

자세 균형 측정을 위한 디지털 경사계 설계 및 평가

Design and Evaluation of Digital Inclinometer for Measuring Postural Balance

명현석*, 이효기**, 이경중***, 권오윤****
(Hyoun-seok Myoung, Hyo-ki Lee, Kyoung-joung Lee, Oh-yun Kwon)

Abstract - In this paper, a digital inclinometer to measure the angle and acceleration signals of subject laid on Roll was designed. The designed system consists of a tilt sensor, biaxial accelerometer, microcontroller and BlueTooth module. The designed digital inclinometer was easy to handle and easy to wear. To evaluate the performance of the system, we measured simultaneously the angle and acceleration signals from the 3 subjects on the Roll with two instruments which are ZEBRIS and our system. The measured signals were processed by statistical method and then the correlation coefficient of 0.93 was shown. From the results, the designed digital inclinometer is shown to be useful in assessment of body movement.

Key Words : Inclinometer, Acceleration, Postural Balance, Roll

1. 서론

자세의 균형정도를 나타내는 데에는 주관적인 느낌을 갖기 때문에 의사가 환자의 균형정도를 객관적으로 평가하기는 어렵다. 신체의 균형 정도를 정확히 의사에게 알리기 위해서는 주관적인 균형의 정도를 객관적인 자료로 제시할 필요가 있다. 따라서 환자에 대한 평가와 추후 관리 및 치료 효과를 평가하기 위해서는 환자의 통증 정도를 객관적이고 정량적인 수치로 측정하는 것은 중요하다.

과거에는 Roll위에서 좌우 다리를 들어 올렸을 때 횡 복근과 내경사근의 응답을 알아보는 연구[1]와 근전도와 역학적 방법을 이용하여 여러 등급의 불안정한 시소 위에서 균형을 잡는데 미치는 중추신경 계통에 대한 연구[2] 등이 시행되었다.

현재 Roll위에서 균형을 잡을 때 특정 근육의 근전도를 측정하여 근육의 사용 정도를 분석하는 연구[2]가 진행 중이나 객관적이고 정량적으로 균형정도를 평가할 수 있는 연구결과가 미비한 실정이다. 또한 자세가 바른 사람과 그렇지 못한 사람의 균형 정도를 의사나 물리치료사의 평가에 의존하기 때문에, 객관적으로 균형정도를 측정할 수 있는 시스템이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 자세 균형 정도를 객관적, 정량적으로 평가할 수 있는 디지털 경사계를 설계하였다. 이를 위해 경사 센서를 이용한 경사도 성분과 가속도 센서를 이용한 가속

도 성분을 측정하였다. 본 연구에서의 주된 목적은 높은 정밀도를 가지는 초음파 펄스 측정 시스템인 ZEBRIS(Gait Analysis Measuring System CMS-HS, Germany)와 저자가 개발한 디지털 경사계를 비교하는 것이다.

2. 시스템 설계

디지털 제어 및 무선 통신 부는 PIC18f252를 기반으로 균형의 정도를 측정 하는 시스템과 신호 수신 및 디스플레이 디바이스를 각각 제어 하도록 구성하였으며 시스템 블록도는 그림 1과 같다.

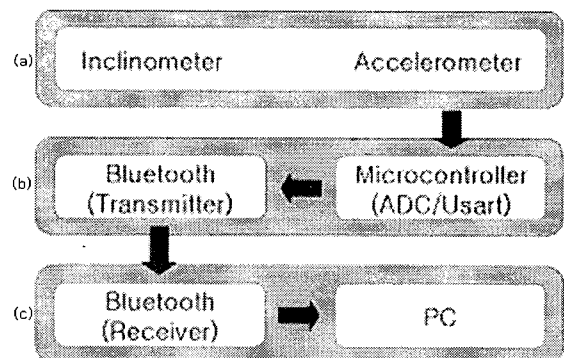


그림 1 설계한 디지털 경사계의 하드웨어 구성도

본 연구에서 설계한 측정 시스템은 크게 가속도 및 경사 신호를 측정하여 아날로그 신호를 출력하는 센서부(a)와 아날로그 신호를 입력 받아 10-bit, 150Hz의 샘플링율로 A/D 변환 후 무선 전송하는 송신부(b), 그리고 송신된 신호를 수신하고 시리얼 통신을 이용하여 PC로 전송하는 수신부(c)로 구성되어 있다.

