

# 근골격계 안전관리를 위한 모니터링 기법에 관한 연구 및 시스템 구현

신영주, 주하영, 양진홍\*

## A Study on the Monitoring Technique for Musculoskeletal Safety Management and Implementation of the System

Yeong-Ju Shin, Ha-Young Joo, Jin-Hong Yang\*

**요약** 제조업 근로자는 근무 환경에서 반복 작업에 의한 근골격계 질환의 위험에 쉽게 노출되어 있다. 이는 신체를 반복적으로 이용하는 직업 특성상의 문제에 기인한다. 하지만 현재 감시 및 예방을 위한 모니터링 시스템이 제공되지 않아 매년 위험에 대한 근로자의 노출도가 증가하고 있다. 본 논문에서는 IMU 센서를 사용한 웨어러블 장치 제작을 통해 실제 작업 환경에서의 이러한 문제를 해결하는 방법에 대해 제시한다. 웨어러블 형태의 장치를 착용 후, 근골격계 움직임에 따른 회전 값을 받아와 데이터 분석을 통해 사용자의 움직임을 판단해낸다. 이때, 바이어스 제거와 누적 오차를 제거해 정교한 데이터 취득하여 이를 동적 임계값 형식으로 분석하여 사용자의 회전 운동 횟수를 측정해내어 위험도를 판단한다. 본 논문에서 제안한 웨어러블 장치를 이용 팔꿈치 근골격계 질환에 대한 회전 횟수를 측정하는 웹 페이지를 통해 본 방법의 효과를 확인할 수 있었다.

**Abstract** Manufacturing workers are easily exposed to the risk of musculoskeletal disorders caused by repetitive tasks in their working environment. This is due to problems with occupational characteristics that repeatedly use the body. However, the current lack of monitoring systems for monitoring and prevention has led to an increase in workers' exposure to risks each year. This paper presents how to solve these problems in real working environment by producing wearable devices using IMU sensors. After wearing a wearable type device, the user's movement is judged through data analysis by receiving the rotation value according to musculoskeletal movement. At this time, the risk is determined by measuring the number of rotations of the user by eliminating bias and eliminating cumulative error, acquiring sophisticated data, and analyzing it in the form of dynamic threshold values. Using the wearable device proposed in this paper, the effect of this method could be checked through a web page measuring the number of rotations for elbow musculoskeletal disorders.

**Key Words** : IMU, Motion measurement, Musculoskeletal disorders, Repetitive tasks, Wearable device

### 1. 서론

한국산업안전보건공단의 2019년 산업재해 발생

현황에 따르면 신체 부담작업에 의한 근골격계 질환의 증감률은 50.2%로 전년 대비 급격하게 증가하였다[1]. 근골격계 질환의 성공적인 직업 복귀는 요양

This Paper was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation & grant funded by the Korea government (MSIT) (No: 2018-0-00261, GDPR Compliant Personal Identifiable Information Management Technology for IoT Environment) in 2020.

Department of Healthcare IT, INJE University (sinyeongju08@gmail.com, hayjoo0723@gmail.com)

\*Corresponding Author : Department of Healthcare IT, INJE University (jinhong@inje.ac.kr)

Received June 16, 2020

Revised June 26, 2020

Accepted June 28, 2020

초기에 많이 일어나고, 요양이 만성화될수록 감소하는 점을 볼 때, 초기 단계에 개입하여 원인을 파악하고 작업 환경을 개선하는 것이 중요하다고 볼 수 있다[2]. 이러한 근골격계 질환을 예방하기 위해서는 근골격계 질환이 누적 외상성 질환이라는 특성을 이용하여 휴식을 통해 관절 부위를 중심으로 업무상 발생하게 되는 부담을 낮춤으로써 예방이 가능할 것이라 예상된다.

본 연구에서의 작업자에게 가해지는 근골격계의 부하는 2018년 12월 한국산업안전보건공단에서 고시한 근골격계 부담작업 유해요인조사 지침의 작업 분석 • 평가 도구를 근거로 반복 작업에 의한 근골격계 부하를 중심으로 측정하고자 한다[3]. 특히, 지침에서 나타내는 작업 중 분석이 가능한 8개의 동작 중 7개 동작의 유해요인 동작이 반복 작업이 포함된 동작이라는 점과 안전보건공단에서 소개하는 근골격계 질환의 발생의 주 원인 중 하나인 반복적인 작업만을 대상으로 근골격계 부하를 측정하고자 한다[4].

