

## 자전거 운동 시 소비되는 에너지량 계산 알고리즘 설계

임명성\*, 정진형\*\*, 이상식\*\*, 장지훈\*†

### Design of an algorithm to calculate the amount of energy consumed during cycling

Myoung-Seong Lim\*, Jin-Hyoung Jeong\*\*, Sang-Sik Lee\*\*, Jee-Hun Jang\*†

**요약** 본 연구는 자전거 운동 시 소비되는 에너지량 계산을 위한 알고리즘을 개발하고자 하는 목적으로 수행되었다. 대학에 재학 중인 60명(남자 30명, 여자 30명)을 대상으로 자전거 운동 시 10초 간격으로 배출하는 호흡가스를 분석하고 에너지소비량을 측정하였으며, 시판 유선속도계로 측정된 결과 및 선행연구에서의 추론식과 비교 검증하였다. 남자의 자전거운동 시 시간에 따른 소비되는 에너지량을 추정하는 알고리즘은 '에너지소비량(Kcal)=5.048×(시간(분))-2.258(r2=0.998)'로 계산되었다. 여자의 자전거 운동 중 시간에 따른 에너지소비량 추정 회귀식은 '에너지소비량(Kcal)=4.466×(시간(분))-1.605(r2=.999)'로 계산되었다. 남자의 자전거운동 시 시간과 속도에 따른 에너지소비량 추정 회귀식은 '에너지소비량(Kcal)=(0.05×속도(kph))×(4.750×시간(분)+0.091)'로 계산되었다. 여자의 자전거 운동 시 시간과 속도에 따른 소비되는 에너지량 추정 회귀식은 속도 20kph 이하 조건에서는 '에너지소비량(Kcal)=(0.05×속도(kph))×(4.151×시간(분)-0.736)'으로 계산되었고, 속도 20kph 초과 조건에서는 '에너지소비량(Kcal)=(0.04×속도(kph))×(4.151×시간(분)-0.736)'으로 계산되었다. 결론적으로 자전거 운동 시 소비되는 에너지량을 계산하기 위한 알고리즘개발에는 시간 및 속도에 따른 에너지소비량 추론식 적용이 적절한 것으로 제언된다.

**Abstract** The purpose of this study was to develop the mathematic algorithm for energy expenditure calculation during cycling as a part of the development of a higher value-added cycle. Participants were 60 university students (male 30, female 30). Energy expenditure was measured with breathing gas at 10 sec intervals by gas analyzer connected with stationary cycle ergometer. Values presented by commercial speedometer and preceding researches were used for verification of actual measurement values in this study. In conclusion, the mathematic algorithms for energy expenditure calculation during cycling were as follows. For male, energy expenditure(Kcal)=5.048×cycling time(min)-2.258, energy expenditure(Kcal)=(0.05×cycling velocity(kph))×(4.750×cycling time(min)+0.091). For female, energy expenditure(Kcal)=4.466×cycling time(min)-1.605, energy expenditure(Kcal)(cycling velocity≤20kph)=(0.05×cycling velocity(kph))×(4.151×cycling time(min)-0.736), energy expenditure(Kcal)(cycling velocity>20kph)=(0.04×cycling velocity(kph))×(4.151×cycling time(min)-0.736). And it is suggested that the developed algorithm with cycling time and velocity should be applied for the development of a higher value-added cycle.

**Key Words** : Cycling time, Velocity, Energy expenditure, Algorithm

This study was carried out as a part of the development of intelligent driving information monitoring and momentum measurement system for high value-added bicycles among the Ministry of Trade, Industry and Energy's personal transportation means technology development project(Code#: 10038542). and this is a master's thesis at Myoung-Seong Lim

\*Department of Sport & Leisure Studies, Catholic Kwandong University

\*\*Department of Bio-medical Engineering, Catholic Kwandong University

†Corresponding Author: Department of Sport & Leisure Studies, Catholic Kwandong University(jjh@cku.ac.kr)

Received February 02, 2021

Revised February 05, 2021

Accepted February 16, 2021

## 1. 서론

현대사회에서 환경오염과 같은 문제로 환경오염이 되지 않는 친환경적이고 자원을 절약할 수 있는 친환경 교통수단인 자전거의 관심이 높아지고 있다. 선진국들은 오래 전부터 자전거를 친환경 교통수단으로 주목하였고, 네덜란드는 세계에서 유일하게 인구(1640만명)보다 자전거(약 1800만대)가 더 많은 유일한 국가로 국민들의 일일 평균 이용거리가 2.4km, 연평균 이용거리는 902km에 이르며, 전국에 약 1만7천km의 자전거 전용 도로를 갖추고 있다. 자전거의 교통 분담률은 1~2.5km 구간에서 44%를 차지한다[1].