저자 소개

- * 명현석 : 연세대학교 의공학과 석사과정
- ** 이효기 : 연세대학교 의공학과 석박사통합과정
- *** 이경중 : 연세대학교 의공학과 교수·공학박사
- **** 권오윤 : 연세대학교 재활학과 부교수·보건학박사

센서부에서는 경사센서(SCA61T)와 가속도센서(SCA1000, 11.7g)를 사용하였다. 경사 센서의 경우 $\pm 90^\circ$ 의 각도 측정이 가능하며, 가속도 센서의 경우 20Hz 저역 통과 필터를 사용하여 고주파 잡음을 제거하였다[3].

마이크로 컨트롤러에 의해 제어 되는 균형 측정 시스템은 아날로그 신호를 받아 A/D변환 후 측정된 정보를 다른 시스템에 전송하기 위해 USART 통신 방식을 사용하는 블루투스 모듈을 통해 데이터를 PC에 무선으로 전송할 수 있는 부분으로 구성하였다. 별도로 경사 센서에서 측정한 데이터는 센서가 수평상태일 때의 기본전압 2.5V(A/D 변환하여 512)를 0°로 계산하여 기기 전면부에 부착된 7-segment 에 경사도 값이 표시되도록 하였다.

측정된 데이터를 PC에 저장하여 이전에 저장되어 있는 데이터와 비교, 분석 가능 하도록 함으로써 피험자에 대한 체계적인 관리 및 치료에 도움이 되도록 하였다.

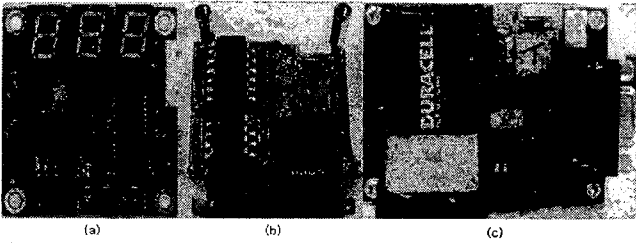


그림 2 디지털 경사계의 모습

그림 2에 제작된 시스템의 사진을 도시하였다. 그림 2의 (a)는 display부와 컨트롤러 부이며, (b)는 센서부와 데이터 송신부이다. (c)는 데이터의 송신부로서 2축 가속도 데이터와 기울기 데이터를 PC로 전송한다.

3. 실험 방법 및 결과

설계된 디지털 경사계와 Tumble Forms사에서 제조한 원통형 Roll(높이: 120cm, 지름: 30cm)을 사용하여 20대의 건강한 성인 남성 3명에 대해 10회를 반복하여 Roll위에서 자세 균형 정도를 측정하였다.



그림 3 균형 측정 시 자세 변화

평평한 바닥에 Roll을 놓고 그 위에 누워 좌·우 다리를 각각 들어 올려 피험자가 균형을 잡기 위하여 Roll위에서 얼마나 흔들리는가를 측정하기 위해서 가속도 신호와 경사도의 변화를 관찰하였다. 측정하는 동안 피험자의 자세가 흐트러지지 않고 모든 피험자가 같은 자세로 측정할 수 있도록 하

였다. 높은 위치를 지정하는 방법은 코에서부터 배꼽까지를 Mid-line 으로 설정하고, Mid-line 이 Roll 의 중앙에 위치하도록 하였다. 또한 꼬리뼈가 Roll 의 끝부분에 닿도록 하였으며 양손은 가슴 위에 가볍게 모으도록 하였다.

그림 3은 좌측부터 기준 데이터가 되는 자세, 다리를 곧게 펴서 45°로 들어 올린 두 가지 다리 자세의 모습을 나타낸 것이다. 다리는 어깨 넓이만큼 벌려 바닥에 딛도록 하고 한쪽 다리를 들어 올렸을 때 균형이 흐트러지면 반사적으로 지지하는 다리를 움직여 균형을 유지하려 하기 때문에 피험자에게 지지하는 다리가 움직이지 않도록 노력할 것을 주지시켰다. 피험자는 평소 차림의 복장과 운동화를 착용하였고 실험 전 Roll위에 누워 실험 동작에 대해 충분히 연습하여 익숙해지도록 하였다.

