

<http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.6.303>

JIWIT 2012-6-39

음성과 활동량을 이용한 에너지 소모량 측정기기 개발

Development of energy expenditure measurement device based on voice and body activity

임재중*

Jae Joong Im

요 약 본 연구는 인체의 활동량과 음성 신호를 기반으로 에너지 소모량을 추정하고자 수행하였으며, 3축 가속도 센서와 PVDF(polyvinylidene fluoride) 필름을 이용하여 활동량과 음성 신호를 검출하였다. 인체의 움직임과 음성 신호, 그리고 실제 에너지 소모량 값은 MP-150 시스템과 호흡가스 분석기를 이용하여 수집하였다. 음성신호의 전력 값과 피험자의 체중을 독립 변수로 활용하였을 때 0.918의 R 제곱 값을 보였으며, 활동량 분석에 있어서는 SVM(signal vector magnitude), BMI(body mass index), 키, 그리고 나이를 독립 변수로 활용하였을 때 가장 높은 상관성을 나타냈다. 음성과 활동량을 토대로 하는 에너지 소모량 추정은 활동량만을 이용하여 추정하는 기존의 기기보다 정확한 결과를 제공할 수 있음을 확인하였다.

Abstract Energy expenditure values were estimated based on the voice signals and body activities. Voice signals and body activities were obtained using PVDF contact vibration sensor and 3-axis accelerometer, respectively. Vibration caused by voices, activity signals, and actual energy consumption were acquired using data acquisition system and gas analyzer. With the use of power values from the voice signals and weight as independent variables, R-square of 0.918 appeared to show the highest value. For activity outputs, use of signal vector magnitude, body mass index, height, and age as independent variables revealed to provide the highest correlation with actual energy expenditure. Estimation of energy expenditure based on voice and activity provides more accurate results than based on activity only.

Key Words : Energy expenditure, 3-axis accelerometer, PVDF vibration sensor, Voice, Gas analyzer

1. 서 론

비만은 당뇨병, 고혈압, 이상지질혈증 등 성인병의 원인이 될 수 있으며, 이로 인해 야기될 수 있는 심혈관 및 뇌혈관질환의 유병률과 사망률이 심각한 지경에 이르고 있어 비만은 방치해두어서는 안될 중요한 생활습관병으

로 여겨지고 있다. 또한 질병 예방에 대한 중요성의 인식 및 건강에 대한 관심이 증가함에 따라 자신의 건강을 지키기 위해 운동하는 인구가 점차 증가하고 있다. 이에 따라 평상시 일상생활을 유지하면서 에너지 소모량을 측정하여 비만 등에 대한 건강관리가 가능한 휴대용 기기들이 개발되고 있다^{[1],[2],[3]}.

*정회원, 전북대학교 전자공학과
접수일자 : 2012년 11월 10일, 수정일자 : 2012년 12월 10일
게재확정일자 : 2012년 12월 14일

Received: 10 November 2012 / Received: 10 December 2012 /
Accepted: 14 December 2012 /

*Corresponding Author: jjim@jbnu.ac.kr

Dept. of Electronic Engineering, Chunbuk National University,
Korea

이러한 기기들은 주로 사용자의 움직임에 의한 활동량을 근거로 에너지 소모량을 추정하는 방식이다^{[4],[5],[6]}. 그러나 현재 개발되어 있는 3축 가속도 센서를 주로 이용하는 활동량 측정 기기는 소모 에너지 계산을 단순히 사용자의 몸 움직임에 대해서만 적용한다는 것이다^{[7],[8],[9]}. 또한 각 기기들에서 적용하는 소모 에너지 추정 알고리즘이 통일되어 있지 않아서, 결과 값에 차이가 있다는 단점이 있다^{[10][11]}. 더구나 우리 몸의 에너지는 몸 움직임뿐만 아니라 음성에 의해서도 소모되고 있으며, 예를 들어 노래 한 곡을 부를 경우의 소모 에너지는 100m 달리를 했을 때와 비슷한 에너지가 소모되며, 10분간 전화통화를 할 경우 10분간 산책을 할 때와 비슷한 에너지가 소모된다. 즉, 에너지 소모량의 추정을 위해서는 신체 활동에 따른 에너지 소모량뿐만 아니라 음성에 의해 소모되는 에너지 값도 포함되어야 하는 것이다^{[12],[13]}.

