



## A Prediction Algorithm Using a Combined Heart Rate and Movement Index to Estimate the Energy Expenditure of Anaerobic Exercises

Kyeung-Ho Kang\*

*Department of IT Fusion Technology Research Center, Chosun University*

### ABSTRACT

In recent times, as healthcare is perceived as important, exact information on the proper amount of exercise is necessary. Therefore, if an algorithm can predict real-time energy expenditure and is used in portable equipment, it can help athletes, the general public, and patients create individualized exercise plans. Physical activities must be evaluated to accurately predict energy expenditure. This study propose a new energy expenditure prediction algorithm (EEPA) of combining the heart rate and movement index and applying them simultaneously to several anaerobic exercises to address the disadvantages of preceding energy expenditure prediction studies. A total of 53 subjects (43 males and 10 females) were recruited for this study. The participants used a wireless patch-type sensor (AIRBEAT System) and a wireless gas analyzer (K4b2: Cosmed, Srl, Italy). AIRBEAT System consists of a sensor board, rubber board, and communication module. The sensor is patched onto the participant's chest to obtain physical activity data, including heart rate, movement index, humidity, and temperature. The system was only applied to measurement of heart rate and movement index, and application of energy expenditure prediction algorithm has been limited so far. The relation test for energy expenditure prediction algorithm proposed in this study yields an error rate within  $\pm 5\%$  compared with the gas analyzer (K4b2: Cosmed, Srl, Italy) and proves to be more accurate algorithm to estimate physical activity EE. The algorithm developed for energy expenditure prediction is applied not only to anaerobic exercise but also to evey exercise. It is expected that the algorithm developed for estimating energy expenditure will present new application areas for portable heart-rate measurement equipment, such as the AIRBEAT system, and wireless healthcare monitoring devices.

© 20XX KKITS All rights reserved

**KEYWORDS:** Energy expenditure, exercise tests; heart rate, movement sensors, energy estimations algorithms, AIRBEAT system

**ARTICLE INFO:** Received 23 March 2015, Revised 10 April 2015, Accepted 10 April 2015.

\*Corresponding author is with the Department of IT Fusion Technology Research Center, Chosun University,

309 Pilmun-daero, Dong-gu Gwang-ju, 501-759, KOREA.  
E-mail address: kangkh@chosun.kr

## 1. 서론

전 세계적으로 경제 및 기술 발전에 의한 삶의 질이 높아지면서 개인 건강에 대한 관심이 고조되고 있다. 그러나, 경제적인 풍요와 헬스 케어 시스템의 향상에도 불구하고 대사 장애를 비롯한 고혈압, 당뇨, 비만, 심장병과 같은 고질병으로부터 고통 받고 있는 비율이 급속히 증가하였다[1,2].

이러한 고질병들의 가장 중요한 원인은 신체활동과 운동 부족으로 인한 에너지 불균형에서 비롯된다. 에너지 불균형은 개인의 에너지 소비, 칼로리 섭취와 밀접한 관련이 있다. 심박수와 운동 지수는 신체활동을 측정하기 위해 사용된다. 따라서, 심박수와 운동지수 그리고 에너지 소비에 대한 정확한 평가와 이들 상호간의 연관성을 분석하는 것이 필요하다[3,4].

최근 건강에 대한 기대가 높아지면서 고질병 예방을 위한 에너지 소모량 측정 Wireless healthcare monitoring Device, Ubiquitous healthcare system이 개발 되고[5,6], 에너지 소모를 예측하는 알고리즘이 연구되고 있다[7-13].

가속도 동작감지기를 이용한 선행연구는 에너지 소모를 예측하는 Freedson(1998), Swartz(2000), Courter(2006)[14-16]의 알고리즘에 사용되어 각 가속도를 이용하여 Walking 과 Running 조건에 대한 에너지 소비를 예측하지만, Fitness club에서 수행되는 다양한 무산소운동의 경우 각 가속도 동작감지기로는 에너지 소비를 측정하기 어렵다.

