

직물 센서의 모양과 부착 위치가 사지 동작 센싱 의류의 센싱 성능에 미치는 영향

Effect of the Shape and Attached Position of Fabric Sensors
on the Sensing Performance of Limb-motion Sensing Clothes

조현승* · 양진희* · 전동진** · 이주현***†

Hyun-Seung Cho* · Jin-Hee Yang* · Dong-Jin Jeon** · Joo-Hyeon Lee***†

*연세대학교 심바이오틱라이프텍연구원

*Institute of Symbiotic Life-TECH, Yonsei University

**연세대학교 생활과학대학 의류환경학과

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

Abstract

The purpose of this study was to analyze the effect of the shape and attached position of E-textile-based stretchable sensors on motion-sensing performance and to investigate the requirements for the optimal structure of clothes for sensing limb motions. An experimental garment was prepared with different sensor shapes, and attachment positions. A child subject, wearing the experimental garment, performed arm and leg bending and extension motions at 60°, 90° and 120° motion angles, at a rate of 60 deg/sec. The changes in voltage triggered by the stretching and contracting of the fabric-sensor were measured, and an acceleration sensor was utilized to verify that the experimental motions were correctly performed. Dummy arms and legs of a child were manufactured to perform an identical test, in order to compare the dummy results with the actual human body experiment results. The analysis showed that the reproducibility and reliability of the rectangular sensor, showing uniform and stable were higher than those of the boat-shaped sensor, in both the dummy and the human body experiments. The attachment position of the sensor was more reproducible and reliable when placed on 4 cm below the elbow and knee joints in the dummy test, when placed in the joints of the elbow and knee, in children experiment. The appropriate shapes and attached positions of the sensor for sensing the motions were analyzed, and the results proved that motion-sensing of the human body is possible by utilizing flexible fabric-sensors integrated into clothes.

Key words: Stretchable Fabric Sensor, Limb-Motion Sensing, Clothing Structure, Garment-Integrated Sensing

요약

본 연구에서는 E-textile 기반 신축성 센서의 모양과 부착 위치가 동작 센싱 성능에 미치는 영향을 분석하고, 이를 통해 인체 동작 센싱에 가장 적합한 의복 구조 요건을 규명하고자 하였다. 실험 대상 아동에게 센서의 모양과 부착

※ 본 연구는 산업통상자원부의 디자인혁신역량강화사업(공고번호:제2015-293호)의 연구지원을 받아 수행되었음.

† 교신저자 : 이주현 (연세대학교 생활과학대학 의류환경학과)

E-mail : ljhyeon@yonsei.ac.kr

TEL : 02-2123-3108

FAX : 02-2123-8661

위치에 따라 조작된 실험복을 착의시킨 후 60 deg/sec의 속도로, 60°, 90°, 120°의 동작 각도별로 팔과 다리의 굽힘, 폼 동작 의한 직물 센서의 신장과 수축에 따른 전압의 변화량을 측정하였으며, 가속도 센서를 함께 부착하여 동작의 일치도를 검증하였다. 또한 아동의 모형 팔과 다리를 제작하여 이를 대상으로 동일한 실험을 수행함으로써 인체의 팔, 다리의 동작 실험 결과와 비교하였다. 분석 결과 센서의 모양에서는 모형 대상 실험과 아동 대상 실험 모두에서 보트형의 센서 보다 장방형의 센서가 더 균일하고 안정적인 경향을 보여 재현성과 신뢰성이 높은 것으로 나타났다. 센서의 부착 위치는 모형 대상 실험에서는 팔꿈치와 무릎의 관절부로부터 4 cm 아래 지점에 부착된 경우, 아동 대상 실험에서는 팔꿈치와 무릎의 관절부에 위치했을 때 재현성과 신뢰성이 더 높았다. 본 연구에서는 아동의 사지 동작 측정에 적합한 센서를 개발하고 동작 센싱에 적합한 센서의 모양과 부착 위치의 조건을 분석하였으며, 의복에 통합된 유연한 직물 센서를 활용하여 인체 부위별 동작 센싱이 가능하다는 것을 규명하였다.

