

## 인체 동작 모니터링을 위한 광섬유 기반 의류 소매형 동작센서 연구\*

A study on the sleeve-shaped platform of POF-based joint angle sensor  
for arm movement-monitoring clothing

강다혜\*\* · 이영재\*\*\* · 이정환\*\*\* · 이주현\*\*†

Dahye Kang\*\* · Young Jae Lee\*\*\* · Jeong Whan Lee\*\*\* · Joohyeon Lee\*\*†

연세대학교 의류환경학과\*\*

Dept. of Clothing and Textiles, Yonsei University\*\*

건국대학교 의학공학과\*\*\*

Dept. of Biomedical Engineering, Konkuk University\*\*\*

### Abstract

Although diverse researches on sensing method of human movement have been performed, there are still many limitations to the existing methods. As a part of supplementing the limitations to the existing motion sensing methods, this study aimed to execute an exploratory examination on a POF-based sleeve-shaped motion sensor for less restrictive sensing of human movement. In this study, a set of POF-based motion sensor, which was embedded in a sleeve-shaped platform was devised, and a set of exploratory experiments was performed on the possibility of sensing of human movement as diverse as in daily life, through this device. The scope of this research was limited to an exploration on the possibility and basic elements of POF-based sleeve-shaped motion sensor, while the influence of sleeve patterns, those of wearer's somatotype, those of sewing method were not studied in this study.

When compared to the pre-existing methods, the POF-based motion sensor platformed on sleeve in this study, which was purposively devised to be applied to the motion sensing clothing shows some beneficial characteristics : more sensitive measurement on human motion, low cost, no timely restriction in sensing, no request for gigantic apparatus and space for sensing.

**Keywords** : Plastic optical fiber, Motion sensor, Motion sensing clothing, Human movement monitoring, POF-based sleeve-shaped motion sensor

### 요약

인체의 동작 센싱 방법에 대한 연구가 다양하게 진행되어 왔으나, 기존의 동작 센싱 방식에는 많은 한계점들이 있다. 기존의 동작 센싱 방식의 한계점을 보완하기 위한 일환의 노력으로, 이 논문에서는 비구속적인 동작 센싱이 가능한 광섬유 기반 의류 소매형 동작센서를 탐색적으로 연구하는데 목표를 두었다. 이 논문에서는 광섬유 기반의 의류 소매형 동작 센서를 고안하고, 이를 통하여 일상생활 중에 다양한 동작을 센싱하는 것이 가능한가에 대하여 탐색적 연구를 수행하였다. 또한 본 연구의 범위는 광섬유 기반 동작센서의 가능성 여부와 주요 요건을 탐색하는 것이며, 소매 패턴과 봉제 방식의 특성, 착용자의 체형 특성이 미친 영향은 연

\* 이 연구는 2009학년도 연세대학교 학술연구비의 지원에 의하여 작성된 것임.

† 교신저자 : 이주현 (연세대학교 생활과학대학 의류환경학과)

E-mail : ljhyeon@yonsei.ac.kr

TEL : 02-2123-3108

구 범위에서 제외되었다. 이러한 방식으로 의복에 적용 가능하도록 고안된 광섬유 기반 의류 소매형 동작센서는, 기존의 동작 센싱 시스템에 비하여 더욱 미세한 인체 동작 측정이 가능하며, 시간·공간의 제약 없이 저비용으로 인체 동작 측정이 가능하다는 장점을 갖는다.

주제어 : 광섬유, 동작센서, 동작센싱의류, 인체동작 모니터링, 광섬유 기반 의류 소매형 동작센서

## 1. 서론

최근 스포츠 동작 교육, 재활 치료 분야 등에서 동작 분석기기에 대한 수요 증가가 예측됨에 따라, 인체의 동작을 모니터링하기 위한 관절 각도의 측정 방법에 대한 연구가 다양하게 진행되어 왔다(Lucy E. Dunne et al., 2008). 그러나 기존의 동작 측정 방법들에는 많은 한계점들이 존재한다. 그 일례로서, 적외선을 이용한 전신 3D 스캐너나 모션 캡처 시스템 등의 방식들에서는, 인체 관절이 접히거나 가려지는 부위, 관절의 세부적인 동작들의 측정에 한계가 있다. 또한 이 방식들은 공간의 제약을 받는 대형 장비를 필요로 하며, 고가의 비용을 필요로 하는 것이 대부분이다.

