

농업용 이동편의장치를 위한 발로 미는 힘을 감지하는 센서 구현

백승희¹ · 권익현² · 김청월^{2,+}

Implementation of a Sensor to Detect the Foot-pushing Force for an Agricultural Transport-convenience Vehicle

Seung-hee Baek¹, Ik-hyun Kwon², and Cheong-worl Kim^{2,+}

Abstract

In this paper, we propose a sensor with a C-shaped load cell to detect force change when a person sitting on the chair in an electrical transport-convenience vehicle is pushing ground by both heels. The load cell built in the vehicle is mechanically deformed by the vertical force owing to the human weight and the horizontal force by ground-pushing feet. The deformation rate of the load cell and its distribution are simulated using finite element analysis. In the simulation, the applied loads are preset in the range of 10 kg - 100 kg with a step size of 10 kg, and the ground-pushing force by feet is increased to 40 N with a step size of 5 N with respect to each applied load level. The resistance change of the load cell was observed to be linear in simulation as well as in measurement. the maximum difference between simulation and measurement was 0.89 % when the strain gauge constant was 2.243. The constant has a large influence on the difference. The proposed sensor was fabricated by connecting an instrument amplifier and a microcontroller to a load cell and used to detect the force by ground-pushing feet. To detect foot driving, the reference signal was set to 130% of the load, and the duration of the sensor output signal exceeding the reference signal was set to 0.6 s. In a test of a vehicle built with the proposed sensor, the foot-pushing force by the worker could be successfully detected even when the worker was working.

Keywords: Strain gauge, Load cell, Foot-pushing force, Mechanical Deformation, Horizontal force, Vertical load

1. 서 론

농촌 지역에서 재배하는 다양한 농작물 중에서도 고추, 딸기, 참외 등과 같은 농작물들은 허리를 굽히거나 쪼그린 자세로 농작물을 수확해야 한다. 최근에 농촌진흥청에서 농업인을 상대로 업무상 질병을 조사한 결과에 의하면 근골격계 질환의 발생 비율이 84.6%로 가장 높았으며, 그 중에서도 허리 47.3%, 무릎 27.3%, 어깨 6.9% 순으로 질환 발생 비율이 높았다[1]. 신체 부위 중에서 허리 관련 질병이 가장 높게 나타나는 이유는 작업

자들이 농작물을 수확할 때 장시간 동안 낮은 자세로 작업하는 것에 기인한다[1,2].

허리를 굽히거나 쪼그린 자세로 농작물을 수확해야 하는 작업 여건을 개선하기 위하여 수동형 이동편의장치[3]와 전동형 이동편의장치가 개발되었다[4,5]. 상용화된 수동형 이동편의장치는 작업자가 착석한 상태에서 발의 구동력으로 이동하므로 체중과 토양의 굴곡때문에 편의장치 이동에 많은 어려움을 겪고 있다. 연구 개발중인 전동형 이동편의장치는 자율형과 운전형이 있다[4,5]. 자율형은 작업할 공간과 주행할 공간에 대한 판단에 어려움이 있어 안정적인 주행을 확보하기 어렵다. 조이스틱을 조작하여 편의장치를 앞으로 이동시키는 운전형은 농작물 수확에 양손 사용을 어렵게 하고 시선을 농작물에 계속 주시할 수 없게 하여 작업자의 생산력과 작업 능률을 떨어뜨린다.

전동형 이동편의장치에서는 작업 환경과 안정성 때문에 발은 지면에 닿은 상태로 편의장치와 함께 움직인다. 만약 발의 움직임이나 발의 구동력을 감지하여 전동형 이동편의장치의 움직임 시작 신호로 사용할 수 있으면 전동형 이동편의장치에서 주행으로 인한 문제점들을 개선할 수 있다.

발의 움직임을 감지하기 위해 CCD 센서, 홀(hall) 센서, 근전도 센서, 로드셀(load cell) 등을 사용할 수 있다. CCD 센서는

¹ 안동대학교 대학원 바이오 ICT 융합공학과(Department of Bio ICT Engineering, Graduate School, Andong National University)

1375 Gyeongdong-ro, Andong, 36729, Korea

² 안동대학교 전기전자교육과(Department of Electrical and Electronic Education, Andong National University)

1375 Gyeongdong-ro, Andong, 36729, Korea

⁺ Corresponding author: cwkim@anu.ac.kr

(Received : Sep. 28, 2022, Revised : Oct. 18, 2022, Accepted : Oct. 26, 2022)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

먼지와 이물질이 많은 작업 환경하에서 적용하기에 어려움이 있고, 홀 센서와 근전도 센서는 작업자의 신체 부위에 필요한 장치를 별도로 부착해야 하므로 작업 환경을 고려하면 적용하기에 부적합하다[6,7].

스트레인 게이지를 이용한 센서나 로드셀은 기구물의 변형을 측정하여 무게나 힘을 측정하므로 이동편의장치에 부착하여 발의 움직임이나 구동력을 측정할 수 있다. 상용화된 로드셀은 수직 하방으로 작용하는 힘의 측정에 최적화되어 있어 수평으로 작용하는 발의 움직임이나 구동력을 측정하기에는 부적합하다[8-10].