국내의 경우에도 생활체육의 일환과 자전거에 대한 관심으로 자전거를 이용해 운동을 하는 인구가 증가하고 있다. 문화체육관광부(2019)에 의하면 자전거 운동은 최근 1년간 참여 체육활동 중 10.3%를 차지하며, 상위 10개 종목에 포함된다. 구체적으로는 여가 및 생활체육의 일환으로 자전거를 이용한 인구가 약 1340만 명에 이르는 것으로 보도된 바 있다[2].

자전거 운동은 양 하지로 페달을 밟아 발생한 힘을 이용하여 림과 타이어를 돌리면서 진행하여 운동효과를 얻는 대표적인 무공해 그린스포츠로서 달리기와 걷기에 비해 지루하지 않다. 그래서 어린이부터 노인에 이르기까지 모든 연령층의 흥미와 참여를 지속적으로 유도할 수 있을 뿐만 아니라 참가자 스스로 자신의 체력에 알맞은 운동강도와 운동량을 조절할 수 있다는 장점이 있다[4].

자전거에 대한 관심과 자전거를 이용해 운동하는 인구가 증가하면서 자전거 관련 산업의 수요가 늘어나고 있고[5] 자전거 관련 새로운 수요들이 창출할 수 있다. 과거의 자전거는 체력증진과 여가를 목적으로 사용되었고 앞으로는 자전거 이용자의 안전성, 안정성, 편의성, 건강 등의 초점에 맞춰서 개발될 것이다.

최근 자전거 개발에 관련된 기술동향을 살펴보면, 미국 Apple에서는 스마트 자전거를 특허로 출원했고, 출원한 스마트 자전거 핸들에는 도킹 스테이션이 있어서 아이폰이나 아이패드를 연결해서 사용할 수 있다. 연결한 장치는 자전거의 기계부위와 센서에 연결되어서 자전거 주행 시 정보에 대해서 실시간으로 모니터

에 보여준다. 자전거 주행 시 속도와 거리, 시간, 고도, 노면 경사도, 풍속, 경로, 심박수, 근력 등 자전거와 사용자의 여러 정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있다. 주행 중 구글맵스 등의 지도 어플을 사용해서 길을 찾을 수 있으며, BMX 자전거를 이용해서 트랙에서 묘기를 하는 사용자는 아이폰의 가속도계를 이용하여 묘기 중 점프의 체공시간, 점프 높이 등을 실시간으로 측정할 수 있다. Apple은 사용자가 주행 시 무선 인터넷을 활용해 교통상황과 주행 경로의 정보를 교환할 수 있다는 내용도 출원 내용에 포함시켰다.

다른 회사를 보면 Nike는 iBike Dash를 개발해서 상용화시켰고 Wahho와 Bike Hugger는 iPhone과 제휴를 통해서 자전거에 장착 후 주행 시 운동량이 측정되는 서비스 프로그램을 개발하고 있고, 독일 Volkswagen의 연구개발팀과 미국 Hughes 레이더 시스템 연구팀, 이탈리아 FIAT의 Velgia Borletti 연구팀 등은 개발 완료하였고 주행 시 도로 상황에 따른 도로 안내, 교통 표지판 등을 모니터링 할 수 있는 제품을 판매중이다.

국내는 삼천리자전거에서 전기자전거 및 스마트 자전거 개발, 신지전자는 자전거에 사용되는 무선속도계 개발, 아센코리아에서는 레저스포츠용으로 사용할 수 있는 GPS 등을 개발하여서 자전거와 관련된 제품을 출시하였다.

현재 자전거와 관련된 스마트폰의 다각적인 활용도, HUD(head up display)와 같은 기술발달로 볼 때 향후의 시장전망은 밝으며, 특히 이용자의 건강상태 및 자전거의 다양한 정보를 인프라와 연동하여 이용자의 안전성 및 안정성, 편리성, 건강육구 등을 충족시킬 수 있는 IT 융합 기술을 개발 중이다.