심박수를 이용한 에너지소모 예측 선행 연구는 일상생활 동안의 심박수(90-150b/m)안에 일어나는 운동에 대해서만 선형 관계 (Ceesay et al., 1989; Renneie, Hennings, Mitchell, & Wareham, 2001; Spurr et al., 1988)[17,18]로 예측이 가능하지만, 일상생활 (누워 있음, 앉음, 서있음 등)에서 감정, 자세, 환경적인 조건 (Hebestreit & Bar-Or, 1998)에

의해 심박수가 변화하여 운동과는 상관없이 증가하는 경우 에너지 소비 측정에 사용할 수 없는 단점이 있다[19]. 또한, 모든 사람에게 동일하게 적용하여 신체활동 에너지를 계산하기 때문에 개인별 신체 능력에 따른 정확한 에너지 소비를 측정할 수 없었다.

심박수와 각 가속도 동작감지기를 이용한 에너지 소비 예측 방법의 단점을 보완하기 위하여 심박수와 가속도 동작감지기를 결합한 시스템과 알고리즘이 연구되고 있다[20-22]. 그러나 일부 결합된 시스템은 많은 연구에도 불구하고 일부 특정 운동의 신체활동에서는 정량적으로 가용 데이터를 측정 하지 못하는 단점을 갖고 있어 야외 및 유산소 운동에만 적용되고 있다[23,24].

AIRBEAT 시스템[4]은 에너지 소비량을 추정하기 위하여 결합된 심박수와 운동지수를 이용하였으나 심박수와 운동지수 측정에만 적용 되었으며, 지금까지 에너지소비를 예측할 수 있는 알고리즘 개발이 제한적이었다. 본 연구는 무산소 운동에 대한 에너지 소비 예측 알고리즘 개발을 통하여 AIRBEAT 시스템의 다양한 분야에 적용 가능한 새로운 응용분야를 제시하고자한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 시스템구조에 대해서 살펴본다. 제 3장에서는 실험 및 결과를 논의한다. 제4장에서는 결론을 기술한다.

## 2. 에너지소비 평가를 위한 시스템구조

### 2.1 AIRBEAT 시스템

AIRBEAT 시스템은 심박수와 운동지수의 무선 모니터의 Patch-type sensor module이 내제되어 있다[4,6]. <그림 1>과 같이 이 시스템 모듈은 센서 보드, 러버보드, 그리고 통신모듈로 구성되어 있다.

센서보드는 Li-ion 전지, USB interface connector, Zigbee RF 모듈, ECG acquisition, 마이크로컨트롤, 전압 조정기, 전압변환기, 3축 가속도 동작감지기를 포함한다. 이 센서는 심박수, 운동지수, 습도, 온도 등 신체활동 데이터를 측정하기 위하여 피험자들의 가슴에 부착하였다. 마이크로컨트롤러는 KB 플래시 메모리를 장착한 Texas Instruments MSP 430 chip, 2048 SRAM 메모리, 8MHz 클럭 주파수를 사용하였다. 입력 신호는 signal processing algorithm을 사용하여 심박수, 열 압박, 운동지수를 적절하게 나타냈다.

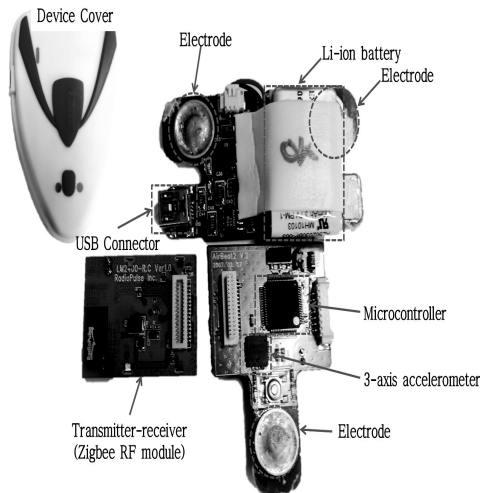


그림 1. 에어비트 디바이스와 3축 가속도 동작감지기, 심전도의 패치 타입 센서 보드  
 Figure 1. ARIBEAT device and Patch-type sensor board with 3-axis accelerometer, ECG

<표 1>과 같이 동시에 400m 이내 거리에 있는 8명까지 실시간으로 멀티 통신이 가능 하다. 측정된 정보는 각각의 센서 모듈에 저장되며 Zigbee 통신 모듈을 통해 중앙컴퓨터로 전송된다. 상업적인 Zigbee 통신 모듈은 데이터 변환에 사용되었다 [4,6].

