

운동량 측정 신발의 개발

김유신[†] · 전창훈* · 김명훈* · 최형식**

Development of the shoes measuring the performance of walking or running

Y.S Kim, C.H Jun, M.H Kim, H.S Choi

Key Words : Shoes Equipped with Electronic Device(전자장비를 갖춘 신발), Piezoelectric Sensor(압전센서), One-Chip Processor(원칩프로세서),

Abstract

This paper aims at the development of shoes measuring the performance of walking or running, which is equipped with electronic devices. In the in-sole of the shoes, a piezoelectric sensor is inserted for measuring the number of steps and the speed of walking. The measured signals are processed by the one-chip micro-processor and related electronic devices. Using the data, the momentum and calories of walking and running are calculated, and the results are transmitted to the displaying system composed of LCD by the RF telecommunication system.

1. 서 론

과학이 발달하고 생활환경이 개선됨에 따라 현대인에게 신발은 이동 수단과 함께 중요한 발의 보호대 역할을 하여 왔다. 또한 보다 편안한 보행을 위해 신발 연구소 및 종합 병원을 중심으로 인간의 보행에 관해 연구를 시작하였다.

유럽 및 미국에서는 1960년대 후반부터 종합병원들을 중심으로 설치된 보행분석 실험실들을 통해 보행 연구가 활발히 진행되어, 보행 특성에 관한 자료들이 활용되고 있다[1][2][3]. 반면에 국내의 경우에는 연구 자료가 매우 빈약한 편이고, 최근 들어 신발 연구소들을 중심으로 한국인의 특성에 맞는 보행연구가 이루어지고

있다. 보행연구란 인간의 보행과정에서 신체의 움직임, 즉 다리의 관절 운동과 보행특성모수 및 지면의 반발력의 변화를 관찰하여 기록하고 생체역학모델을 이용하여 각 관절 부위에 부하되는 힘과 모멘트의 변화를 추정하는 연구이다. 한국인의 보행과정을 운동학적으로 해석하고 운동특성을 파악한 연구가 있었다[4].

본 연구에서는 보행 연구 결과를 바탕으로 보행자의 운동량을 측정하기 위하여 신발의 안창에 삽입하여 보행 횟수를 계수할 수 있는 센서를 개발하고 센서 수신 신호에서 발생하는 노이즈를 처리하는 필터회로의 개발과 소형 one-chip 프로세서를 이용한 보행 계측 전자 장치를 개발하였다. 또한 계산된 칼로리를 RF 통신 모듈을 이용하여 display 장치로 전송하는 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템을 신발에 장착하여 보행성능을 시험하였다.

[†] 한국해양대학교 대학원
E-mail : kimyshin@hanmail.net
TEL : (051)410-4969 FAX : (051)405-4790

* 한국해양대학교 대학원

* 한국신발피혁 연구소

** 한국해양대학교

2. 운동량 계산 알고리즘

2.1 보행 특성의 고찰

인간의 보행은 신체를 지지하고 있는 양쪽의 다리를 교차 시키며 지면과 번갈아 접촉시키면서 일정한 동작을 반복하는 행위이다. 이러한 인간의 보행은 반복적인 보행 주기를 갖는다. 보행 주기는 임의의 한쪽 발의 뒤꿈치가 지면에 닿는 순간부터 반대 발의 뒤꿈치가 지면에 닿을 때까지의 시간을 말한다. 양쪽 발이 지면과 접촉하고 있는 상태에 따라서 몇 단계로 구분되는데, 일반적인 인간의 걸음걸이 event 와 각 단계를 Fig. 1 와 Fig. 2 에서 보여 주고 있다[5][6].