본 연구는 가속도 센서와 진동 센서를 사용해 사용자의 움직임 정보와 음성 정보를 검출하고, 이를 바탕으로 소모 칼로리를 예측하고자 수행하였다. 우선 3축 가속도 센서를 이용하여 활동량을 검출할 수 있는 센싱 모듈을 개발하였고, PVDF(polyvinylidene fluoride) 필름을 이용하는 접촉형 진동 센서를 개발함으로써 음성 신호 발생 시 뼈를 따라 전달되는 진동을 검출하였다. 검출된 활동량 및 음성 신호로부터 에너지 소모량을 산출하기 위하여 호흡가스 분석기를 이용하여 실제 에너지 소모량을 측정하였다. 이렇게 검출된 활동량 및 음성 정보에 대한 데이터와 호흡가스 분석기에서 제공하는 에너지 소모량 값 간의 상관관계를 분석하여 활동 및 음성에 의한 에너지 소모량을 예측 할 수 있는 알고리즘을 수립하고자 하였다.

본 연구를 통하여 개발된 멀티센서기반 에너지 소모량 측정기기는 기존의 활동량만을 이용하여 에너지 소모량을 계산하는 기기의 부족한 점을 보완함으로써 운동량 및 음성에 따른 에너지 소모량을 제공할 수 있는 휴대형 기기로서 개발되어 비만 및 다이어트 관리에 활용될 수 있을 것이다.

II. 방 법

2.1 실험 계획 및 데이터 수집

활동량과 음성 신호를 측정하기 위해 3축 가속도 센서

(AM 3AXIS)와 PVDF 진동 센서, 그리고 센서 출력에 대한 아날로그 필터를 포함하는 센싱 모듈을 제작하였다. 제작된 센싱 모듈은 가슴의 흉골 부위에 접촉시킨 후 밴드를 이용해 고정하여 활동량과 음성 신호를 검출하게 된다(그림 1). 그리고 호흡가스 분석기로부터 활동량과 음성 신호가 발생하였을 경우의 실제 에너지 소모량을 측정하고 이들과의 상관관을 파악하여 에너지 소모량 추정 알고리즘을 수립하였다(그림 2).



그림 1. 센싱 모듈을 가슴에 착용한 상태.

Fig 1. Attachment of sensing module on the chest.

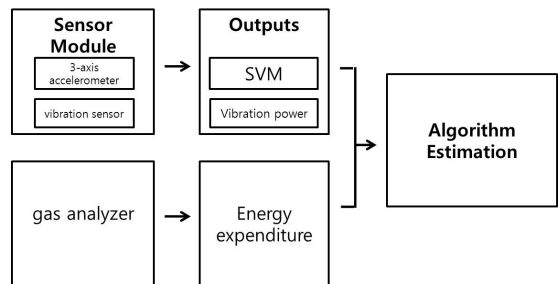


그림 2. 전체적인 실험설계 모식도.

Fig 2. Overall experimental design.

데이터 수집을 위해 만 19~29세 중 선천성 또는 만성 질환이 없고, 체질량 지수(BMI)가 정상 범위에 해당하는 건강한 남성 4명, 여성 4명을 선정하였다. 피험자 8명 모두 실험에 임하기 전에 실험 방법, 주의사항 등의 실험 내용에 대해 충분히 숙지를 한 후 실험에 임하였다.