본 논문에서는 작업자가 전동형 이동편의장치에 착석하여 발로 밀거나 당기는 힘에 의하여 변형이 발생하는 π 자형 로드셀을 설계·제작하였고, 제작된 로드셀에 스트레인 게이지를 부착하여 발의 구동으로 발생하는 힘을 측정할 수 있는 센서를 제안하였다. 제안된 센서는 전동형 이동편의장치에 부착하여 실험을 하였다.

2. 센서 설계 및 제작

2.1 동작 원리

Fig. 1(a)에 주어진 전동형 이동편의장치에 작업자가 착석하면 체중은 차축을 통하여 앞바퀴와 뒷바퀴에 분산되어 전달된다. 분산된 체중은 바퀴에 수직 방향의 힘으로 작용하고, 착석한 작업자가 발로 밀거나 당기는 힘은 바퀴에 수평으로 전달된다. 의자가 뒷바퀴에 가까이 있어서 대부분의 체중은 뒷바퀴에

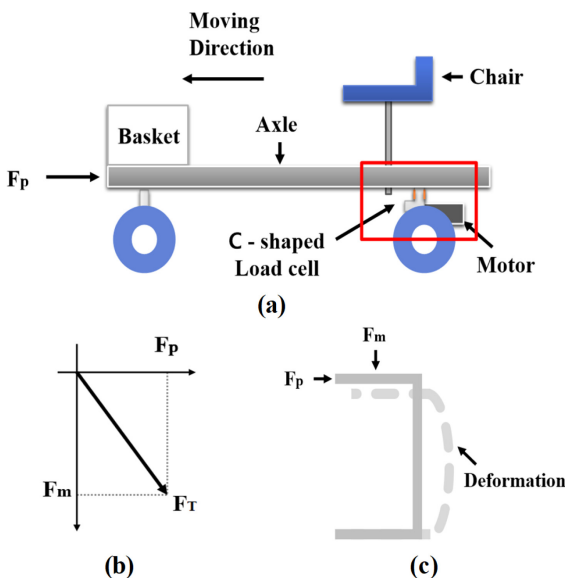


Fig. 1. Conceptual diagram of deformation when a force applied to an electrically driven moving shift device is applied; (a) Electric Driven Mobility Device, (b) Conceptual diagram by vertical load and pushing force, (c) Conceptual diagram of tensile and condensed deformation of structures.

전달되므로 뒷바퀴 측에 부착된 모터와 차축 사이에 수직으로 작용하는 힘과 수평으로 작용하는 힘을 측정할 수 있는 로드셀을 삽입하면 체중 변화와 발의 구동력에 의한 구조물의 변형을 측정할 수 있다. 수확 작업에서 발로 이동장치를 당기기 보다는 밀기가 쉬우므로 미는 힘을 기준으로 센서를 설계한다.

Fig. 1에서 F_p 는 편의장치에 착석하여 발로 뒤로 밀 때에 발생하는 힘을 나타내고, F_m 은 작업자가 착석한 상태에서 의자에 인가되는 체중과 편의장치의 무게에 의하여 수직 하방으로 작용하는 힘을 나타낸다.

Fig. 1(a)에서 차축과 모터사이에서 적용할 수 있는 로드셀의 형태는 기둥형 로드셀과 π 자형 로드셀을 사용할 수 있다. π 자형 로드셀의 경우에는 미는 힘이 가해지는 플랜지(flange) 끝단으로부터 웨브(web) 중심까지의 길이가 기둥형 로드셀에 비해 길다. 플랜지 끝단으로부터 웨브 중심까지의 길이가 길어지면 로드셀의 굽힘 모멘트(bending moment)가 증가하기 때문에 로드셀의 변형을 검출하기 용이하므로 π 자형 로드셀을 선정하였다[11,12].

작업자가 Fig. 1(a) 장치에 착석한 상태에서 이동편의 장치의 진행 방향과 반대 방향으로 발의 구동력을 가하면 Fig. 1(b)와 같이 하중으로 인하여 수직으로 작용하는 힘 F_m 과 발의 구동력에 의하여 수평으로 작용하는 힘 F_p 가 벡터적으로 합성되어 힘 F_T 가 발생한다. π 자형 로드셀은 하중에 의한 힘 F_m 로 인한 변형에서 합성된 힘 F_T 에 의하여 Fig. 1(c)와 같은 추가적인 변형이 발생한다. 추가적인 변형은 발의 구동력에 의하여 발생하므로 이를 감지하면 힘 F_p 을 측정할 수 있다. 로드셀에서 변형이 가장 많이 발생하는 앞과 뒤의 위치에 스트레인 게이지를 부착하면 변형을 측정할 수 있다.

2.2 설계 및 모의실험

Fig. 2에는 제안된 로드셀의 측면도와 정면도가 주어져 있으며, 재질은 AL6061을 사용하여 제작하였다.

