

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.1.619>

JCCT 2023-1-76

## 체압 센서를 이용한 의료용 침대의 원격 케어

# Remote Care Using Medical Bed System Equipped With Body Pressure Sensors

정재혁\*, 복상현\*, 임준희\*, 오보경\*, 이영대\*\*

Jaehyeok Jeung\*, Sanghyun Bok\*, Junhee Lim\*, Bokyung Oh\*, Youngdae Lee\*\*

**요약** 본 논문에서는 다수의 체압 센서가 내장된 의료용 침대의 원격 케어에 관해 기술한다. 낙상은 환자의 안전을 심각하게 위협하고 건강을 해치는 요인중의 하나이다. 본 연구에서는 이를 극복하기 위해 새로운 침대가 개발하였다. 침대 시스템은 동작이 가능한 건반, 건반의 동작을 관리하는 건반 제어기, 체압을 측정하는 센서, 센서의 값을 송수신하는 센서 제어기, 이를 확인하여 알고리즘에 따라 자동 혹은 수동으로 동작하게 하는 메인 제어기, 이 모든 정보를 총괄하는 서버로 이루어져 있다. 침대 시스템은 센서를 통해 환자의 위치를 확인하여 환자가 낙상의 위험이 있다고 판단하게 되면 메인 제어기를 통해 무선으로 서버에 경고를 보내 간호인 혹은 간호사가 환자의 위험한 상태를 인지할 수 있도록 한다. 서버는 유무선 단말에서 송신된 상태 데이터를 전송받아 침대 시스템이 정상적으로 동작하고 있는지 모니터링할 수 있다. 건반의 제어기는 건반형 메커니즘을 구동하고 체압 센서가 연결된 욕창 예방 제어를 자동으로 행하여 환자의 압력이 가해지는 부위를 물리적으로 분리해 욕창을 예방한다. 메인 제어기는 환자의 침상 존재를 확인하여 서버에 전송한다. 결론적으로 제안된 시스템은 사용자의 상태를 스마트 모니터링하고 원격 케어를 행할 수 있게 된다.

**주요어** : 스마트 의료용 침대, 체압 센서, 건반, 낙상, 원격케어

**Abstract** In this paper, the remote care of medical beds with multiple body pressure sensors is described. Falling is one of the factors that seriously threaten the safety of patients and harm their health. In this study, a new bed was developed to overcome this. The bed system consists of a keyboard that can operate, a keyboard controller that manages the movement of the keyboard, a sensor that measures body pressure, a sensor controller that transmits and receives sensor values, a main controller that checks it and operates automatically or manually according to the algorithm, and a server that oversees all these information. The bed system checks the patient's location through a sensor and wirelessly alerts the server through the main controller when the patient determines that there is a risk of falling, so that the nurse or nurse can recognize the patient's dangerous condition. The server may receive state data transmitted from the wired/wireless terminal to monitor whether the bed system is operating normally. The controller of the keyboard operates a keyboard-type mechanism and automatically controls the prevention of bedsores connected by body pressure sensors to physically separate the area to which the patient's pressure is applied to prevent bedsores. The main controller checks the presence of the patient's bed and transmits it to the server. In conclusion, the proposed system can smart monitor the user's state and perform remote care.

**Key words** : Smart Medical Bed, Body Pressure Sensor, Keyboard, Falling, Remote Care

\*정회원, (주)나인벨 헬스케어 (공동저자)

\*\*중심회원, (주)나인벨 연구소장 (교신저자)

접수일: 2022년 12월 19일, 수정완료일: 2023년 1월 5일

게재확정일: 2023년 1월 9일

Received: December 19, 2022 / Revised: January 5, 2023

Accepted: January 9, 2023

\*\*Corresponding Author: ydlee@ninebell.co.kr

Research Director, Ninebell Co., Ltd.