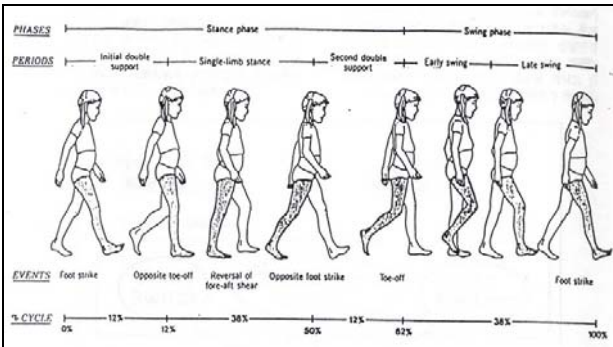


Fig. 1 A typical normal walk cycle showing phase and event of gait

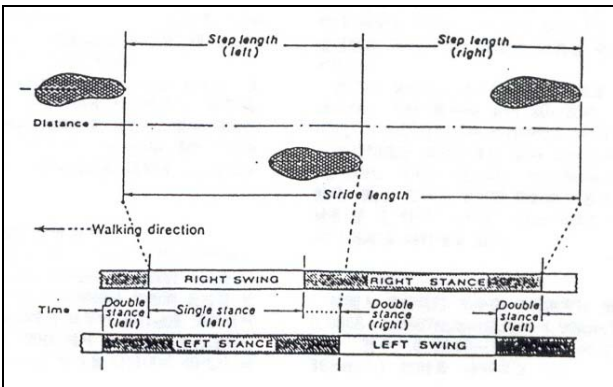


Fig. 2 A typical time-distance factors used in gait analysis

위와 같은 보행특성을 연구함으로써 보행 시 발에 발생하는 충격 부위를 추정할 수 있고, 이를 이용하여 신발 안창에 측정센서를 장착할 수 있는 적절한 위치를 선정할 수 있다.

2.2 운동량 계산 알고리즘

운동 특성은 정지(기립 자세), 걷기(보행), 달리기(주행)등 3 단계로 구분된다. 운동 특성에 따라 총 이동거리를 구할 수 있다. 총 이동 거리는 보

행거리와 주행거리의 합으로 나타내고, 보행 거리는 보폭 * 걸음수로 나타낸다. 보폭은 개인에 따라 다르지만 개략적인 방법으로 개인의 신장에서 100 을 뺀 값을 보폭으로 한다. 주행 거리의 경우 보행특성에 따른 보폭 수정계수 값인 1.8 을 곱하여 나타낸다. 주행거리는 보폭*걸음 수*1.8 이다. 본 연구에서 보폭은 개개인이 자신의 보폭을 입력하는 구조로 되어 있다.

소모된 칼로리를 계산하기 위하여 운동 특성과 운동시간, 사용자의 체중으로 나타낸다. 운동하는 바닥 면에 따라 에너지 소모량이 다른데, 이의 특징치를 Table 1 에 나타내었다. 운동 특성에 따른 에너지 소비량을 기초로 하여 식을 유도한다. 소모 칼로리를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{소모칼로리(kcal)} = \text{에너지 소비량(kcal/min}\cdot\text{kg)} \cdot \text{운동 시간(min)} \cdot \text{체중(kg)} \quad (1)$$

식(1)을 이용하여 체중이 다른 사람들이 평면 아스팔트 위를 시간당 약 5Km 의 평균속도로 걷기 운동을 했을 때 여러 체중에 대하여 운동량(에너지 소비량)을 구할 수 있다. 이를 계산하여 Table 2 에 나타내었다.

Table 1 the amount of energy consumption

활동		$Kcal \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$
Walking, normal pace	Asphalt road	0.080
	Fields and hillsiders	0.082
	Grass track	0.081
Running, horizontal	9min/mile	0.193
	8min/mile	0.208

Table 2 Energy consumption on Asphalt road

단위: kcal

	50kg	60kg	70kg	80kg	90kg	100kg
1min	4	4.8	5.6	6.4	7.2	8.0
2min	8	9.6	11.2	12.8	14.4	16
3min	12	14.4	16.8	19.2	21.6	24
30min	120	144	168	192	216	240

위의 운동량 알고리즘은 보행이나 러닝 시에 신발 안창에 설치된 센서를 통해 보행/러닝의 횟수 및 속도를 측정 후 운동량 계산에 활용 할 수 있다.

3. 보행 측정 시스템

본 연구에서는 보행이나 러닝 시에 보행거리 및 주행거리를 측정하고 소비 에너지를 계산할 수 있는 운동량 측정 모듈을 다음과 같이 개발 하였다.

3.1 보행 측정 시스템의 구성

보행 측정 시스템을 Fig. 3 과 같이 압전센서, 센서신호의 필터, 계측한 신호의 연산을 하는 마이크로 프로세서, 송·수신 장치 및 display 장치로 구성된다. 이들을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

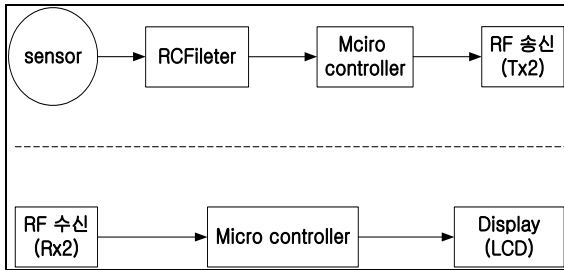


Fig. 3 Diagram of Momentum measurement System

▪ 압전센서

Fig. 4 는 본 실험에서 사용된 압전센서이다. 압전센서는 압력을 가할 때 전압을 발생하는 장치이다. 신발 안창에 압전센서를 설치한 신발을 신고 착지 시 전압을 측정하였을 때 99V 이상의 높은 전압이 발생하였다.