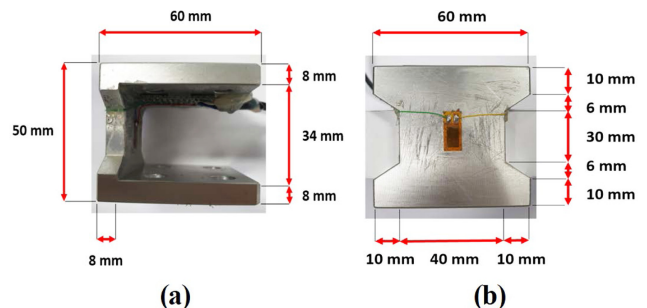


Fig. 2. Structure and Specification of load cell; (a) Drawing of side view, (b) Drawing of front view.

Fig. 2(a)의 측면도에서 제작된 로드셀의 높이 50 mm, 깊이 60 mm, 웨브 및 플랜지 두께는 8 mm이다. Fig. 2(b)의 정면도에서

로드셀의 크기는 세로 50 mm, 플랜지 폭 60 mm, 웨브 폭 40 mm, 플랜지 두께는 10 mm이다.

제작된 로드셀의 변형을 예측하여 적용여부를 평가하고, 그 결과를 활용하여 스트레인 게이지 센서를 부착할 지점을 찾기 위해서 3D CAD 설계 및 해석 소프트웨어 프로그램인 솔리드 워크스(solid works)를 사용하여 모의실험을 하였다.

모의실험에서 제작된 로드셀에 가해지는 하중의 범위는 작업자의 체중을 고려하여 10 kg에서 100 kg까지 설정하고 10 kg 간격으로 하중을 변화시켰다. 각 하중마다 미는 힘을 5 N에서 40 N까지 5 N 간격으로 증가시키면서 모의실험을 하였다.

유한요소해석을 이용하여 모의실험에서 제작된 로드셀의 변형률 분포는 Fig. 3와 Fig. 4와 같이 나타났다. Fig. 3에서는 하중이 40 kg이고 미는 힘이 20 N일 때에 입체적인 구조물의 변형률 분포를 나타낸다. Fig. 3(a)에는 로드셀의 변형률이 입체적으로 나타나 있고, Fig. 3(b)는 측면에서 로드셀의 변형률 분포가 나타나 있다. 모의실험의 정적해석 결과에서 상당 변형률 (ESTRN)은 2.889×10^{-9} 에서 4.779×10^{-4} 사이에 분포하였다.

Fig. 3에 나타나는 것처럼 로드셀에서 플랜지 부분에 비하여 웨브 부분에서 변형률이 크게 나타났다.

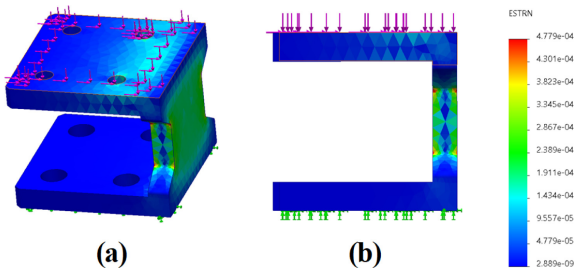


Fig. 3. Strain simulation of load cell; (a) Strain simulation of load cell - vertical load 40 kg, pushing force 20 N, (b) Strain simulation side view of load cell.

Fig. 4에는 로드셀의 웨브 외부 면과 내부 면의 변형률 분포가 나타나 있다. Fig. 4(a)에 나타나 있는 것처럼 로드셀 웨브의 외부 면에서는 인장 변형이 발생하였으며, 상당 변형률은 1.911×10^{-4} 에서 2.389×10^{-4} 사이에 분포하였다. Fig. 4(b)에 나타나

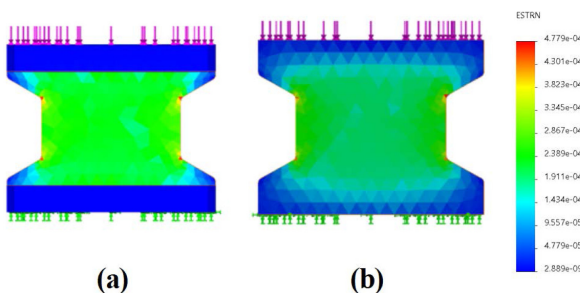


Fig. 4. Strain simulation of internal and external surfaces of load cell; (a) Inner surface of load cell, (b) Outer surface of load cell.

있는 것처럼 로드셀 웨브의 내부 면에서는 응축 변형이 발생하였으며, 상당 변형률은 2.867×10^{-4} 에서 3.345×10^{-4} 사이에 분포하였다.

Fig. 4에서 나타나 있는 것처럼 로드셀의 변형은 웨브 면에 집중되어 나타나므로 제작된 로드셀의 웨브 내부 면과 외부 면 중심에 Fig. 5와 같이 스트레인 게이지를 부착하여 센서를 제작하였다.

Fig. 5(a)에 부착된 스트레인 게이지를 이용하여 웨브 내부 면의 응축 변형을 측정할 수 있고, Fig. 5(b)에 부착된 스트레인 게이지를 이용하여 웨브 외부 면의 인장 변형을 측정할 수 있다.

