



## 3D 프린팅으로 제작한 스트레인게이지를 이용한 어깨 모션 인식 시스템 개발

조근식<sup>a†</sup>, 기범근<sup>a†</sup>, 권병수<sup>b</sup>, 박용재<sup>a,b\*</sup>

### Shoulder Motion Recognition System using 3D-printed Strain Gauges

Geun Sik Cho<sup>a†</sup>, Beom-Geun Ki<sup>a†</sup>, Byeong Su Kwon<sup>b</sup>, Yong-Jai Park<sup>a,b\*</sup><sup>a</sup> Department of Smart Health Science and Technology, Kangwon National University<sup>b</sup> Department of Mechatronics Engineering, Kangwon National University

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received	7	February	2023
Revised	21	February	2023
Accepted	23	February	2023

##### Keywords:

3D printing  
Strain gauge  
Shoulder motion  
Motion recognition  
Resistance type sensor

#### ABSTRACT

Maintaining good health is a top priority for many people, particularly active seniors with a variety of physical activities. The shoulder is a complex joint that is particularly susceptible to injury, but it plays a crucial role in many physical activities. This study aimed to measure using a strain gauge manufactured by a 3D printer to detect shoulder motion. The sensor was fabricated using carbon nanotube (CNT) and nylon conductive filaments, and TPU filaments. The sensor in this paper was manufactured by printing three conductive lines on the main body printed with TPU. The manufactured sensor was attached to the shoulder to measure the motion of the shoulder. In this paper, we confirmed the possibility of detecting shoulder movement of sensors through experiments measuring three shoulder motions.

## 1. 서론

선진국들은 경제성장을 하며 고령화사회로 진입하였다. 한국 또한 경제성장과 함께 고령화사회로 진입하였다. 한국은 전 세계적으로 가장 빠른 인구 고령화가 진행 중이며 2018년 고령사회(65세 이상 인구 비중 14%)가 되었고 2025년에는 초고령사회(65세 이상 인구 비중 20%)에 진입할 예정이다<sup>[1]</sup>. 고령화사회에 따라 기성세대의 경제력이 증가하고 노인의 비중이 증가하였다. UN은 고령화를 정의할 때 총인구대비 65세의 인구 비율로 나눠 7%를 넘길 시 고령화사회, 14%를 넘길 시 고령사회, 20%를 넘길 시에 초고령사회로 분류하여 정의하였다<sup>[2,3]</sup>. 경제력이 증가한 현 기성세대들이 다양한 여가 활동, 건강에 관한 관심을 가지고 활동하고 있다. 이들을 액티브 시니어(active-senior)라고 정의하고 있다. 또한, 액

티브 시니어는 정년퇴직 이후에 시간, 경제적 여유가 있어 사회활동에 적극적으로 참여하는 50~60대의 세대를 뜻한다. 이전 실버세대와 소비를 통해 구분되며 문화생활과 여가 활동에 적극적인 것이 특징이다<sup>[4]</sup>. 또한, 이들은 다양한 활동을 하기 위해 과거보다 더 건강관리에 힘쓴다. 그러나 다양한 직업에 따른 활동으로 인하여 질병이 발생해 여가 활동이 제한되는 경우가 많다. 고령층의 대표적인 질병은 심장병, 고혈압, 당뇨병, 관절염, 치매, 근감소증 등으로 다양하다. 근감소증은 신체적 상해, 장애를 유발하게 되며 조기에 발견하여 치료해 신체 기능을 유지하며 향상하는 것이 중요하다<sup>[5]</sup>. 관절염은 남녀노소 걸리기 쉬운 흔한 질병으로 운동에 직접적인 영향을 주는 것이 특징이며 근육의 퇴화를 가속한다. 이처럼 다양한 활동을 하기 위해서는 이러한 질병을 관리하여야 한다. 신체에서 관절염이 발생하는 부위로는 주로 무릎, 어깨, 발목, 손목

† These authors equally contributed to this work.

\* Corresponding author. Tel.: +82-33-250-6371

E-mail address: yjpark@kangwon.ac.kr (Yong-Jai Park).

