

# 압전센서를 이용한 운동량 측정 시스템의 설계 및 구현

정동훈\* · 장시웅\*

\*동의대학교

## Design and Implementation of a System Measuring Quantity of Motion using Piezoelectric sensor

Dong-Hun Jung\* · Si-Woong Jang\*

\*Dong-Eui University

E-mail : idh1992@nvaer.com, swjang@deu.ac.kr

### 요 약

최근 스마트폰을 이용한 사용자의 운동량 계산 어플리케이션이 많이 출시되고 있다. 이러한 어플리케이션은 스마트폰의 GPS, 가속도 등의 내장 센서들을 이용하여 사용자의 행위를 분석하고, 분석된 내용을 토대로 운동량을 단순 계산해 주는 것들이 많다. 이러한 단순 계산은 사용자의 행동을 지정된 행동으로 인식하여 계산하기 때문에 복잡한 운동을 할 경우 어플리케이션에서 측정하는 칼로리 소모량과 실제 칼로리 소모량 계산과 비교해보면 오차가 많이 나는 경우가 많다. 이러한 오차를 줄이고자 신발에 압전센서와 블루투스 통신을 포함한 모듈을 삽입하여 사용자의 이동거리와 발걸음 수를 정확히 측정하여 사용자의 운동을 인식하고, 측정된 데이터를 이용하여 운동이 끝난 뒤 발걸음 수와 이동거리를 이용하여 사용자의 소모된 칼로리를 정확하게 측정할 수 있는 방법을 제시하였다.

### 키워드

아두이노, 블루투스 통신, 압전센서, 칼로리, 운동량

## I. 서 론

최근 스마트 기기가 보급되면서 걷기를 통한 건강관리를 보조해주는 건강 애플리케이션이 많이 개발되고 있다. 또한, 안드로이드 플랫폼이 탑재된 다양한 형태의 스마트 기기들은 사용자의 위치정보, 센서정보, 교통정보, 기기정보를 이용하여 새로운 형태의 가상센서를 생성하고, 이를 활용하는 서비스 모델까지 제시되고 있다[1]. 이러한 스마트 기기들은 사용자의 정보와 이동반경을 이용하여 운동량을 측정하고 실제 이동거리, 고도, 맥박, 체온 등의 정보를 저장하고 관리한다. 이때, 사용자의 이동거리 측정은 GPS정보를 이용한다. 사용자의 운동량을 측정하는 연구는 센서 네트워크를 기반으로 더 발전되었다. 이렇게 측정된 사용자의 운동량 등의 정보는 서버나 스마트폰, 스마트 기기의 데이터베이스에 저장된다[2]. 하지만 현재 개발되고 있는 운동량 측정 장비들은 대다수가 가속도 센서 및 스마트폰의 GPS를 이용하여 사람의 이동 거리 및 이동시간 등을 측

정하여 운동량을 파악하고 있다. 그러나 가속도 센서를 이용하는 방법은 정확한 측정이 어렵다. 또한 GPS를 이용하여 측정하는 방법은 GPS 자체가 가지고 있는 오차가 있기 때문에 한계가 존재한다[3].

따라서, 본 논문에서는 압전센서와 블루투스 통신을 하는 모듈을 제작하였다. 제작된 모듈을 통하여 사용자의 발걸음 수와 속도에 따른 맞춤형 보폭을 측정된 데이터를 사용자의 스마트폰 어플리케이션에 전송하여 사용자의 칼로리 소모량을 쉽게 알아볼 수 있도록 하였다. 또한 칼로리 소모량을 계산하는 방법도 조금씩 차이가 나는 경우가 있어 이를 비교해 보도록 하겠다.

## II. 운동량 측정 방식 비교

운동량 측정에는 대사당량(METs, Metabolic Equivalents) 가중치를 이용한 방식과, 운동 칼로리 소모량 방식이 있다.

**2.1 METs 방식**

대사당량(METs)이란 신체가 기능하는데 필요한 산소량으로 어떠한 활동을 수행하는데 있어서 안정치(1MET)보다 얼마나 더 힘든가를 나타내주는 지표이다. 본 연구에서는 미국 스포츠 의학회(American College of Sports Medicine)의 Guidelines에 제시된 METs를 사용하였다[4, 5]. 표 1은 신체활동과 속도에 따른 METs값을 나타낸 것이다.