따라서 본 논문에서는 실시간 감시 기법을 통해 근로 중 반복 작업에 의해 자신의 근골격계 과사용을 판단할 수 없는 근로자에게 휴식을 권고하여 근골격계 질환을 예방할 수 있는 웨어러블 장치를 개발하고자 한다.

## 2. 문헌 고찰

### 2.1 관련 연구

기존 연구 중 산업 현장 근로자의 근골격계 부하를 측정하는 연구로는 “건설노무자를 대상으로 근골격계 부담작업을 측정하는 장치에 관한 연구”가 진행된 바 있다[5]. 가속도계를 이용하여 손목, 팔꿈치 및 어깨의 근골격계 부하를 측정하는 연구로 가속도계에서 출력되는 값으로 전반적인 움직임을 판단할 수 있었지만, 가속도계만을 이용하여 동작을 측정함으로써 발생하는 오차와 노이즈로 인해 정확도의 한계가 존재하였다.

이외에도 관성측정장치(IMU)를 이용하여 동작을 측정하는 연구 중 관절의 부하를 측정하는 연구로는

“관성측정장치(IMU)를 이용한 동작 분석 장치 개발 및 목 관절 연구 동향”이 있다[6]. 해당 연구는 목 관절에 초점을 맞춘 연구로 본 연구와 작업 부위에 대한 차이가 있으나 IMU 센서를 이용하여 관절의 부하를 측정함에 유사성이 있었다. 해당 연구에서도 IMU 센서를 이용할 시 발생하는 누적 오차, 회전 연산 처리의 복잡성에 의한 한계점이 있었다.

### 2.2 기존 동작 측정의 한계점

기존 연구들에서는 IMU 센서 사용 시, 자이로스 코프에 의해 적분 값에 대하여 발생할 수 있는 누적 오차에 관한 연구들이 다수 이루어졌다[7][8][9][10][11].

하지만 기존 연구는 근로자의 작업 환경과 다른 상황에서의 활용에 초점이 맞춰져 있어[12], 실제 작업자의 문제들에 대한 상황과의 차이점이 존재함을 확인할 수 있다. 따라서 장치를 제작함에 있어, 작업 환경에 따른 적절한 데이터 초기화 및 반복에 따른 누적 오차를 해결하여 장치의 정확성을 향상시키는 것이 요구된다.

기존 연구의 결과로는 팔꿈치의 근골격계 부하를 측정할 수 있는 웨어러블 형태의 장치에 대한 설계 및 디자인들이 충분히 제시되지 못하였다. 기존 연구의 경우, 근로 환경을 고려하지 않아 웨어러블 장치로 이용하기에 부피가 크거나 구조가 복잡하여 실 작업 환경에서 측정 용이성이 충분히 제공되지 못하였다[13][14].

따라서 본 논문에서는 IMU 센서를 이용해 반복 작업에 의한 팔꿈치의 근골격계 부하를 측정할 수 있는 웨어러블 수준의 가벼운 장치를 디자인하고 해당 장치를 이용하여 실 작업 환경에서의 측정의 용이성 및 연속성을 제공함으로써 기존의 연구와 차별성을 제시하였다.

## 3. 요구사항 분석 및 시스템 설계

### 3.1 팔꿈치 근골격계 질환 탐지를 위한 요구사항

본 연구는 동작 측정 기법을 통해 근로자에게 알

맞은 웨어러블 근골격계 안전관리 장치를 제작하는 것이 목표이다. 반복 작업에 대한 근골격계 부하를 측정하기 위해, 고용노동부에서 제정·고시(‘03.07.15)한 작업 등 근골격계 부담작업에 해당하는 11가지 작업 조건을 기준으로 한다. 11가지 조항 중 제2호, 제11호가 반복적인 작업으로 명시되어 있으며[15], 두 조항에서 공통으로 노출되는 부위가 팔꿈치인 점에 착안해 팔꿈치에 대한 근골격계 부하를 측정하고자 한다.

이에 따른 요구사항으로는 웨어러블한 형태에 맞춰 작업자가 불편함을 느끼지 않아야 하며, 가벼워야 한다. 또한, 산업 현장에서 쓰일 수 있도록 최소 비용으로 서비스를 제공할 수 있어야 한다. 이를 위해 작업자가 상시 휴대하고 있는 스마트폰을 통해 데이터의 연동이 가능해야 한다. 추가적으로 작업자에게 별도의 모바일 애플리케이션 설치 없이도 서비스를 이용할 수 있도록 웹앱 형태로 손쉽게 서비스를 제공받을 수 있어야 한다. 마지막으로 가격적 측면에서 경쟁력을 가질 수 있는 장치들을 활용하여 시스템을 구성하여야 한다.