## I. 서 론

최근 한국은 급속한 고령화 사회라는 문제에 맞닥뜨리며 노인 환자들의 돌봄 문제가 중요해졌다. 이에 따라 욕창 예방에 대한 사람들의 관심이 증가하고 있고, 연구들 또한 활발히 이루어지고 있다.

최근 조사[1]에 따르면 세계에서 낙상 및 욕창 사고에 의해 지출된 비용은 미국의 경우 65세 이상 피험자의 비치명적인 낙상으로 인해 미화 190억 달러 이상이 지출됐고, 영국에서는 낙상으로 인한 응급 서비스에 미화 19억 달러 이상이 지출됐다.

노인 환자의 욕창 및 낙상사고의 발생은 의료기관에 입원하는 환자의 80% 이상을 차지하며[2], 매년 65세 이상의 노인 3명 중 1명이 낙상을 경험한다. 낙상은 노인들의 비치명적 및 치명적인 부상의 주요 원인이며 20~30%는 장애를 유발하거나 사망 위험을 증가시킬 수 있는 중증의 부상이다.

한국의 보건복지부는 의료기관의 낙상 및 욕창에 대한 운영 규정을 도입했고, 후자는 이 규정을 사용하여 낙상 및 욕창의 위험도를 측정하여 원격으로 관리할 수 있게 해준다.

나인벨 헬스케어는 환자의 욕창을 예방하기 위해 교대 부양을 이용한 욕창 예방 시스템[3]과 센서를 이용한 체압 분산 제어 시스템[4]을 개발했다. 그리고 이를 좀 더 효율적으로 사용하기 위한 장치로 원격 조절이

필요함을 강조한다.

본 논문에서는 간병인이 거동이 불편한 노인 환자를 간호할 수 있도록 설계된 IoT 기반의 스마트 침대 시스템을 구현하였다. 본 시스템의 주목표는 욕창 및 낙상 사고를 미리 방지하고 그 정보를 간병인에게 전송해 혹시 모를 사고에 대처하는 것과 원격으로 환자를 돌보기 위한 환자가 침대에 존재하는지를 판단하는 것이다.

## II. 시스템 하드웨어 구성

### 2-1. 시스템 구성

개발된 의료용 침대는  $N(=16)$ 개의 건반으로 이루어지며 각 건반에는 한 개의 모터와 이를 구동하는 서보 드라이버,  $M(=10)$ 개의 센서와 이를 감지하는 센서 드라이버가 탑재되어 있다. 각각의 서보 드라이버와 센서들은 CAN(Car Area Network) 시리얼 통신으로 연결된다. 메인 제어기는 두 개의 CAN 포트가 있어 하나의 CAN 포트는 모터 드라이버 제어기와 병렬로 연결되고 또 하나의 CAN 포트는 센서 드라이버와 병렬로 연결되어 있다. 이렇게 얻어진  $M \times N$ 개의 센서 데이터값을 욕창 압력 제어 알고리즘을 통해 적절히 처리하여 환자의 편안함을 측정하고 욕창이 예방되도록 알고리즘을 작동시켜 해당하는 건반 높이 값 및 속도들을 서보 드라이버에 전송하며 각 건반의 모터 회전 속도 및 위치값을 제어한다. 그림 1은 전체적인 시스템 하드웨어