표 1. AIRBEAT시스템의 설명  
 Table 1. The specification of AIRBEAT system

Items	Performance
Channel	8ch
Resolution	12bit
Sampling Rate	200/s
Frequency B.W.	1Hz-50Hz
Power	LI-ION
Max HR	250/m
HR Detection Error	Below 10%
Power	±3.3V, 3.3V
Comm. Module	ZigBee
Comm. Distance	400m
MCU	MSP430(TI,USA)
Electrode	Jumper setting available
Size	6cm*9cm, 20g

## 2.2 AIRBEAT 시스템 구조도

인체에 부착되어 있는 H/W device는 신체에서 발생하는 심박수(Heart rate)와 인체의 움직임 (Movement Index)에 의해 발생하는 signal을 측정한다. <그림 2>와 같이 측정된 Signal은 Analog로 되어 있어 Airbeat 장치 내에 있는 converter를 이용하여 디지털 signal로 변화 후 데이터를 패킷화한다. 패킷이 완성되면 H/W는 Embedded와 Zigbee통신하여 데이터를 송신한다. Embedded S/W에서 수신된 데이터를 MI algorithm과 HR algorithm을 통해 embedded 화면에 display하도록 설계하였다. 이 시스템은 심박수와 가속도감지기를 동시에 사용하여 감정변화에 의한 오류와 센서의 부착 범위에 따른 사용제한 문제를 개선하였다. AIRBEAT 시스템 알고리즘은 심박수와 운동지수만 측정이 가능하도록 설계되어 상업화가 아닌 연구목적으로 사용되고 있다. 일부 선행 연구에서 이 시스템을 사용하여 에너지 소비 예측 알고리즘을 적용하였으

나 실험 참여 인원과 달리기, 러닝머신 등 운동의 제한으로 인하여 대중적 기반 연구에 사용이 제한적이었다[3,4,6].

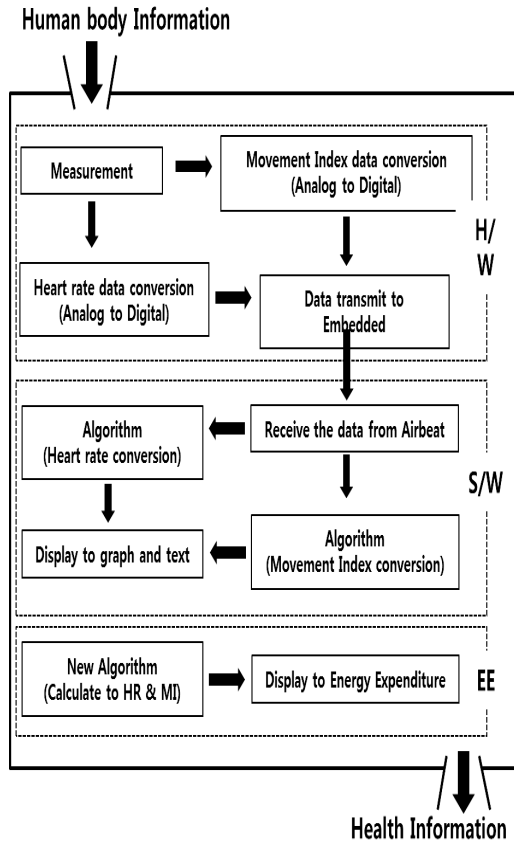


그림 2. 에어비트 시스템 구조도  
Figure 2. Structure of AIRBEAT system

### 3. 실험 및 결과

#### 3.1 실험디자인

실험은 남자의 경우 나이는 26세에서 52세, 신장은 160 cm에서 180 cm, 몸무게 65 kg에서 80 kg 과 여자의 경우 나이는 24세에서 32세, 신장은 150 cm에서 165 cm, 몸무게 45 kg에서 56kg의 신