주제어: 신축성 직물 센서, 사지 동작 센싱, 의복 구조, 의복 통합 센싱

1. 서론

최근 직물 기반 및 유연한 재료를 적용한 동작 센서 개발에 관한 많은 연구들이 보고되고 있으나 의복에 통합되어 의복을 통한 사지관절 동작 센싱 성능을 평가한 연구는 상대적으로 부족하다. 특히 직물 센서가 의복에 통합 적용될 경우 센서의 배치나 방향, 의복의 구조적인 특성 등에 따라 센싱 성능에 영향을 미칠 것으로 예측되며, 이에 따라 의복과 적용 센서의 통합 여건이 의복을 통한 동작 센싱의 효율에 미치는 영향 등을 연구할 필요성이 있다. 의류에 통합된 E-Textile 센서는 신체 신호 및 움직임을 감지하며 사용자의 편안함이 가장 중요한 신체 모니터링 어플리케이션에 매우 유용하다. 특히 신체 사지 동작의 모니터링을 위해서는 의복의 관절 부위에 통합되어야 하고 동작에 방해가 되지 않기 위해 신축성 재료가 동작 센서에 적용되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 선행연구(Cho et al., 2015)를 통해 개발된 Single Wall Carbon Nano-Tube(SWCNT) 기반의 신축성 직물 센서를 적용한 아동복을 개발하여 이를 통한 동작 센싱 방안을 모색하고자 하였다.

본 연구에서는 사전 예비 실험을 통해 직물 센서가 의복에 통합되어 인체의 사지 동작을 측정하기 위해서는 센서 자체의 성능뿐만 아니라 센서의 모양과 의복상의 부착 위치 또한 중요한 요인임을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 센서의 모양과 부착 위치가 동작 센싱 성능에 미치는 영향을 분석하고, 이에 따른 인체 동작 센싱 아동복을 개발함으로써 의복을 입는

것만으로도 인체 사지 동작 모니터링이 가능한가를 규명하고자 하였다.

2. 선행연구 고찰

본 연구에서는 웨어러블 동작 센싱 기술에 관련하여 가속도 센서 적용 및 E-Textile 기반의 신축성 동작 센싱을 중심으로 선행 연구를 고찰하였다.

Cho et al.(2011)은 전도성 실을 사용하여 브레이드(braid) 형태의 텍스타일 2D 관절 동작 센서를 구현하고 이를 의복에 적용하여 걷기 동작 센싱 방식을 연구하였다(Fig. 1). Cho et al.(2015)은 SWCNT의 전도성을 이용하여 신장과 수축 시의 저항 변화를 기반으로 동작 센서를 구현하고, 센싱 성능을 평가하였다. 즉, SWCNT 코팅 소재를 다양한 형태로 가공하여 직물 센서로 구현했을 때 인체의 사지 동작을 측정할 수 있는 센서로서 적합성을 갖추기 위한 요건을 분석하였고, 직물 센서를 기반으로 관절 동작 센싱이 가능함을 규명하였다(Fig. 2). Geoberto & Dunne(2014)



Fig. 1. Textile-based motion sensor by braiding (Cho et al., 2011)

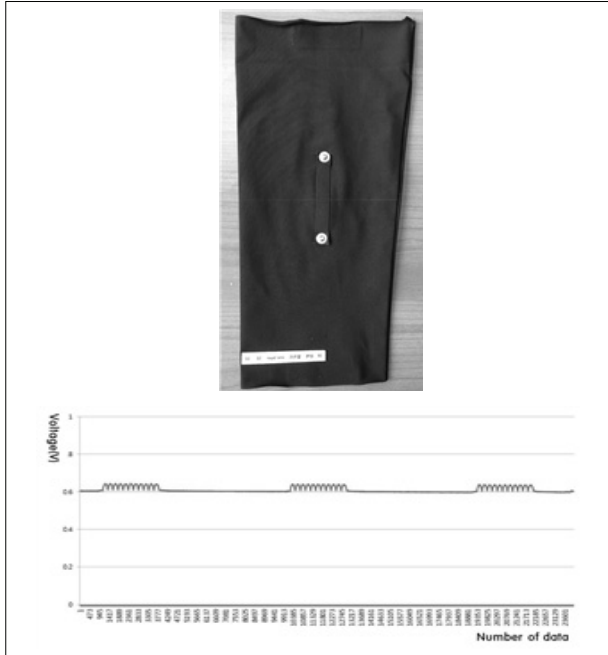


Fig. 2. SWCNT coated textile sensor & Variation of the Vp according to the sensor type (Cho et al., 2015)