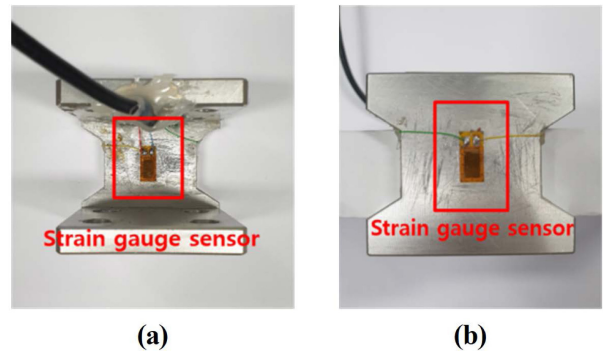


Fig. 5. Attachment position of strain gauge sensor; (a) Inner surface of load cell, (b) Outer surface of load cell.

스트레인 게이지의 저항 변화를 확인하기 위해 제작된 로드셀의 변형률 모의실험에서 스트레인 게이지가 설치된 웨브의 내부 면과 외부 면에 메시(mesh)의 요소번호를 지정하고 지정된 요소번호에서 변형률을 측정하였다.

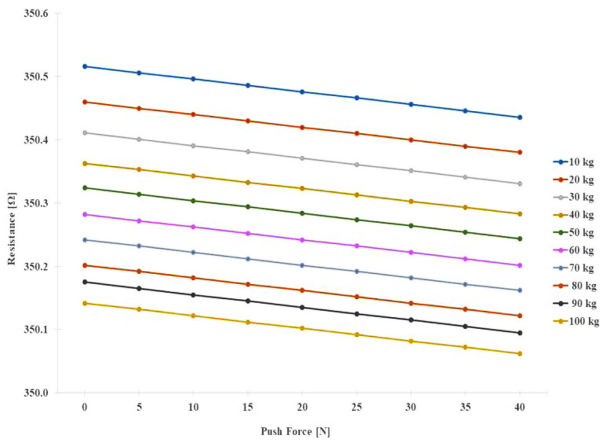
측정된 변형률 ϵ 은 수식 (1)에 주어진 것처럼 로드셀의 초기 길이 L 에 대한 변형된 길이 ΔL 의 변화를 나타내며, 이는 스트레인 게이지의 초기 저항 R 에 대한 저항의 변화 ΔR 로 나타난다.

$$K\epsilon = K \frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta R}{R} \quad (1)$$

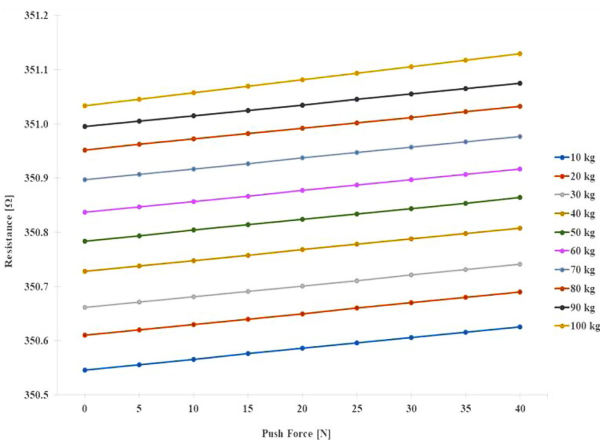
여기서, K 는 스트레인 게이지 상수이다. 게이지 상수는 스트레인 게이지의 특성에 따라 정해지는 고유한 값으로 1.8~2.4의 값의 범위를 갖는다[13,14].

모의실험에 나타난 로드셀의 변형률을 저항 값이 350 Ω 인 스트레인 게이지에 적용하고 수식 (1)을 이용하여 저항 값의 변화를 계산하였다. 스트레인 게이지 상수 $K = 2.243$ 를 적용하여 저항 값을 계산한 결과가 Fig. 6에 나타나 있다[15].

Fig. 6(a)에 나타나 있는 것처럼 로드셀 내부 면에 부착된 스트레인 게이지는 하중이 증가하면 응축 변형이 작용하여 초기 저항 값이 감소하고, 하중이 가해진 상태에서 미는 힘이 증가되면 저항 값이 선형적으로 감소한다. Fig. 6(b)에 나타나 있는 것처럼 로드셀 외부 면에 부착된 스트레인 게이지는 하중이 증가하면 인장 변형이 작용하여 초기 저항 값이 증가하고 하중이 가해진 상태에서 미는 힘이 증가되면 저항 값이 선형적으로 증가한다.



(a)



(b)

Fig. 6. Graph of the simulation result of resistance change according to the vertical load and pushing force of the load cell; (a) Inner surface of load cell, (b) Outer surface of load cell.

이동편의장치에서 발로 뒤로 미는 동작은 π 자형 로드셀에 수평으로 힘이 작용하므로 제안된 센서로 발의 구동력을 측정할 수 있다.