표 1. 신체활동에 따른 대사당량

| 활동 | 속도(S, km/h)    | METs |
|----|----------------|------|
| 대기 | -              | 1.3  |
| 걷기 | 1.0 ≤ S        | 2.0  |
|    | 1.0 < S ≤ 1.5  | 2.8  |
|    | 1.5 < S ≤ 4.0  | 3.5  |
|    | 4.0 < S ≤ 5.0  | 5.0  |
|    | 5.0 < S ≤ 6.4  | 6.0  |
| 뛰기 | 6.4 < S ≤ 7.3  | 8.0  |
|    | 7.3 < S ≤ 8.0  | 10.0 |
|    | 8.0 < S ≤ 9.6  | 13.5 |
|    | 9.6 < S ≤ 11.2 | 16.0 |
|    | 11.2 < S       | 18.0 |

칼로리 소비량은 표 1과 같이 각각의 활동에 따른 속도 대사당량을 수식 (1)의 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$C = METs \times Kg \times Time \quad (1)$$

C는 칼로리 소모량을 의미하며, METs는 대사당량을 말하고, Kg은 운동한 사람의 몸무게를 의미하며, Time은 운동한 시간(분)을 말한다.

**2.2 걸음수 및 몸무게에 따른 운동량 측정 방식**

사용자가 운동을 함에 있어 여러 가지 방식으로 운동을 할 수 있지만, 모든 운동은 걷는 것으로부터 시작된다. 이때, 운동량 소모를 측정하기 위해서는 걸음 수와 이동거리가 필요하다[6]. 걸음 수와 이동거리를 이용한 운동량 측정은 수식 (2)와 같은 계산식을 이용하여 나타낼 수 있다.

$$FC = W(S \div 10000 \times 5.5) \quad (2)$$

수식 (2)에서 FC는 걸음 수에 의한 소모된 칼로리를 의미하며, W는 운동한 사람의 몸무게를, S는 운동하는 동안의 발걸음 수를 의미한다. 또한, 이동거리에 따른 운동량 측정 방법도 존재하는데 이 방법은 수식 (3)을 이용하여 측정이 가능하다.

$$KL = H \times M \quad (3)$$

수식 (3)에서 KL은 이동거리에 따른 소모된 칼

로리를 나타내며, H는 15분을 기준으로 한 운동계수로 표 2와 같다. 그리고 M은 몸무게를 나타낸다.

표 2. 운동계수

| 운동 종류 | 운동 계수 |
|-------|-------|
| 걷기    | 0.9   |
| 속보    | 1.3   |
| 달리기   | 2.0   |

**III. 실험**

본 논문에서는 운동량을 측정하여 비교하기 위해 METs 방식과 걸음수 및 이동거리에 따른 운동량 측정 방식을 사용하여 비교하고자 한다.

**3.1 실험 장비**

실험을 실시하기 위해 제작한 모듈의 모습은 그림 1과 같다.



그림 1. 실험 사용 모듈

그림 1의 모듈은 블루이노라는 보드를 사용하였고, 스마트폰과의 통신은 블루투스 4.0을 이용하여 통신하였다. 또한 압전소자를 이용하여 사용자의 발걸음을 체크하였다. 모듈과 통신하는 스마트폰은 LG전자에서 출시한 안드로이드 기반 스마트폰인 G2(LG-F320K)를 이용하여 실험하였다. 모듈은 사용자의 오른쪽 발뒤꿈치에 삽입하여 실험하였다.

**3.2 스마트폰 어플리케이션 개발**

사용자의 걸음수와 이동거리를 알기 위해 먼저 사용자의 보폭을 측정할 수 있는 어플리케이션을 개발하였다. 이 어플리케이션은 기준 거리를 두고 그 거리를 느리게 걷기, 걸기, 빠르게 걷기, 느리게 뛰기, 뛰기, 빠르게 뛰기의 총 6단계를 각각 3번씩 측정하여 걸음당 시간, 걸음속도, 보폭의 평균값을 저장하여 사용하였으며, 저장된 데이터는 표 3과 같다.

사용자의 걸음수와 이동거리를 모듈로부터 수신하고, 운동시간을 사용자에게 보여주기 위한 어플리케이션을 개발하였다. 개발된 어플리케이션의 화면은 그림 2와 같다.