데이터 수집은 호흡가스 분석기와 본 연구를 통해 개발된 활동량 및 음성신호 검출 모듈을 이용하여 수행하였다. 개발된 모듈을 통한 활동량 및 음성신호의 수집을 위해서 MP-150(BIOPAC, USA)을 사용하였으며 각 출력 값들은 500Hz로 샘플링 하여 수집하였다. 그리고 활동량과 음성 신호 발생 시 호흡가스 분석기(Vmax Encore29)를 이용해 에너지 소모량 데이터를 수집하였다.

2.1.1 안정 시 기초대사량

검사 전 4시간 동안 공복을 유지하였고, 기초대사량을 측정하는 10~15분 정도의 시간 동안 몸의 활동을 제한하여 안정 시 기초대사량을 검출하였다.

2.1.2 음성 신호

호흡가스 분석기의 VO₂ 와 VCO₂ 가 정상인 상태에서 책 읽기, 대화하기, 노래하기의 세 조건을 각각 2분간 실시한 후 2분 이상 휴식을 취하여 호흡교환율 등이 정상으로 돌아오면 다시 2분간 진행하였고 이를 총 3회 반복하여 수집하였다.

2.1.3 활동량 신호

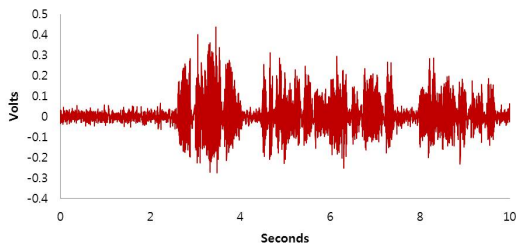
트레드밀을 이용하여 걷기(1km, 3km, 5km)와 뛰기(7km, 9km) 상황에서 매 속도마다 워밍업(1분), 측정(4분), 쿨다운(1분), 휴식(3분)으로 실험을 구성하였으며 실제 분석에는 3분 측정 데이터 중 중간 1분 데이터만을 사용하였다. 측정 시에는 호흡가스분석기의 VO₂와 VCO₂ 가 정상인 상태에서 각 단계별 실험을 진행하였다.

2.2 Data Analysis

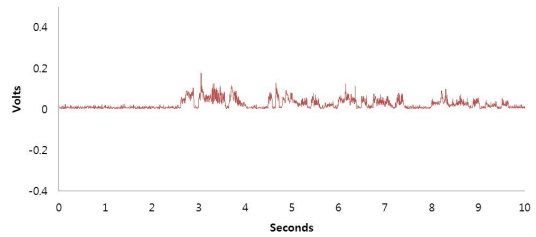
2.2.1 음성 신호 분석

진동 센서로부터 검출된 신호에 포함되어 있는 심장 박동 신호의 제거를 위해 유한 임펄스 응답(FIR, finite impulse response) 필터를 사용하여 차단주파수 120Hz의 고역 통과 필터를 적용하였고, 필터링 된 신호에 정류 및 평활화 과정을 거친 후 전력 값을 계산하여 음성 신호의 변수로 활용하였다.

그림 3(a)는 책 읽기 시 진동 센서로부터 검출된 원 데이터이고, 신호 처리 과정을 거친 신호가 그림 3(b)에 나타나있다.



(a) 책 읽기에 대한 음성 원 신호.
(a) Raw voice signal during reading book



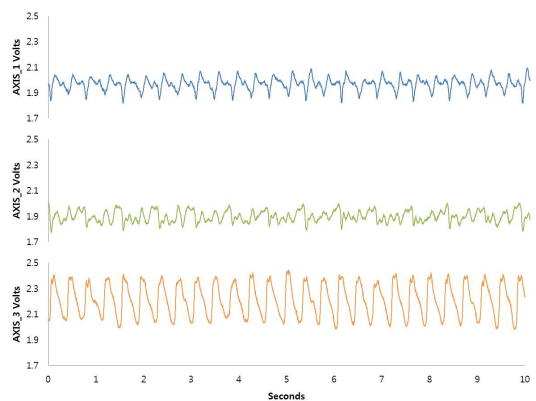
(b) 필터, 정류, 평활화를 거친 음성 신호.
(b) Voice signal after filtering, rectification, and smoothing

그림 3. PVDF 진동센서로부터 검출된 음성 신호.
Fig 3. Voice signal from PVDF vibration sensor.