이 연구의 목표는 이러한 기존 기술의 한계점을 극복하기 위한 하나의 방안으로써, 일상생활 중의 세부적인 인체 관절 동작 모니터링이 가능한 광섬유 기반 의류 소매형 동작센서의 가능성을 탐색하는 것이다.

본 연구에서는 의류 소매 형태의 플랫폼에 광섬유 기반 동작 센서를 탑재하여 인체 관절 동작 시, 관절의 접힘 각도 측정이 가능한 측정 범위와 측정 오차 등에 대하여 탐색하였으며, 의류 소매 플랫폼의 구조가 관절 동작 각도 측정의 안정성에 미치는 영향에 대해서도 탐색하였다.

본 연구의 범위는 광섬유 기반 동작센서의 가능성 여부와 주요 요건을 탐색하는 것이며, 의류 소매 패턴의 특성이나 봉제 방식의 특성, 착용자의 체형 특성 등이 미치는 영향은 연구 범위에서 제외되었다.

## 2. 이론적 배경

본 연구의 이론적 배경으로서, 인체 전체의 동작 측정 방식과 인체의 부분 동작 측정 방식 등 두 유형의 기술에 관하여 고찰하였다.

인체 전체의 동작 측정 방식으로는 전신 3D 스캐너와 모션 캡처 시스템 등을 들 수 있다(Whittle, M. W., 1982). 이러한 기술을 이용한 측정은 자료가 광범위하

고 데이터의 질이 좋아 객관적인 분석이 가능하지만, 고가의 비용을 필요로 하고 장비에 숙련된 검사자가 필요하며 한정된 공간에서만 측정이 가능하다. 그뿐 아니라 이 기술들에는 측정하고자 하는 인체 부위마다 적외선 마커를 붙여야하고 동작시 관절이 접히거나 가려지는 부위에는 적외선을 통한 동작 측정은 불가능하다는 단점이 있다. 또한 이 기술들은 측정된 데이터를 분석하는데 많은 시간을 필요로 하는 불편이 따른다.

인체의 부분 동작 측정 방식으로는 스트레인지지를 이용한 측정이 있다(Gabriel, J. D. et al., 2005, Romain, R. et al., 1998). 이러한 기기를 이용한 측정은 반복적인 사용시 기계적인 부분의 마모로 인해 정확성이 떨어지며, 전신의 동작 각도를 측정할 수 없고 팔꿈치나 무릎 등 부분 측정만 가능한 한계점이 있다.

상기한 기술들은 실제 일반인들이 일상생활 중의 동작을 측정하기에는 많은 시공간적 제약이 따르며, 관절의 미세동작 측정에는 한계가 있다. 따라서 시공간에 제약을 받지 않으면서 관절의 미세동작 측정이 가능한 기술의 개발이 필요하다고 하겠다.

한편, 인체의 부분적 동작 측정의 또 다른 방식인 광섬유 기반 각도 센서에 관한 선행연구(Marcuse, D., 1976)에서는 광섬유를 이용한 각도 측정 범위가 50°에 국한된 것으로 보고되었으나, 최근 연구(Hong et al., 2007)에서는 광섬유 끝단의 성형 방식을 개선함으로써 측정 가능한 각도의 범위가 100°로 증가된 사례가 보고되었다.

## 3. 연구 방법

### 3.1. 광섬유 기반 동작센서

의류 소매상의 광섬유를 통하여 동작 각도를 센싱하는 기본 원리는, 광원으로부터 광섬유를 통과하여 광섬유 끝 단면을 거쳐 방출되는 광의 광학적 특성이 동작 각도에 따라 달라진다는 내용에 근거한 것이다.