따라서 본 연구에서는 자전거 운동 시 소비되는 에너지량의 측정을 위한 알고리즘을 개발하고자 하는 목적으로 수행되었다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구대상

연구대상자는 강원도 G시 소재 C대학교에 재학 중인 대학생 60명이었으며(남자 30명, 여자 30명), 측정

에 필요한 동작을 수행할 수 없을 정도의 근골격계 문제를 가진 경우, 측정일 기준 6개월 이내 심혈관계 및 정형외과적인 문제로 인해 내원한 경험이 있는 경우 등은 연구대상에서 배제하였다.

연구대상자 선정 후 연구의 목적 및 절차, 방법 등 전반적인 사항을 설명하고 동의를 받았다. 이외 연구대상자의 일반적 특성은 <표 1>과 같다.

표 1. 연구대상자의 일반적 특성  
Table 1. Demographic characteristics of subjects

구 분	연령(yr)	신장(cm)	체중(kg)	BMI(kg/m <sup>2</sup> )
남자(n=30)	21.9±2.2	176.0±5.3	74.3±7.1	23.99±2.30
여자(n=30)	19.7±1.2	162.2±5.4	57.6±7.6	21.83±2.31
전 체	20.8±2.1	169.1±8.8	65.9±11.1	22.91±2.53

mean±S.D.

## 2.2 측정변인 및 측정방법

### 1) 체중, 신장, 체질량지수

체중은 체중계(HE-2, CAS, Korea)를 이용하여 측정하였다. 연구대상자를 신장계의 정면에 세워 양 뒤꿈치를 가지런히 신장계의 기둥에 붙이고 무릎을 똑바로 펴게 하고, 배와 가슴을 당기고 머리를 눈과 귀가 수평이 되도록 고정시킨 후 신장계의 바닥에서 정수리까지의 수직 최단거리를 cm 단위 아래 소수점 한자리까지 신장을 기록하였다(고효환, 1992).

측정된 신장과 체중 결과를 이용하여 '체중(kg)/신장(m<sup>2</sup>)' 합수식으로 체질량지수(BMI)를 계산하였다[6].

### 2) 자전거 운동 중 에너지 소비량

고정식 자전거(SRM Ergometer, SRM, Germany)와 자동호흡가스분석기(Quark b2, Cosmed, Italy)를 연동하여 자전거 운동 중 10초 간격으로 호흡가스를 분석하고 내장된 프로그램으로 계산되는 에너지소비량을 기록하였다. 측정 전 1시간 정도 자동호흡가스 분석기를 예열한 후 표준가스(이산화탄소 4%, 산소 16%, 나머지는 질소로 충전)와 3L 수동펌프를 이용하여 영점 조정하였다.

자전거 운동 중 고정식 자전거의 핸들 그립과 안장간 거리 및 안장의 높이는 연구대상자가 편안하게 느낄 수 있도록 조정하였다. 남자 중 8명은 20kph의 속

도로 30분간 자전거 운동을 하였으며, 22명은 15분간 20kph의 속도로 자전거 운동을 한 후 멈추지 않고 연속적으로 속도를 30kph로 상승시켜 15분간 자전거 운동을 하였다. 여자 연구대상자 중 14명은 20kph의 속도로 30분간 자전거 운동을 하였으며, 16명은 15분간 20kph의 속도로 자전거 운동을 한 후 멈추지 않고 연속적으로 속도를 25kph로 상승시켜 15분간 자전거 운동을 하였다. 따라서 연구대상자 전원 30분간 자전거 운동을 수행하였다.

### 3) 시판제품을 이용한 결과 검증

본 연구에서의 실제 측정 결과와 시판 유선속도계(Velo 8, Cateye, Japan)에서 제시되는 결과를 비교하여 검증하였다.

#### (1) 실내

자전거 운동 중 에너지소비량 측정 과정에서 유선속도계의 센서를 고정식 자전거의 바퀴에 부착하고 수신부는 고정식 자전거의 고정틀에 부착하였다. 수신부는 유선으로 소형 모니터와 연결하였으며, 모니터에 수집된 결과를 기록하였다.

#### (2) 실외

연구대상자 중 남자 15명과 여자 10을 대상으로 시판 자전거(700C 케이벨로 하이브리드8, 삼천리자전거, 대한민국)와 유선속도계를 이용하여 실외 검증을 실시하였다. 유선속도계의 센서를 시판 자전거의 스포크에 부착하고 수신부는 시판 자전거의 체인 스테이에 부착하였다. 수신부는 유선으로 시판 자전거의 핸들 스템에 부착된 소형 모니터에 연결하였으며, 모니터에 수집된 결과를 기록하였다.