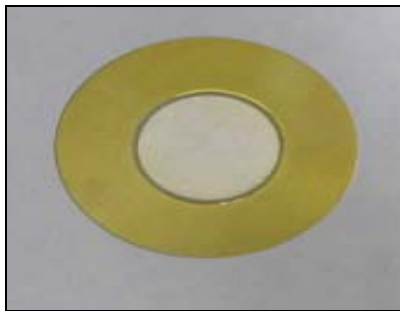


Fig. 4 Piezoelectric Sensor

▪ 볼 테지 플로워 및 비교 회로

피에조 센서에서 출력 전압은 너무 높으나 전류가 약하고 노이즈가 많아서 노이즈 제거와 5Volt의 디지털 신호로 변환하기 위한 볼 테이지 플로워와 비교회로를 제작 하였다. 노이즈 제거를 위한 저역 필터를 통과한 전압은 볼 테이지 플로워(전압 조건만을 받아 그 전압으로 전류를 흘리고 싶다고 할 때 즉 버퍼회로로서 사용하는 회로)를 통과 한다. 비교기에서 입력 받은 전압 값을 비교

하여 압전센서의 값을 입력 받을 때 마다 펄스신호를 만들어 낸다. 그리고 트랜지스터와 슈미터 트리거를 거쳐 보다 명확한 펄스신호를 만들어 낸다.

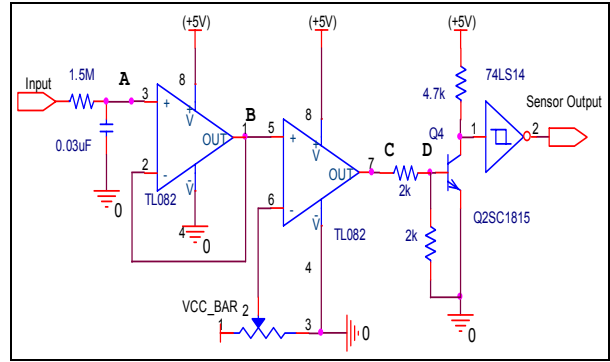


Fig. 5 Voltage Flow and comparaty circuit

▪ 마이크로 컨트롤러

계측한 펄스 신호를 RF 통신하기 위한 프로세서로 넓은 작동 전압 범위(2.0V~ 5.5V)와 낮은 전력 소비(5V, 4Mhz 에서 2mA 이하)를 가진 8bit CMOS Flash 메모리를 장착한 PIC16F873 을 사용하였다.

3.2 RF 송·수신 시스템 구성

압전센서에서 획득한 data 신호를 통신으로 전달하기 위해 RF 송신 모듈(Tx2)과 RF 수신 모듈(Rx2)로 구성되며 송·수신한 신호를 처리하는 컨트롤러는 PIC16F873 으로 구성된다.

▪ 측정 신호의 송신부

신발 안창에 장착된 압전센서를 통한 신호 검출 회로까지 송신부 보드에 포함 되어 있고, 컨트롤러는 PIC16F873 을 사용하여 검출된 신호를 받아서 RF 송신 모듈(Tx2)로 신호를 내 보내어 준다.