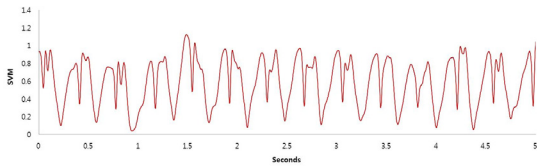
2.2.2 활동량 신호 분석

가속도 센서로부터 측정된 x, y, z축의 활동량 정보를 이용하여 출력 전압 값을 가속도 값으로 변환하였다. 가속도 센서의 출력 전압으로부터 오프셋을 제거한 후 감도 6.0g를 적용하여 가속도 값으로 변환하였다. 변환된 가속도 정보에 FIR필터를 사용하여 차단주파수 50Hz의 저역 통과 필터를 적용하였다. 필터링 된 신호를 평활화한 후 가속도의 벡터 크기의 합을 구하여 호흡가스분석기 결과와의 비교에 사용하기 위한 SVM(signal vector magnitude) 값을 계산하였다. SVM은 3축 가속도센서에서 얻어진 x, y, z축 각 방향에 대한 벡터 성분을 하나의 크기로 표현한 값이며, $SVM = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ 로 계산된다.

그림 4(a)는 트레드밀에서 7km/h로 뛸 때 가속도 센서로부터 획득한 원 데이터이고 이에 대한 신호처리과정을 거친 신호가 그림 4(b)에 나타나있다.



(a) x, y, z 방향 움직임에 대한 원 신호
(a) Raw signal (x, y, z-direction activities)



(b) 몸 움직임에 대한 SVM 신호
(b) Signal vector magnitude for body activities

그림 4. 7km/h의 속도로 뛰는 동안의 몸 움직임에 대한 신호.
Fig 4. Activity signals under submarine exercise with 7km/h of running.

III. 결 과

3.1 안정 시 기초대사량

안정 시 대사량 측정을 통해 피험자들의 기초대사량을 파악하였다. 기초대사량은 개인의 신진대사율이나 근육량 등 신체적인 요소에 따라 차이가 있으므로, 본 연구에서는 피험자의 신체 조건을 최대한 비슷한 수준으로 선정하였으며, 피험자 8명의 안정 시 대사량은 $1,248 \pm 118.4$ kcal로 유사한 범위 내에 있음을 확인하였다.

3.2 음성 신호

그림 5는 책을 읽는 동안 호흡가스분석기로부터의 소모 에너지 값과 PVDF 진동센서로부터의 음성 신호 전력 값을 8명의 피험자 각각에 대하여 비교한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 각 피험자에 있어서 실제 에너지 소모량 값과 음성 신호에 의한 변수 값의 변화 추세가 유사하게 나타남을 알 수 있다. 표 1은 각 피험자에 대하여 1일 기

준으로 산출된 안정 시 대사량, 대사율, 소모에너지와 음성 신호의 분당 전력 값을 요약 한 것으로서, 소모에너지는 안정 시 대사량에서 책을 읽을 때의 대사량을 뺀 값으로 계산되었다.

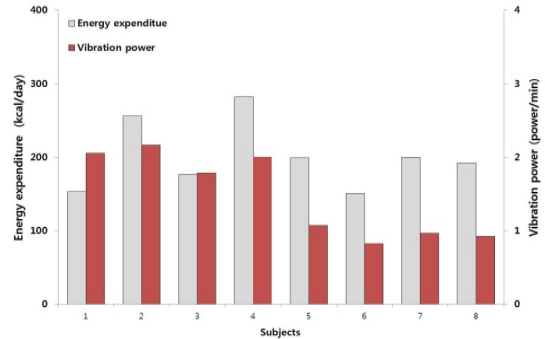


그림 5. 에너지 소모량과 책 읽는 동안의 음성신호 전력 값의 비교.
Fig 5. Comparison between energy expenditure and power of vibration sensor by reading book.