체적 특성을 갖는 참가자들이 참여 하였다. 모든 참가자들은 실험의 일관성을 위해 식사 후 2시간이 지난 뒤 개인별 정상 심박수를 측정 하고 실험을 실시하였다. 실험 프로그램은 ACSM' Guidelines for Exercise Testing and Prescription (2000)[25]을 참고 하였다. 실험 프로토콜은 <표 2>와 같은 실험프로그램으로 진행되었으며, 조선대학교 IT융합 신기술 연구센터(IFRC-2013-01) 윤리위원회에 의해 승인되었다.

표 2. 운동 프로그램  
Table 2. Training Program for Tests

Progression	Composition	Training Program	Duration	ACSM Guidelines
Warm up	Stretching	Seconds /per stretch	20 Seconds	10-30 seconds and 3-4 times repetition
Aerobic training	Treadmill	1-5min 3km/h 6-15min 4km/h 16-20min 5km/h	20 min	Walking 50-10m/min (3-6km/HR)
Weight training	Butterfly chest press	Chest	12RM for 50 minutes by setting into 1 set of exercises below one hour	8-12RM 8-10 kinds of exercises into 1 set for below one hour
	Shoulder press	Shoulders		
	Long pull	Arms		
	Leg press	Legs		
	Leg extension			
Incline press	Chest			
Endurance training	Cycling	60% VO <sub>2</sub> R	20 min	40/50-80% HRR or VO <sub>2</sub> R 20-60min

RM=Repetition Maximum

HRR=Heart Rate Reserve

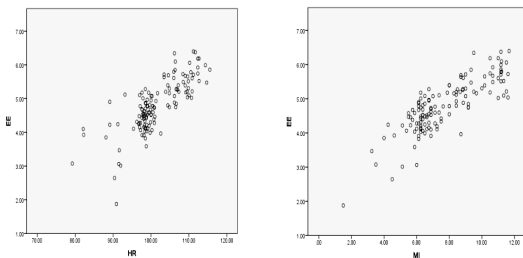
VO<sub>2</sub>R=Maximal Oxygen Consumption Reserve

실험 참가자들은 각 운동에 대한 에너지 소비량 측정을 위해 Wireless Patch-type sensor를 가슴에 부착하였으며 실제 에너지 소비량을 측정하기 위해 산소 섭취량 oxygen consumption(VO<sub>2</sub>), 이산화

탄소 발생률 carbon dioxide(VCO2)를 직접 측정 가능한 휴대용 무선가스분석기 (K4b2: Cosmed, Srl, Italy)을 사용하였다[26]. 모든 데이터 분석을 위하여 SPSS(v20.0) 통계 프로그램[27]을 사용하였다. 유의 수준(significance level)은 유의 확률(P- Value)이 0.05일때 유의하며[28], 평균 오차율은 신뢰 수준(CI: Confidence Level)95%, 표준 오차 ±5에 허용하였다[29].

### 3.2 결 과

10가지 실험 운동에 대한 평균 에너지 소비량과 심박수(HR), 평균 에너지소비량과 운동 지수(MI)의 선형 연관성 척도를 분석 하였다. <그림 3>은 심박수와 에너지소비량, 운동지수와 에너지 소비량이  $0 < p \leq 1$ 로 절대 값 1에 가까워 높은 것임을 보여주며 이 둘의 연관성은 양의 선형 관계를 나타냈다.