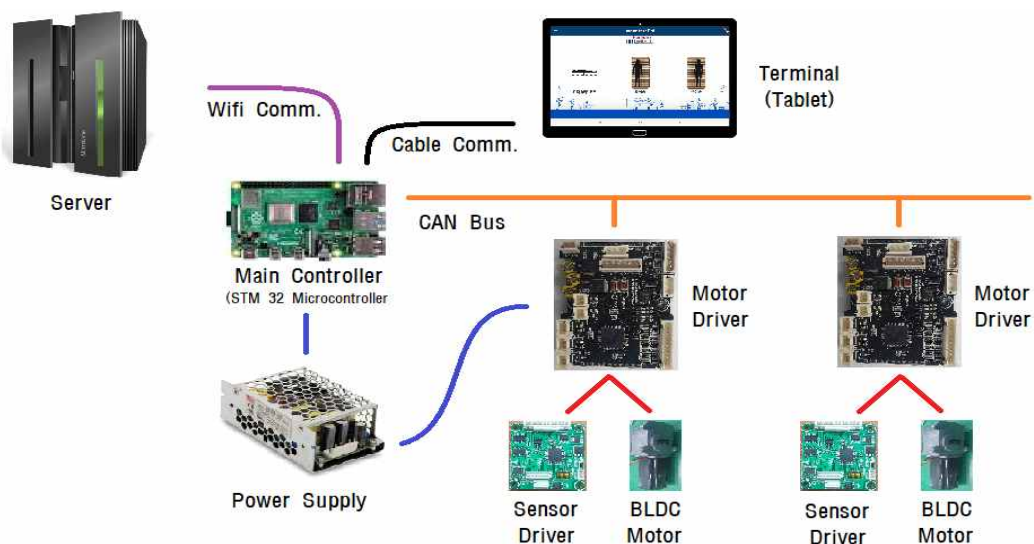


그림 1. 시스템 하드웨어 구성  
Figure 1. The organization of system hardware

구성을 도식화한 것이다.

### 2-2. 건반 메커니즘

건반은 그림 2과 같이 4bar 링크로 구성되어 있고 모터는 회전 각도를 입력받으며, 모터와 연결된 링크의 길이에 따라 건반의 높이 값이 정해진다. 동작시키고 싶은 높이 값을 아래의 수식에 대입하면 필요한 모터의 회전 각도를 구할 수 있다 [5].

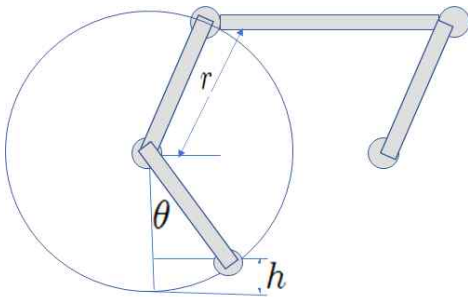


그림 2. 4 바 링크 메커니즘  
 Figure 2. 4 bar link mechanism

$$h = r(1 - \cos\theta) \quad (1)$$

$$\theta = \arccos\left(1 - \frac{h}{r}\right) \quad (2)$$

식1과 2에서  $\theta$ 는 건반 링크의 회전각이고,  $r$ 은 건반 링크의 회전반경, 그리고  $h$ 는 건반의 높이이다. 현재 개발한 침대의  $r = 40\text{mm}$ 이므로 높이 값  $d$ 는  $[-40, 40]$  mm 범위에서 변하게 된다 [4].

### 2-3. FSR 센서

개발한 센서는 그림3과 같이 생긴 FSR 방식의 박막 체압 센서로, FSR이란 Force Sensitive Resistor의 약자이다. 이는 박막에 가해지는 힘의 양을 저항으로 측정하는 센서이다. 보통 몇 개의 레이어로 구성되어 있다. 위, 아래로 폴딩 가능한 가요성 회로(Flexible Printed Circuit)가 인쇄된 레이어가 있다. FPC 레이어는 도체가 서로 교차하기 때문에 다양한 출력을 가질 수 있다. 그리고 중간에 스페이서(Spacer) 레이어가 있어 공간을 확보한다. 스페이서 레이어에는 전도성 물질로 코팅되어있는 MD 필름이 배치된다.