은 데님 직물에 밴드 형태로 스티치된 직물 기반의 센서를 개발하고, 우수한 재현성과 정확성을 검증하였다. 5가지 중량(weight)의 스트레치성이 없는 데님 직물에 스티치된 센서 샘플을 5가지 굴곡(fold) 유형의 복잡도(complexity)와 직물의 stiffness에 따른 영향을 시험한 결과 비 절연된 센서에 비해 절연된 센서가 특히 복잡한 굴곡 유형에서 응답의 선형성과 재현성을 향상시키는 것으로 나타났고, stiffness가 높은 직물일수록 높은 감도를 나타냈지만 선형성은 낮게 나타났다. 센서 응답의 진폭은 복잡도가 높은 굴곡 유형이 더 크게 나타난 것으로 분석되었다(Fig. 3).

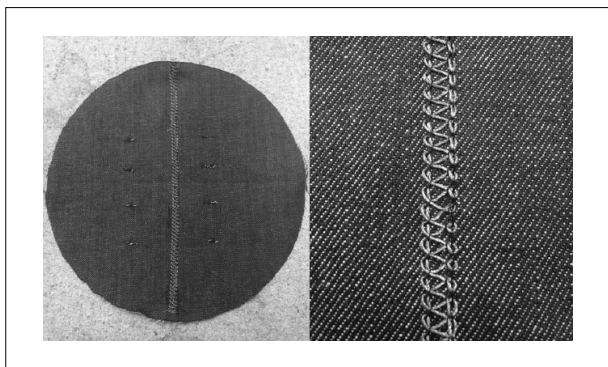


Fig. 3. Denim sample with a zoom of the stitched sensor (Geoberto & Dunne, 2014)

한편 스위스의 EMPA(Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology)에서는 압 저항 센서(piezoresistive sensor) 원리를 적용한 스트레처블 동작 센서(Bend Sensor[®](2014))를 장착한 의복형 동작 센싱 시스템을 연구하였으며(Fig. 4), 덴마크의 Danfoss(2013)에서는 변형률에 따른 정전용량 변화 기반의 동작 감지용 스트레치 센서인 PolyPower[®]를 개발하여 상용화 하였다(Fig. 5). StretchSenseTM에서는 장갑 디자인에 5개의 패브릭 스트레치 센서를 재봉하고, 10채널 SPI 감지 회로를 연결한 모션 캡처 장갑을 개발하였다. 장갑에 부착된 센서가 손가락 굴곡, 회전 및 구부림 깊이를 정확하게 감지할 수 있는 것으로 보고되었다(Fig. 6).



Fig. 4. Bend Sensor[®] (EMPA, 2014)



Fig. 5. PolyPower[®] (Danfoss, 2013)



Fig. 6. Stretchsense Glove (StretchSense™, 2013)

이밖에 미국의 Minnesota 대학의 Wearable Product Design Center(2010)에서는 동작 시 광 센서의 bending에 따른 광(light) 양의 손실률(loss)을 기반으로 측정하는 단일 라인의 굽힘형 광 센서(single optical bend sensor)를 의복에 장착해 착용자의 앉은 동작을 감지하여 자세를 바로잡도록 알려주는 조끼 형태의 의복을 연구하였다. Kang et al.(2011)은 일상생활 중의 세부적인 인체 관절 동작 모니터링이 가능한 광섬유 기반 의류 소형 동작 센서를 연구하여, 유연 광섬유 기반의 2D 관절 각도 센싱 의류의 측정 잡음을 감소시키기 위한 의복 구조 요건을 도출하였다.

한편, 웨어러블 제품에 가장 보편적으로 사용되는 가속도 센서를 적용한 동작 센싱 연구 및 제품은 Adidas의 Techfit Elite 셔츠, TUM (Technische Universität München)의 MiMed system, FAU (Friedrich-Alexander Universität)의 Shimmer system 등 다수의 기관을 통해 개발되었다. Adidas(2013)는 miCoach™ 프로젝트를 통하여 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)에서는 8개의 동작 감지 센서를 의복에 장착하여 움직임을 감지하고 데이터를 생성하여 다양한 목적에 사용할 수 있는 MiMed system을 개발하였다. 독일의 FAU(2013)는 adidas, ESI, ASTRUM IT와 Digital Sports Group을 형성하고 ‘miLife Research Project’를 진행하였는데, 그 일환으로 Shimmer system을 개발, 이를 다양한 제품에 적용하였다. Fraunhofer (2013)에서도 MEMS 가속도 센서를 이용하여 자세를 모니터링 하고 동작을 분석하며 움직임을 감지하는 시스템을 개발하였으며, Xsens(2014)는 소형화 및 집적화된 MEMS 관성 측정 센서(IMU) 기술을 기반으로 무선으로 관절 동작을 측정하고 측정 정보를 전송하는 MVN suit를 개발하였다. 이 의복에는 동작 센서를 최대 17개까지 부착할 수 있으나 부착되는 각 센서가 딱딱하고 무거워서 착용하기에 불편하다는 단점이 보고된 바 있다.