(A)Linear correlation of EE-HR (B)Linear correlation of EE-MI

그림 3. 에너지소비와 심박수, 에너지소비와 운동지수의 선형연관성 척도

Figure 3. The measurement of linear correlation of EE-HR(A) and EE-MI(B)

에너지소비량이 운동지수와 심박수에 대한 회귀 계수를 분석하였다. <표 3>과 같이 회귀 계수를 이용한 각 운동 별 유의성 분석결과 에너지 소비량에 대한 운동지수와 심박수는 유의하는 것으로 나타났다.

표 3. 회귀분석 통계결과

Table 3. Statistical Results of Regression Analysis

Activity	HR	MI	HR	P-Values
Treadmill	0.027	0.225	0.308	0.006
Stretching	0.035	0.133	0.020	0.001
Butterfly	0.028	0.214	0.344	0.003
Chest press	0.004	0.980	2.122	0.006
Shoulder press	0.029	0.863	-0.706	0.042
Long pull	0.056	0.774	-4.152	0.000
Leg press	0.029	0.430	0.117	0.010
Leg extension	0.030	0.592	-0.817	0.000
Incline press	0.025	0.493	0.218	0.000
Cycling	0.037	0.240	2.317	0.000

HR = Heart Rate

EE = Energy Expenditure

MI = Movement Index

심박수 및 운동 지수에 대한 에너지 소비 알고리즘은 관계식(1)로 표현 하였다.

$$EE = (A * HR) + (B * MI) + C \quad (1)$$

여기에서 A, B는 운동지수 및 심박수가 한 단위 변함에 따라 에너지소비에 미치는 영향력 크기를 의미한다. <그림 4>와 같이 에너지 소비량을 예측하기 위한 알고리즘으로 pseudo code을 사용하였다. EE는 에너지 소비량을 저장하는 변수이며 begin은 변수를 사용하기 위한 선언 및 초기화이다. I는 1분 동안 Heart rate 값과 Movement Index 값을 누적하기 위한 반복문 변수이며, 1부터 60까지 증가하도록 설정했다. 운동 종목에 관련된 변수는 4개의 종목만 설정하였다. 각 종목을 선택하면 C값이 결정될 수 있으며, 1분 동안 누적된 Heart rate 값과 회귀계수 A값, Movement Index 값과 회귀계수 B값이 계산되고 운동 종목에 따른 C값이 결정되어 EE 변수에 대입함으로써 무산소 운동이

나 모든 운동에 적용될 수 있는 통용적인 에너지 소비량 알고리즘을 구하였다.

```

EE <- 0;
begin
I <- 1;
HR <- HR + I;
MI <- MI + I;
I = I+1;
if I is not 61 goto begin
find item of exercise{
if exercise = treadmill
C <- 0.308;
if exercise = Stretching
C <- 0.020;
if exercise = Butterfly
C <- 0.344;
if exercise = Chest press
C <- 2.122;
else
C <- 0.706;
}
EE <- (A * HR) + (B * MI) + C;
    
```

그림 4. 에너지소비 예측 알고리즘 Pseudo code  
Figure 4. Pseudo code of energy expenditure prediction algorithm

실제 에너지소비량과 본 논문에서 제시한 에너지소비량 예측 알고리즘간의 정확성을 측정하기 위해 검증과정을 수행 하였다. <표 4>와 같이 10가지 운동의 가스 분석기를 이용한 에너지소비량 측정값과 새로운 알고리즘을 이용한 에너지소비량 예측 값은 표준오차가 모든 운동에서 ±5% 이내로 나타났다. 본 논문에서 제시하는 에너지소비량 예측 알고리즘은 실제 실험에서의 에너지 소비량과의 평균 오차율이 낮아 에너지소비량 예측 알고리즘의 정확성이 매우 높은 것을 알 수 있다.

표 4. 10가지 운동의 측정된 에너지소비량과 예측 에너지소비량과의 오차율  
Table 4. Error ratio between measured EE and estimated EE during testing.