표 3. 저장된 데이터 값

|       | 걸음종류   | 시간    | 속도    | 보폭        |
|-------|--------|-------|-------|-----------|
| 실험자 A | 느리게 걷기 | 2.7   | 0.456 | 0.61672   |
|       | 보통 걷기  | 1.8   | 0.715 | 0.64351   |
|       | 빠르게 걷기 | 1.421 | 0.941 | 0.669     |
|       | 느리게 뛰기 | 1.227 | 1.173 | 0.720174  |
|       | 보통 뛰기  | 0.675 | 3.141 | 1.06016   |
|       | 빠르게 뛰기 | 0.482 | 4.549 | 1.096436  |
| 실험자 B | 느리게 걷기 | 1.125 | 0.585 | 0.5625    |
|       | 보통 걷기  | 0.692 | 0.773 | 0.6136364 |
|       | 빠르게 걷기 | 0.551 | 1.109 | 0.675     |
|       | 느리게 뛰기 | 0.38  | 2.077 | 0.7105263 |
|       | 보통 뛰기  | 0.361 | 3     | 1.0384616 |
|       | 빠르게 뛰기 | 0.314 | 3.375 | 1.125     |

표 3에서 실험자 A는 몸무게가 70kg인 사람이고, 실험자 B는 몸무게가 55kg인 사람이다. 시간은 모듈이 삽입된 오른쪽 발을 눌렀다 떼 때부터 다음 오른쪽 발이 눌러졌다 떼 때 사이의 시간을 나타내며 초(Second) 단위이다. 속도는 m/s, 보폭은 미터(meter) 단위이다.

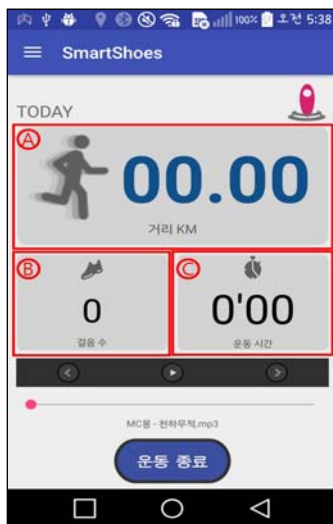


그림 2. 개발된 어플리케이션 화면

그림 2의 왼쪽 그림에서 A는 표 3에서 저장된 값을 이용하여 사용자의 발걸음 시간에 따라 보폭의 값이 달라지고 이동거리로 합산되어 증가한다. B는 모듈에서 올라오는 발걸음 수만큼 증가하여 보여준다. C는 사용자가 운동 시작부터 현재까지 총 운동한 시간을 시:분:초 로 나타내어

준다.

### 3.3 실험 결과

실험은 사용자의 몸무게가 70kg인 성인 남성과, 몸무게가 55kg인 성인 여성을 대상으로 실험하였다.

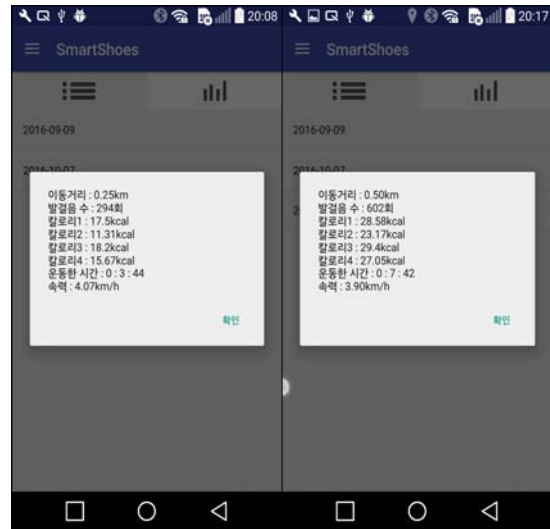


그림 3. 실험자 A 운동 데이터

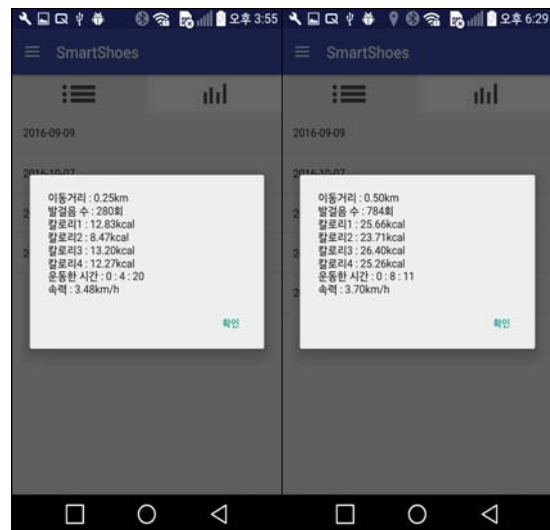


그림 4. 실험자 B 운동 데이터

그림 3과 그림 4는 사용자가 운동을 종료 했을 때 이동거리, 운동시간, 걸음수의 값을 이용하여 칼로리와 평균 속도를 계산한 뒤 저장한다. 저장된 소모 칼로리와 평균 속도, 이동거리, 발걸음 수, 운동한 시간을 일자별로 정리하여 나타내주는 화면이다.