3. 연구 방법 및 절차

3.1. 실험복 제작

본 연구에서는 단일 벽 탄소 나노 튜브(Single Wall Carbon Nano-Tube(SWCNT)) 기반의 스트레처블 직물 스트레인 게이지 센서를 개발하고, 이를 장방형과 보트형의 두 가지 모양으로 가공한 후(Fig. 7), 의복 착용 시를 기준으로 팔꿈치와 무릎의 관절부, 팔꿈치

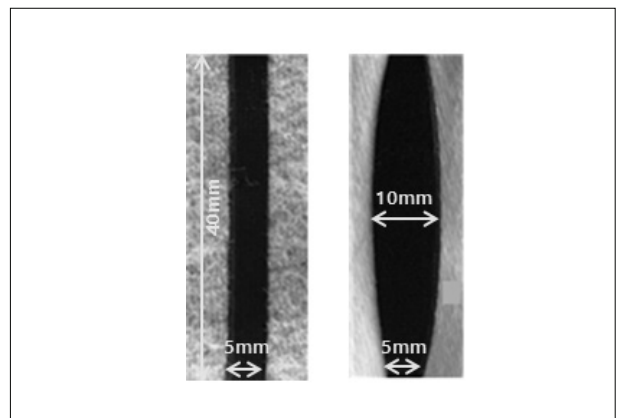


Fig. 7. Two-shaped textile-based sensors (rectangular/ boat-shaped)

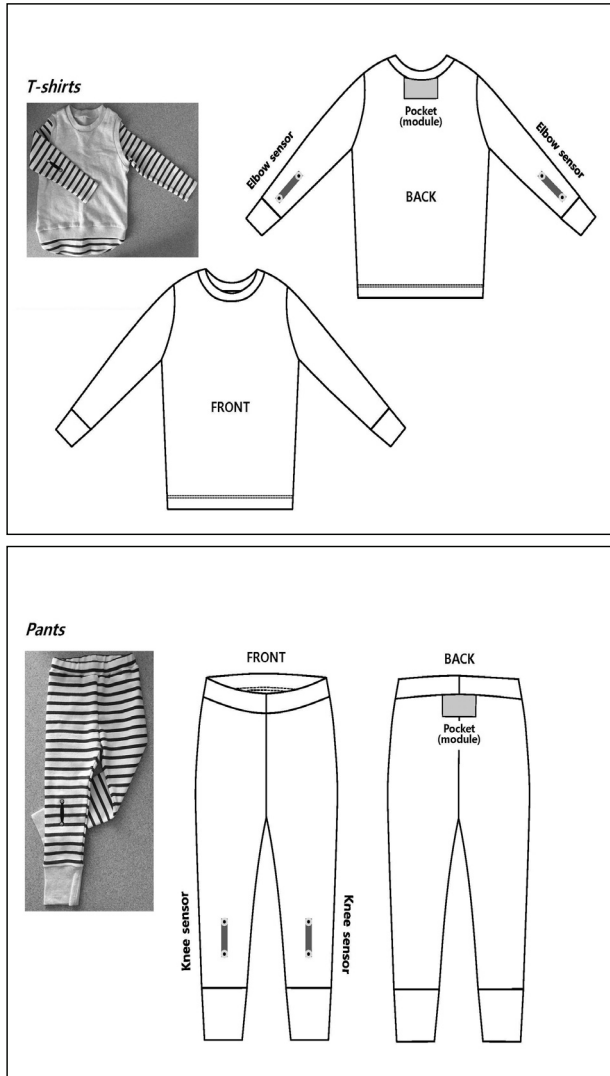


Fig. 8. Design rendering

와 무릎의 관절부로부터 4 cm 아래 지점에 각각 부착하였다(Fig. 8). 센서의 크기는 사전 예비 실험을 거쳐 최적의 크기를 선정하였는데, Fig. 7과 같이 장방형 센서는 너비 5 mm, 길이 40 mm 크기로, 보트형 센서는 너비의 양 끝단 5 mm, 중심부 10 mm, 길이 40 mm로 제작하였다.