Activity	Average of Measured EE (Kcal/min)	Average of Estimated EE (Kcal/min)	Error ratio (%)
Treadmill	10.625	10.610	0.146
Stretching	3.984	3.830	3.872
Butterfly	1.446	1.514	4.712
Chest press	1.186	1.169	1.365
Shoulderpress	1.909	1.829	4.207
Long pull	3.055	3.086	0.991
Leg press	2.020	2.037	0.853
Leg extension	1.446	1.425	1.496
Incline press	1.898	1.895	0.112
Cycling	17.592	17.839	1.405

#### 4. 결 론

최근 건강관리에 대한 관심이 높아짐에 따라 에너지소비에 대한 정확한 분석이 요구 되고 있다. 따라서 HR과 MI측정이 가능한 휴대용 기기들에 실시간 에너지 소비량 측정 및 이를 계산할 수 있는 알고리즘을 이용할 경우 맞춤형 운동 계획을 세우는데 도움을 줄 수 있다. 본 논문에서는 AIRBEAT 시스템을 사용하여 참가자들의 심박수와 운동지수를 통해 10가지 운동 종류에 따른 에너지 소비량을 측정 하였고, 가스 분석기와 AIRBEAT 시스템을 이용한 운동 별 실험 에너지 소비량 측정값과 본 논문에서 제안한 에너지 소비량 예측 값과의 오차율 ±5% 이내의 높은 정확도를 가진 새로운 알고리즘을 개발하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 심박수와 운동지수를 동시에 사용하여 에너지 소비량 예측 결과의 오차율을 최소화 할 수 있다. 따라서 제안된 알고리즘은 AIRBEAT 시스템과 같은 실시간

통신이 가능한 다양한 생체신호 측정 기기들에 적용할 경우 유산소 및 무산소 운동에 상관없이 정확한 에너지를 예측 할 수 있을 것으로 기대된다.

## References

- [1] J.O. Hill, and J.C. Peters, *Environmental contributions to the obesity epidemic*. Science, Vol. 280, No. 5368, pp. 1371-1374, 1998.
- [2] R.R. Pate, M. Pratt, S.N. Blair, W.L. Haskell, C.A. Macera, and C. Bouchard, *Physical activity and public health: a recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine*. Jama. Vol. 273, No. 5, pp. 402-407, 1995.
- [3] L. Meina, K.H. Byun, H.J. Kim, J. Kang, and Y.T. Kim, *Patch type sensor module for estimating the energy expenditure*. Sensors, IEEE. 2009.
- [4] Y.T. Kim, D.G. Park, J. Kang, and K.S. Seo, *Development of patch type sensor module for real-time monitoring of heart rate and agility index*. Sensors, IEEE. 2008.
- [5] S. Bhardwaj, D-S Lee, S. Mukhopadhyay, and W-Y Chung, *Ubiquitous healthcare data analysis and monitoring using multiple wireless sensors for elderly person*. Sensor & Transducer Journal, Vol. 90, PP.87-99, 2008.
- [6] L. Meina, and Y.T. Kim, *Development of patch-type sensor module for wireless monitoring of heart rate and movement index*, Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 173, No. 1, pp. 277-283, 2012.
- [7] C.W. Lin, Y.T. Yang, J.S. Wang, and Y.C. Yang, *A wearable sensor module with a neural-network-based activity classification algorithm for daily energy expenditure estimation*, Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on, Vol. 16, No. 5, pp. 991-998, 2012.
- [8] Keytel L, Goedecke J, Noakes T, Hiiloskorpi H, and Laukkanen R, *Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise*, Journal of Sports Sciences. Vol. 23, No. 3, pp. 289-297, 2005.
- [9] D.P. Heil, and N.J. Klippel, *Validation of energy expenditure prediction algorithms in adolescents and teens using the Actical activity monitor*, Medicine & Science in Sports & Exercise, Vol. 35, No. 5, pp. S285, 2003.
- [10] D.R. Bouchard, and F. Trudeau. *Estimation of energy expenditure in a work environment : comparison of accelerometry and oxygen consumption/heart rate regression*, Taylor & Francis, Vol. 51, No. 5, pp. 663-670, 2008.
- [11] J.S. Wang, C.W. Lin, Y.T. Yang, C T.P. Kao, W.H. Wang, and Y.S. Chen, *A PACE sensor system with machine learning-based energy expenditure regression algorithm*, Lecture Note in Computer Science, Springer Berlin Heidelberg, Vol. 6840, pp. 529-536, 2011.
- [12] F. Xiao, Y.M. Chen, M. Yuchi, and M.Y. Ding, *Heart rate prediction model based on physical activities using evolutionary neural network*, In Genetic and Evolutionary Computing, Shenzhen, China, pp. 198-201, Dec. 13-15, 2010.
- [13] M. Yuchi, and J. Jo, *Heart rate prediction based on physical activity using feedforward neural network*, In Convergence and Hybrid