### 3.2 팔꿈치 근골격계 질환 탐지용 웨어러블 시스템 설계

주요 모듈을 통해 나타난 근골격계 안전관리 장치의 전체 시스템 구조는 그림 1과 같다. Sensing and pre-processing 부분은 아두이노 기반으로 진행하였고 Data Aggregation and UI는 웹 서버에 연결된 웹 브라우저에서 기능을 구현하였다. 그림 1의 시스템 구조에서 사용되는 주요 모듈 기능은 아래의 표 1과 같다.

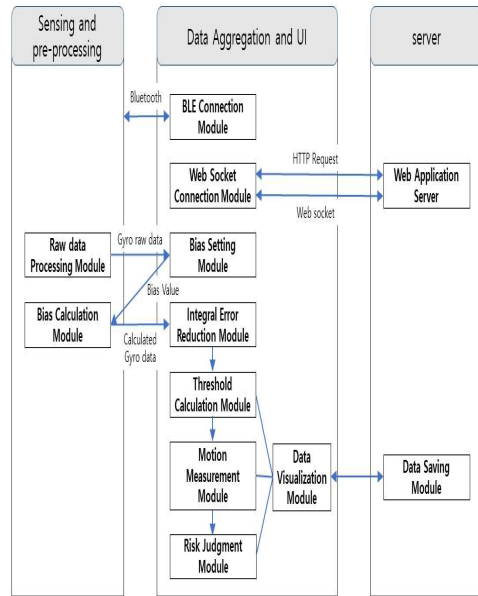


그림 1. 시스템 전체 구조도  
Fig. 1. System architecture

그림 2는 본 논문의 전체 시스템의 흐름도를 보여주고 있다. 먼저 웨어러블 장치에 전원이 공급되면 node.js를 통해 서버를 실행시켜 web socket을 이용해 웹 브라우저와 웹 서버의 양방향 연결 스트림을 만들어준다. 지정 IP를 통해 웹 브라우저에 접속하여 센서의 UUID(Universally Unique Identifier)를 통해 BLE로 센서와 브라우저 연결을 시도한다. 연결 성공 시, 센서는 브라우저로 값을 내보내며 Bias Setting module을 통해 센서값에서 바이어스(bias)를 제거한다. 바이어스(bias) 제거 및 적분 후 적분 오차까지 제거된 분석된 데이터를 웹 브라우저로 전송시키고 이를 기반으로 동작 측정을 하여 대시보드로 보여준다.

Module	function
Web Socket Connection	Creates a continuous two-way connection stream between the web browser and the web server based on the wss protocol by connecting to the web server through the specified web socket IP.
BLE Connection	UUID declared in Arduino is web-BLE and connected via Bluetooth
Raw Data Processing	Send gyro raw data to the web via the BLE
Bias Setting	Receive gyro raw data from Arduino, calculate the average value, store the value as bias and send it to Arduino.
Bias Calculation	Receive the bias value from the Bias Setting module and send the bias removed from raw data back to the web
Integral Error Reduction	Integrate angular velocity to change to position value and prevent integral error in the process from increasing graph due to integral
Threshold Calculation	Dynamically set thresholds based on new incoming data in real time and previous values
Motion Measurement	Determine the behavior of users based on dynamically generated thresholds
Risk Judgment	Use Motion Measurement Module to determine repetitive tasks and risks
Data Visualization	Reads gyro data created in the web server and draws it on the screen as a graph, and provides safety, warning, and danger as a dashboard according to the risk determined by the risk determination module.
Data Saving Module	Receive and save data calculated from web browser.