동작에 따라 광섬유의 일부분을 통해 나타나는 광학적 차이를 측정하기 위하여 Dunne 등은 광섬유 종면을 성형함으로써 광섬유 기반 의류용 동작센서를 개발하였다(Dunne et al., 2008). 한편 Hong 등은 광섬유 단면을 성형한 광섬유 기반 각도 센서를 개발하였으며, 이 센서의 측정 범위는 100°로 제한되었다(Hong et al., 2007). 그러나 본 연구에서는 이러한 각도 측정 범위를 확장하기 위하여 이 광섬유 끝단 성형 방식(Hong et al., 2007)을 응용·개선하였으며, 그 결과 인체 관절 동작 각도의 측정 범위가 130°인 의류 소매형 동작센서를 제작하였다(그림 1, 4.1.1. 참조).

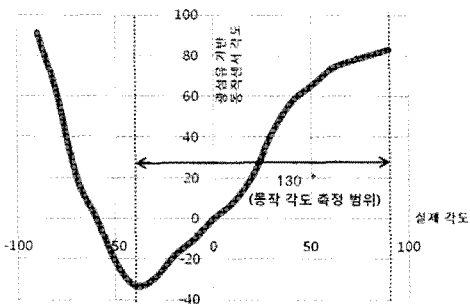


그림 1. 광섬유 기반 동작센서 각도 측정 범위

광섬유 기반의 의류 소매형 동작센서를 제작하기 위하여 단면 지름 1.2mm의 광섬유 4개(각 1cm길이)를 직렬로 연결하고, 이를 의류 소매형의 플랫폼에 탑재하였다.

3.2. 의류 소매형 플랫폼

광섬유 기반 동작센서를 의류에 적용하여 팔꿈치 관절의 접힘 각도를 측정하기 위해 의류 소매형 동작센서 플랫폼을 다음의 4가지 유형으로 제작하였다(그림 2).

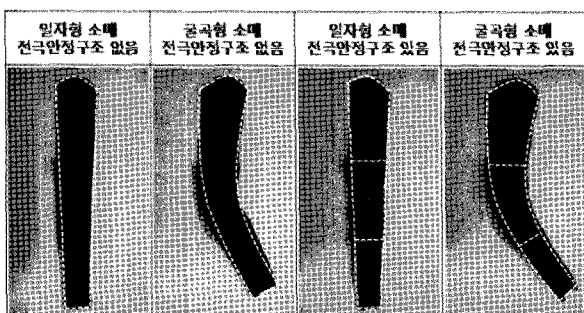


그림 2. 의류 소매형 플랫폼의 4가지 유형

의류 소매형 플랫폼 제작을 위해 고려된 요인은, 첫째, 소매 전체의 형태, 둘째, 전극의 안정화를 위한 전극 안정구조의 유무 여부였다. 이 중 소매 전체의 형태는 팔 운동의 축 방향만을 반영한 일자형 소매와, 편안한 휴식 자세에서의 팔 관절 각도를 실측하여 반영한 굴곡형 소매의 두 가지로 구성되었고, 각각의 경우는 전극 안정 구조 유무에 따라 다시 두 세부 유형으로 나뉘어, 총 4개 유형의 의류 소매형 플랫폼이 제작 되었다.

광섬유 기반 동작센서는 팔꿈치 관절의 중심점을 관통하는 소매 세로선상에 고정되었다. 의류 소매의 소재로는 나일론 80%, 폴리우레탄 20%의 전형적인 스포츠 의류용 신축성 저지 니트 소재가 사용되었으며, 캐주얼 여성 의류 소매로 제작되었다.

4. 실험

4.1. Pilot Test

광섬유 기반 동작 센서를 의류 소매에 탑재하기에 앞서 이 센서의 성능 타당성을 평가하고 측정 가능한 동작 각도 범위를 확인하기 위해 두 가지의 파일럿 테스트를 수행하였다.