등이 있다. 이 중에서 어깨는 독특한 구조로 이루어져 있어서 운동 시 어깨통증은 일반 인구에서도 평생에 발병률이 높은 부위이다. 이러한 통증은 일과 여가 활동을 수행할 수 없게 되어 환자와 사회에 부담을 줄 수 있다<sup>[6]</sup>. 골절, 어깨 관절을 침범한 류머티즘성 관절염, 과도한 근건강과 통증 유발점을 특징으로 하는 근막통증, 저림 등을 유발하는 말초신경의 포착 및 손상 등을 꼽을 수 있다<sup>[7]</sup>. 어깨충돌증후군의 통증 부위는 흔히 삼각근 부위에 발생하고 통증이 상완부까지 이어지며 60~120도 거상 시 통증으로 인하여 운동이 힘들 수 있다. 후방의 관절낭은 구축, 유착이 있는 경우가 많아서 내전, 내회전 운동에 제한이 있을 수 있는 것이 특징이다. 회전근개 파열은 연결되어있는 힘줄 중 하나 이상이 상완골에서 찢어지거나 분리될 때 발생하는 것이 특징이다. 이러한 다양한 어깨 질환의 영향이 일상에 있으며 이들을 주제로 하여 다양한 연구들이 진행되고 있다. 보통 기본적인 방법들은 회전근개 파열을 구분하기 위한 반발력을 줄 시 통증을 측정하는 동작검사, 각도 측정 도구인 고니오미터를 이용한 어깨 관절의 운동범위 측정 방법들이 있다<sup>[8-11]</sup>. 이들을 활용하여 부상을 확인하기 위해 동작검사를 다양한 기기로 측정하는 연구로는 MRI나 X-ray로 어깨를 측정하여 질병과의 관련성을 확인하는 연구<sup>[12,13]</sup>, 각 제조사에서 판매하는 기성품 센서나 디바이스들을 활용하여 신체 모션을 측정하는 연구<sup>[14-17]</sup>, 직접 연구해 제작한 센서로 대상을 측정하는 연구<sup>[18,19]</sup>가 있다. 최근에는 모션캡처 시스템을 이용한 연구들 또한 진행되고 있고 이뿐만 아니라 다양한 방식으로 적용해 특색있는 연구들이 진행되고 있다. MRI와 모션캡처 시스템을 활용하여 테니스 서브 시 어깨 동작의 인식을 하는 연구<sup>[20]</sup>, 머리부터 목, 어깨에 마커를 부착하여 경추의 모션을 캡처하는 연구<sup>[21]</sup>, 광전자 추적 장치를 사용해서 견갑골의 움직임을 인식하는 연구<sup>[22]</sup>, 모션캡처 데이터 기반한 재활 보조용 로봇을 개발하는 연구<sup>[23]</sup> 등이 있다. 이외에는 휴대전화를 활용하고 AI기반 CNN 알고리즘을 적용하여 모션을 분석하는 연구<sup>[24]</sup> 등이 있다. 이처럼 어깨와 관련된 다양한 연구들이 진행되고 있으며 본 논문에서는 앞서 설명한 액티브 시니어를 포함한 다양한 인원들의 건강에 중요한 부분 중 하나이고 발병률이 높은 부위인 어깨의 움직임에 초점을 두고 진행한다. 이를 위해 본 연구에서는 어깨의 움직임을 3D프린터로 제작한 센서를 통해 인식하고자 하였다. 제작한 센서를 통해 어깨의 움직임을 인식하여 운동상태를 판단할 수 있도록 함은 물론 운동능력 저하를 자가 진단할 수 있도록 하는 것을 목적으로 본 논문에서는 연구를 진행하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 연구 목표

본 연구에서는 서론에서 설명한 어깨의 움직임을 연구한다. 어깨

의 움직임은 3D프린터로 제작한 센서로 움직임을 인식해 운동상태를 판단하는 것을 목표로 진행한다. 이 센서는 카본 나노튜브(CNT)와 나일론 기반 전도성 필라멘트(Nylforce CNT conductive filament, fiber force)와 그리고 TPU(Flexfill TPU 98A, filament) 필라멘트를 사용하며 CNT와 나일론 기반 전도성 필라멘트를 섞어 저항형 센서를 제작하며 센서의 몸체는 TPU로 제작한다. 본 센서는 어깨의 움직임이 센서에 굴곡을 주면 CNT 입자 간 간격이 바뀌는데 이 특성 변화를 통하여 생기는 저항 변화로 움직임을 측정한다. 이러한 특징을 이용하여 어깨의 구동 인식을 초점을 두었다. 또한, 센서를 어깨에 움직이는 방향을 고려해 부착하면 저항값의 변화에 따른 팔의 움직임을 인지할 수 있을 것으로 보고 연구를 진행한다.

### 2.2 센서의 구성과 제작

본 논문에서는 어깨의 움직임을 인식하기 위하여 센서를 어깨에 맞도록 제작하는 기초 연구를 진행하기로 하였다. 이 논문에서 제시하는 센서는 어깨의 앞, 뒤와 옆면을 측정하기 위해 3개로 이루어져 있고 어깨의 움직임에 따라 각기 다른 저항값이 측정되며, 움직임에 대한 어깨의 각도를 측정하기로 한다. 이 센서들은 직선형상으로 어깨의 다양한 움직임을 읽을 수 있도록 설계하였다. 각 센서는 위치에 따라 Sensor 1, Sensor 2, Sensor 3으로 명명하였으며 이는 Fig. 1과 같다.

이 센서는 저가의 기성 3D프린터를 바탕으로 3D프린터의 헤드를 새로 설계해 Fig. 2의 (a)와 같이 제작하였다. 본 3D프린터는 Fig. 2의 (b)와 같이 두 개의 노즐을 가져 여러 재료 출력이 가능하도록 설계하여 TPU와 전도성 필라멘트를 출력하였으며 Fig. 2(c)의 사진처럼 한 번의 출력으로 제작하였다.

기존 두 개의 노즐을 가진 3D프린터는 압출기를 3D프린터 프레임에 고정하여 핫엔드와 멀리 떨어진 상태로, 압출기에서 압출한

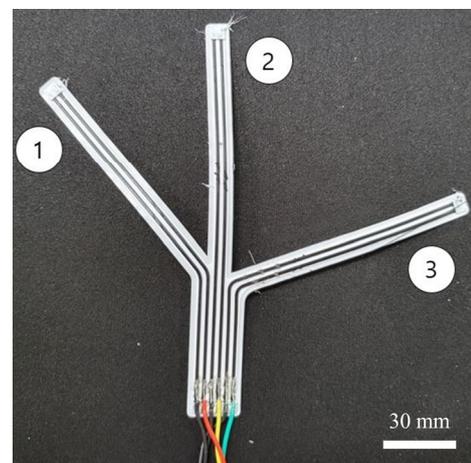
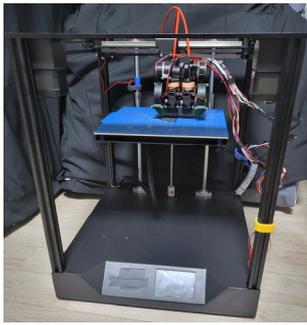
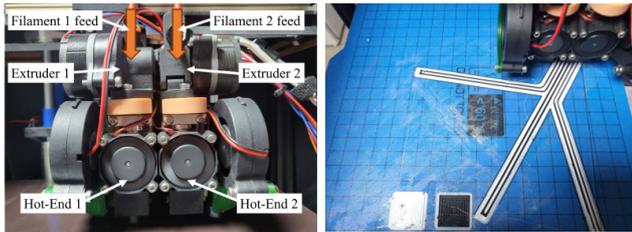