표 1. 모듈별 기능 설명  
Table 1. Describe module specific functionality

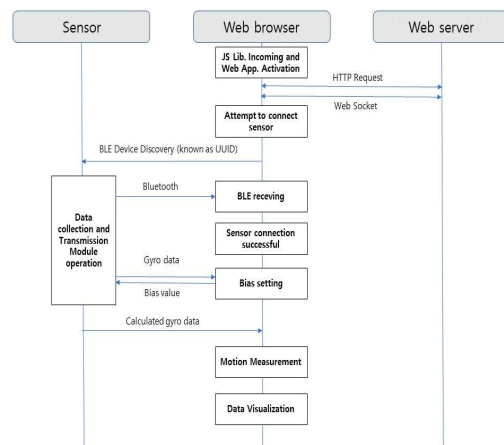


그림 2. 전체 시스템 프로세스  
Fig. 2. System process

## 4. 시스템 구현 및 성능 평가

### 4.1 구현 환경

본 논문에서는 웨어러블 형태의 작업 환경에 적합한 소형 센싱 모듈을 활용하기 위해 arduino nano 33 ble 에 내장되어 있는 9축 IMU센서에서 gyro data 값을 이용하며 검출된 gyro raw data는 아두이노를 이용해 처리하였다. 웹 브라우저와 웹 서버를 연결하기 위해서 wss (Web Socket Secure) 프로토콜을 사용하였고 아두이노와 웹 브라우저를 연결하기 위해서 BLE를 사용하였다.

웹 브라우저와 웹 서버의 연결은 JavaScript로 Node.js를 제어하여 wss(Web Socket Secure) 프로토콜을 구축하였고 아두이노와 웹 브라우저 연결에는 arduino IDE와 JavaScript가 사용되었다.

### 4.2 동작 형태 검출을 위한 센서 모듈

기존의 연구에서 근골격계 부하를 측정하기 위해 동작 형태를 검출할 때에는 3축 IMU 센서 또는 6축 IMU 센서를 사용하였다[16]. 3축 IMU센서, 6축 IMU센서를 이용하여 근골격계의 부하를 측정할 수 있지만, 센서의 특성상 보드와 연결시켜 동작하기 때문에 장치의 부피가 커져 장치를 사용하는 사용자의 작업 환경에 영향을 미칠 수 있다.

arduino nano 33 ble sense의 경우 별도의 보드가 추가적으로 필요하지 않아 사용자의 작업 환경에 영향을 주지 않으며, 내장된 IMU 센서를 이용하여 근골격계 부하를 측정하고 BLE를 통해 웹 브라우저와 통신하는 장치 구성하였다. 표 2는 arduino nano 33 ble sense에 내장된 IMU 센서 LSM9DS1에 대한 정보이며 그림 3은 실제로 센서를 이용해 제작되어 논문에 쓰인 장치이다.

sensor	LSM9DS1
analog supply voltage	1.9V ~ 3.6V
linear acceleration full scale	$\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16g$
gauss magnetic full scale	$\pm 4/\pm 8/\pm 12/\pm 16$
dps angular rate full scale	$\pm 245/\pm 500/\pm 2000$

표 2. arduino nano 33 ble sense - LSM9DS1  
Table 2. arduino nano 33 ble sense - LSM9DS1

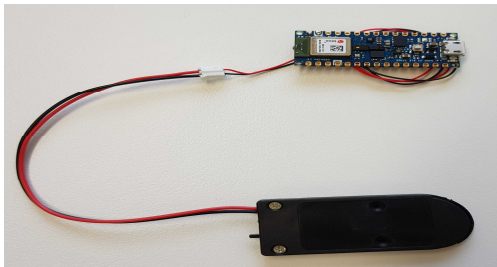


그림 3. 실제 제작된 웨어러블 장치  
Fig. 3. Actually made wearable device

### 4.3 통신 모듈

본 논문에서는 wss(Web Socket Secure) 프로토콜을 이용하여 웹 브라우저와 웹 서버 간의 지속적인 양방향 연결 스트림을 만들어준다. 이때, 아두이노에서는 BLE를 이용하여 웹 브라우저와 연결하는 방식으로 사용한다. 그에 따른 주요 모듈 간 네트워크 구성도는 그림 4와 같다.

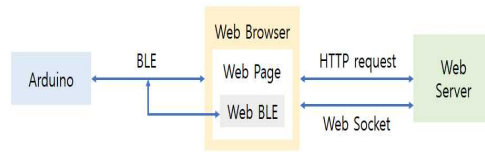


그림 4. 주요 모듈 간 네트워크 구성도  
Fig. 4. Network configuration diagram between major modules

### 4.4 IMU 센서 데이터 초기화 모듈

본 연구에서는 9축 IMU 센서가 구축되어 있는 환경에서 3축인 자이로스코프의 값만을 이용하여 장치를 제작하였다. 자이로스코프를 사용하기에 앞서, 자이로 센서는 움직이지 않더라도 바이어스(bias)에 의해 0이 아닌 값이 출력된다.