4.1.1. Pilot test 1 - 인체 비 부착시 동작 각도 실험

인체 비 부착 시 동작 각도의 측정 실험에서는 평면상에 각도계를 놓고 그 위에 본 연구의 광섬유 동작센서를 올려놓은 후, 각 동작 각도 별로 광섬유 동작 센서를 통해 측정된 값들을 기록해 나아갔다. 그 결과, 그림 1과 같이 본 연구의 광섬유 동작센서의 측정 가능한 각도 범위는 130°내외인 것으로 나타났으며, 측정 각도 130°이상이 되면 측정 오차가 커져서 정확한 각도가 측정되지 않았다.

4.1.2. Pilot test 2 - 인체 피부상 부착시 동작 각도 실험

인체 부착 시 동작 각도의 측정 실험에서는 의류 소매에 탑재하지 않은 광섬유 동작센서 키트만을 피험자의 팔에 테이프로 고정시키고, 팔 동작 각도 별로 동작센서를 통하여 측정된 각도를 기록해 나아갔다.

그 결과, 측정된 각도와 실제각도가 매우 유사하였으므로 동작센서의 성능 타당성이 확인되었다.

### 4.2. 본 실험

의류 소매에 적용한 광섬유 기반 동작센서를 측정하기 위해 여성 피험자 1명(55size)이 동작센서가 탑재된 오른쪽 소매를 착용하고 정자세에서, 팔을 가장 바깥쪽으로 편 180°에서 시작하여 점차 관절 각도를 감소시키며 최대한 굽힌 각도인 40°까지의 동작을 수행하였으며, 10°간격으로 동작센서의 값을 측정하였다. 이 때 팔을 극단적으로 완전히 편 180°에서의 측정은 본 연구의 동작센서 측정범위인 130°를 벗어나는 각도이므로 측정에서 제외하였다. 동작하는 동안 팔꿈치 부분의 의복압은 40gf/cm<sup>2</sup>를 유지하였다. 한 사람의 피험자가 4가지 유형의 소매를 각각 착용하고 모든 관절 동작을 수행하였으며, 피험자의 실제 동작 각도를 별도로 측정하여 광섬유 기반 동작센서의 측정값과 비교하기 위하여 Hall sensor로 실제 동작 각도를 측정하였다(그림 3).

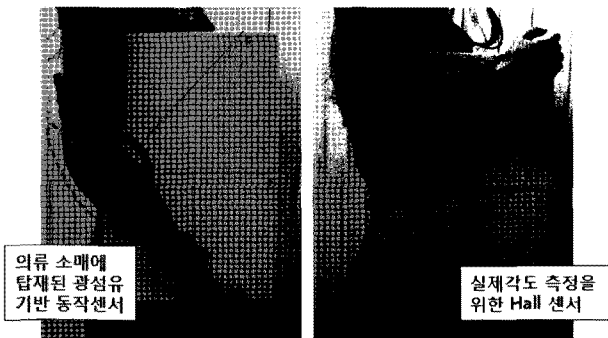


그림 3. 광섬유 기반 의류 소매형 동작센서 팔꿈치 관절 동작 각도 측정 실험

### 5. 결과 및 논의

의류 소매형 광섬유 기반 동작센서를 통해 측정된 팔 관절 동작의 각도를 실제 각도와 비교한 결과는 다음과 같다.

전극 안정 구조가 없는 경우, 일자형·굴곡형 소매 모두에서 동작센서의 측정값과 실제각도 간에는 큰 오차가 있는 것으로 나타났다(그림 4, 표 1).