## 2.3 자료처리

측정된 결과를 이용하여 평균과 표준편차를 계산하였으며, PASW(predictive analytics software) Statistics ver.18.0을 이용하여 변인 간 적률상관계수(Pearson's r)를 구하였다. 변인 간 선형회귀식은 Microsoft Office Excel 2010 프로그램을 이용하여 계산하였다.

### 3. 연구결과

#### 3.1 체중, 신장, BMI 변인과 자전거 운동 중 에너지소비량

남자의 체중, 신장, BMI는 각각  $74.3 \pm 7.1\text{kg}$ ,  $176.0 \pm 5.3\text{cm}$ ,  $23.99 \pm 2.30\text{kg/m}^2$ 이었으며, 여자의 경우 각각  $57.6 \pm 7.6\text{kg}$ ,  $162.2 \pm 5.4\text{cm}$ ,  $21.83 \pm 2.31\text{kg/m}^2$ 로 나타났다. 전체 연구대상자의 체중, 신장, BMI는 각각  $65.9 \pm 11.1\text{kg}$ ,  $169.1 \pm 8.8\text{cm}$ ,  $22.91 \pm 2.53\text{kg/m}^2$ 이었다(표 1).

남자의 자전거 운동 중 실측된 에너지소비량은  $152.5 \pm 23.7\text{kcal}$ 였으며, 여자의 경우  $134.2 \pm 17.7\text{kcal}$ 로 나타났다. 전체 연구대상자의 자전거 운동 중 실측된 에너지소비량은  $143.3 \pm 22.7\text{kcal}$ 로 나타났다.

전체 연구대상자의 측정결과를 이용하여 체중, 신장, BMI 등과 에너지소비량과의 적률상관계수(Pearson's r)를 구한 결과 체중과 에너지소비량 간  $r=0.486$ , 신장과 에너지소비량 간  $r=0.302$ , BMI와 에너지소비량 간  $r=0.486$  등으로 낮은 상관을 보였다. 따라서 변인 간 정량적인 관계를 규명할 수 없었으며, 자전거 운동 중 에너지소비량 추정에 의미 있는 선형회귀식 계산이 어려웠다.

#### 3.2 주행시간과 자전거 운동 중 에너지소비량

##### 1) 남자

남자 30명의 자전거 운동 중 에너지소비량은 일정한 패턴을 보였으나, 표준편차는 시간경과에 비례하여 증가하였다(그림 1). 따라서 알고리즘 개발과정에서의 오차를 최소화하기 위해 매 5분마다 누적치를 구하였고, 표준편차는 10% 이하로 감소되었다. 남자의 자전거 운동 중 주행시간(분)에 따른 에너지소비량 추정 회귀식은 『에너지소비량(Kcal)= $5.048 \times$ 주행시간(분)- $2.258$ ( $r^2=0.998$ )』로 산출되었다(그림 2).

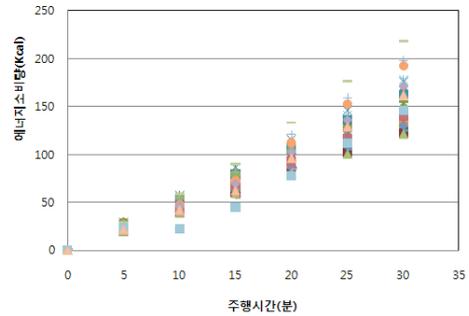


그림 1. 자전거 운동 중 에너지소비량(남자)  
Fig. 1. Energy consumption during cycling (male)

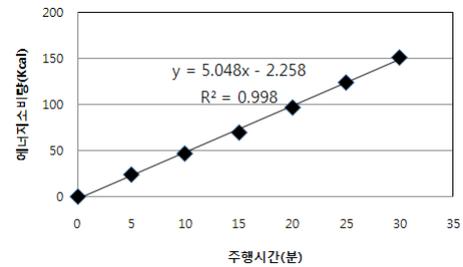


그림 2. 주행시간에 따른 에너지소비량 추정식(남자)  
Fig. 2. Energy consumption estimation equation according to driving time (male)

##### 2) 여자

여자 30명의 자전거 운동 중 에너지소비량은 일정한 패턴을 보였으나, 표준편차는 시간경과에 비례하여 증가하였다(그림 3). 따라서 오차를 최소화하기 위해 매 5분마다 누적치를 구하여 표준편차를 10% 이하로 감소시켰다. 여자의 자전거 운동 중 주행시간(분)에 따른 에너지소비량 추정 회귀식은 『에너지소비량(Kcal)= $4.466 \times$ 주행시간(분)- $1.605$ ( $r^2=0.999$ )』로 산출되었다(그림 4).