한편 인체의 사지 동작을 효과적으로 센싱할 수 있는 아동복 개발을 위하여 직물 센서의 모양과 의복상 부착 위치를 연구 변인으로 선정하고, 이에 따른 실험복을 제작하였다. 의복에 부착된 센서를 통해 동작을 센싱하는 경우 센서의 위치가 이동되거나 동작 시 센서가 전체적으로 균일하게 신장 및 환원하지 못하고 동작 부위에서의 골격의 형태 변화에 따라 센서의 일부만이 비균일하게 신장 및 수축함으로써 측정

정확도가 떨어질 가능성이 있다. 즉 동작 센서의 중앙부가 동작이 발생하는 관절의 중앙부에 대응되도록 의복에 결합되면 동작할 때 관절이 튀어나온 부분에 의해 직물 센서의 중앙 부분은 과도하게 신장되고 끝부분은 적게 신장되는 것과 같이 직물 센서의 일부분만 과신장될 수 있으며, 이 때 직물 센서로부터 측정되는 동작 신호는 노이즈가 많이 발생하게 된다. 그러므로 본 연구에서는 동작 직물 센서의 의복 적용 시 센서의 모양과 부착 위치를 변화시킴으로써 센서의 정확성을 향상시키기 위한 방안을 모색하고자 하였다.

따라서 기존의 장방형 모양의 센서뿐만 아니라 팔꿈치와 무릎의 관절 중심 부위의 과신장을 막고 전체적으로 균일하게 압력이 가해지도록 직물 센서의 중앙부가 넓은 보트형 모양의 센서를 제작하여 각각 실험복에 적용하였다. 센서의 부착 위치 또한 기존의 팔꿈치와 무릎의 관절 부위뿐만 아니라 관절 아래쪽으로 4 cm 이격된 위치에 직물 센서를 적용하여 기존의 관절 부위에 부착된 직물 센서 의복과의 센싱 성능을 비교하였다.

3.2. 실험 방법 및 절차

3.2.1. 실험 대상

본 연구의 아동 피험자는 만 6세의 평균 체형의 남아 2명으로 선정하였다. 한편 인체의 특성 또는 개인차 등을 분석하기 위하여 사이즈 코리아 데이터를 기준으로 만 6세 남아 평균 사이즈의 팔과 다리를 모형(dummy)으로 제작(팔 길이: 41 cm, 팔꿈치 둘레: 19.5 cm, 다리 길이: 52 cm, 무릎 둘레: 27cm), 동일한 실험을 수행함으로써 비교 실험군으로 사용하였다(Fig. 9).

실험에 앞서 실험 대상 아동의 보호자에게 실험 동의서에 서명을 받음으로써 연구윤리 규정을 준수하였다. 또한 각 실험복에 대해 착의평가를 실시하여 아동 피험자가 이를 착용하였을 때의 센서의 모양, 의복에 부착된 위치 등을 점검하였으며(Fig. 10), 아동 피험자에게 동작 측정을 위한 실험 프로토콜에 대해 충분히 설명하고 반복하여 연습할 수 있도록 지도하였다.

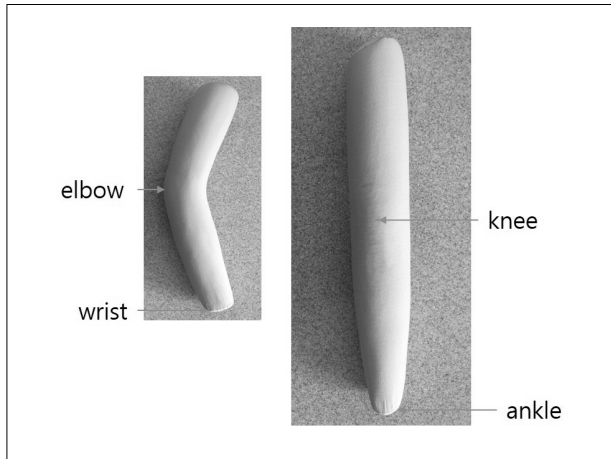


Fig. 9. Dummy arm & leg



Fig. 10. Two types of experimental garment according to the attached position

3.2.2. 실험 방법

본 실험에 앞서 수행된 사전 예비실험에서는 실험 대상 아동에게 본 연구에서 1차 개발된 동작 센싱용 실험복을 착용시킨 후 팔과 다리의 굽힘, 펴는 동작을 10회 반복하도록 하였고, 직물 센서의 신장과 수축에 따른 저항 변화를 측정하였다. 실험 변인은 두 가지 패턴의 아동복 유형과 직물 센서 사이즈(50×5 (mm), 40×5 (mm)), 동작 속도(1 Hz, 2 Hz) 였으며, 남·녀 아동 간의 차이 또한 분석하였다. 그 결과 실험복을 통해 전반적으로 인체의 사지 동작에 따른 동작 신호의