측정 시작 후 3초 동안은 양다리를 지면에 붙이고 누워있는 편안한 자세를 유지하여 측정 데이터의 기준 데이터로 사용하였다. 이후에는 다리를 곧게 펴서 45°로 들어 올린 상태를 유지하여 자세가 흐트러져 넘어질 때 까지 측정하였으며, 계속 유지 시 최대 1분까지 측정 하였다. 실험은 각각 좌·우측 다리를 나누어 실시하였다. 모든 피험자에 대해서 좌·우측 각각 5회씩 반복하여 총 30개의 데이터를 획득하였다.

본 연구에서는 Matlab 7.0(Mathworks, USA)을 사용하여 측정된 데이터를 처리하였다.

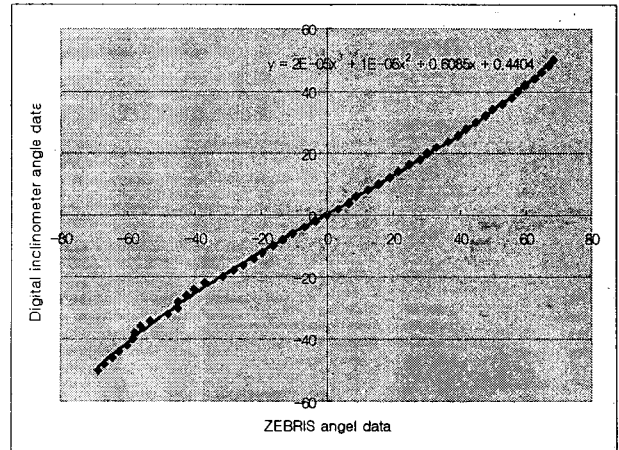


그림 4 추세선 그래프

사용되는 ZEBRIS를 기준으로 하여 설계된 시스템의 출력을 비교하여 그림 4에 도시하였다.

x축은 표준이 되는 ZEBRIS의 각도 데이터 이고 y축은 디지털 경사계의 각도 데이터이며 설계된 시스템의 출력을 ZEBRIS로부터 획득된 출력신호의 각도 값으로 표현 할 수 있도록 식(1)과 같은 회귀 방정식을 얻었다.

$$Y = 2 \times 10^{-5} X^3 + 10^{-5} X^2 + 0.6085 X + 0.4404 \quad (1)$$

회귀 방정식에 입각하여 반복된 동기화 실험을 통하여 기준이 되는 데이터와 비교하였다. 회귀선의 표준 오차는 약 0.7°이며, 결정 계수(R-square)는 93%로써 비교적 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있었다.

표 3 3명의 피험자의 디지털경사계와 ZEBRIS와의 각각의 피험자에 대한 데이터의 상관계수를 평균화한 값

#	성별	r(평균값)
1	남	0.93
2	남	0.94
3	남	0.92

기존의 연구에서는 표준으로 선정된 장비(Mac Reflex system, OPT)와 각자의 연구에서 개발한 시스템을 분석 하는 지표로 서로의 상관성을 비교하였다[4].

본 논문에서는 세 명의 피험자에 대한 상관 계수는 첫 번째 피험자에서 0.88~0.98의 분포를, 두 번째 피험자에서는 0.89~0.98, 세 번째 피험자에서 0.86~0.96의 분포를 보인다.