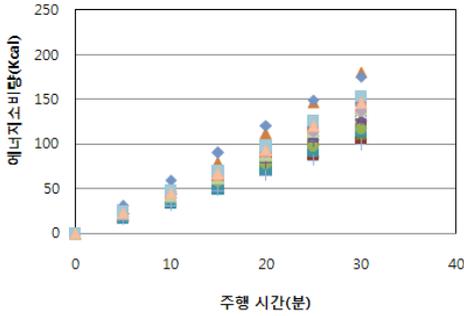


그림 3. 자전거 운동 중 에너지소비량(여자)  
Fig. 3. Energy consumption during cycling (female)

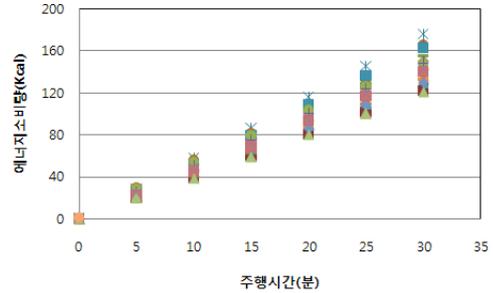


그림 5. 변속주행 중 에너지소비량(남자)  
Fig. 5. Energy consumption during variable speed driving (male)

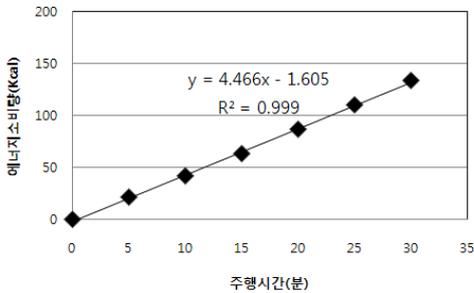


그림 4. 주행시간에 따른 에너지소비량 추정식(여자)  
Fig. 4. Energy consumption estimation equation according to driving time (female)

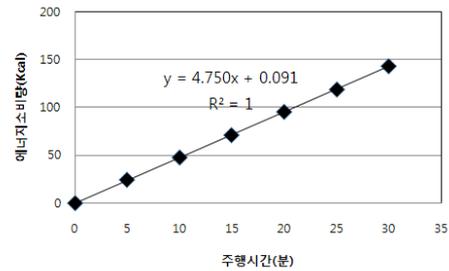


그림 6. 변속주행시간에 따른 에너지소비량 추정식(남자)  
Fig. 6. Equation for Estimating Energy Consumption According to Shift Travel Time (male)

### 3.3 주행시간 및 주행속도와 자전거 운동 중 에너지소비량

#### 1) 남자

에너지소비량과 선형관계를 보인 주행속도 20kph를 기준으로 개발모형을 설정하였다. 15분간 20kph의 속도로 자전거 운동을 한 후 멈추지 않고 연속적으로 속도를 30kph로 상승시켜 15분간 자전거 운동을 수행한 남자 22명의 에너지소비량은 일정한 패턴을 보였으나, 표준편차는 시간경과에 비례하여 증가하였다(그림 5). 따라서 오차를 최소화하기 위해 매 5분마다 누적치를 구하여 표준편차를 10% 이하로 감소시켰다. 남자의 자전거 운동 중 주행시간(분)에 따른 에너지소비량 추정 회귀식은 『에너지소비량(Kcal)=4.750×주행시간(분)+0.091(r²=1.000)』로 산출되었다(그림 6).

주행속도 20kph 이하에서는 주행속도와 에너지소비량이 선형적으로 비례하는 결과를 보이므로 20kph 조건에서의 가중치를 '1.00'으로 설정하고 속도계수 가중치( $\alpha$ )를 구한 결과  $\alpha=0.05(r^2=1.000)$ 로 산출되었다(그림 7).