Fig. 1 Sensor printed with conductive filament

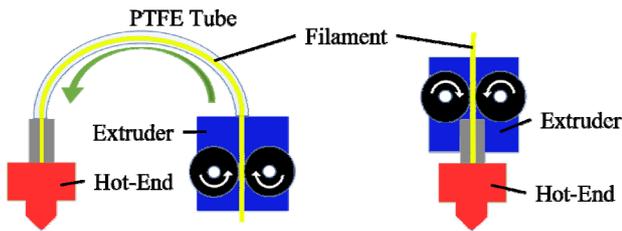


(a) 3D printer with newly designed printing head



(b) Print head with dual nozzle (c) Print the entire structure at once

Fig. 2 3D printer and print head with sensor output



(a) Bowden extrusion (b) Direct extrusion

Fig. 3 Two types of extrusion systems

필라멘트가 PTFE 튜브를 통해 핫엔드로 전달되는 보우덴 방식을 이용한다. 이는 TPU와 같은 유연한 소재 출력 시 필라멘트가 PTFE 튜브 내에서 꼬여 압출 불량이 발생할 수 있다. 이에 반해 설계한 3D프린터는 유연한 소재를 출력하기 유리하도록 압출기가 핫엔드의 바로 위에서 압출을 진행해 압출기와 핫엔드 사이의 거리가 매우 짧은 직결 방식을 채택하였다. 이 두 방식은 Fig. 3과 같이 구성된다.

### 2.3 측정 장비와 측정 방법

본 연구에서는 어깨의 움직임을 인식하기 위하여 어깨에 제작한 센서를 어깨 앞, 뒤, 옆에 부착하여 각 센서의 저항값 변화를 측정한다. 센서의 값의 변화는 아두이노로 저항값을 측정하여 진행한다. 아두이노를 통해 전압의 값의 변화를 비교하여 측정하는 방식으로 기초 연구를 진행하였으며 지정한 모션 별 센서들의 각 저항값 변화를 측정하여 값의 변화에 따른 모션을 특징하는 실험을 진행한다. 본 논문에서의 실험은 기초적인 모션 별 저항값의 변화를



(a) Forward flexion



(b) Extension



(c) Abduction

Fig. 4 Three motions to check for shoulder motion

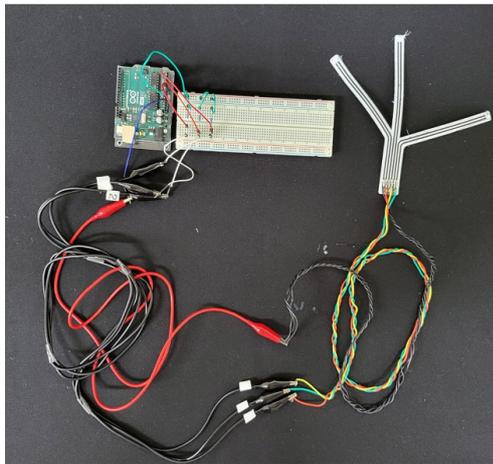
측정하기 위함으로 한 사람을 기준으로 진행하며 어깨의 움직임을 구분하도록 하였다. 이를 위한 모션은 큰 동작을 기준으로 기초적 측정을 위하여 본 논문에서는 Forward flexion 모션과 Extension 모션 그리고 Abduction 모션을 기반으로 진행한다. Forward flexion은 양팔을 아래로 둔 정자세에서 팔을 어깨 위쪽까지 앞으로 180도 올리는 모션, Extension 모션은 정자세에서 몸 뒷 방향으로 올리는 모션, Abduction 모션은 정자세에서 옆면으로 어깨 위에 팔을 위치하도록 올리는 움직임이다. 앞에서 설명한 모션들은 아래 Fig. 4와 같다. Forward flexion 모션은 160~180도, Extension 모션은 45~60도, Abduction 모션은 132~160도가 정상 각도이다. 이 3가지 방식의 모션 측정 방식을 기반으로 각 모션 별 각 센서의 저항값을 측정하여 모션 별 저항값의 변화 형상을 비교하는 실험을 진행한다.

