

로드셀을 사용한 2 차원 반력측정반

박 지희⁰, 강 곤
 건국대학교 의과대학 의학공학과

Development of a Prototype Force Plate Employing Load Cells

Ji Hee Park and Gon Khang

Department of Biomedical Engineering
 College of Medicine, Kon-Kuk University

Abstract

We developed a prototype force plate equipped with five load cells, a 12-bit analog-to-digital converter and three integrated circuits. The force plate displays the center of foot pressure, the magnitude and two (vertical and anterior-posterior) directions of the ground reaction force on a personal computer monitor. Although the force plate data are valid only for two directions, it can be a preliminary version of a more versatile 3 dimensional force plate in terms of the resolution and reliability.

1. 서론

재활공학 분야, 정형외과 등의 임상분야, 혹은 스포츠 분야에서 사람의 움직임을 측정하는데 가장 유용하게 사용하는 기기 중의 하나로 반력측정반을 들 수 있다. 반력측정반은 기본적으로 지면반력의 동적특성을 정량화하여 나타내며, 변환기 등의 감지 부분, 신호처리 부분, 그리고 디스플레이 부분으로 나눌 수 있다.

사람이 균형을 잃지 않으면서 어떠한 동작을 수행하는데 있어서 가장 중요한 요소는 발이 지면에 힘을 가함으로써 나타나는 압력중심(center of foot pressure)이라 할 수 있다. 압력중심은 무게중심과는 달리 동적특성을 갖는다. 가령, 정적인 상태에서는 무게중심이 발바닥을 벗어나면 안정성(stability)을 상실하여 넘어지기 시작하지만 동작 도중에는 무게중심이 신체에서 어느 정도 떨어지더라도 넘어지는 과정이라고 말할 수 없다. 이 때 압력중심을 측정하면 균형을 유지 또는 상실하는 과정을 상세히 분석, 진단, 또는 예측할 수 있다.

본 연구에서는 현재 상업화되어 있는 3 차원 반력측정반보다는 그 기능이 훨씬 떨어지지만 향후 보다 기능이 향상된 기기를 개발하고자 하는 목적의

일환으로 2 차원 지면반력 성분과 압력중심을 측정할 수 있는 1 단계 반력측정반을 개발하였다. 즉, 일반적으로 지면반력은 발바닥에 작용하는 압력을 하나의 힘 벡터로 나타낼 수 있으므로 수직, 전후, 좌우의 3 방향 성분을 구할 수 있으나 본 연구에서 제작한 반력측정반은 압력중심과 지면반력의 수직, 전후 방향을 개인용 컴퓨터의 화면에 나타내도록 설계하였다.

2. 구조와 연산원리

그림 1은 본 연구에서 제작한 반력측정반을 모식적으로 나타낸 것이다. 윗판은 두께가 10 mm 인 듀랄루민으로서 다른 금속에 비해서 상대적으로 가볍기 때문에 이동이 편리하다는 점을 고려하였다. 가로세로 35 cm이고 하중점 사이의 거리는 30 cm 로 하였다. 사용한 5 개의 로드셀(정산로드셀 제작, 캔틸레버식)은 그림 1에 영문 알파벳으로 표시하였으며 A를 제외한 나머지 로드셀의 용량은 100 kg 이고 힘의 수직성분을 측정하기 위한 것이므로 하중점과 윗판의 접촉부분을 볼트와 너트로 고정하였다⁽⁴⁾. 로드셀 A는 전후 방향의 전단력을 측정하기 위하여 다른 로드셀과 직각방향으로 부착하였고 힘의 전달을 고려하여 윗판의 중심을 지나는 금속막대를 로드셀 A의 하중점에 끼웠다. 이 로드셀의 용량은 20 kg으로 하였다.

각 로드셀에서 나오는 신호는 두 개의 연산증폭기(operational amplifier) TL074와 TL072를 통과시켜 약 1,000 배 가량 증폭한 후 8 채널 12-bit A/D 변환기에 입력하였다⁽³⁾. 잡음을 제거하기 위하여 증폭과정에서 3 차에 걸쳐 저역필터를 통과시켰다.

로드셀로부터 얻은 데이터를 바탕으로 압력중심과 지면반력의 각 성분을 추출해내는 알고리즘은 다음과 같다^(1,2). 그림 2에서 4 개의 변환기(로드셀)의 좌표를 각각 (0,0), (0,Y), (X,0), (X,Y)라 하자. 각 좌표에 해당하는 변환기로 측정되는 수직 힘의 크기를 각각 R_1 , R_2 , R_3 , R_4 라 한다면