우선 각 조건에서 음성 신호 전력 값과 호흡가스 분석기로부터의 에너지 소모량 값의 상관관계에 대한 선형 회귀식을 유도하였다. 그러나, 이는 피험자의 신체 조건을 고려하지 않은 결과이므로 독립변수로서 음성 발생 시 진동 센서 전력, BMI(body mass index), 그리고 나이를 포함하여 최종적인 선형 회귀식을 유도하였으며, 높은 상관관계를 보이는 것을 확인하였다. 또한, 남자와 여자 피험자를 분리하여 분석하였을 때 보다 높은 상관성을 보였으므로 남녀 각각에 대한 다중회귀방정식을 수립하였고, 그 결과가 표 2에 요약되어 있다.

표 1. 음성신호 변수와 실제 에너지 소모량 값의 요약

Table 1. Summary of voice signal parameters and actual energy expenditure

Classification					
Voice	Subjects	Resting Energy Expenditure (kcal/day)	Metabolic Rate (kcal/day)	Energy Expenditure (kcal/day)	Power of Vibration Sensor (power/min)
Reading Book	1	1,356	1,509	153	2.0533
	2	1,185	1,441	256	2.1645
	3	1,159	1,336	177	1.7815
	4	1,473	1,755	282	2.0032
	5	1,197	1,396	199	1.0674
	6	1,110	1,261	151	0.8222
	7	1,225	1,425	200	0.9639
	8	1,282	1,474	192	0.9215

표 2. 음성에 의한 에너지 소모량 추정을 위한 다중 회귀방정식

Table 2. Multiple regression equation for estimation of energy expenditure by voice

Gender	Regression equation
Male	Energy expenditure(kcal) = -121.981 + (99.191×Vibration power) + (-19.666×BMI) + (23.507×Age)
Female	Energy expenditure(kcal) = -155.529 + (317.844×Vibration power) + (-5.462×BMI) + (7.202×Age)

남자와 여자를 분리하여 분석했을 때 보다 유의성 높은 결과를 보이는 것은 남자와 여자 사이에 발성을 이루는 생리적인 구조가 다르기 때문인 것으로 판단되며, BMI의 차이도 상관계수의 결정에 큰 영향을 미치고 있음이 확인되었다.

3.3 활동량 신호

각 피험자마다 5단계의(1km, 3km, 5km, 7km, 9km) 속도에 대한 결과값을 도출하였으며, 속도가 증가함에 따라 가속도 센서의 SVM 값과 에너지 소모량이 증가하였고 모든 피험자에게서 비슷한 추이가 나타남을 확인하였다(그림 6).

표 3은 각 피험자가 5단계의 속도로 걷거나 뛸 때의 소모에너지와 가속도센서로부터 계산된 SVM 값을 요약한 것이다. 표에서 볼 수 있듯이 각 피험자마다의 에너지 소모량에는 차이가 나타나고 있지만, 속도가 증가함에 따라 호흡가스분석기로부터의 에너지 소모량뿐만 아니라 가속도센서의 변수 값도 증가하고 있음을 알 수 있다.

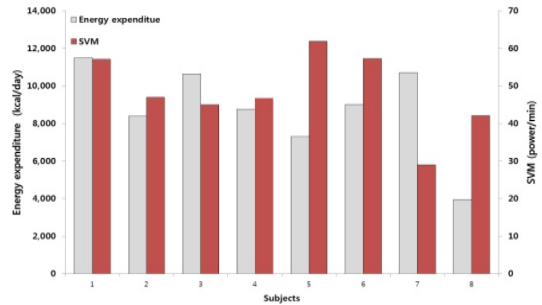


그림 6. 7km/h 속도로 뛸 때의 에너지 소모량과 SVM 값의 비교.