#### 2.3.1 센서 실험

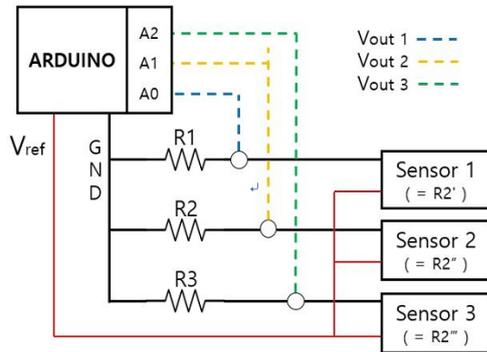
앞서 설명한 방법과 같이 아두이노를 이용하여 제작한 센서의 저항값 변화를 측정한다. 아두이노는 전압값의 변화를 측정하는 방식으로 기초 이론인 옴의 법칙을 이용하여 저항값을 유추한다. 이에 대한 출력 변화에 대한 계산식은 식(1)과 같다.

$$V_{out} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} \times V_{ref} \quad (1)$$

여기서  $V_{out}$ 는 출력전압,  $V_{ref}$ 는 저항 측정용 기준 전압,  $R_1$ 는 타겟 저항,  $R_2$ 는 측정하고자 하는 저항값이다. 측정에는 아두이노



(a) Composition of the experiment



(b) Configuration diagram of the experiment

**Fig. 5 Composition of experimental equipment**

UNO 모델을 사용하였고 제작한 센서들의 저항 변화 양상을 파악하기 위하여 위의 식을 기반으로 저항 측정 실험을 구성해 진행한다. 저항의 저항값 변화 측정 실험은 센서의 한쪽을 고정하고 센서의 끝에 힘을 주어 구부러지는 각도에 따라 저항값의 변화를 측정한다. 이는 Fig. 5와 같이 구성하였다. 또한 어깨의 움직임 측정하기 위해 제작한 센서를 어깨에 부착하여 실험을 진행한다. 이는 앞서 설명한 3가지 모션인 Forward flexion 모션과 Extension 모션 그리고 Abduction 모션을 기반으로 각 움직임에서의 저항값 변화를 측정한다. 이는 Fig. 6과 같이 어깨에 센서를 부착하여 실험을 구성한다.

### 3. 연구 결과

#### 3.1 센서 실험

앞서 설명한 바와 같이 각 센서의 저항값은 아두이노 UNO 모델을 이용하여 측정하였다. 센서를 측정하는 방법은 제작한 센서의 저항을 비교 저항의 저항값과 비교하여 비율로 저항값을 도출하는 방식을 이용한다. 이 실험을 통해 기본 상태의 저항값이 일정한 값으로 도출되는지 확인하고자 5번 측정하였으며 값은 Table 1과



**Fig. 6 Composition of motion experiment to measure shoulder movement**

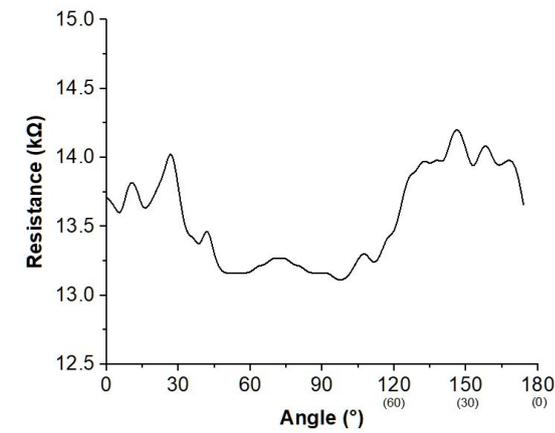
**Table 1 Resistance values for the three sensors**

Classification	Resistance value (kΩ)					Average value
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	
Sensor 1	13.736	13.681	13.626	13.517	13.846	13.68
Sensor 2	20.912	20.825	20.446	20.537	20.906	20.73
Sensor 3	15.575	15.511	15.511	15.448	15.575	15.52

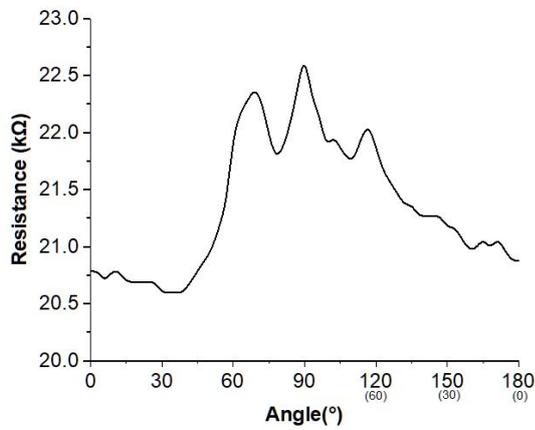
같다. 각 센서의 저항값은 다소 차이는 있으나 저항값은 일정한 값을 유지함을 확인하였다. 제작한 센서의 각 부분을 센서 고유의 탄성에 의해 나타나는 곡률을 따라 각기 90도로 구부렸을 시 저항값 변화 결과는 Fig. 5의 실험 세팅을 통해 측정한 결과 Fig. 7과 같이 도출되었다. 측정 결과 세 곳의 센서는 각기 다른 저항값 변화 양상을 보이는 것이 확인되었다. 또한 각 센서의 히스테리시스는 Fig. 8과 같이 도출되었다. 이러한 실험 결과를 통해 각 센서를 어깨에 적용해 각 부위의 움직임 변화를 유추하는 실험을 진행할 수 있을 것으로 예상되어 어깨에 적용하는 실험을 진행하였다. 어깨에 센서를 적용한 상태는 앞서 설명한 Fig. 6과 같이 구성하였다. 이는 어깨의 움직임을 고려하여 각 센서를 어깨의 앞과 뒤 그리고 중앙에 위치하도록 제작한 센서로 실험을 진행하였다. 이 실험은 설명한 세 가지 모션을 통해 어깨의 움직임을 센서의 저항값 변화로 인식하고자 하였고 이를 실험한 결과 그래프는 Fig. 9와 같다. 또한, Fig. 7과 Fig. 9의 센서 초기 저항값은 센서의 초기 상태에 따라 저항값이 다름을 확인하였다. Fig. 9의 결과를 통하여 각 어깨의 모션에 따라 각 센서의 저항값 변화가 다름을 확인할 수 있으며 어깨에 부착한 3개의 센서가 각자 다른 저항값 변화 양상을 보임을 확인할 수 있었다.