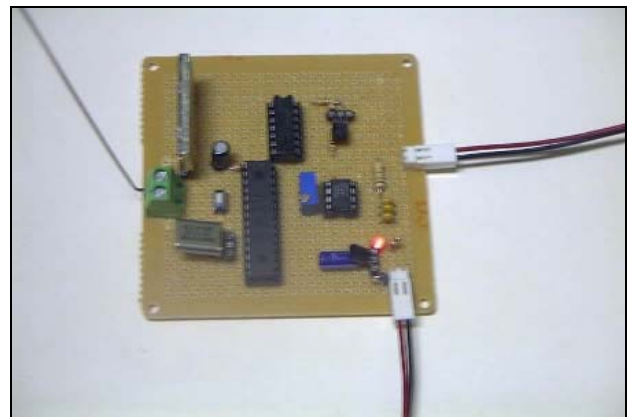


Fig. 6 Transmission part

▪ 측정 신호의 수신부

수신 부분으로써 RF 수신 모듈(Rx2)로 신호를 전송 받아 슈미터 트리거(74LS14)와 NAND(74LS00)를 거쳐서 PIC 16F873 으로 신호를 수신하고, 수신한 신호를 계수한다. 계수한 값에 따라 보행 거리 및 보행 속도를 이용하여 운동량 및 칼로리 소모 알고리즘을 계산하여 LCD 에 display 한다.

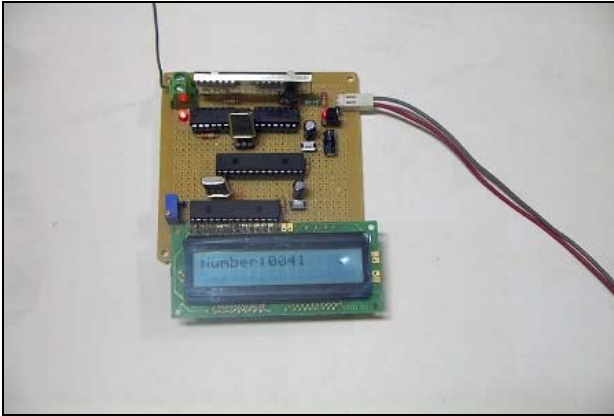


Fig. 7 Reception part

4. 보행 실험

3 장과 같이 압전센서, 필터 회로, 마이크로 프로세서 및 송·수신 장치를 개발하여 신발에 적용한 운동량 측정 신발의 사진은 Fig. 8 과 같다.

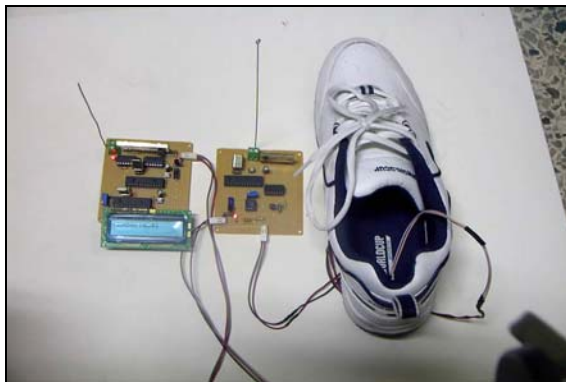


Fig. 8 Model of the experiment device System

이 신발을 신고 다음과 같은 성능 시험을 수행하였다.

4.1 압전센서를 이용한 실험

신발 안창에 압전센서를 설치한 신발을 신고 착지 시 전압을 측정 하였을 경우 전압이 높게 나와 Fig. 9 와 같이 콘덴서를 병렬로 첨가하여 Output1 과 Output2 의 전압 측정과 노이즈 제거를

위해 사용할 주파수 영역을 찾는 실험을 하였다. Fig. 10 의 두 개의 그래프에서 위의 그래프 선은 저항의 크기 증가와 콘덴서 용량을 증가 시켜 Output1 에서 나온 전압 값이다. 이 전압은 Operational Amplifier(Op Amp)의 입력 전압을 맞추기 위해 99V 이상의 압전센서 출력 전압이 10V 이하 전압으로 낮춘 것이다. 그리고 아래 그래프의 선은 콘덴서 용량을 증가 시키고 볼 테이지 플로우를 통과한 5V 이하의 전압을 Output2 에서 측정하였다. 채터링 및 노이즈를 줄이기 위해 실험적으로 다음과 같은 차단 주파수를 갖는 대역폭을 갖도록 저항과 콘덴서를 선정하여 제작하였다. 이를 계산 하면 다음과 같다.

$$f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi * 1.5M * 0.03\mu F} = 3.54Hz$$

인 저역 필터를 사용하였다.