센서는 각 건반당 M개의 센서가 부착되어 있다. 수직 방향으로 힘이 가해지면 FPC 레이어와 스페이서

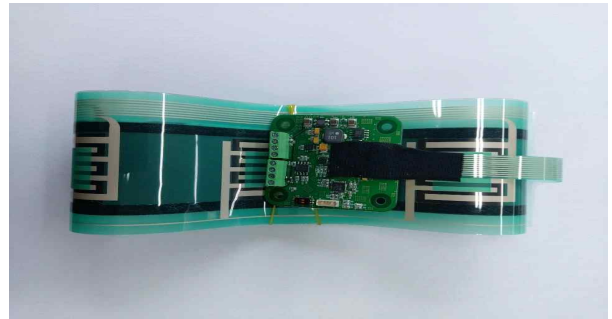


그림 3. 시험에 사용된 체압 센서 및 드라이버[6]  
 Figure 3. The sensor and the driver for experiment

레이어가 맞닿으면서 센서의 저항값이 줄어들게 되어 가해진 힘의 양을 측정할 수 있게 된다. 이를 더 많이 부착할수록 해상도가 올라가 환자의 자세 및 하중을 세밀하게 측정할 수 있으나 그에 따른 비용도 같이 증가하기 때문에 적당한 해상도 값을 찾아 개발하게 되었다.

이 측정된 값은 끝부분에 부착된 센서 드라이버를 통해 통합 드라이버에 전달되며 이 값이 체중 분산 제어 알고리즘에서 건반의 위치를 결정하는 역할을 하게 된다.

### 2-4. 통합 드라이버

통합 드라이버는 센서에서 들어오는 데이터 처리 및 모터를 구동하기 위해 설계되었다. 드라이버는 건반에 각각 1개씩 장착되어있다.

드라이버는 메인 제어기와 CAN 통신을 통해 정보를 송수신한다. 메인 제어기로부터 각도 값 및 속도 값을 전달받아 모터를 해당 위치로 옮긴다. 또한, 각 건반의 높이 값  $h$ 를 메인 제어기로 각도 값을 전송하고, 실제 동작한 높이 값을 CAN 통신을 통해 메인 제어기에서

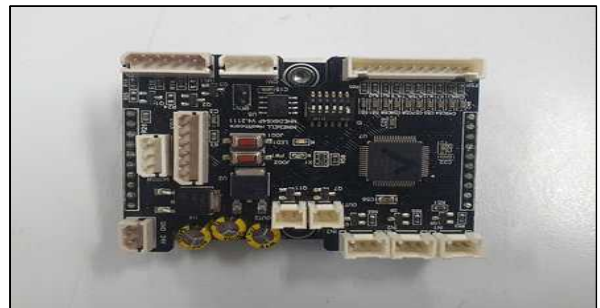


그림 4. 모터 및 센서 통합 드라이버  
 Figure 4. Integrated driver for motor and sensor

읽는다. 건반에는 홈센서 역할을 하는 포토센서가 부착되어 있어 이를 인지하는 역할도 하고 있다.

그림 4는 통합 드라이버의 모습을 보여준다. 모터와의 통신을 위한 포트, 센서와의 통신을 위한 포트, CAN 통신 포트 및 입력포트 3개 및 출력포트 2개가 달려있음을 확인할 수 있다.

## 2-5. 메인 제어기

메인 제어기는 그림 5와 같은 Rasberry Pi 4 기판을 사용하여 python 언어를 기반으로 제작되었다. 메인 제어기는 침대의 Control Box 내부에 설치되며 단말기, Actuator, 그리고 통합 드라이버로 연결되어 있다. 메인 제어기는 그림 6의 침대 컨트롤 박스 내부에 설치되며 컨트롤 박스에는 전원 공급을 위한 파워서플라이, 메인 제어기, 전원 차단기, 접지 부스바 등이 설치되어 있다.