#### 3.2 결과 분석

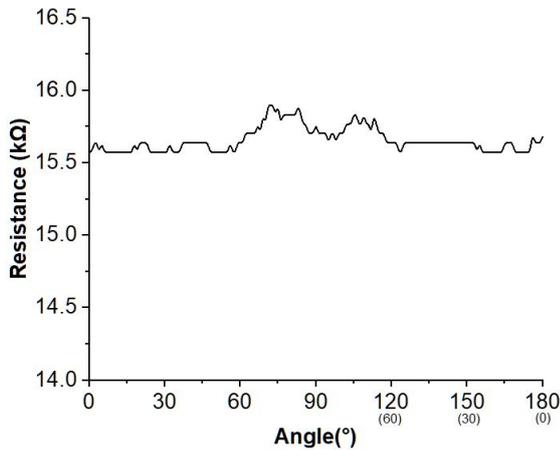
각 실험에서 센서의 저항값을 측정한 결과 전도성 필라멘트로



(a) Sensor 1



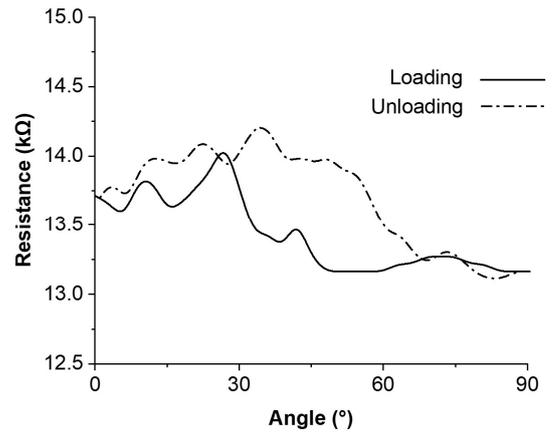
(b) Sensor 2



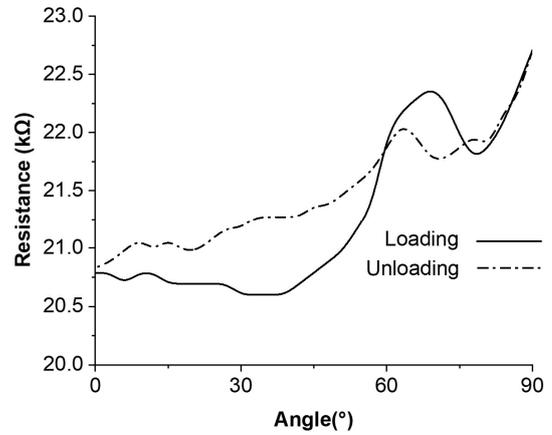
(c) Sensor 3

Fig. 7 Resistance value change graph of three type sensors

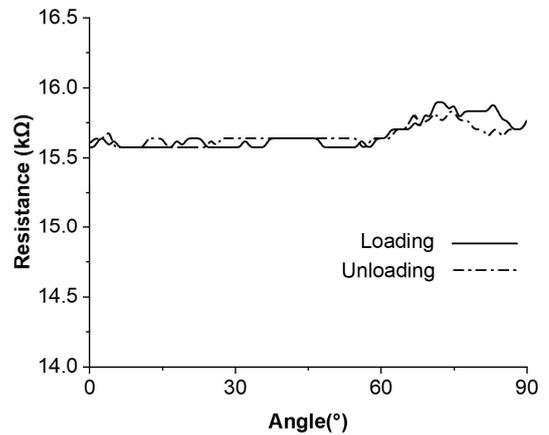
3D 프린팅한 센서를 신체에 적용하여 모션을 인식하는 데 활용할 수 있음을 확인하였다. 센서들은 앞서 Fig. 7에서 확인할 수 있는 90도 굽힘에 따른 저항 변화 실험에서 볼 수 있듯이 형태와 길이에 따른 전도성 필라멘트의 사용량 차이로 인해 기본 저항값이 달라짐을 확인할 수 있었다. Sensor 2를 중심으로 좌·우측에 배치된 Sensor 1과 Sensor 3은 각각 40도와 70도의 각도로 굴곡을 주어



(a) Sensor 1



(b) Sensor 2



(c) Sensor 3

Fig. 8 Hysteresis of three type sensors

설계하여 제작하였다. 각도 차이에 따라 굽힘에 따른 곡률이 차이를 보여 저항 변화량의 차이가 발생하였다. Fig. 9에서 각 센서의 시작 저항값이 Fig. 7의 수치와 다른 이유는 Fig. 6과 같이 센서를 어깨선에 따라 부착하여 사전에 굴곡이 있기 때문이다. Sensor 2의 저항값 변화가 다른 방향의 센서들과 비교했을 때 두드러지는 이유는 다른 센서들의 형태와 다르게 평행하게 배치되어 굽힘과