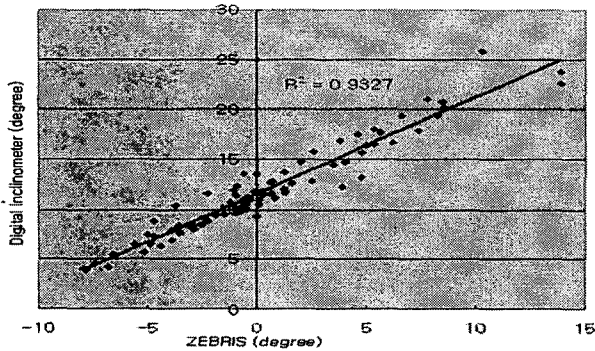


그림 5 두 장비의 추세 선에 대한 상관관계

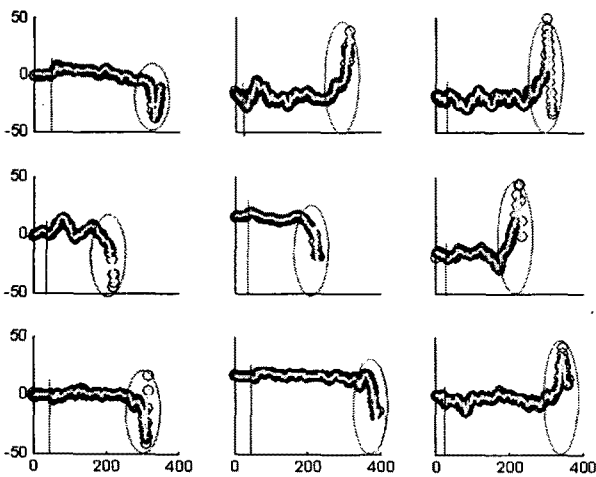


그림 6 피험자의 raw data

그림 5는 ZEBRIS로 측정된 실제 각도 값과 설계된 시스템으로 측정된 각도 값을 비교한 예이며 두 결과 값에 대한 상관계수를 함께 나타내었다. 상관관계가 $r=0.93$ 으로 높은 상관성을 보여 주고 있으며 각각의 피험자에 대한 민감도가 거의 비슷함을 보인다. 각도가 변함에 따라 값이 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

이와 같은 신호는 최대 1분을 측정 하였으며, 실험 중간에 자세 유지 중 낙상을 한 경우는 낙상을 한 시점까지 측정을 하였다. 본 연구에서는 세 명의 피험자를 대상으로 좌·우

각각 5번의 실험을 통해 총 30개의 데이터를 얻었다.

그림 6은 각각의 피험자에 대해 대표적인 신호를 도식화 한 것이다. 파란색(circle) 데이터가 저자가 개발한 시스템의 각도 성분을 본 것이며 노란색(실선) 데이터가 표준이 되는 ZEBRIS의 각도 성분을 도식화 한 것이다.

그림 6에서는 ZEBRIS의 각도 데이터와 저자가 개발한 시스템의 각도 데이터가 거의 일치함을 보여준다. 흔들림이 없다가 수직선으로 표시한 이후의 데이터(측정이 시작된 3초 후)에서부터 데이터가 흔들리는 것을 볼 수 있다. 피험자마다 흔들리는 정도는 조금씩 다르지만 중심을 잡기 위해서 움직이는 모습을 관찰 할 수 있다. 하지만 어느 일정한 각도 이상이 벗어나면 큰 각도로 변하면서 피험자는 자세를 바로 하지 못하고 원으로 표시한 것과 같이 Roll에서 떨어지는 것을 볼 수 있다.

실험한 회귀 분석의 결과 $r=0.93$ 의 결정계수(R-square)와 각도 오차가 약 0.7°로서 매우 신뢰성이 있는 결과임을 확인 하였다. 앞으로 더욱 정확 하고 신뢰성이 높은 시스템 구현을 위해 체계적인 테스트 프로토콜을 기반으로 실제 임상에서 환자들의 균형 정도를 측정하고, 다양한 방법의 비교 테스트와 분석이 필요 하다.

4. 결 론

본 연구에서는 자세 균형 정도를 객관적, 정량적으로 표시할 수 있는 디지털 경사계를 설계하였다. 원통형 Roll 위에서 자세 변화에 따른 균형 유지 상태를 정사도와 가속도의 변화를 통해 관찰하였다.

본 연구에서 개발한 디지털 경사계와 그 출력의 평가를 위해 기준 측정 장비로 사용한 ZEBRIS의 상관계수는 $r=0.93$ 으로 높게 나왔다. 이와 같이 손쉽게 다룰 수 있고 경량화, 소형화된 시스템은 처리하기 쉽고 휴대하기 쉽다.

향후, 보다 많은 피험자를 대상으로 데이터를 수집하여 균형 유지를 객관적으로 나타낼 수 있는 지표를 개발한다면 요통 환자의 비정상 정도를 객관화하고 재활치료 성과를 평가하는데 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] G. L. Almeida, R. L. Carvalho and V. L. Talis, "Postural strategy to keep balance on the seesaw", *Gait & Posture*, Vol. 23, no. 1, pp 17-21, 2006
- [2] Anne-Marie Ainscough-Potts, Matthew C Morrissey, Duncan Critchley, "The response of the transverse abdominis and internal oblique muscles to different postures", *Manual Therapy* 11, pp 54 - 60, 2006
- [3] 이재영, 이경중, 김영호, 이성호, 박시운, "가속도계를 이용한 편마비 환자의 보행 분석 알고리즘 개발", 전자공학회 논문지, 제41권, SC편, 4호, 2004
- [4] Eva Bernmark, Christina Wiktorin, "A triaxial accelerometer for measuring arm movement", *Applied Ergonomics* 33, pp 541-547, 2002