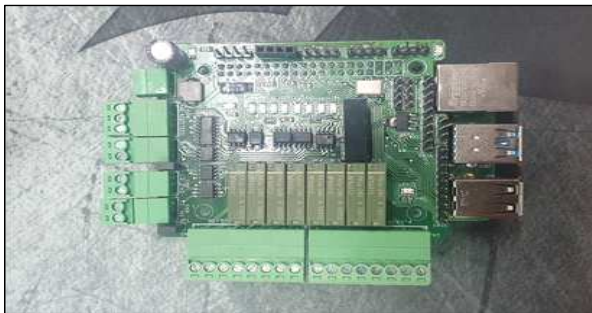


그림 5. 메인 제어기 및 확장 드라이버  
Figure 5. Main controller with extended driver

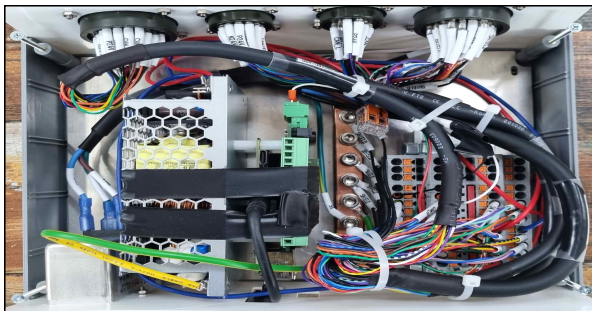


그림 6. 침대 컨트롤 박스의 외형  
Figure 6. The Appearance of Bed Control Box

메인 제어기는 단말기에서 명령을 수신하고 그에 따른 피드백을 태블릿으로 전송할 수 있다. Actuator는 센서로 환자의 위치를 파악하여 낙상을 방지하기 위해 침대의 높이를 낮추는 기능을 수행하기 위한 릴레이 단자와 전선이 연결되어 있다.

메인 제어기는 통합 드라이버 M개의 모터 동작 / 신호 등을 총괄하며 센서에서 들어오는 저항값 M×N개를 변환하여 압력 값으로 바꿔 압력 분산 제어 알고리즘을 사용하거나 낙상을 방지하기 위한 시스템을 작동시킨다.

PC는 USB 포트를 통해 메인 제어기와 연결될 수 있다. PC에서 메인 제어기가 작동하는 것을 직접 관찰하거나 필요한 데이터를 추출해 사용할 수 있게 제작했다.

## 2-6. 서버 및 단말기

메인 제어기는 서버와 무선 통신, 단말기와 유선통신을 시행한다. 서버는 메인 제어기로부터 압력 값들을 수신한다. 환자의 관리자는 침대와의 무선 통신으로 침대 위 환자의 위치, 자세 등을 서버에서 한 번에 확인할 수 있고 욕창 방지 알고리즘이 정상적으로 작동하고 있는지, 환자가 낙상 등 위험한 상황에 부닥쳤는지 등을 빠르게 인지할 수 있다.

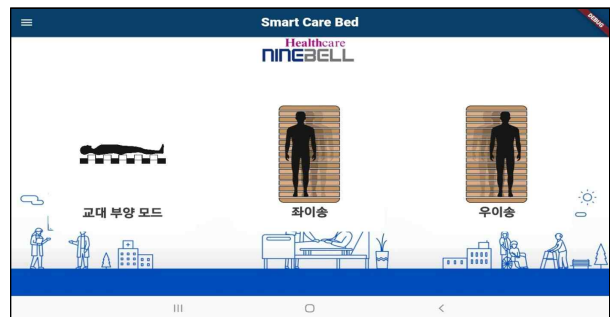


그림 7. 단말기 태블릿의 UI  
Figure 7. The UI of Terminal Tablet

그림 7은 단말기의 UI 생김새를 보여주고 있다. 단말기는 메인 제어기의 동작을 직접 관리할 수 있으며 교대 부양 알고리즘과 압력 분산 제어 알고리즘의 세팅을 할 수 있다. 또한 환자를 침대 위에서 이동시킬 때 간호인의 수고를 덜기 위한 환자 횡 이송 기능도 탑재되어 있다.