표 4. 칼로리 소모량

|                  | 계산식   | 칼로리 소모량 |       |
|------------------|-------|---------|-------|
|                  |       | 운동 1    | 운동 2  |
| 실<br>험<br>자<br>A | 수식 1  | 17.5    | 28.58 |
|                  | 수식 2  | 11.31   | 23.17 |
|                  | 수식 3  | 18.2    | 29.4  |
|                  | 수식 평균 | 15.67   | 27.05 |
| 실<br>험<br>자<br>B | 수식 1  | 12.83   | 25.66 |
|                  | 수식 2  | 8.47    | 23.71 |
|                  | 수식 3  | 13.20   | 26.4  |
|                  | 수식 평균 | 12.27   | 25.26 |

그림 3, 그림 4에서 칼로리 1은 수식 (1)을 사용하였고, 칼로리 2는 수식 (2), 칼로리 3은 수식 (3), 칼로리 4는 수식 (1)과 수식 (2), 수식(3)의 평균값을 나타낸 것이다. 그림 3과 그림 4의 칼로리 소모량을 표로 나타내면 표 4와 같다. 표 4 에서 운동 1은 이동거리를 약 250m 정도를 운동한 후 칼로리 소모량을 체크한 것이고, 운동 2는 이동거리를 약 500m 정도를 운동한 후 칼로리 소모량을 체크한 것이다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 압전센서를 이용하여 발걸음 수와 이동거리, 보폭을 측정하는 모듈을 개발하여 여러 가지 소모 칼로리 계산법을 이용하여 운동량을 측정하였다. 여러 가지 소모 칼로리를 계산하는 방법이 있는데 가장 정확성이 높다고 생각되는 수식 (1)을 기준으로 비교하였을 경우 사용자의 발걸음 수와 몸무게만 이용한 수식 (2)와 운동계수와 몸무게를 이용한 수식 (3)의 차이가 커 정확성이 떨어지는 결과가 나타난다. 하지만 수식 (1)과 수식 (2), 수식 (3)의 평균치를 수식 (1)과 비교하였을 경우 다른 수식보다 편차가 작은 것을 알 수 있다. 그러므로 걷기와 달리기 등의 일반적인 보행운동에서의 운동량 측정은 수식(1)의 방법인 METs 방식을 사용하는 것이 가장 정확도가 높을 것으로 예상된다.

하지만, 걷기와 달리기 같은 한정된 운동으로만 실험을 하였기 때문에 복잡한 운동을 하였을 경우 운동량을 정확히 측정하기 어려운 문제가 발생한다. 따라서 여러 가지 운동에 따라 추가로 측정할 수 있는 모듈 혹은 어플리케이션을 제작하여 걷기, 달리기뿐만 아니라 복잡한 운동에 대해 보다 개선된 칼로리 소모량 측정 시스템의 설계가 필요하다.

#### Acknowledgement

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지역신

산업선도인력양성사업성과임(No.2016H1D5A1910985)

#### 참고문헌

- [1] 이병문, 스마트 기기를 활용한 보행속력에 따른 맞춤보폭의 적용, 한국콘텐츠학회논문지, Vol.13, p.35 - p.43, 2013년
- [2] 신기수, 정하민, 권순재, 이세한, 김동현, 스마트기기를 이용한 운동량 관리모듈 개발, 한국지능시스템학회, Vol. 25, p.571 - p.577, 2015년
- [3] 구경완, 홍철호, 김동진, 이뿐별, 고경남, 초음파 센서와 개인 휴대기기를 이용한 운동량 측정 장치 개발, 2010.7, p.2185 - p.2186, 2010년
- [4] 이원주, 이호성, 이승룡, 스마트폰 기반 행위인지 기법을 활용한 운동량 측정 및 행동 모니터링 시스템, 한국정보과학회 학술발표논문집, 2013.11, p342 - p.344, 2013년
- [5] 최동운, 송행숙, 김수용, u-운동량 측정 시스템의 개발, 한국엔터테인먼트산업학회논문지, Vol.3(2), p.29 - p.33, 2009년
- [6] 서상현, 압전 센서를 이용한 헬스케어 시스템 설계 및 구현, 동의대학교 학위논문(석사), 2016.2