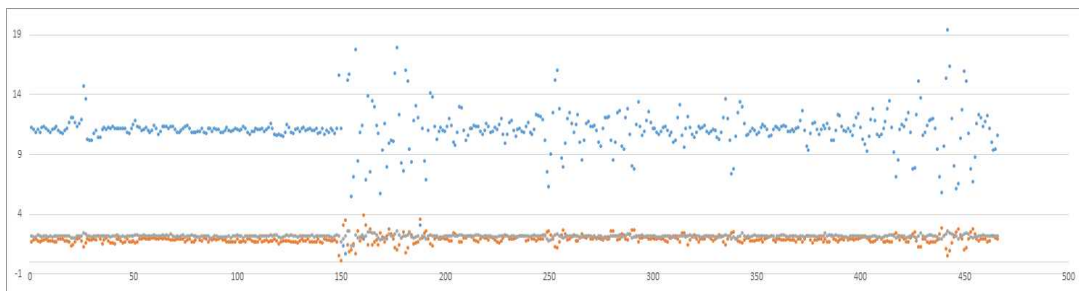


그림 5. 바이어스 제거 전 Gyro data  
Fig. 5. Gyro data before removing bias

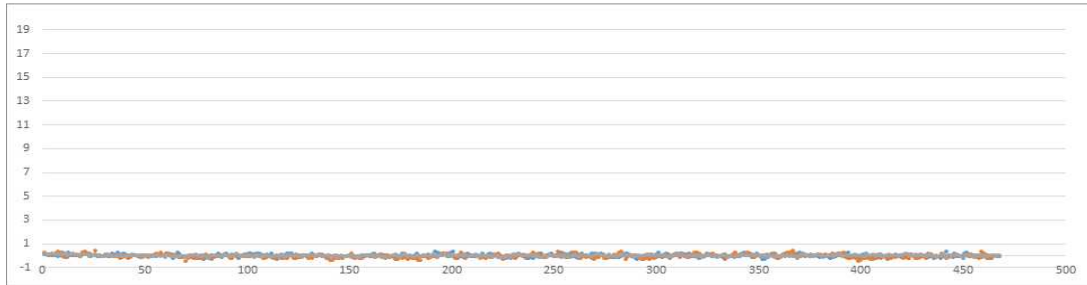


그림 6. 바이어스 제거 후 Gyro data  
Fig. 6. Gyro data after bias removal

따라서 바이어스(bias)에 대한 제거가 필요하고 본 연구에서는 웹브라우저(web browser)에서 5초마다 gyro data의 평균을 구하고 그 값을 BLE를 통해 아두이노로 전송하면 아두이노에서는 바이어스(bias)를 제거한 gyro data를 웹브라우저(web browser)로 전송하는 형태의 방식을 사용하고 있다. 계산 결과는 14.9Hz의 속도로 30초 동안 측정된 결과이며, 바이어스(bias)를 제거하기 전은 그림 5이고 제거한 후는 그림 6에 나타나 있다.

그래프의 세로축은 -1 ~ 20으로 구성되어 있고 그래프의 결과를 보면 센서가 움직이지 않더라도 평균이 각각 10.9, 1.8, 2.1의 값을 가지던 데이터들이 바이어스(bias) 제거 후 평균은 전부 0을 가져 바이어스(bias)가 제거됨을 확인하였다.

#### 4.5 누적 오차 제거 모듈

자이로스코프를 사용함에 있어 가장 주의할 부분은 센서값을 적분해 활용 시 발생하는 누적 오차이다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 크기가 100인 배열을 생성하고 배열에 적분된 자이로 데이터를 삽입한다. 그 후, 배열의 평균을 구하고 적분된 자이로 센서값에서 배열의 평균값을 제거하여 재출력하는 방식을 사용하였으며, 구조는 그림 7과 같다.

이를 통해 얻은 결과는 그림 9와 같으며, 그림 8과 같이 누적 오차 제거 전에는 증가하던 그래프가 제거 후에 증가하지 않는 양상을 보아 누적 오차의 문제가 해결됨을 확인할 수 있다.