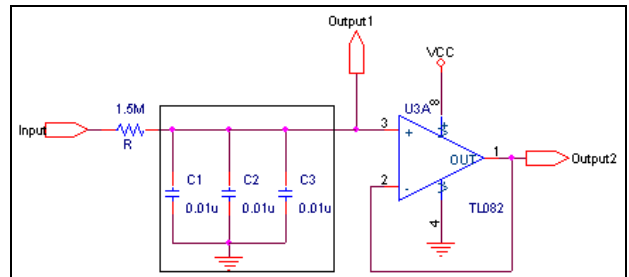


Fig. 9 Lowpass filter and Voltage Flow

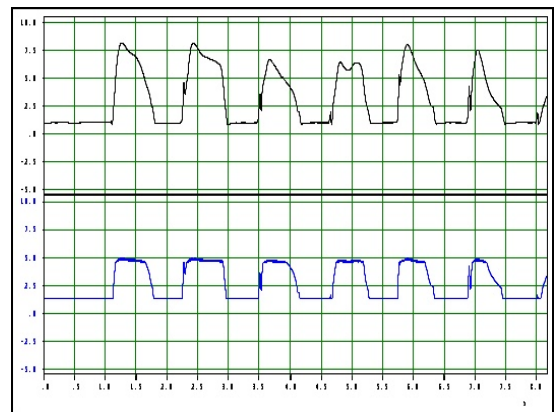


Fig. 10 Result of the piezoelectric sensor test

4.2 보행 실험 결과

Fig. 8 는 본 연구에서 직접 제작된 실험장치 시스템을 보인 것이며, 이 신발을 신고 보행 시험을 한 후 위해 418MHz 의 RF 통신모듈 Tx2 와 Rx2 사용하여 보행 측정한 데이터를 전송하였다. 컨트롤러는 PIC16F873 을 사용하여 데이터 송·수신과 운동량 및 소모된 칼로리 알고리즘을 계산하여 LCD 에 나타냈다. Table 3 은 60 보의 보행을 수행

한 후 display 장치에 계측된 결과를 표로 나타낸 것이다.

체중이 60kg, 평균 속도가 5km/h, 평균 보폭이 60cm인 사람이 포장도로를 1s에 1보씩 걸어서 60초 간격으로 5분 동안 걸어 다녔다. 식(1)의 운동량 알고리즘을 프로그램화 하여 매 분 walking 할 때 마다 소모 칼로리와 계측 횟수를 LCD장치에 나타냈다. 그러나 Table 3 과 같이 60초 동안 60보를 걸었을 때 계측횟수의 오차로 식(1)에 의해 4.64kcal, 9.36kcal, 14kcal의 값으로 계산되어 Table 2의 알고리즘 계산식으로 구한 값 4.8kcal, 9.6kcal, 14.4kcal와 비교하여 3%내의 오차를 갖는 비교적 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

Table 3 Measurement of 60 walking step

시험 횟수	계측 횟수	보행 오차
1	58	2
2	59	1
3	58	2
4	58	2
5	58	2

5. 결 론

본 연구에서는 보행자의 운동량을 측정하기 위하여 신발의 안창에 삽입하여 보행 횟수를 계수할 수 있는 센서 및 센서 수신 신호에서 발생한 노이즈 처리 및 전압 강하를 갖는 센서 시스템을 개발하였다. 그리고 소형 one-chip 프로세서를 이용한 보행 계측 전자 장치를 개발하였다. 또한 계산된 칼로리를 RF 통신 모듈을 이용하여 display 장치로 전송하는 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템을 신발에 장착하여 보행성능 시험을 한 결과 3%내의 오차를 갖는 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

[1] Adriacchi, T.P. and Strickland, A.B.”Gait analysis as a tool to assess joint kinetics”, in Biomechanics of Normal and pathological Human Articulating Joints, edited by Berme, N.,Engin, A.E. and Coreia dasilva, K.M., Martinus Nijhoff Publishers, pp.83-102, 1985.
 [2] Andriacchi, T.P. et al., “The influence of total knee

replacement with gait analysis”, The Journal of Bone and Surgery, Vol. 64-A, No.9,pp.1328-1345,1982
 [3] Berman, A.T.et al. “Quantitative Gait Analysis after unilateral or bilateral total keen replacement’, The journal of Bone and Joint Surgery. Vol. 69-A, No.9, pp.1340-1345, 1987.
 [4] 李東春 鄭民根 黃圭成, An analysis of gait characteristic parameters for the Korean normal adults, vol.10 No.2 in 1991 15-22
 [5] Webster, J.G., “Gait Analysis ” in Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation Vol. 3, John Wiley & Sons, pp. 1353-1365, 1986.
 [6] Chao, E.Y.S., “Biomechanics of the human gait”, in Frontiers in Biomechanics, edited by Schmid-Schonbein, G.W.et.al., springerVerlag, 1986.