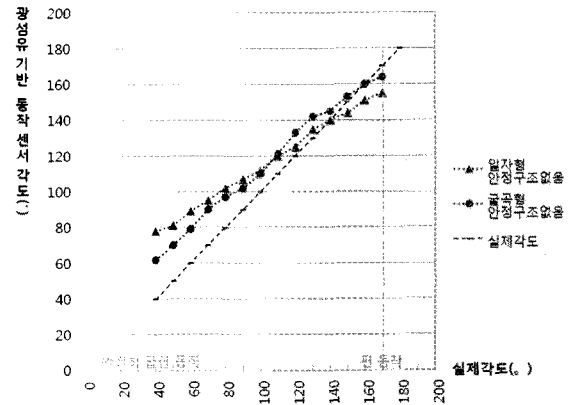


그림 4. 전극안정구조가 없는 일자형 vs. 굴곡형 소매의 동작 센싱 결과

한편, 전극 안정 구조가 있는 경우, 일자형 안정구조 소매가 굴곡형 안정구조 소매에 비하여 실제각도와 더욱 유사한 오차범위인 ±4° 이내의 측정값을 나타냈으며, 동작 각도 120°-170°구간에서는 일자형 안정구조 소매 뿐만아니라 굴곡형 안정구조 소매도 실제각도와 근접한 오차범위인 ±3° 이내의 측정값을 나타내었다(그림 5, 표 1).

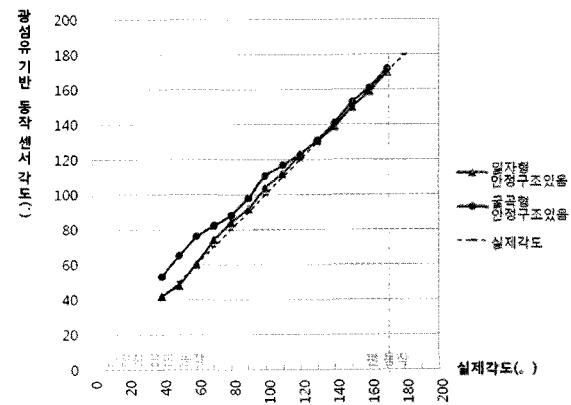


그림 5. 전극안정구조가 있는 일자형 vs. 굴곡형 소매의 동작 센싱 결과

전극 안정구조의 유무에 따른 동일형 소매간의 차이에서는 일자형 소매의 경우, 전극 안정구조가 있는 일자형 소매가 전극 안정구조가 없는 일자형 소매에 비하여 훨씬 더 실제각도에 정확한 측정값을 나타내었다(그림 6, 표 1).

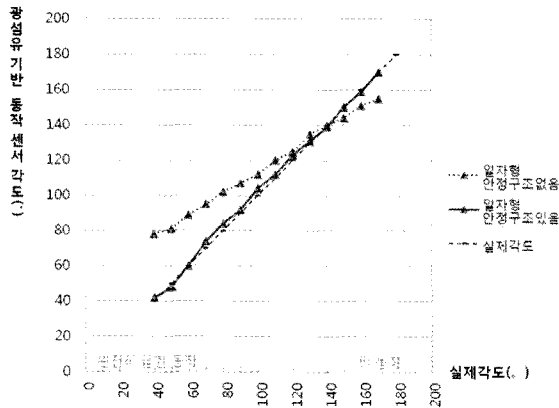


그림 6. 전극안정구조가 없는 일자형소매 vs. 전극 안정구조가 있는 일자형 소매의 동작센싱 결과

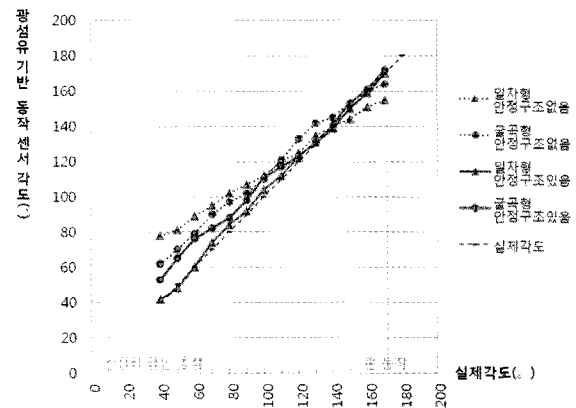


그림 8. 광섬유 기반 의류 소매형 동작센서 유형에 따른 팔꿈치 관절 동작 각도 센싱 결과

굴곡형 소매의 경우에도, 전극 안정구조가 있는 굴곡형 소매가 전극 안정구조가 없는 굴곡형 소매보다 실제각도에 더 가까운 측정값을 나타내었다(그림 7, 표 1).