Fig 6. Comparison between energy expenditure and SVM by 7km/h.

활동량 발생 시의 소모에너지를 계산하기 위한 독립 변수로서 가속도 센서의 SVM, BMI, 키, 나이를 이용하였을 때 높은 상관 관계를 보이는 것을 확인하였으며, 음성신호의 분석에서와 마찬가지로 남자와 여자를 분리하여 소모 에너지 추정을 위한 다중회귀 방정식을 수립하였으며, 표 4에 요약되어 있다.

표 3. SVM 값과 실제 에너지 소모량 값의 요약

Table 3. Summary of actual energy expenditure and SVM value

Subject	Classification	Treadmill Velocity (km/h)				
		1km/h	3km/h	5km/h	7km/h	9km/h
1	Energy Expenditure (kcal/day)	1,545	2,737	3,562	11,491	13,563
	Acceleration Sensor (SVM/min)	4.41	8.83	16.82	57.07	71.75
2	Energy Expenditure	936	2,838	3,071	8,381	11,019
	Acceleration Sensor	5.01	10.60	17.92	46.95	56.33
3	Energy Expenditure	2,149	3,482	5,150	10,636	14,153
	Acceleration Sensor	3.98	11.61	16.86	44.98	67.68
4	Energy Expenditure	900	2,098	3,426	8,772	11,190
	Acceleration Sensor	4.51	8.890	14.38	46.80	67.47
5	Energy Expenditure	614	1,153	2,433	7,299	10,127
	Acceleration Sensor	2.53	7.42	16.56	61.86	72.91
6	Energy Expenditure	2,273	2,853	4,963	9,025	14,189
	Acceleration Sensor	6.85	10.71	19.74	57.30	67.36
7	Energy Expenditure	2,125	3,411	5,100	10,717	11,985
	Acceleration Sensor	4.19	5.04	7.81	29.02	32.48
8	Energy Expenditure	457	1,449	2,423	3,945	7,169
	Acceleration Sensor	5.18	9.37	14.38	42.07	57.70

표 4. 활동량에 의한 에너지 소모량 추정을 위한 다중 회귀방정식

Table 4. Multiple regression equation for estimation of energy expenditure by body activity

Gender	Regression
Male	Energy Expenditure(kcal) = $-139,682 + (178.924 \times \text{Acceleration Sensor SVM}) + (1,138.189 \times \text{BMI}) + (809.579 \times \text{Height}) + (-997.396 \times \text{Age})$
Female	Energy Expenditure(kcal) = $-373,306 + (151.437 \times \text{Acceleration Sensor SVM}) + (2,145.982 \times \text{BMI}) + (925.463 \times \text{Height}) + (8,107.946 \times \text{Age})$

IV. 결 론

본 연구에서는 3축 가속도 센서와 PVDF 진동 센서를 이용한 멀티센서기반 에너지 소모량 측정기기를 개발하였다. 개발된 기기를 이용하여 가속도 센서로부터 인체의 움직임에 의한 활동량 정보와 진동 센서로부터 음성 에 의해 발생하는 진동을 획득하여, 이를 분석한 후 호흡 가스 분석기의 결과와 상관관계를 비교함으로써 에너지 소모량 추정 알고리즘을 수립하였다.

음성에 의한 소모 에너지 추정에 있어 남자와 여자를 독립적으로 분석하였고 소모 에너지와의 상관관계를 비교함에 있어 진동 센서의 전력만을 이용한 것 보다 BMI, 몸무게, 키, 나이 등을 고려하여 분석한 결과 가장 밀접한 상관 관계를 얻을 수 있었다. 또한 활동에 의한 소모 에너지 추정에 있어서도 남자와 여자를 구분하여 분석하였고 가속도 센서의 SVM, BMI, 키, 나이를 고려하여 분석한 결과 가장 높은 상관 관계와 통계적으로 유의한 결과를 얻을 수 있었다. 최종적으로 활동량 및 음성신호를 바탕으로 에너지 소모량을 추정하는 알고리즘을 수립함으로써 기존의 활동량만을 이용하여 에너지 소모량을 계산하는 기기의 부족한 점을 보완하고자 하였다.