이들의 합, 즉 지면반력의 수직성분은 $P=R_1+R_2+R_3+R_4$ 가 된다. 또, (0,0)에 대한 모멘트의 평형을 생각하면 압력중심의 좌표 (x,y)를 다음과 같이 계산할 수 있다:

$$x = \frac{X}{P} (R_2 + R_3), \quad y = \frac{Y}{P} (R_3 + R_4)$$

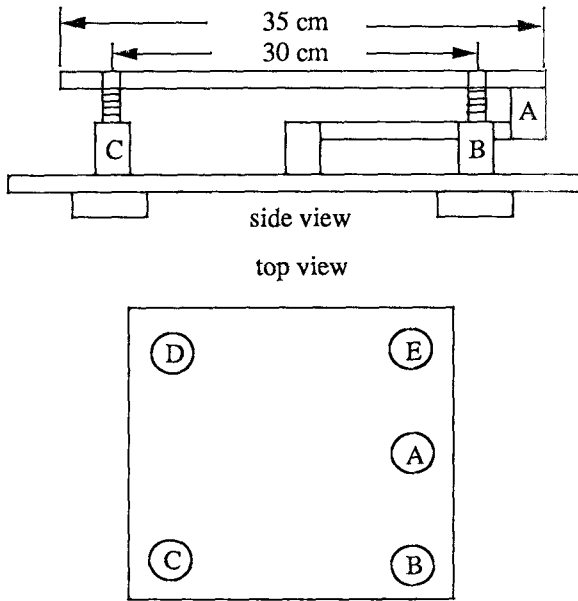


그림 1. 반력측정반의 구조
Figure 1. Schematic Representation of the Force Plate

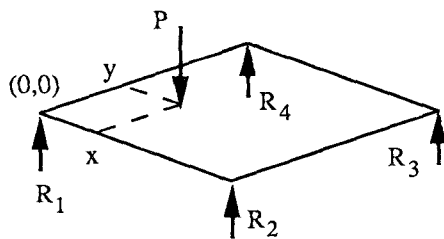


그림 2. 지면반력의 수직성분과 압력중심
Figure 2. Vertical Component of the Ground Reaction Force and the Center of Foot Pressure

3. 결과

위에서 기술한 과정을 거쳐 얻은 지면반력의 수직성분값의 선형성을 확인하기 위하여 무게를 알고 있는 여러개의 물체를 반력측정반 위에 올려놓고 캘리브레이션 후 최종적으로 얻어지는 값과 비교해서 그래프로 나타내었다. 그림 3에서와 같이 우수한 선형성을 나타내었으며 오차율은 1% 미만으로 유지되었다.

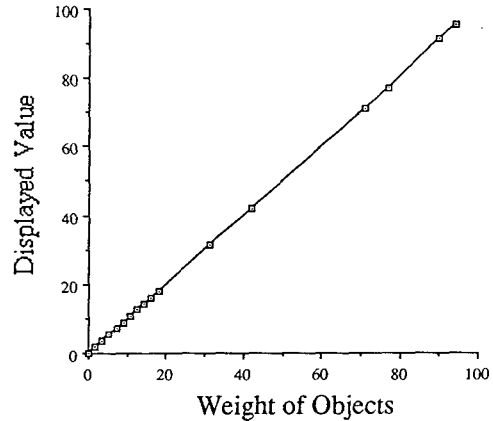


그림 3. 물체의 무게와 디스플레이된 값과의 관계
Figure 3. Relationship between the Weight of the Object and the Displayed Value

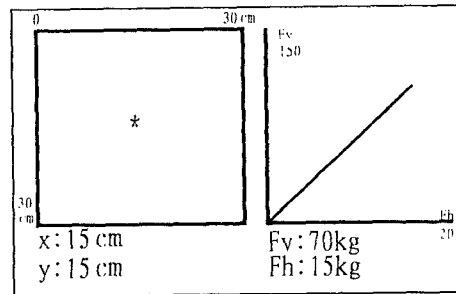


그림 4. 측정치의 컴퓨터 디스플레이
Figure 4. Computer Display of the Measured Output

사람이 반력측정반의 위로 올라가서 움직이고 있을 때 개인용 컴퓨터의 모니터에는 그림 4과 같이 지면반력의 두방향 성분과 압력중심의 위치를 나타내 준다. 모니터의 왼쪽은 정사각형의 반력측정반의 모습을 나타내고 물체의 움직임에 따른 압력중심의 변화는 별표로 나타나도록 하였다. 또한, 오른쪽의 x축과 y축은 각각 지면반력의 전후방향 성분과 수직방향 성분을 나타내 준다. 즉, 물체가 움직일 때 지면반력을 하나의 2차원 벡터로, 압력중심의 위치를 별표로 실시간 그래픽 디스플레이가 가능함을 보였다.

4. 결론

본 연구에서 제작한 반력측정반은 지면반력의 두 방향 성분과 압력중심의 위치를 실시간 컴퓨터의 모니터에 나타내 줄 수 있었다. 또한, 실제 힘의 크기와 캘리브레이션 후의 최종값 사이에 우수한 선형성을 나타내므로 정확성도 믿을만하다고 생각된다. 그러나, 기능상 아직 보완되어야 할 점도 많다. 예를 들면, 지면반력의 좌우방향 성분도 같이 나타내 주어야 하며 프로그래밍을 개선하여 보다 다양하고 효과적인 디스플레이가 이루어지도록 해야 할 것이다. 윗판을 보다 크게 한다면 보행분석시 유용한 데이터를 얻는데 도움이 될 것이다.

5. 참고문헌

- (1) 운동생체역학(Biomechanics of Human Movement), D.A. Winter 저, 강 곤 역, 건국대학교 출판부, pp. 93-98, 1992
- (2) Control Sensors and Actuators, Clarence W. de Silva, Prentice Hall, pp. 153-173, pp. 199-205, 1990
- (3) 의용계측공학, 의공학 교육연구회 역편, 여문각, pp. 61-74, 1993
- (4) 월간 전자기술, <공업용 로드셀의 사용방법>, 9월호, 1993