2.3 신호처리 회로

제안된 로드셀에 부착된 두 개의 스트레인 게이지에 Fig. 7과 같이 휘스톤 브릿지 회로를 만들어 기계적 변형을 전기적 신호로 변환하였다. 신호처리회로는 계측 증폭기(A1), 감산 증폭기(A2), 오프셋 보정회로(A3), 트리거 설정 스위치(SW) 및 A/D 변환기(ADC)가 내장된 마이크로컨트롤러로 구성된다. Fig. 7에서 R_1 과 R_2 는 각각 로드셀 내부면과 외부면에 부착한 스트레인 게이지의 저항을 나타낸다. 저항 R_3 과 R_4 는 휘스톤 브릿지 회로를 구성하기 위해 추가된 고정 저항으로 저항 값은 각각 350 Ω 이다.

휘스톤 브릿지 회로를 구성하는 두 개의 고정 저항은 스트레인 게이지에 가까이 부착하고 동상신호제거비가 높은 계측 증폭기를 사용하여 잡음의 유입을 최소화한다. 휘스톤 브릿지 회

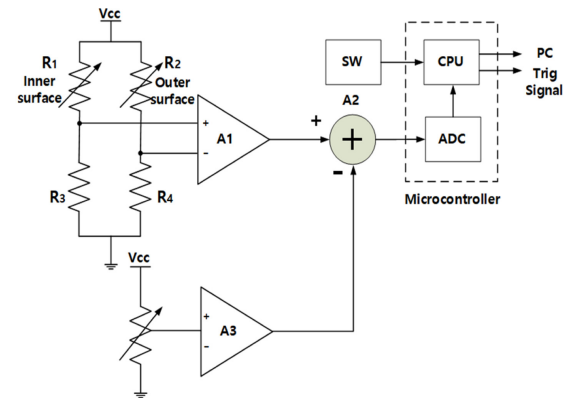


Fig. 7. Simplified block diagram of the signal conditioning circuit.

로의 두 개의 출력신호는 계측 증폭기에서 증폭되어 감산 증폭기로 입력된다. 센서 제작과정에 나타나는 오프셋 신호는 오프셋 보정회로를 통하여 감산 증폭기에서 제거된다.

감산 증폭기의 출력은 마이크로컨트롤러에 내장된 10-비트 A/D 변환기에 의하여 디지털 신호로 변환되어 CPU에 전달된다. CPU는 입력된 신호의 크기를 외부로 전달하고, 입력된 신호의 크기가 기준 신호 크기 이상이면 다른 기기들을 구동하기 위해 트리거 신호를 출력한다.

기준 신호의 크기는 트리거 설정 스위치에 따라 수동모드와 자동모드로 설정된다. 수동 모드는 하중이 고정되어 있는 경우에 사용되며 개인용 컴퓨터(PC)로 설정한다. 자동모드는 동작 중에 하중 변화의 평균값을 계산하고, 그 값의 일정 비율을 기준 신호의 크기로 설정한다.

이동편의장치에 착석한 작업자의 움직임으로 인하여 순간적으로 기준 신호의 크기 이상으로 입력신호가 증가할 수 있다. 이를 해결하기 위해 기준 신호 크기를 넘어서는 신호가 일정시간 이상 지속되면 발의 구동에 의한 신호로 판단하고 편의장치를 구동하는 신호를 출력한다.

3. 실험 및 결과

제작된 π 자형 로드셀을 차체와 모터 사이에 Fig. 8과 같이 설치하고 하중과 미는 힘에 따라 스트레인 게이지의 저항 값 변화를 측정하였다. 하중을 차체를 통해 직접 로드셀에 전달하기 위해 착석자용 의자를 제거하고, 그 자리에 분동을 올려 놓았다. 미는 힘은 인장 측정기를 이용하여 측정하였다.

하중의 범위는 작업자의 체중을 고려하여 10 kg에서 100 kg 사이로 설정하였다. 보통 남성과 여성이 착석하여 발로 미는 힘을 측정할 값이 각각 27.3 N과 13.1 N으로 나타났다. 이를 기준으로 하여 미는 힘의 범위를 최소 5 N에서 40 N으로 설정하였다.

실험에서 Fig. 8에 나타나 있는 것처럼 인장 측정기를 차체와 같은 높이에 위치시키고 차체의 진행방향과 반대방향으로 미는

Implementation of a Sensor to Detect the Foot-pushing Force for an Agricultural Transport-convenience Vehicle

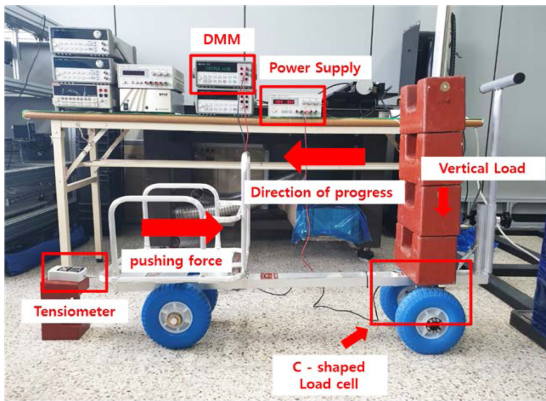


Fig. 8. Lab equipment and Lab environment.

힘을 인가하였다.

실험에서 하중을 10 kg에서 시작하여 10 kg씩 하중을 증가시켜 100 kg까지 변화시키고, 각 하중마다 미는 힘을 5 N에서 40 N까지 5 N씩 증가시키면서 저항 값을 측정하여 Fig. 9에 나타내었다.