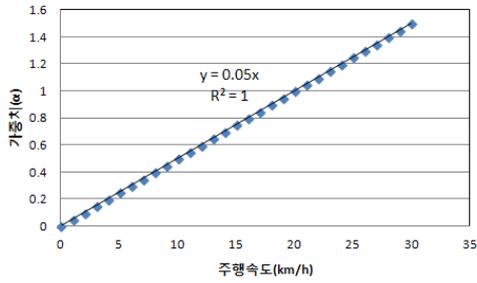


그림 7. 주행속도에 따른 속도계수 가중치(남자)  
Fig. 7. Weight of speed coefficient according to driving speed (male)

최종적으로 남자의 자전거 운동 중 주행시간(분)과 주행속도(kph)에 따른 에너지소비량 추정 회귀식은 『에너지소비량(Kcal)=(0.05 × 주행속도(kph)) × (4.750 × 주행시간(분)+0.091)』로 산출되었다.

2) 여자

에너지소비량과 선형관계를 보인 주행속도 20kph를 기준으로 개발모형을 설정하였다. 15분간 20kph의 속도로 자전거 운동을 한 후 멈추지 않고 연속적으로 속도를 25kph로 상승시켜 15분간 자전거 운동을 수행한 여자 16명의 에너지소비량은 일정한 패턴을 보였으나, 표준편차는 시간경과에 비례하여 증가하였다(그림 8). 따라서 오차를 최소화하기 위해 매 5분마다 누적치를 구하여 표준편차를 10% 이하로 감소시켰다. 여자의 자전거 운동 중 주행시간(분)에 따른 에너지소비량 추정 회귀식은 『에너지소비량(Kcal)=4.151 × (주행시간(분))-0.736(r<sup>2</sup>=0.999)』로 산출되었다(그림 9).

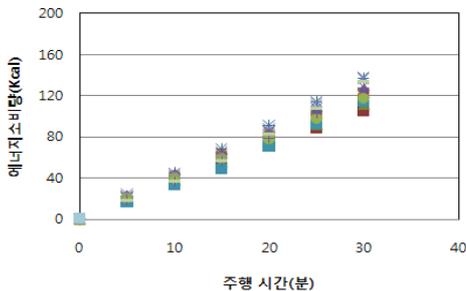


그림 8. 변속주행 중 에너지소비량(여자)  
Fig. 8. Energy consumption during variable speed driving (female)

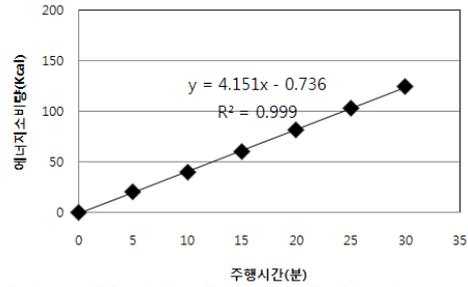


그림 9. 변속주행시간에 따른 에너지소비량 추정식(여자)  
Fig. 9. Equation for Estimating Energy Consumption According to Shift Travel Time (female)

주행속도 20kph 이하에서는 주행속도와 에너지소비량이 선형적으로 비례하는 결과를 보이므로 20kph 조건에서의 가중치를 '1.00'으로 설정하고 속도계수 가중치(a)를 구하였다. 산출 결과 주행속도 20kph를 기준으로 선형 기울기가 상이하였으며, 주행속도 20kph 이하의 조건에서는 a=0.05(r<sup>2</sup>=1.000), 주행속도 20kph 초과 조건에서는 a=0.04(r<sup>2</sup>=1.000)로 나타났다(그림 10~11).

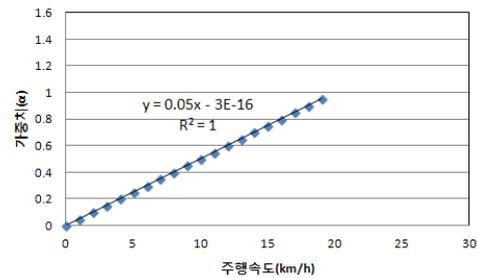


그림 10. 20kph 이하 주행속도에 따른 속도계수 가중치(여자)  
Fig. 10. Weight of speed factor according to driving speed below 20kph (female)