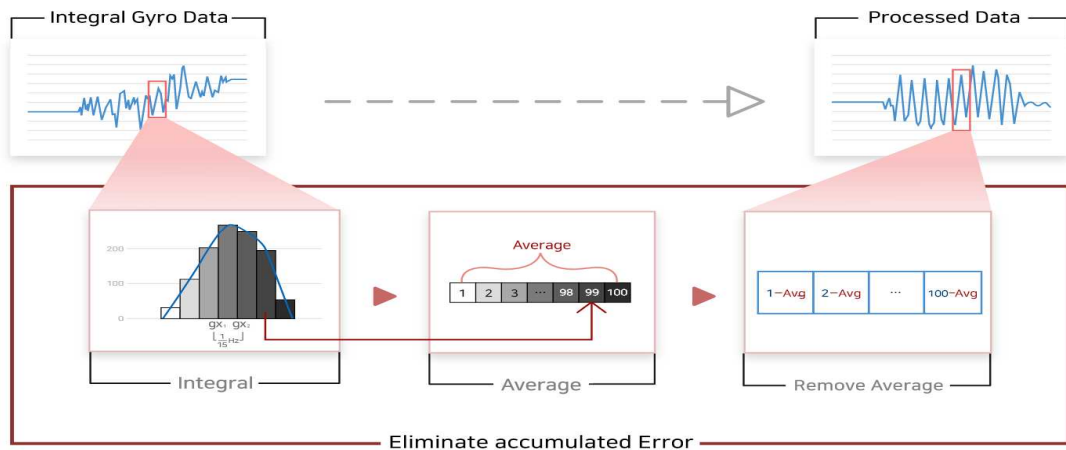


그림 7. 누적 오차 제거를 위한 함수 호출 구조  
Fig. 7. Function call structure to eliminate accumulated error

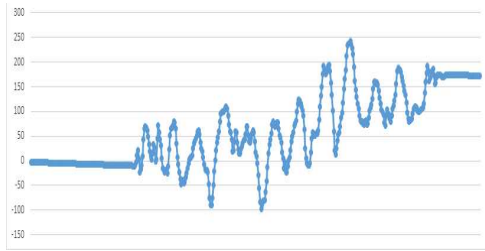


그림 8. 누적 오차 제거 전  
Fig. 8. Before eliminate the accumulated error

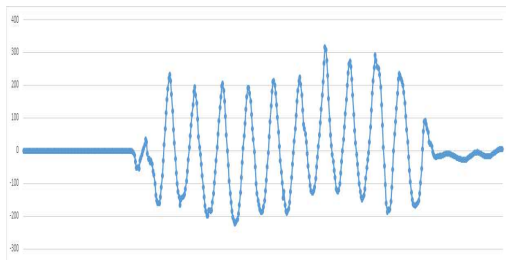


그림 9. 누적 오차 제거 후  
Fig. 9. After eliminate the accumulated error

#### 4.6 성능 평가

본 논문에서 제작한 시스템은 사용자 작업 자세에 따른 팔꿈치의 움직임 측정하고 그에 따라 모니터링 시스템을 이용해 관리자에게 알림을 제공하여야 한다. 기존의 연구에서는 팔꿈치의 근골격계 부하 측정의 위험요인에 대한 평가 기준을 세웠다. 작업 자세에서의 위험요인 평가 기준은 팔꿈치를 펴고 굽힐 때 몸통으로부터 아래팔의 각도가 100도 이상 60도 미만일 때이며, 반복성에서의 위험요인 평가 기준은 분당 10회 이상을 고반복으로 정의하였다 [17][18][19].

따라서 본 논문에서는 개발한 장치의 성능을 평가하기 위해 근골격계 질환을 보유하지 않은 백인제기념도서관의 근로학생들을 대상으로 실험을 진행하였다. 도서관의 작업 특성상 도서 정리 업무 시, 반복적인 작업을 수행하기에 총 4명의 근로학생이 각각 장치를 착용하고 책을 책장에 정리하는 동작을 분당 10회 이상의 반복 작업을 수행한 경우에 대한 결과값을 기준으로 정확성을 판단하였다. 실험은 평가자 1명이 동행하여 매주 수요일에 3주 동안 진행하였고

테스트 사용자당 하루 3회씩 모두 9회의 업무 동작을 측정하였다.

해당 층의 도서 대출량에 따라 작업 시간은 독립적이었으며, 자연과학/응용과학 자료가 있는 층의 경우 평균 작업 시간 25분, 인문과학 중심층은 17분 정도이며 사회과학과 교양지 중심층은 각각 21분, 15분이 소요되었다. 이와 같은 환경에서 장치를 통해 측정된 결과는 다음의 표 3과 같다.