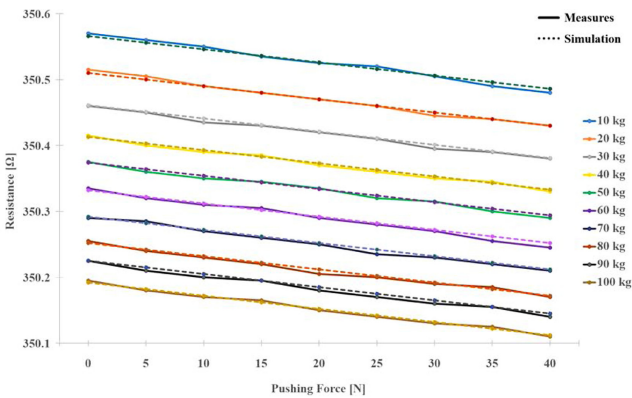
Fig. 9에서 점선은 모의실험에서 계산된 측정값을 나타낸다. 모의실험 값과 측정값은 비슷한 경향을 나타내며 그 오차는 스

트레인 게이지 상수에 많은 영향을 받는다. 스트레인 게이지 상수가 2.243일 때에 오차가 가장 작게 나타났다. 이 때 최대 오차는 0.89 %로 나타났다.

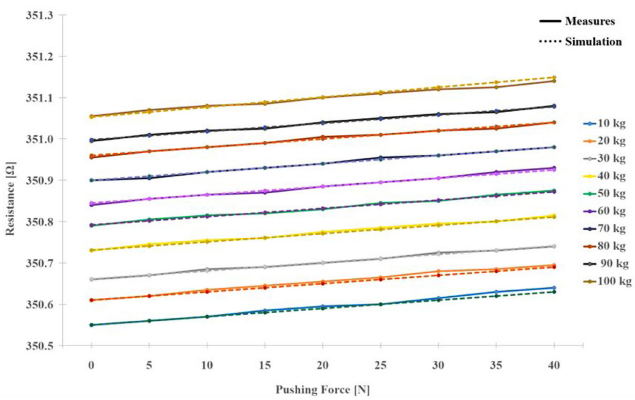
반복적으로 측정된 결과 Fig. 9에서 동일한 센서로 측정했을 경우에는 측정 데이터의 편차가 0.69 %로 나타났다.

Fig. 9(a)에는 미는 힘에 의하여 로드셀 내부에 설치된 스트레인 게이지가 수축하는 방향으로 변형되기 때문에 저항 값이 감소하는 경향을 나타내고, Fig. 9(b)에는 로드셀 외부에 설치된 스트레인 게이지가 인장하는 방향으로 변형되기 때문에 저항 값이 증가하는 경향을 나타낸다.

제작된 로드셀은 Fig. 10에 주어진 신호처리 회로기판에 연결하여 계측 증폭기의 출력을 측정하였다. 측정 회로의 아날로그 부분은 10 V의 전원전압을 사용하였고, 디지털 회로는 5 V의 전원전압을 사용하였다. 계측 증폭기의 출력에 연결된 감소 증폭기는 센서 제작과정에 나타나는 오프셋 전압을 제거하고, 최대 10 V 크기의 신호를 5 V 크기의 신호로 변환하여 마이크로 컨트롤러로 전달한다.



(a)



(b)

Fig. 9. The result of measuring the resistance change under the vertical load and the pushing force. (a) The inner strain gauge (b) The outer strain gauge.



Fig. 10. Load cell measurement system PCB module.

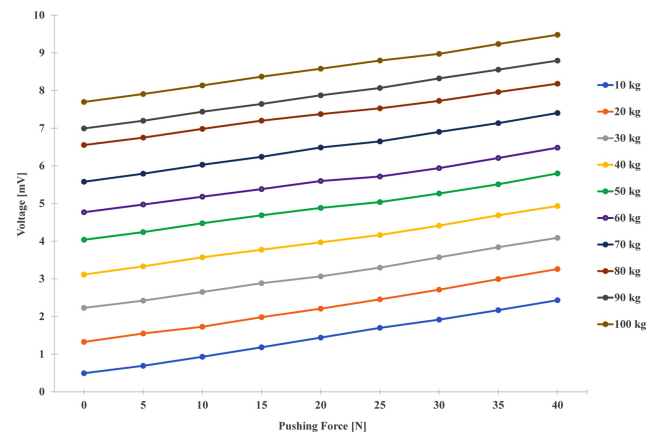


Fig. 11. Change of output voltage when vertical load and pushing force are increased.

센서의 휘스톤 브릿지 회로에서 센서의 내부 면에 부착된 스트레인 게이지 단자는 계측 증폭기의 (+) 단자에 연결하고, 센서의 외부 면에 부착된 스트레인 게이지 단자는 계측 증폭기에 (-) 단자에 연결하였다. 이런 조건하에서 동일한 실험을 되풀이하면 계측 증폭기의 출력단에 나타나는 신호가 Fig. 11에 나타나 있다.