- Information Technology, pp.335-359, Dec. 15-18, 2009.
- [14] P.S. Freedson, E. Melanson, and J. Sirard. *Calibration of the computer science and applications, Inc. accelerometer*. Medicine and science in sports and exercise, Vol. 30, No. 5, pp. 777-781, 1998.
- [15] A.M. Swartz, S.J. Strath, Jr. D.R. Bassett, W.L. O'Brien, G.A. King, and B.E. Ainsworth, *Estimation of energy expenditure using CSA accelerometers at hip and wrist sites*, Medicine and science in sports and exercise, Vol. 32(9 Suppl), pp. S450-456, 2000.
- [16] S.E. Crouter, J.R. Churilla, and Jr. D.R. Bassett. *Estimating energy expenditure using accelerometers*, European journal of applied physiology, Vol. 98, Vol. 6 pp. 601-12, 2006.
- [17] S.M. Ceesay, A.M. Prentice, K.C. Day, P.R. Murgatroyd, G.R. Goldberg, and W. Scott, *The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure: a validation study using indirect whole-body calorimetry*, British Journal of Nutrition, Vol. 61, No. 02, pp. 175-186, 1989.
- [18] K.L. Rennie, S.J. Hennings, J. Mitchell, and N.J. Wareham. *Estimating energy expenditure by heart-rate monitoring without individual calibration*, Medicine and science in sports and exercise, Vol. 33, No.6, pp. 939-945, 2001.
- [19] H. Hiilloskorpi, M. Fogelholm, R. Laukkanen, M. Pasanen, P. Oja, and A. Mänttari, *Factors affecting the relation between heart rate and energy expenditure during exercise*, International journal of sports medicine, Vol. 20, No. 07, pp. 438-443, 1999.
- [20] S. Brage, N. Brage, P.W. Franks, U. Ekelund, M-Y Wong, and L.B. Andersen, *Branched equation modeling of simultaneous accelerometry and heart rate monitoring improves estimate of directly measured physical activity energy expenditure*, Journal of Applied Physiology, Vol. 96, No. 1, pp. 343-351, 2004.
- [21] K.H. Kang, and Y.T. Kim, *Energy expenditure prediction algorithm based on correlation analysis of exercise indexes*, Information Science and Applications (ICISA), 2014 International Conference on; IEEE, 2014.
- [22] S. Brage, N. Brage, P. Franks, U. Ekelund, and N. Wareham, *Reliability and validity of the combined heart rate and movement sensor Actiheart*, European journal of clinical nutrition, Vol. 59, No. 4, pp. 561-570, 2005.
- [23] S.J. Strath, Jr. D.R. Bassett, D.L. Thompson, and A.M. Swartz, *Validity of the simultaneous heart rate-motion sensor technique for measuring energy expenditure*, Medicine and science in sports and exercise, Vol. 34, No. 5, pp. 888-894, 2002.
- [24] K. Rennie, T. Rowsell, J. S. ebb, D. Holburn, and N. Wareham. *A combined heart rate and movement sensor: proof of concept and preliminary testing study*, European journal of clinical nutrition, Vol. 54, No. 5, pp. 409-414, 2000.
- [25] Medicine ACoS. *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*: Lippincott Williams & Wilkins; 2013.
- [26] C. Hausswirth, and A. Bigard, *The cosmed K4 telemetry system as an accurate device for oxygen uptake measurements during exercise*, International Journal of Sports Medicine, Vol.