## III. 시스템 소프트웨어 구성

### 3-1. 욕창 예방 알고리즘

욕창 예방 알고리즘이란 환자에게서 생길 수 있는 욕창을 침대 건반 매트리스를 이용해 욕창을 예방하는 알고리즘이다. 이는 두 가지 방식으로 욕창을 예방한다.

첫 번째는 교대 부양 알고리즘이다. 교대 부양 알고리즘은 건반 매트리스가 체압센서에 관계없이 홀수, 짝수로 나누어 6분 주기로 교대로 부양해 환자와 매트리스의 접촉 시간을 줄여서 욕창을 예방하는 것이다.

두 번째는 압력 분산 제어 알고리즘이다. 압력 분산 제어 알고리즘은 체압 센서로 체압을 측정해 건반을 높이를 조절하여 체압을 일정하게 분포되게끔 만들어 체압을 분산시켜 욕창을 예방하는 알고리즘이다 [4].

### 3-2. 낙상 감지 알고리즘

낙상 감지 알고리즘이란 침대에 누워있는 환자가 가장자리로 몸이 치우쳐져서 바닥으로 떨어지는 것을 예방하고 감지하기 위해 제작된 알고리즘이다.

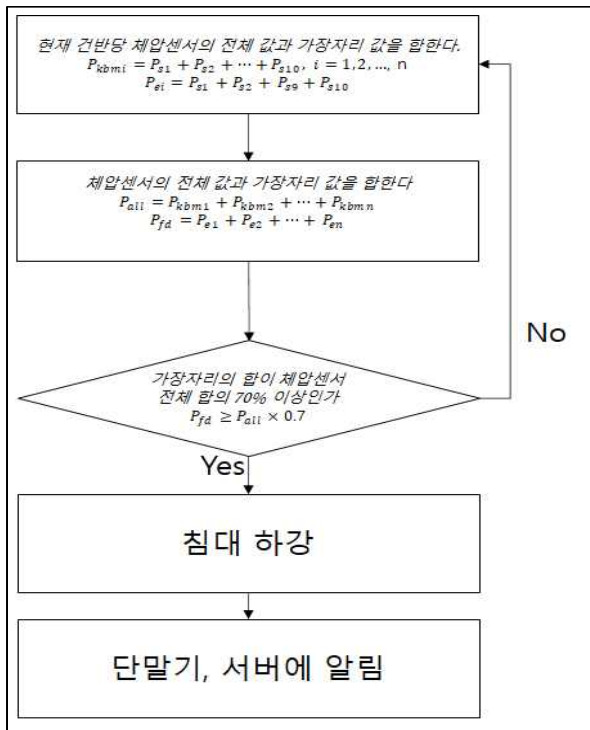


그림 8. 낙상 감지 알고리즘 플로 차트  
 Figure 8. Fall Detection Algorithm Flow Chart

이 알고리즘은 체압 센서를 이용해 그림 8과 같은 수식을 계산 후 판단한다. 그림 8에서  $P_{s1}, \dots, P_{s10}$  은 키보드에 설치된 각 센서에서 감지되는 압력의 값이고, 그 값들의 합이  $P_{kbm1}, P_{kbm2}, \dots, P_{kbmn}$  의 각각 키보드의 센서값으로 나타내진다. 식 4에서 가장자리 부분 센서값( $P_e$ , Pressure Edge)의 합( $P_{fd}$ , Pressure Fall Detection)의 비율이 식 3의 침대 전체 센서의 합( $P_{all}$ ,

Pressure All)의 70%가 이상이면 식 5에서 환자가 상의 위험이 있다고 판단한다.

$$P_{all} = P_{kbm1} + P_{kbm2} + \dots + P_{kbmn} \quad (3)$$

$$P_{fd} = P_{e1} + P_{e2} + \dots + P_{en} \quad (4)$$

$$P_{fd} > P_{all} \times 0.7 \quad (5)$$

이를 판단하는 즉시 침대는 프레임이 하강하고 단말기와 서버로 환자가 낙상할 위험이 있다고 메시지를 보낸다.