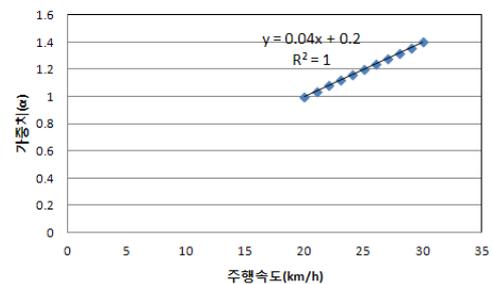


그림 11. 20kph 초과 주행속도에 따른 속도계수 가중치(여자)  
Fig. 11. Speed factor weight according to driving speed exceeding 20kph (female)

최종적으로 여자의 자전거 운동 중 주행시간(분)과 주행속도(kph)에 따른 에너지소비량 추정 회귀식은 주행속도 20kph 이하 조건에서는 『에너지소비량(Kcal)=(0.05×주행속도(kph))×(4.151×주행시간(분)-0.736)』으로 산출되었으며, 주행속도 20kph 초과 조건에서는 『에너지소비량(Kcal)=(0.04×주행속도(kph))×(4.151×주행시간(분)-0.736)』으로 산출되었다.

### 3.4 시판제품으로 측정된 자전거 운동 중 에너지소비량과 실측치와의 비교

자전거 운동 중 시판 유선속도계를 측정된 에너지소비량(제품값)과 자동호흡가스분석기로 실측한 에너지소비량(실측치)과의 차이는 <표 2>와 같다. 남녀 모두 평균치로는 제품값이 실측치보다 낮게 나타났다. 시판 유선속도계의 경우 주행속도가 실제 속도보다 낮게 인지되는 경향을 보였으며, 이에 기인한 것으로 추론된다. 제품 값과 실측치의 차이는 남자의 경우 -5.0±24.5Kcal(제품값이 실측치보다 높은 경우도 있으므로 이에 따른 오류를 보정하기 위해 절대치로 산출한 결과 절대치로는 19.3±14.3Kcal), 여자의 경우 17.9± 19.2Kcal로 나타났다. 제품 값과 실측치 사이의 적률상관계수(Pearson's r)는 r=0.708(p<0.01)로 유의한 강한 양의 상관관계를 나타내었다.

표 2. 시판 제품값과 실측치와의 차이 (Kcal)  
Table 2. Difference between product value and measured value

구 분	실측치	제품값	차 이	
			(제품값-실측치)	절대치
남자 (n=30)	179.3 ±22.7	174.3 ±4.2	-5.0±24.5	19.3 ±14.3
여자 (n=30)	139.2 ±17.8	121.2 ±15.4	-17.9±19.2	17.9 ±19.2
전체 (n=60)	154.5 ±27.8	141.4 ±29.1	-13.0±21.7	18.4 ±17.1

mean±S.D.

### 3.5 시판제품을 이용한 실외측정 결과와

#### 개발알고리즘으로 추정된 에너지소비량과의 비교

연구대상자 중 남자 15명과 여자 10을 대상으로 실

외에서 시판 자전거와 유선속도계를 이용하여 자전거 운동 중의 에너지소비량을 측정하였으며, 본 연구에서 개발된 알고리즘으로 추정된 결과와 비교하였다(표 3~4). 주행속도를 기준으로 비교 분석할 때 시판제품을 이용하여 실외에서 측정된 결과와 개발 알고리즘으로 추정된 값 사이의 차이에 있어 일정한 경향을 찾아 보기 어려우며, 주행속도 20kph 초과 조건에서의 오차가 가장 적게 나타났다(표 3).

표 3. 주행속도에 따른 실외측정 결과와 추정 에너지소 비량 (Kcal)  
Table 3. Outdoor measurement result and estimated energy consumption according to driving speed (Kcal)

주행 속도	제품값a	추정식1b	추정식2c	차 이	
				(제품값-(제품값-추정식1) 추정식2)	추정식2
10kph 미만	3.5±0.6	23.1 ±0.1	23.9 ±0.0	-19.5±0.6	-20.4±0.6
10~20 kph	34.8 ±31.1	84.8 ±61.3	82.0 ±57.7	-50.0 ±35.6	-47.2 ±32.3
20kph 초과	20.9 ±22.2	38.4 ±55.4	39.7 ±51.3	-17.5 ±34.3	-18.7 ±30.3

mean±S.D.

a: 시판 유선속도계를 시판 자전거에 부착하여 측정된 에너지소비량

b: 본 연구에서 개발된 주행시간에 따른 에너지소비량 추정식으로 산출한 에너지소비량

c: 본 연구에서 개발된 주행시간과 주행속도에 따른 에너지 소비량 추정식으로 산출한 에너지소비량

주행시간을 기준으로 비교 분석할 때 시판제품을 이용하여 실외에서 측정된 결과와 개발 알고리즘으로 추정된 값 사이의 차이는 주행시간에 따라 증가하는 경향을 보였다(표 4).