검출이 가능한 것으로 나타났다. 특히 50×5 (mm) 크기의 센서보다 40×5 (mm) 크기의 센서가 더 안정적인 전압값을 보였고, 굽힘, 펴는 동작의 속도 측면에서 분석했을 때는 팔, 다리 모두 1 Hz의 속도에서보다 2 Hz 속도로 빠르게 동작 했을 때의 전압값이 좀 더 균일하고 안정적인 경향을 보였다. 한편, 아동복 패턴의 유형이나 남아와 여아 간의 차이는 발견되지 않았다.

따라서 본 실험에서는 사전 예비실험 결과 출력 신호값이 더 안정적인 경향을 보인 40 mm 길이의 센서가 부착된 의복을 최종 실험복으로 제작하였고, 아동 피험자의 팔과 다리의 동작 속도와 관절 가동 범위를 통제하기 위하여 다목적근력측정 장비(Con-Trex MJ (CMV AG Co., Switzerland))를 활용하였다(Fig. 11). 기준전압 5 V, 고정저항 10 kΩ으로 세팅하여 굽힘과 펴는 동작에 따라 직물 센서를 통해 출력되는 데이터를 DataLogger (GT342) 계측 장비를 통해 10 ms 간격으로 샘플링하였다. 실험 변인은 두 가지 유형의 직물 센서 모양(장방형, 보트형), 의복 상 부착된 센서의 위치(팔꿈치와 무릎의 관절부, 팔꿈치와 무릎의 관절



Fig. 11. Experiment setting using Con-Trex MJ applied to child subject

부로부터 4 cm 아래 지점)였다. 즉, 60 deg/sec의 속도로, 60°, 90°, 120°의 동작 각도별로 팔과 다리의 굽힘, 펴 동작 10회, 3회 반복 실험을 통해 출력되는 전압을 측정하였다. 이때 가속도 센서(Low-g Accelerometer)를 직물 센서의 근처에 함께 부착하여 측정함으로써 팔과 다리의 동작에 따른 직물 센서의 신뢰도를 검증하는 데에 지표로 사용하였다.

4. 결과 및 논의

4.1. 직물 센서의 신뢰도

직물 센서의 신뢰도 검증을 위해 만 6세 아동의 표준 사이즈에 따른 모형(팔, 다리)을 제작하여, 본 실험복을 착용시킨 후 모형 팔과 다리의 굽힘과 펴 동작 각도별 출력값을 분석하였다.

다음의 Fig. 12는 장방형 직물 센서를 무릎 관절로부터 4 cm 아래 위치에 부착시킨 의복을 통해 출력된 전압값 변화 그래프의 일부를 제시한 것이며, Fig. 13에는 보트형의 무릎 관절로부터 4 cm 아래 위치에 부착시킨 센서의 전압값 변화 그래프의 일부를 제시하였다. 60°, 90°, 120°의 동작 각도별 10회 반복 동작 전반에 걸친 peak-to-peak voltage(Vp-p)의 크기 및 균일성, 동일 각도의 10회 동작 세트 내, 그리고 동작 세트 간의 신호의 크기 및 균일성 등을 기준으로 morphology 특성을 분석한 결과 그림에서 보듯이 센서의 모양과 부착 위치에 따라 검출된 신호가 전반적으로 균일하고 안정적인 경향을 보였다. 또한 직물 센서와 가속도 센서 간에도 95% 이상의 정확한 동작의 일치도를 보임을 확인함으로써(저항 변화와 운동량 정도와의 일치도, DRMQLT1609-0030, DT&C, 2017), 본 직물 센서를 통해 아동의 사지 동작을 효과적으로 센싱 할 수 있음을 규명하였다.