### 3-3. 환자 존재 파악 알고리즘

환자 존재 파악 알고리즘이란 원격으로 환자를 케어하기 위해 환자가 침대 위에 존재하는지 감지하는 알고리즘이다.

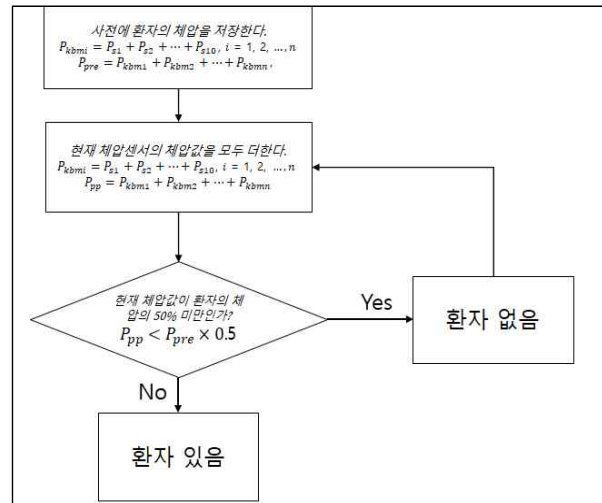


그림 9. 환자 존재 파악 알고리즘 플로 차트  
 Figure 9. The Patient Presence Algorithm Flow Chart

이 알고리즘도 체압 센서를 이용해 그림 9와 같은 수식을 계산 후 판단한다. 그림 9에서  $P_{s1}, \dots, P_{s10}$  은 키보드에 설치된 각 센서에서 감지되는 압력의 값이고, 그 값들의 합이  $P_{kbm1}, P_{kbm2}, \dots, P_{kbmn}$  의 각각 키보드의 센서값으로 나타내진다. 식 6에서 사전에 환자의 전체 체압( $P_{pre}$ , Pressure Pre-measurement)을 측정해 저장한 후 식 7에서 원격 케어 시 전체 체압( $P_{pp}$ , Pressure Patient Presence)을 측정해서 저장된 환자 무게의 50% 이상 가해지고 체압 감지가 사람 모양으로 분포돼 있으면 식 8에서 환자가 침대에 누워있다고 판단하는 것이다.



$$P_{pre} = P_{k_{bm1}} + P_{k_{bm2}} + \dots + P_{k_{bmn}} \quad (6)$$

$$P_{pp} = P_{k_{bm1}} + P_{k_{bm2}} + \dots + P_{k_{bmn}} \quad (7)$$

$$P_{pp} \geq P_{pre} \times 0.5 \quad (8)$$

#### IV. 구현 및 제작 실험

본 침대는 상기한 내용의 하드웨어 및 소프트웨어 시스템으로 구성하였다. 침대의 동작이 제대로 이루어지는지 총 5명의 시험 참가자를 대상으로 각각 10회 시험을 진행했다. 시험 방법은 환자가 침대에 누웠을 때 이를 인지하고 서버와 단말기에 정보를 송신하는지 확인한다. 그 후 환자가 가장자리로 이동했을 때 침대의