본 연구를 통하여 개발된 활동량 및 음성신호에 기반 하는 에너지 소모량 측정기기는 병원에서만 사용할 수 있는 호흡가스 분석기를 대체할 수 있으며, 기존의 휴대형 에너지 소모량 추정 기기보다 정확한 에너지 소모량을 제공할 수 있는 기기로서 비만 및 다이어트 등의 관리에 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] D.P. Heil, "Predicting activity energy expenditure using the Actical activity monitor", Research

Quarterly for Exercise and Sport, Vol. 77, pp. 60-80, 2006.

[2] S.S. Edward, F. George, H. James, S. Yves, B. Raymond, "Monitoring of Posture Allocations and Activities by a Shoe-Based Wearable Sensor", IEEE Trans. Biomed., Vol. 58, no. 4, pp. 983-990, 2011.

[3] P. Juha, E. Miikka, K. Panu, M. Jani, K. Johannes, "Activity Classification Using Realistic Data From Wearable Sensors", IEEE Trans. Biomed., Vol. 10, no. 1, pp. 119-128, 2006.

[4] C.V.C. Bouten, K.T.M. Koekkoek, M. Verduin, R. Kodde, J.D. Janssen, "A Triaxial Accelerometer and Portable Data Processing Unit for the Assessment of Daily Physical Activity", IEEE Trans. Biomed., Vol. 44, no. 3, pp. 136-147, 1997.

[5] S.E. Crouter, J.R. Churilla, D.R. Bassett, "Estimating energy expenditure using accelerometers", Springer-Verlag, Vol. 98, pp. 601-612, 2006.

[6] S.E. Crouter, K.G. Clowers, D.R. Bassett, "A novel method for using accelerometer data to predict energy expenditure", Journal of Applied Physiology, Vol. 100, pp. 1324-1331, 2006.

[7] D.U. Jeong, W.Y. Chung, "Posture and activity monitoring using a 3-axis accelerometer", Journal of the Korean Sensors Society, Vol. 16, no. 6, pp. 467-474, 2007.

[8] Y.M. Song, H.J. Ku, M.C. Lee, S.B. Lee, "Method of Estimation of Physical Activity and Energy Expenditure", International Journal of Coaching Science, Vol. 7, no. 3, pp. 159-168, 2005.

[9] S.W. Su, L. Wang, B.G. Celler, E. Ambikairajah,

- A.V. Savkin, "Estimation of walking Energy expenditure by using support vector regression", Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 3526-3529, 2005.
- [10] Y.K. Kim, H.S. Lho, W.D. Cho, "Step Count Detection Algorithm and Activity Monitoring System Using a Accelerometer", The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 48, no. 2, pp. 127-137, 2011.
- [11] Y.H. Noh, S.Y. Ye, D.U. Jeong, "System Implementation and Algorithm Development for Classification of the Activity State Using 3Axial Accelerometer", Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 24, no. 1, pp. 81-88, 2011.
- [12] H.S. Kim, "21C Sports Nutrition", Kyomunsa, 2001.
- [13] B.H. Kang, "Well-being Diet Diary", Beautiful community, 2005.

저자 소개

임 재 중(정회원)



- 1983년 : 건국대학교 전자공학과 (학사)
- 1988년 : Texas A&M대학교 의용공학과 (석사)
- 1991년 : Texas A&M대학교 의공학과 (박사)
- 1992년 - 1998년 : 인제대학교 의용공학과 조교수

• 1998년 - 현재 : 전북대학교 전자공학부 교수
<관심분야 : 생체계측, 신호처리, 의료기기>
• e-mail : jjim@jbnu.ac.kr