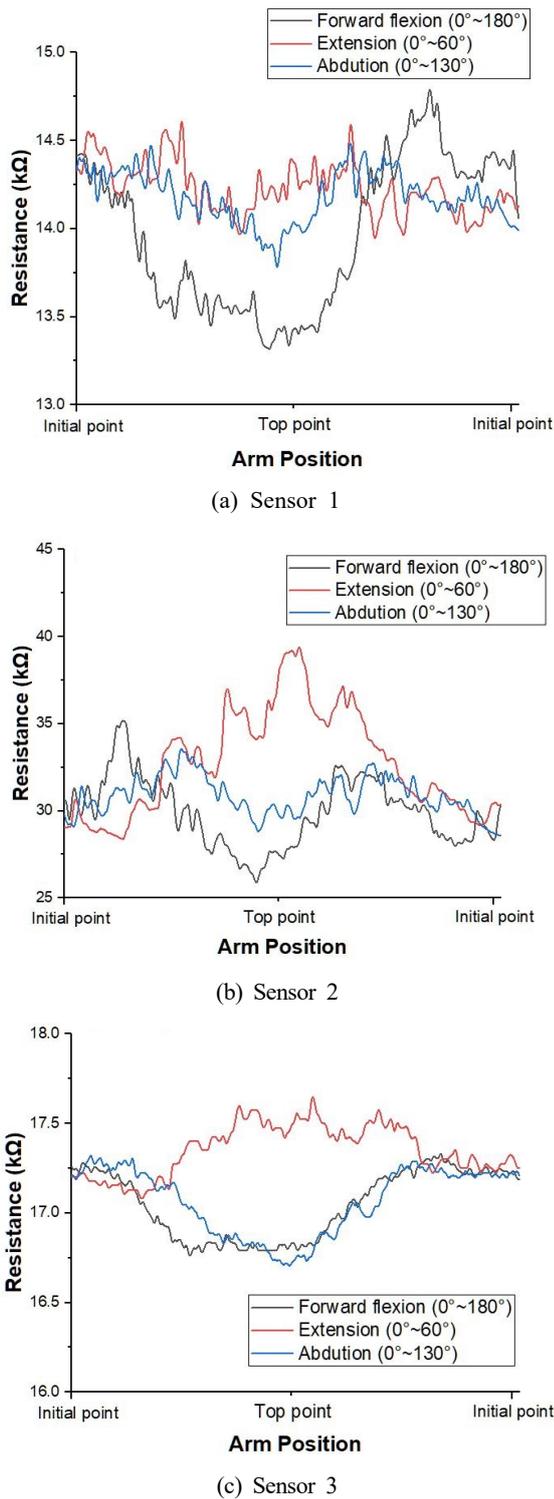


Fig. 9 Resistance change graph of three types of sensors for three movements of the shoulder

비틀림이 동시에 유발되는 어깨의 움직임에 더 큰 영향을 받는 것으로 추측된다. Table 2는 Fig. 9의 저항 변화를 변화율로 환산한 표이며 Forward flexion 동작에서는 모든 센서의 저항값이 변화했고, Extension 동작에는 Sensor 2와 Sensor 3이, Abduction 동작

Table 2 Resistance change rate and amount of change

Classification	Resistance change rate (%)			
	Basic bending*	Forward flexion	Extension	Abduction
Sensor 1	4.02% (0.55)	6.78% (0.98)	0.2% (0.03)	1.97% (0.28)
Sensor 2	9.24% (1.9)	10.34% (3.16)	31.79% (9.24)	0.33% (0.1)
Sensor 3	1.24% (0.2)	2.94% (0.51)	1.73% (0.3)	3.01% (0.52)

\* Basic bending : Resistance value of Fig. 7

에서는 Sensor 1과 Sensor 3이 변화하는 것을 확인하였다. 따라서 센서를 어깨의 움직임을 고려한 위치에 부착함으로써 각기 다른 어깨의 움직임에 따라 반응하는 센서의 종류와 저항값 변화가 다른 양상을 보이는 것을 확인했다. 어깨 움직임을 인식하는 실험은 움직임별로 총 5회 실시하였으며 미세한 움직임 차이로 인해 약간의 측정값의 경향성이 다른 경우가 확인되었으나 유사한 값의 변화를 감지하였다. 이러한 실험을 통하여 어깨의 각 움직임에 따라 각 위치에 있는 센서의 저항값 변화 차이를 확인할 수 있었다. 이로써 센서를 통해 어깨의 움직임을 판단할 수 있음을 확인하였다. 다만, 전도성 필라멘트로 인쇄하여 제작한 센서는 조직에 특성상 소성에 따라 영구적 변형이 생기는 현상이 있었다. 3D프린터를 이용하여 제작하는 센서를 지속해서 연구하기 위해서는 이를 보완할 방안을 고려하여 연구해야 할 것으로 보인다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 고령화사회에 접어들면서 급히 부상하고 있는 액티브 시니어들을 포함한 다양한 사람들의 운동 인식과 부상 인식을 목표로 연구를 진행하였다. 액티브 시니어들은 다양한 활동을 위하여 기존에 직업을 통하여 얻은 질병들을 관리하고 있다. 다양한 일상을 위하여 건강은 다양한 연령층과 젊은 사람들도 관리한다. 이들의 신체는 여러 활동을 통해 다양한 부상을 얻기도 하며 본 연구에서는 이중 흔히 발생하는 어깨 질환에 대하여 집중하였다. 어깨 질환은 어깨의 독특한 구조로 질병이 발생하기 쉬운 질환이다. 본 연구진들은 어깨의 모션을 인식하는 것과 사전에 어깨의 이상을 감지하기 위하여 어깨의 움직임을 분석하는 것이 중요할 것으로 보고 연구를 진행하였다. 이에 어깨의 움직임은 3개의 센서를 각각 다른 위치에 부착하여 모션에 따른 이들의 저항값 변화로 구분하도록 하였다. 본 연구에서의 센서는 3D 프린팅을 통하여 TPU 필라멘트로 제작한 센서의 몸체에 전도성 필라멘트들을 3D 프린팅하여 제작한다. 인쇄한 센서를 부착해 어깨의 움직임을 인식하고자 3개의 전도체를 한 센서의 몸체에 인쇄하였다. 이는 앞서