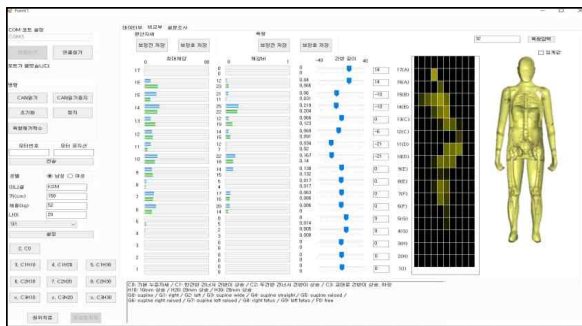


그림 10. 서버 GUI 화면[6]  
Figure 10. The GUI of Server

표 1. 시험 결과  
Table 1. Test Result

피험자		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
1차	존재	0	0	0	0	0
	낙상	0	0	0	0	0
2차	존재	0	0	0	0	0
	낙상	0	0	0	0	0
3차	존재	0	0	0	0	0
	낙상	0	0	0	0	0
4차	존재	0	0	0	0	0
	낙상	0	0	0	0	0
5차	존재	0	0	0	0	0
	낙상	0	0	0	0	0
6차	존재	0	0	0	0	0
	낙상	0	0	0	0	0
7차	존재	0	0	0	0	0
	낙상	0	0	0	0	0
8차	존재	0	0	0	0	0
	낙상	0	0	0	0	0
9차	존재	0	0	0	0	0
	낙상	0	0	0	0	0
10차	존재	0	0	0	0	0
	낙상	0	0	0	0	0

프레임이 하강하며 서버와 단말기에 알림창이 뜨는지 그림 10의 서버 GUI화면에서 확인했다. 이때의 시험 결과는 표 1과 같다.

#### V. 결론

본 침대는 체압센서를 활용한 원격 케어 시스템을 목적으로 제작되었으며 각 환자의 상태를 단말기와 서버에서 확인할 수 있게끔 구현됐다. 침대의 메인 제어기는 무선으로 서버에 연결되며 서버는 인터넷으로 유무선 단말에 상태 데이터를 전송한다.

건반의 제어기는 건반형 메커니즘을 구동하고 체압 센서가 연결된 욕창 예방 제어를 자동으로 행하며 환자의 침상 존재 확인, 낙상 위험을 체압 센서를 이용해 감지해 서버에 전송한다. 시스템은 사용자의 상태를 스마트 모니터링하고 원격 케어를 행할 수 있다. 침대는 욕창 예방은 물론 낙상 방지 및 환자 존재 유무 판단도 수행할 수 있는 IoT 침대로 발전했다. 이는 체압 센서를 이용한 원격 케어의 하나의 지평을 열 것이다.

#### References

- [1] M. Sartini, M. L. Cristina, A. M. Spagnolo et al., "The epidemiology of domestic injurious falls in a community dwelling elderly population: An outgrowing economic burden", *European Journal of Public Health*, Vol. 20, No. 5, pp. 604 - 606, 2010. doi.org/10.1093/eurpub/ckp165
- [2] Y.O. Hwang, "Geriatric care facilities: recent trends in risk management", *Journal of the Korean Gerontological Society*, Vol.26, No. 3, pp. 505 - 520, 2006
- [3] J.A Kim, Y.D Lee, M.J Seon, J.Y Lim, "The Medical Bed System for Preventing Pressure Ulcer Using the Two-Stage Control", *International Journal of Advanced Smart Convergence*, Vol.10, No. 1, pp. 151 - 158, 2021. doi.org/10.7236/IJASC.2021.10.1.151
- [4] M.J. Seon, Y.D. Lee, C.W. Moon. "Medical Robotic Bed to Prevent Pressure Sores", *Appl. Sci.*, Vol. 11, No. 18, pp. 8459, 2021 doi.org/10.3390/app11188459
- [5] Y.D. Lee, J.A. Kim and H.K. Cho, "The Control System of a Robot Bed for Caring Pressure Ulcer", *International Journal of Advanced Culture Technology*, Vol. 8, No. 3, pp. 253-258, 2020.

[doi.org/10.17703/IJACT.2020.8.3.254](https://doi.org/10.17703/IJACT.2020.8.3.254)

- [6] M.J. Seon, Y.D. Lee, “Development of medical bed system equipped with body pressure sensors”, The Journal of the Convergence on Culture Technology, Vol. 7, No. 1, pp.646–653, 2021. [doi.org/10.17703/JCCT.2021.7.1.646](https://doi.org/10.17703/JCCT.2021.7.1.646)