미는 힘을 인가할 때에 휘스톤 브릿지 회로에서 계측 증폭기의 (+) 단자에 연결된 스트레인 게이지는 Fig. 9(a)처럼 저항 값이 감소하므로 단자 전압이 증가하고, (-) 단자에 연결된 스트레인 게이지는 Fig. 9(b)처럼 저항 값이 증가하므로 단자 전압이 감소한다. 두 단자 전압의 차이를 증폭하는 계측 증폭기는 출력전압이 증가한다. 계측 증폭기의 전압이득은 995배로 설정하였다.

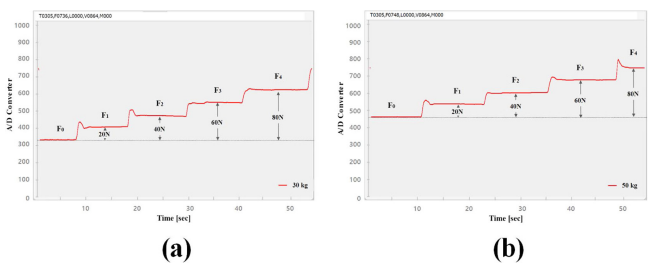


Fig. 12. Changes in output waveform when the pushing force is increased while a vertical load is applied; (a) Vertical load 30 kg, (b) Vertical load 50 kg.

로드셀에 수직 하중이 가해진 상태에서 미는 힘을 0 N에서 80 N까지 20 N 간격으로 증가하였을 때에 감산 증폭기의 출력 신호를 마이크로컨트롤러에 내장된 10-bit A/D 변환기로 A/D 변환한 결과를 Fig. 12에 나타내었다. Fig. 12(a)는 수직 하중이 30 kg일 때에 출력 파형을 나타내고, Fig. 12(b)는 수직 하중 50 kg 일 때에 출력 파형을 나타낸다. 각 하중에 따라 F_0 구간에서는 신호 크기는 다르지만 미는 힘이 20 N 간격으로 증가할 때 마다 거의 선형적으로 증가하였다.

제작된 센서를 전동형 이동편의장치에 부착하여 동작 특성을

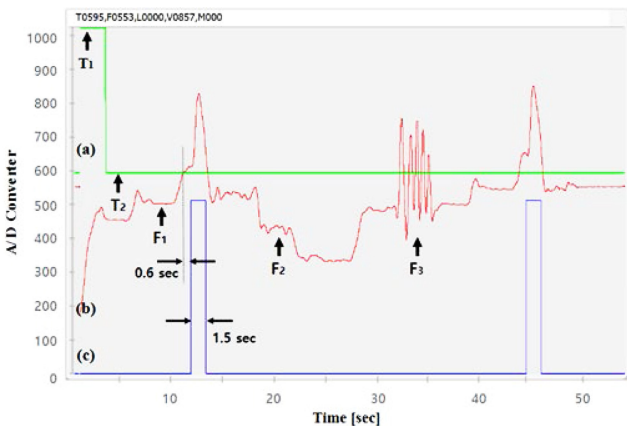


Fig. 13. Changes in the output waveform when a pushing force or a pulling force is applied while the subject is seated.

분석하였다. Fig. 8에서 분동을 제거하고 그 자리에 의자를 설치하였다. 피실험자로는 발의 구동력이 상대적으로 약한 여성을 선정하였으며, 신장 159 cm이고 체중 61 kg인 여성을 착석하게 하여 실험한 결과가 Fig. 13에 나타나 있다.

Fig. 13에서 파형 (a)는 발의 구동 여부를 판단하는 기준신호, 파형 (b)는 센서의 출력신호, 파형 (c)는 전동형 이동편의장치에 전달하는 구동신호를 나타낸다.

센서 회로의 펌웨어에서 피실험자가 착석하면 이를 인식하여 하중을 측정하고 그 값의 130 %를 기준 신호의 크기로 설정한다. 양쪽 발이 지면에 닿아 있어서 수직 하중은 체중보다 작다. 착석 상태에서 피실험자의 움직임으로 인하여 센서의 출력신호가 기준신호를 넘어서는 경우에 발의 미는 힘으로 잘못 인식하는 것을 방지하기 위해 센서의 출력신호가 0.6 초 이상 연속적으로 기준신호를 넘어서면 발의 미는 힘을 감지한 것으로 판단한다.

피실험자가 착석하기 전에 기준 신호(a)가 최고 값인 T_1 을 유지하고, 착석하여 수직 하중이 가해지면 하중의 130 %의 값인 T_2 로 기준신호가 설정된다. 센서의 출력신호(b)에서 F_1 의 상태에서 발로 미는 힘을 인가하여 기준신호의 크기를 넘어서고 0.6 초 이상 지속되면 구동신호(c)에는 1.5초 펄스폭을 가지는 구형파 신호가 나타난다. 기준신호와 지속시간의 크기는 발의 구동력을 감지하는 민감도를 결정한다. 두 값의 크기가 작을수록 민감하게 동작하지만 작업중 움직임으로 인한 오동작이 발생할 수 있다.