실험자	근로1	근로2	근로3	근로4	합계
총 반복횟수	140회	105회	123회	97회	465회
장치 검출횟수	136회	98회	115회	95회	444회
정확도	97.1%	93.3%	93.5%	98%	95.5%

표 3. 사용자 별 장치 측정 결과  
Table 3. Device measurement results by user

센서 수집 데이터와 실제 평가자의 카운트를 기준으로 정확도를 비교한 결과 약 95.5%의 정확성으로 동작을 검출해낼 수 있었다. 이때 정확도가 4.5%가량 낮았던 이유는 도서 카트의 높이와 동일한 책장 높이에 있는 도서를 정리할 경우 작업자의 작업 반경이 장치를 통해 자세가 측정될 만큼 충분히 크지 않아 반복 작업으로 인식되지 않은 점이 기인하였다.

이 결과에 따라 작업자의 숙련도에 따라 도서 재정리의 작업의 속도에 따른 반복의 횟수가 각기 다르다는 점과 이로 인해 팔꿈치의 반복 작업이 지속해서 발생해 근골격계 질환 위험성을 일으킬 수 있으며 장치를 통해 근골격계 부하를 측정할 수 있음을 확인할 수 있었다.

앞서 말한 반복성에서의 위험요인 평가 기준으로는 분당 10회 이상을 두고 있기에 10회를 기준으로 'normal' 상태와 'alert' 상태로 구분하여 출력하는 대시보드를 제작하였다. 대시보드에서 그래프는 사용자가 움직인 파형이며 주황색의 동적 임계값을 기준으로 동작 횟수를 카운트 하고 있다. 그림 10은 분

당 10회 미만의 정상 상황인 'normal' 조건을, 그림 11은 분당 10회 이상의 반복으로 인해 근골격계 질환 위험 상황 발생 시 'alert' 상황의 대시보드를 보여준다.



그림 10. 정상 동작 시, 대시보드  
Fig. 10. Dashboard in normal operation



그림 11. 근골격계 질환 이상 상황 발생 시, 대시보드  
Fig. 11. Dashboard in case of risk of musculoskeletal disorders

### 5. 결론

본 논문에서는 근로자 근골격계 부하 측정을 위한 장치를 제작함에 있어 필수적인 자이로 데이터의 오차를 보완하고 동적 임계값 형식을 통해 보다 정확하게 피크 값을 검출해내어 사용자의 움직임을 판단해 내는 방법을 제안하였다.

본 연구에서는 9축 IMU 센서로 장치를 제작하였지만, 최종적으로는 3축만을 이용(자이로스코프만을 이용하여 작업자의 정교한 동작 측정이 가능)해 데이터 처리 비용 및 단말 비용을 감소시킴과 동시에 비용적인 해결책을 제시하였다. 특히 정확도 개선을 위해 바이어스(bias) 및 누적 오차를 제거함으로써

보다 정확한 결과를 도출함을 확인할 수 있었다. 하지만 작업자의 움직임이 발생한 시점에 대해 주관적으로 판단 방식을 사용한 점으로 인해 상황에 따른 한계가 존재한다. 따라서 향후 추가적 연구를 통해 스마트 디바이스 등과 결합해 작업자의 움직임의 시작을 자체적으로 인식하고 동작 측정을 시작하는 연구가 필요할 것이다.

### REFERENCES

- [1] KOSHA, "Status of industrial accidents in 2019", pp. 22, April. 2020.
- [2] Korean Association of Occupational Environmental Medicine, "A Study on the Actual Condition of Occupational Medical Use from Accident Occurrence of Musculoskeletal Diseases", pp. 2, Ministry of Employment and Labor, Feb. 2017.
- [3] KOSHA, "Guidelines for investigating hazards of musculoskeletal burden work", pp. 28-31, Dec, 2018
- [4] "Introduction of musculoskeletal disease prevention business", KOSHA, accessed Jun 10, 2020, [http://www.kosha.or.kr/kosha/business/musculoskeletal\\_a\\_c.do](http://www.kosha.or.kr/kosha/business/musculoskeletal_a_c.do)
- [5] K. T. Kim, "Development of an Apparatus to Measure Musculoskeletal Load for Construction Workers Using Accelerometers", JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Structure & Construction 28(1), pp. 167-174, Jan, 2012.
- [6] H. H. Kim, "Development of motion analysis device using inertial measurement device and trend of neck joint research", The Institute of Electronics and Information Engineers, The Magazine of the IEEE 43(12), pp. 57-64, Dec, 2016.
- [7] J. H. Lim, J. H. Shim, H. Y. Jung, "IMU/UWB



