 데이터인 측정값을 동작 각도값으로 변환하는 것이 가능한 것으로 나타났다(Figure 11).



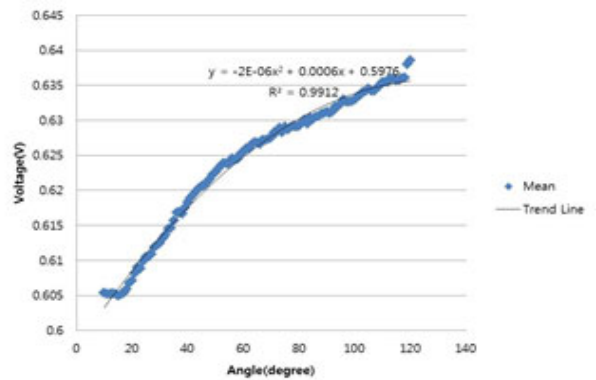
(a) SWCNT coated 'L' fabric/two layers/welding/50×5mm



(b) SWCNT coated 'L' fabric/two layers/welding/50×10mm



(c) SWCNT coated 'L' fabric/two layers/welding/100×10mm



(d) SWCNT coated 'W' fabric/two layers/welding/50×10mm

Figure 11. Trend line analysis(Angle vs. Voltage)

5. 결론

이상의 연구 결과를 통해 SWCNT 코팅 소재를 다양한 형태로 가공해 직물 센서로 구현했을 때 인체의 사지 동작을 측정할 수 있는 센서로서 적합성을 갖추기 위한 요건을 분석하였고, 직물 센서를 기반으로 관절 동작 센싱이 가능함을 규명하였다. 특히 기존의 대형 장비를 이용하거나 무겁고 딱딱한 형태가 아닌 의복 재료의 일부로 통합된 유연한 직물 센서를 활용하여 일상생활에 방해받지 않고 인체 부위별 동작 측정이 가능하다는 것을 밝힌 데에 본 연구의 의의가 있다.

본 연구에서는 팔의 굽힘과 펴는 동작 시 발생하는 근기능의 영향 등 개인차를 통제하기 위하여 인체 모형 팔을 대상으로 실험을 수행하였으나, 이는 실제 인체의 팔 동작 실험과는 차이를 보일 수 있으므로 후속 연구에서는 인체에 적용하여 본 연구 결과와 비교함으로써 검증해볼 필요가 있다. 향후 이러한 직물 동작 센서를 일상복이나 운동복 등에 통합하여 적용함으로써 인체의 사지 운동을 포함한 전신 운동량을 효과적으로 모니터링할 수 있을 뿐 아니라 이를 통해 대형 장비 없이 유산소 운동과 근력 운동 측정 모두에 적용되는 스마트 의류 및 웨어러블 시스템 구현이 가능할 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Cho, G. S., Jeong, K. S., Paik, M. J., & Kwun, Y. E. (2011). Performance evaluation of textile-based electrodes and motion sensors for smart clothing. *Sensors Journal IEEE, 11(12)*, 3183-3193.
- Currie, G., Rafferty F., Duncan, G., Bell, F., & Evans, A. L. (1992). Measurement of gait by accelerometer and walkway: a comparison study, *Med. Biol. Eng. Comput., 30*, 669-670.
- Daniel, R., Henk, L. & Per, S. (2013). Xsens MVN: Full 6DOF Human Motion Tracking Using Miniature Inertial Sensors, XSENS TECHNOLOGIES - VERSION APRIL 3, 2013.
- Eskofier, B. (2013). Wearable computing systems for recreational and elite sports, *Wearable Technologies Conference 2013, Munich*.
- Hofmann, C. (2012). Wearable sensors and wireless data transmission, *Wearable Technologies Congress 2012, Munich*.
- Kang, D. H., Lee, Y. J., Lee, J. W., & Lee, J. H. (2011). A study on the sleeve-shaped platform of POF-based joint angle sensor for arm movement-monitoring clothing, *Journal of the Science of Emotion & Sensibility, 14(2)*, 221-226.
- Kolon Glotech, Inc. (2013). Pressure Sensor System, *ISPO 2013, Munich*.
- Korea Information Society Development Institute (2009). Derive a core competence of IT fusion and activation of industry & IT fusion, *policy research 09-72*.
- Korean Agency for Technology and Standards (2010). Research project report of the sixth 3-dimensional shape measurement of Korean body dimensions.
- Lee, J. H., Cho, H. S., & Park, S. H. (2015). Sports industrial technology development projects, workshop 2015, Jeju Island.
- Lorenzo, T. (2013). Wearable systems for movement recording in care support, *Wearable Technologies Conference 2013, Munich*.
- Melnykowycz, M. & Clemens, F. (2014). Flexible sensor materials for improved product development, *Wearable Technologies Conference 2014, Munich, Germany Jan. 27*.
- Niazmand, K., Jehle, C., D'Angelo, L. T., & Lueth, T. C. (2010). A new washable low-cost garment for everyday fall detection, *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE, 6377-6380*.
- Whittle, M. W. (1982). Calibration and performance of a 3-dimensional television system for kinematic analysis. *Journal of Biomechanics, 15(3)*, 185-196.
- Yang, J. H. (2015). A design and development of the sportswear supporting piezoelectricity harvesting from the joint movement, *doctoral thesis, Yonsei University*.
- Dunne, L. (2010). Posture-monitoring Vest, Wearable Product Design Center at the University of Minnesota's College of Design. Retrieved from http://faculty.design.umn.edu/dunne/past_projects/
- IT동아 편집부(2012). 스마트폰이 건강을 지켜드립니다, *it.donga.com*, 2012.10.09. Retrieved from <http://it.donga.com/11286/>
- Park, J. H. (2014). ‘운동량 건강 측정하는 웨어러블 기기’가 뜬다, *ChosunBiz.com*, 2014.12.17. Retrieved from http://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2014/01/07/2014010702870.html
- 원고접수: 2015.08.12
수정접수: 2015.09.14
게재확정: 2015.10.22