- 28, No. 06, pp. 449-453, 1997.
- [27] M.J. Norusis, *SPSS advanced statistics user's guide*: SPSS Chicago; 1990.
- [28] S. Romero-Arenas, A.J. Blazeovich, M. Martínez -Pascual, J. Pérez-Gómez, A.J. Luque, and F.J. López-Román, *Effects of high-resistance circuit training in an elderly population. Experimental gerontology*, Vol. 48, No. 3, pp. 334-340, 2013.
- [29] H. Kaikkonen, M. Yrjämä, E. Siljander, P. Byman, and R. Laukkanen, *The effect of heart rate controlled low resistance circuit weight training and endurance training on maximal aerobic power in sedentary adults*, *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, Vol. 10, No. 4, pp. 211-215, 2000.

---

### 무산소운동의 에너지소비량을 추정하기 위해 결합된 심박수와 운동지수를 이용한 예측 알고리즘

강경호

조선대학교 IT융합학과

---

### 요 약

최근, 헬스 케어는 중요한 것으로 인식되고 있기 때문에 적절한 운동량에 대한 정확한 정보가 필요하다. 따라서, 만약 알고리즘이 실시간 에너지 소비를 예측할 수 있고 휴대용 장치에 사용될 수 있다면 운동 선수와 일반인, 그리고 환자들이 개인적인 운동 계획을 수립하는데 도움을 줄 수 있다. 신체 활동은 에너지 소비를 정확하게 예측하기 위해 평가되어야 한다. 심박수와 운동 지수는 일반적으로 에너지소비를 측정하기 위해 사용된다. 본 연구는 심박수와 운동 지수를 결합하여 선행 에너지 소비 예측 연구들의 단점들을 해결하기 위해 여러 무산소 운동에 적용하는 새로운 에너지 소비 예측 알고리즘을 제안한다. 총 53명

(남자 43, 여자 10명)의 피험자들이 이 연구에 모집되었다. 참가자들은 wireless patch-type sensor (AIRBEAT System) 와 wireless gas analyzer (K4b2: Cosmed, Srl, Italy)를 사용하였다. AIRBEAT System은 센서보드, 리버보드, 그리고 통신모듈로 구성되었다. 센서는 심박수, 운동지수, 습도, 온도 등 신체활동 데이터를 측정하기 위하여 피험자들의 가슴에 부착하였다. 이 시스템은 심박수와 운동지수 측정에만 적용되었으며, 지금까지 에너지소비를 예측할 수 있는 알고리즘 개발이 제한적이었다. 본 연구에서 제안한 에너지 소비 예측 알고리즘은 무선 가스분석기 wireless gas analyzer (K4b2: Cosmed, Srl, Italy)와 비교해서  $\pm 5\%$  이내의 오차율을 나타내어 정확성이 매우 높은 것을 알 수 있다. 에너지 소비 예측을 위해 개발된 알고리즘은 무산소 운동에 뿐만 아니라 모든 운동에 통합적으로 적용되어 AIRBEAT System 과 무선 헬스케어 모니터 장치와 같은 휴대용 심박수 측정 장치를 위한 새로운 응용분야를 제시할 것으로 기대된다.

---

### 감사의 글

본 논문은 미래창조과학부(2013-054408)에 의해 지원된 한국연구재단의 공공복지 및 안전성연구 조성비를 지원 받음.



**Kyeong Ho Kang** received the M.S. degree in the Department of Info - Communication from the Chosun University in 2006. Currently He pursues the Ph. D. degree in the Department of IT Fusion Technology of Chosun University. He has been an engineering research student of IT Fusion Technology Research Center in Chosun University, from 2010. His current research interests focus on Wireless bio-sensors system application, Development of Energy Expenditure Prediction Algorithm, and include Genetic Algorithm, fuzzy theory. He is a regular member of the KKITS.

E-mail address: kangkh@chosun.kr