- Sensor Fusion Using Moving Average Filter for Indoor Positioning of Mobile Robot”, *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems* 26(4), pp. 242-248, April, 2020.
- [8] W. C. Jung, J. K. Lee, “IMU-based Position Estimation of Lower Limbs via a Combination of Kinematic Modeling with Minimal Utilization of Magnetometers”, *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems* 26(4), pp. 222-233, April, 2020.
- [9] J. B. Ko, J. S. Yoon, C. K. Lee, T. M. Byeon, J. S. Hong, “A Study on the Determining the Optimal Location of IMU Sensors in Dynamic Balance Measurement by Comparing Absolute Percentage Error between the 3D Motion Capture System and IMU Sensor”, *Journal of the Ergonomics Society of Korea* 38(6), pp. 419-434, Dec, 2019.
- [10] J. K. Lee and E. J. Park, “Minimum-order Kalman filter with vector selector for accurate estimation of human body orientation,” *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 25, no. 5, pp. 1196-1201, Oct, 2009.
- [11] G. Ligorio and A. M. Sabatini, “A novel Kalman filter for human motion tracking with an inertial-based dynamic inclinometer,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 62, no. 8, pp. 2033-2043, 2015.
- [12] M. S. Kim, S. K. Park, “Golf Swing Phase Estimation Using Single IMU Located on Different Body Parts”, *The Korean Society of Mechanical Engineers*, pp. 1701-1702, Nov, 2019.
- [13] S. J. Park, J. K. Park, J. H. Choe, “Development of a 2D Posture Measurement System to Evaluate Musculoskeletal Workload”, *Journal of the Ergonomics Society of Korea* 24(3), pp. 43-52, Aug, 2005.
- [14] J. H. Jo, J. N. Kim, J. J. Kim, W. S. Chong, “Development of real-time posture analysis monitoring system by measurement of knee joint angle in ADL”, *The HCI Society of Korea*, pp. 643-646, Jan, 2018.
- [15] Department of Labor, “Hazardous factors investigation method of musculoskeletal burden work”, *KOSHA*, pp. 11-17, 2010.
- [16] K. Y. Pyo, D. M. Lee, H. H. Cho, K. I. Kang, “Development of Measurement Method of Musculoskeletal Load for Construction Workers using Wearable Motion Recognition Sensor”, *Korea Institute of Building Construction*, pp. 123-124, May, 2019.
- [17] McAtamney, L., Corlett, E. N., *RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders*, *Applied Ergonomics*, 24(2), 91-99, 1993.
- [18] Kilbom, A., *Assessment of physical exposure in relation to work-related musculoskeletal disorders - What information can be obtained from systematic observation?*, *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 20, 30-45, 1994.
- [19] H. S. Park, Y. K. Lee, S. H. Yim, “Prevention of the Musculoskeletal Disorders at Upper or Lower Extremities”, *Journal of the Ergonomics Society of Korea* 29(4), pp. 455-463, Aug, 2010.

---

저자약력

---

신 영 주 (Yeong-Ju Shin) [학생회원]



- 2017년 2월 : 용호고등학교
- 2017년 3월 ~ 현재: 인제대학교  
BNIT 대학 헬스케어 IT학과(학부)

〈관심분야〉 헬스케어 IoT 기술, IoT 데이터 처리

주 하 영 (Ha-Young Joo) [학생회원]



- 2017년 2월 : 광양제철고등학교
- 2017년 3월 ~ 현재: 인제대학교  
BNIT 대학 헬스케어 IT학과(학부)

〈관심분야〉 헬스케어 IoT 기술, IoT 데이터 처리

양 진 홍 (Jin-Hong Yang) [정회원]



- 2017년 2월 : KAIST 정보통신공  
학 박사
- 2017년 2월~2018년 1월  
:HECAS 기술책임(CTO)
- 2017년 10월~현재: 한국과학기술  
원 IT융합연구소 겸직교수
- 2018년 3월~현재: 인제대학교  
헬스케어IT 학과 조교수

〈관심분야〉 데이터 컴플라이언스, 마이데이터, 헬스케어 데이  
터 활용