설명한 연구 결과들과 같이 센서들의 기본저항 측정, 히스테리시스 측정을 통하여 센서의 기능을 테스트하였다. 또한, 저항값 변화를 측정하는 실험을 통하여 기능이 문제가 없음을 확인하였다. 센서의 작동을 확인함에 따라 사전에 지정한 3개의 어깨 움직임인 Forward flexion 모션과 Extension 모션 그리고 Abduction 모션을 통하여 어깨의 움직임을 부착한 3개의 센서로 구분하는 실험을 하였다. 이 실험을 통하여 각 움직임의 부위별 각도의 변화가 발생한 영향으로 각기 다른 저항값의 변화를 감지하였다. 이러한 결과를 통하여 어깨의 움직임 또한 3D프린터로 제작한 센서를 통하여 감지할 수 있음을 확인할 수 있었으며 움직이는 각도에 따른 3개의 각 저항값의 변화 차이를 통하여 어깨의 움직임 상태를 인지하여 어떠한 모션을 취한지 확인할 수 있음을 확인하였다. 이러한 기초 연구를 통하여 3D프린터를 이용해 제작하는 방식의 센서도 제작하는 방식에 따라 다양한 신체의 부분에 적용할 수 있음을 확인하였다. 추후 신체의 움직임에 맞춘 설계의 변경과 재료의 재선정, 소성, 취성 등을 고려한 추가연구를 통하여 더 나은 성능의 센서를 제조할 수 있을 것으로 보았다. 지속적인 연구를 통하여 이를 개선하고 발전시키면 어깨의 모션을 더 정확하게 인식할 수 있는 센서를 연구할 수 있음을 확인할 수 있었다.

## 후 기

This work was supported by the Industrial Strategic Technology Development Program (20018270, Development of a gripper system for product variety to grasp unspecified objects of various shapes, weights and strengths) funded by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE, Korea), by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(2020R111A3073575), and by “Regional Innovation Strategy (RIS)” through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(MOE) (2022RIS-005).

## References

- [1] Statistics Korea, 2022, viewed 30 March 2023, 2022 Elderly statistics, <[https://www.kostat.go.kr/board.es?mid=a10301060500&bid=10820&act=view&list\\_no=420896](https://www.kostat.go.kr/board.es?mid=a10301060500&bid=10820&act=view&list_no=420896)>.
- [2] United Nations, 2020, viewed 30 March 2023, World Population Ageing 2019, <<https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2019-Report.pdf>>.
- [3] Kim, D. H., Jung, H. W., Lee, D. H., Seung, M. E., 2019, Cognitive Error on the Age of Death by Stratum and Its Implications, *J. Risk Manage*, 30:2 1-32, <https://doi.org/10.21480/tjrm.30.2.201906.001>.
- [4] Korea Local Public Administration Mutual Aid Association Editorial Department, 2016, Active-Senior Become a New Trend Leader, *The Jibang-haeng Jung*, 65:758 74-75, <<https://kiss.kstudy.com/Detail/Ar?key=3481313>>.
- [5] Janssen, I., Heymsfield, S. B., Ross, R., 2002, Low Relative Skeletal Muscle Mass (Sarcopenia) in Older Persons Is Associated with Functional Impairment and Physical Disability, *J. American Geriatr. Soc.*, 50:5 889-896, <https://doi.org/10.1046/j.1532-5415.2002.50216.x>.
- [6] Luime, J. J., Koes, B.W., Hendriksen, I. J. M., Burdorf, A., Verhagen, A. P., Miedema, H. S., Verhaar, J. A. N., 2004, Prevalence and Incidence of Shoulder Pain in the General Population; A Systematic Review, *Scand. J. Rheumatol.*, 33:2 73-81, <https://doi.org/10.1080/03009740310004667>.
- [7] Koh, E. S., Lim, J. Y., 2013, The Management of Shoulder Pain in the Elderly: Focusing on Clinical Characteristics and Conservative Treatment, *J. Korean Geriatr. Soc.*, 17:1 1-6, <https://doi.org/10.4235/jkgs.2013.17.1.1>.
- [8] Rosen, M., Meijer, K., Tucker, S., Wilcox, L., Plummer, H. A., Andrew, J. R., Ostrander, R. V., 2021, Shoulder Range of Motion Deficits in Youth Throwers Presenting With Elbow Pain, *Sports Health: A Multidiscip, Approach*, 14:4 148-482, <https://doi.org/10.1177/19417381211036387>.
- [9] Lee, I., Park, J. H., Son, D. W., Cho, Y., Ha, S. H., Kim, E., 2021, Investigation for Shoulder Kinematics Using Depth Sensor-Based Motion Analysis System, *J. Korean Orthop. Assoc.*, 56:1 68-75, <https://doi.org/10.4055/jkoa.2021.56.1.68>.
- [10] Mullaney, M. J., McHugh, M. P., Johnson, C. P., Tyler, T. F., 2010, Reliability of Shoulder Range of Motion Comparing a Goniometer to a Digital Level, *Physiother. Theory Pract.*, 26:5 327-333, <https://doi.org/10.3109/09593980903094230>.
- [11] Shin, H.-K., Kim, E.-G., Jeong, H.-J., Kim, J.-M., Choi, J.-Y., Lee, Y.-T., 2007, What are Valuable Positive Signs of Supraspinatus Test for Diagnosis of Torn Rotator Cuff? - Comparison of Pain and Weakness in 'Empty Can Test' and 'Full Can Test', *Journal of the Korean Shoulder and Elbow Society*, 10:1 27-32, <https://doi.org/10.5397/CiSE.2007.10.1.027>.
- [12] Heuberger, P. R., Plachel, F., Willinger, L., Moroder, P., Laky,