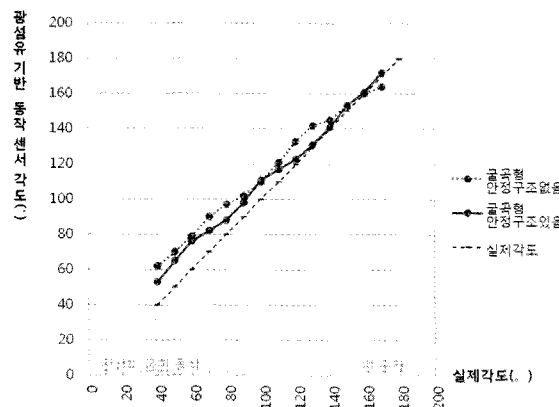


그림 7. 전극안정구조가 없는 굴곡형소매 vs. 전극 안정구조가 있는 굴곡형 소매의 동작센싱 결과

전반적으로 볼 때, 일자형 소매에 전극 안정구조를 설치한 경우에서, 가장 정확한 동작 각도가 측정되는 것이 관찰되었다(그림 8, 표 1).

또한, 의류 소매형 동작센서 플랫폼의 구조에 있어 소매 전체의 형태(일자형, 굴곡형) 보다는 전극 안정구조 유무가 정확한 동작 각도 센싱에 더욱 지배적인 영향을 미치는 것으로 추론되었다(그림 8, 표 1). 이는 전극 안정구조가 동작 센서의 전극 즉, 광섬유 끝단이 팔 동작 이외의 잡음 요인들(미세 떨림, 옷감의 밀림, 굴곡 등)로 인한 전극 위치의 안정성에 미치는 영향을 개선하기 때문으로 추측된다.

표 1. 4가지 소매형 플랫폼의 팔 관절 각도 측정치 (단위; °)

실제각도	일자형소매 전극안정구조 없음	굴곡형소매 전극안정구조 없음	일자형소매 전극안정구조 있음	굴곡형소매 전극안정구조 있음
40	78 (+38)	62 (+22)	42 (+2)	53 (+13)
50	81 (+31)	70 (+20)	48 (-2)	65 (+15)
60	89 (+29)	79 (+19)	60 (0)	76 (+16)
70	95 (+25)	90 (+20)	74 (+4)	82 (+12)
80	102 (+22)	97 (+17)	84 (+4)	88 (+8)
90	107 (+17)	102 (+12)	92 (+2)	98 (+8)
100	112 (+12)	110 (+10)	104 (+4)	111 (+11)
110	120 (+10)	121 (+11)	112 (+2)	117 (+7)
120	125 (+5)	133 (+13)	123 (+3)	123 (+3)
130	135 (+5)	142 (+12)	131 (+1)	131 (+1)
140	140 (0)	145 (+5)	139 (-1)	141 (+1)
150	144 (-6)	153 (+3)	150 (0)	153 (+3)
160	151 (-9)	160 (0)	159 (-1)	161 (+1)
170	155 (-15)	164 (-6)	170 (0)	172 (+2)

- \* 괄호안: 실제각도와의 오차값
- \* 열은 음영표시: ±4°오차범위
- \* 짙은 음영표시: ±1°오차범위

그러나 전극 안정구조가 있는 굴곡형 소매의 경우에는 동작 각도 120°- 170°구간에서만 오차범위 ±3°안에 드는 비교적 정확한 측정값을 나타내었으며, 동작 각도 40°- 110°구간에서는 7°- 16°의 큰 오차를 나타내었다. 이는 소매 전체 형태의 특성과 전극 안정구조의 유무 여부가 서로 상호 작용하기 때문으로 유추되며, 상대적으로 팔을 편 동작보다는 굽힌 각도의 동작에서 오차범위가 큰 결과가 도출되었음에 주목할 필요가 있다(표 1).