센서의 출력신호 (b)에서 F_2 상태는 발로 당기는 힘을 인가한 상태를 나타내고 F_3 는 피실험자가 앞뒤 방향과 좌우 방향으로 착석한 상태에서 움직였을 때의 파형을 나타낸다. F_2 와 F_3 의 상태에서 구동신호가 동작하지 않음을 확인할 수 있다. 이와 같은 동작 특성을 보면 제안된 센서의 구동신호는 전동형 이동편의장치를 구동하는데 사용할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 발의 구동으로 발생하는 힘을 감지하는 2자형 로드셀 센서를 제안하였다. 제안된 센서를 전동형 이동편의장치에 적용하면 발의 구동력으로 모터를 기동할 수 있어서 기존 장치의 문제점들을 해결할 수 있어서 작업자의 고된 작업 환경을 개선시킬 수 있어 작업 능력 및 생산성을 향상시킬 수 있다.

제안된 센서는 작업자에 체중에 따라 센서의 출력 초기값은 다르게 나타나지만 발의 구동력에 따라 힘의 변화는 거의 일정하게 나타난다. 체중에 의한 센서의 초기 출력 값을 오프셋 보완 회로로 부계환시켜 효과적으로 제거할 수 있다면 더 정확한 특성을 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

제안된 발의 구동으로 발생하는 힘을 감지하는 로드셀 센서는 기존의 전동형 이동편의장치에 비하여 구조가 간단하고 설치가 용이하여 다양한 농작물 수확용 이동편의장치에 적용할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 안동대학교 기본연구지원사업에 의하여 연구 되었음.

REFERENCES

- [1] <https://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psv/psvr/psvre/curationDtl.ps?menuId=PS03352&srchCurationNo=1676&totalSearchYn=Y> (retrieved on Jun. 20, 2022).
- [2] K. S. Lee, H. C. Kim, H. S. Chae, K. R. Kim, S. J. Lee, and D. S. Lim, "A Study on Agricultural Safety Technology for Ergonomic Intervention in Farm work", *J. Ergon. Soc. Korea*, Vol. 29, No. 2, pp. 225-239, 2010.
- [3] O. Ahn, K. Lee, K. Kim, and H. Lee, "Development of a Harvesting Carrier for Improving Red Pepper Harvesting Transport", *Korea Soc. for Community Living Sci. Conf. Proc.*, pp. 129-131, Korea, 2002.
- [4] Y. Cho, H. Yun, H. Hong, J. Oh, H. Park, M. Kang, K. Park, K. Seo, S. Kim, and Y. Lee, "Development of Autonomous Steering Platforms for Upland Furrow", *J. Korean Soc. Manuf. Process Eng.*, Vol. 20, No. 9, pp. 70-75, 2021.
- [5] S. Jang, "Development of a convenient device for harvesting red pepper in the open field", M. S. thesis, Kyungpook National University Graduate School, Daegu, 2018.
- [6] J. Kim, H. Kim, S. Shin, and I. Joo, "The Study about the Hall Sensor Type Torque Sensor for Electric Bike", *Proc. of Korean Soc. Automot. Eng. Branch Conf.*, pp. 12-14, Korea, 2013.
- [7] D. H. Lee, Y. S. Hong, and S. S. Lee, "Development of Oriental-Western Fusion Patient Monitor by Using the Clip-type Pulsimeter Equipped with a Hall Sensor, the Electrocardiograph, and the Photoplethysm ograph", *J. Korean Magn. Soc.*, Vol. 23, No. 4, pp. 135-143, 2013.
- [8] S. H. Cho, C. and W. Park, "Development of Data Acquisition System for Strain Gauge Sensor", *J. Ind. Technol.*, Vol. 30, No. A, pp. 89-93, 2010.
- [9] J. W. Joo and D. I. Kang, "Strain Analysis and Calibration Test of Small Capacity Torque Sensor", *Trans. Korean Soc. Mech. Eng.*, Vol. 23, No. 3, pp. 382-391, 1999.
- [10] <https://www.cas.co.kr/integration/read.jsp?reqPageNo=1&code=20200813cb8566a577&no=142> (retrieved on Sep. 15, 2022).
- [11] C. Y. Lee and D. I. Kang, "Finite Element Analysis of Non-linear Behavior of a Column Type Sensing Element for Load Cell According to Design Parameters", *Trans. Korean Soc. Mech. Eng.*, Vol. 24, No. 6, pp. 1540-1546, 2000.
- [12] D. I. Kang, H. H. Shin, J. H. Kim, and Y.-K. Park, "Design and Analysis of Column Type Sensing Element for Large Compact Load Cell", *Trans. Korean Soc. Mech. Eng.*, Vol. 27, No. 4, pp. 601-607, 2003.
- [13] D.-I. Kang, "Stress Measurements Using Strain Gages", *J. KSME.*, Vol. 33, No. 7, pp. 661-670, 1993.
- [14] K. W. Nam, "A Study on Design of Hook-Type Finger Force Measuring System", M. S. thesis, Gyeongsang National University Graduate School, Jinju, Gyeongsangnam-do, 2015.
- [15] <https://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet/3375/CEA-06-250UW-350.php> (retrieved on Jun. 23, 2022).