- B., Pauzenberger, L., Lomoschitz, F., Amderl, W., 2017, Critical Shoulder Angle Combined with Age Predict Five Shoulder Pathologies: A Retrospective Analysis of 1000 Cases, *BMC Musculoskelet. Disord.*, 18:1 259, <https://doi.org/10.1186/s12891-017-1559-4>.
- [13] Spiegl, U. J., Horan, M. P., Smith, S. W., Ho, C. P., Millett, P. J., 2016, The Critical Shoulder Angle is Associated with Rotator Cuff Tears and Shoulder Osteoarthritis and is Better Assessed with Radiographs over MRI, *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 24:7 2244-2251, <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3587-7>.
- [14] Lee, S. H., Yoon, C. Y., Chung, S. G., Kim, H. C., Kwak, Y. B., Park, H. -W., Kim, K. W., 2015, Measurement of Shoulder Range of Motion in Patients with Adhesive Capsulitis Using a Kinect, *PLOS ONE*, 10:6 e0129398, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129398>.
- [15] Parel, I., Cutti, A. G., Fiumana, G., Porcellini, G., Verni, G., Accardo, A. P., 2012, Ambulatory Measurement of the Scapulohumeral Rhythm: Intra- and Inter-operator Agreement of a Protocol based on Inertial and Magnetic Sensors, *Gait Posture*, 35:4 636-640, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.12.015>.
- [16] Osbahr, D. C., Murrell, G. A. C., 2006, The Rotator Cuff Functional Index, *Am. J. Sports Med.*, 34:6 956-960, <https://doi.org/10.1177/0363546505284847>.
- [17] Ham, S. W., Yoo, C. Y., Jung, J. Y., Jang, W. K., Kim, B. H., Choi, S. W., Ha, S. J., Ha, H. J., 2022, Gait Analysis System for Active Seniors Based on Machine Learning, *J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.*, 31:2 108-115, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2022.31.2.108>.
- [18] Liu, S., Zhang, J., Zhang, Y., Zhu, R., 2020, A Wearable Motion Capture Device able to Detect Dynamic Motion of Human Limbs, *Nat. Commun.*, 11:1 5615, <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19424-2>.
- [19] Ko, K. R., Chae, S. H., Bae, S. B., Choi, J. S., Ban, S. B., 2014, A Study on the 4-Joint Based Motion Capture System for Spinal Disease Prevention, *J. Korean Inst. Inf. Technol.*, 12:8 157-165, <https://doi.org/10.14801/kitr.2014.12.8.157>.
- [20] Charbonnier, C., Chagué, S., Kolo, F. C., Lädemann, A., 2015, Shoulder Motion during Tennis Serve: Dynamic and Radiological Evaluation based on Motion Capture and Magnetic Resonance Imaging, *Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg.*, 10:8 1289-1297, <https://doi.org/10.1007/s11548-014-1135-4>.
- [21] Liguoz, Z., Minshan, F., Xunlu, Y., Shangquan, W., Jie, Y., 2017, Kinematics Analysis of Cervical Rotation-Traction Manipulation Measured by a Motion Capture System, *Evid. Based Complement. Alternat. Med.*, 2017 1-6, <https://doi.org/10.1155/2017/5293916>.
- [22] Šenk, M., Chèze, L., 2010, A New Method for Motion Capture of the Scapula using an Optoelectronic Tracking Device: A Feasibility Study, *Comput. Methods Biomech. Biomed. Eng.*, 13:3 397-401, <https://doi.org/10.1080/10255840903263945>.
- [23] Yang, U. J., Kim, J. Y., 2012, Development of Frozen Shoulder Rehabilitation Robot Based on Motion Capture Data, *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, 36:9 1017-1026, <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2012.36.9.1017>.
- [24] Park, C. H., An, Y. S., Yoon, H. S., Park, I. B., Kim, K. T., Kim, C. Y., Cha, Y. J., 2022, Comparative Accuracy of a Shoulder Range Motion Measurement Sensor and Vicon 3D Motion Capture for Shoulder Abduction in Frozen Shoulder, *Technol. Health Care*, 30:S1 251-257, <https://doi.org/10.3233/THC-228024>.

	<p><b>Geun Sik Cho</b> Ph.D. Candidate in the Department of Smart Health Science and Technology, Kangwon National University. His research interest is Soft Robots and Soft Sensor Technology. E-mail: geunsik1124@kangwon.ac.kr</p>
	<p><b>Beom-Geun Ki</b> Master's Course Student in the Department of Smart Health Science and Technology, Kangwon National University. His research interest is Soft Robots and 3D Printing Technology. E-mail: sjr02060@kangwon.ac.kr</p>
	<p><b>Byeong Su Kwon</b> Master's Course Student in the Department of Mechatronics Engineering, Kangwon National University. His research interest is Wearable Devices for Rehabilitation and Physical Assistance. E-mail: kbsbyungsu@kangwon.ac.kr</p>



**Yong-Jai Park**

Associate Professor in the Department of Smart Health Science and Technology, Kangwon National University. His research interest is Soft Robots and Mechanism Design.

E-mail: [yjpark@kangwon.ac.kr](mailto:yjpark@kangwon.ac.kr)