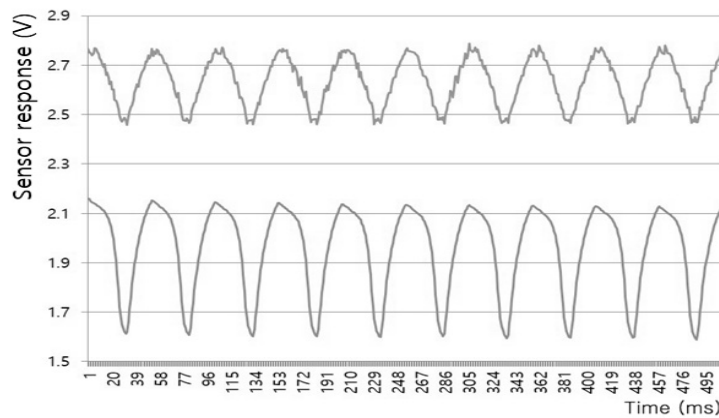


Fig. 12. Rectangular sensor & 4 cm below joint (Top: Low-g Accelerometer, Bottom: Fabric sensor)

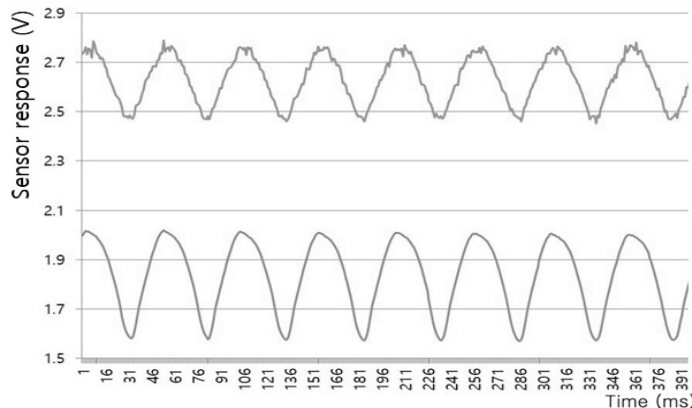


Fig. 13. Boat-shaped sensor & 4 cm below joint (Top: Low-g Accelerometer, Bottom: Fabric sensor)

4.2. 직물 센서의 모양과 부착 위치가 동작 센싱 성능에 미치는 효과

본 연구에서 개발된 직물 센서의 모양과 의복 상 부착 위치가 센싱 성능에 미치는 효과에 대하여 정량적으로 분석하기 위해 동작 측정 실험 데이터에 대해 Vp-p의 최고점과 최저점을 찾아내어 각 최고점과 최저점 간의 차이값에 대한 평균편차를 산출하였다. 본 연구의 모든 실험에서는 다목적근력측정 장비에 의해 동작 속도와 각도가 일정하게 통제되었으므로, 동작에 따른 센싱 전압값(Vp-p)의 평균편차가 작다는 것은 출력 신호가 균일한 값을 보임으로써 직물 센서의 히스테리시스가 작고 재현성과 신뢰성이 높음을

의미한다. 따라서 산출된 평균편차값에 대하여 센서의 모양과 위치에 따른 센싱 성능의 차이를 SPSS Win 21.0을 활용, T 검정을 통해 분석하였다.

모형 대상 실험의 분석 결과는 다음의 Table 1, 2와 같다. 분석 결과 센서의 모양과 부착 위치에 따라 동작 센싱의 성능에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 센서의 모양은 보트형일 때 보다 장방형 모양의 센서가 더 균일한 전압값을 보였다. 센서의 부착 위치는 팔꿈치와 무릎의 관절부에 부착시킨 센서에 비해 4cm 아래 지점에 부착된 경우 더 균일하고 안정적인 경향을 보여 재현성과 신뢰성이 더 높았다.

다음으로, Table 3과 4는 아동 피험자 대상 실험의 결과이다. 분석 결과 센서의 모양과 부착 위치 모두

Table 1. Effect of the sensor shape on the sensing performance (Dummy test)

	Sensor shape	N	Mean	SD
Sensing performance	Rectangular sensor	396	0.04087	0.022503
	Boat-shape sensor	396	0.08305	0.092684
<i>t(p)</i>		-8.800(0.000)***		

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Table 2. Effect of the attached position on the sensing performance (Dummy test)

	Attached position	N	Mean	SD
Sensing performance	at joint	396	0.08341	0.091879
	4cm below joint	396	0.04051	0.024979
<i>t(p)</i>		8.967(0.000)***		