## 6. 결론

본 연구에서는 일상생활에서도 무구속적인 동작 모니터링을 위해 광섬유 기반 의류 소매형 동작센서의 가능성을 탐색한 결과, 팔을 최대한 굽힌 40° 동작 각도부터 팔을 편 170° 동작 각도에 이르기까지  $\pm 4^\circ$ 의 오차범위 내에서 팔 관절 동작 각도의 측정이 가능함을 고찰하였다.

본 연구에서 제작한 4가지의 소매유형 중 일자형 소매 형태에 전극 안정구조를 갖춘 의류 소매형 플랫폼의 경우, 가장 정확한 팔 관절 동작 측정 결과를 나타내었으며, 상대적으로 팔을 굽힌 동작 (관절 각도 70°- 120°) 구간에서는  $\pm 2^\circ$ -  $\pm 4^\circ$ 의 오차가 나타났고, 상대적으로 팔을 편 동작 (관절 각도 130°- 170°) 구간에서는  $\pm 1^\circ$ 의 근소한 오차를 보였다.

기존의 동작 측정 방식인 전신 3D 스캐닝 방식이나 모션 캡처 시스템 방식에서는 관절 굽힘 등으로 인해 광선이 차단되거나 제한되는 인체 부위에서는 세부적인 동작각도 측정이 어렵다는 문제점이 지적되어 왔다. 본 연구의 결과를 토대로 하여 볼 때, 본 연구의 광섬유 기반 동작 센서는 기존 방식들의 이러한 한계점을 보완하는 방식으로서의 가능성을 지닌다고 하겠다.

향후의 연구로서는 팔을 굽힌 70°- 120°각도 구간의 동작시에 측정 오차를 더욱 감소시키기 위한 동작센서 및 의류 소매형 플랫폼 구조 요건에 대한 심도 있는 연구가 필요하며, 다양한 소재를 사용한 소매형 동작센서에 대한 연구가 요구된다.

또한 이와 같은 의류형 동작 센서 플랫폼이 다리 운동, 척추 운동의 동작 센싱에 있어서도 유사한 영향을 나타내는지에 대해서는 지속적인 관찰 및 후속 연구가 필요할 것이다.

## 참고문헌

- Dunne, L. E., Walsh, P., Hermann, S., Smyth, B., and Caulfield, B. (2008). Wearable Monitoring of Seated Spinal Posture. *IEEE Trans. Biomedical Circuits and Systems*, 2(2), 97-105.
- Gabriel, J. D., David, W. M., Jeremy, R. O., John, S. T., John, G. W., and Frank, J. S. (2005). A simple device to monitor flexion and lateral bending of the lumbar spine. *IEEE Trans. Neural System and Rehabilitation*, 13(1), 18-23.
- Lee-Yon Hong, Jeong-Wan Lee, Jae-Hoon Jun, Kang-Hwi Lee, Kyeong-Seop Kim, Dong-Jun Kim, and Kyung-Ho Kim. (2007). Angular Displacement Measurement using Optical Fiber. *Medical physics and biomedical engineering*, 2007, 799-801.
- Marcuse, D. (1976). Curvature loss formula for optical fibers. *J. Opt. Soc. Am.*, 66(3), 216-220.
- Romain, R., Pierre, A. B., and Jean-Paul, M. (1998). Flexible Angular Sensor. *IEEE Trans. Inst. Meas.*, 47(4), 1020-1022.
- Whittle, M. W. (1982). Calibration and performance of a 3-dimensional television system for kinematic analysis. *J. Biomechanics*, 15(3), 185-196.
- <http://www.cyberware.com/products/scanners/wbx.html>
- [http://www.vicon.co.kr/application/app\\_life.asp](http://www.vicon.co.kr/application/app_life.asp)
- 원고접수 : 10.12.22  
수정접수 : 11.04.20  
게재확정 : 11.05.19