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Table 3. Effect of the sensor shape on the sensing performance (Children experiment)

	Sensor shape	N	Mean	SD
Sensing performance	Rectangular sensor	792	0.08580	0.0670412
	Boat-shape sensor	792	0.12894	0.0803945
<i>t(p)</i>		-11.600(0.000)***		

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Table 4. Effect of the attached position on the sensing performance (Children experiment)

	Attached position	N	Mean	SD
Sensing performance	at joint	792	0.09069	0.060003
	4cm below joint	792	0.12404	0.087934
<i>t(p)</i>		-8.816(0.000)***		

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다. 센서의 모양은 모형 대상 실험에서와 같이 보트형일 때 보다 장방형 센서가 더 균일한 출력값을 보이는 것으로 나타났다. 반면 모형을 통한 실험의 경우와는 달리 아동 대상 실험의 경우 센서의 부착 위치는 팔과 다리의 관절부에 위치했을 때 더 균일하고 안정적인 경향을 보였다.

이상의 실험 결과를 종합하면, 센서의 모양에서는 모형 대상 실험과 아동 대상 실험 모두에서 보트형의 센서 보다 장방형의 센서가 성능면에서 재현성과 신뢰성이 높은 것으로 나타났으나, 센서의 부착 위치는 모형 대상 실험과 아동 대상 실험에서 다른 결과값을 나타냈다. 이는 팔과 다리 모형의 경우 만 6세 아동의 팔과 다리의 표준 사이즈로 제작되었으나 뼈와 근육 모양 등과 같은 미세한 부분의 재현은 어렵기 때문에 실제 아동의 팔과 다리와는 차이가 있었을 것으로 예측된다. 또한 본 실험을 통해 출력된 동작 신호는 전반적으로 균일하고 안정적인 경향을 보였으나, 신호의 크기가 다소 작은 값으로 나타났는데, 향후 좀 더 명확한 출력값을 얻으면서 센싱 효율을 극대화시키기 위해서는 인체의 뼈, 근육 특성 등을 면밀히 파악하고 센서의 면적과 길이, 의복 상 부착 위치가 좀 더 다양하게 조작(manipulation)된 후속 연구를 통해 센서의 성능을 분석해볼 필요성이 있을 것이다. 그리고 인체의 팔과 다리는 모양, 두께 등이 다르므로 이를 분리하여 분석함으로써 팔과 다리 각각에 적절한 센서의 모양과 부착 위치를 규명해야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 아동의 사지 동작 측정에 적합한 센서를 개발하고 동작 센싱에 적합한 센서의 모양과 의복 상 부착 위치의 조건을 분석하였으며, 의복에 통합된 유연한 직물 센서를 활용하여 인체 부위별 동작 센싱이 가능하다는 것을 규명하였다는 데에 연구의 의의가 있다.

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. DOI: 10.1109/JSEN.2011.2167508
- Cho, H. S., Park, S. H., Kang, D. H., Lee, K. H., Kang, S. J., Han, B. R., Oh, J. H., Lee, J. H., & Lee, J. W. (2015). Performance evaluation of fabric sensors for movement-monitoring smart clothing: Based on the experiment on a dummy. *Science of Emotion & Sensibility*, 18(4), 27-36. DOI: 10.14695/KJSOS.2015.18.4.25
- Daniel, R., Henk, L., & Per, S. (2013). Xsens MVN : full 6DOF human motion tracking using miniature inertial sensors, *XSENS TECHNOLOGIES - VERSION APRIL 3*, 1-9.
- Danfoss PolyPower A/S, PolyPower® versatile stretch sensors. *Wearable Technologies Conference 2013, Munich*.
- Dunne, L. (2010). Posture-monitoring vest, Retrieved from http://faculty.design.umn.edu/dunne/past_projects/
- Eskofier, B. (2013). Wearable computing systems for recreational and elite sports. *Wearable Technologies Conference 2013, Munich*.
- Gioberto, G., & Dunne, L. (2014) Garment-integrated bend sensor. *Electronics*, 3, 564-581. DOI: 10.3390/electronics3040564
- 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. *Science of Emotion & Sensibility*, 14(2), 221-226.
- 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.*

Soft robotics toolkit, “StretchSense”, Retrieved from <https://softroboticstoolkit.com/stretchsense>

원고접수: 2017.04.03

수정접수: 2017.08.09

게재확정: 2017.08.25