표 4. 주행시간에 따른 실외측정 결과와 추정 에너지 소비량 (Kcal)  
Table 4. Outdoor measurement result and estimated energy consumption according to driving time (Kcal)

주행 시간	제품값a	추정식1 b	차이		
			추정식2c (제품값-추정식1)	(제품값-추정식2)	
10분 이하	7.7±3.2	18.0 ±7.3	19.8 ±5.9	-10.3 ±9.4	-12.1 ±8.1
10~30분	26.8 ±17.4	107.7±2	103.6±2	-80.9 ±24.0	-76.8 ±22.8
30분 이상	72.6 ±3.9	150.4±2	143.7±2	-77.8 ±2.5	-71.1 ±2.6

mean±S.D.

a: 시판 유선속도계를 시판 자전거에 부착하여 측정한 에너지소비량

b: 본 연구에서 개발된 주행시간에 따른 에너지소비량 추정식으로 산출한 에너지소비량

c: 본 연구에서 개발된 주행시간과 주행속도에 따른 에너지소비량 추정식으로 산출한 에너지소비량

### 3.6 자전거 운동 중 에너지소비량 추정 알고리즘

본 연구에서 나타난 결과를 바탕으로 자전거 운동 중 에너지소비량 추정 알고리즘을 개발하였다. 자전거 운동 중 주행시간에 따른 에너지소비량 추정 알고리즘은 <그림 12>와 같으며, 주행시간과 주행속도에 따른 에너지소비량 추정 알고리즘은 <그림 13>과 같다.

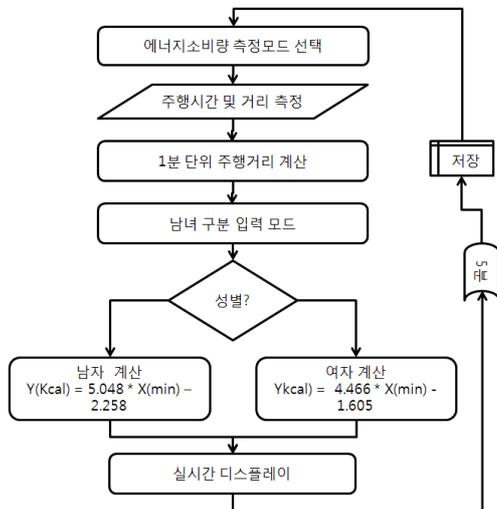


그림 12. 자전거 운동 중 주행시간에 따른 에너지소비량 추정 알고리즘

Fig. 12. Energy consumption estimation algorithm according to driving time during cycling

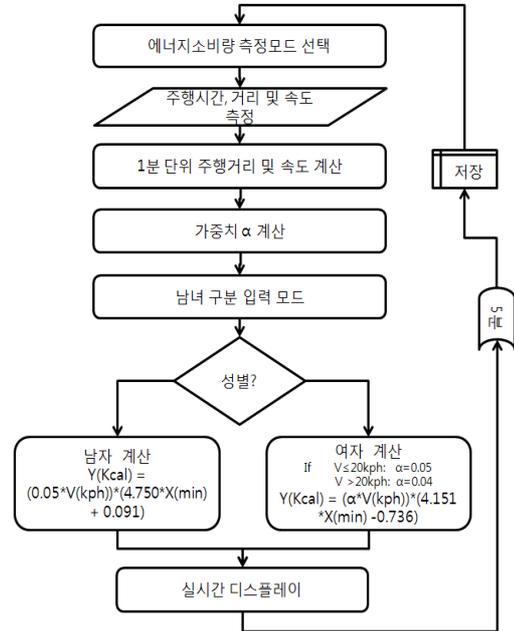


그림 13. 자전거 운동 중 주행시간과 주행속도에 따른 에너지 소비량 추정 알고리즘

Fig. 13. Energy consumption estimation algorithm according to driving time and driving speed during bicycle exercise

## 4. 논의

### 4.1 선행연구에서 보고된 추정식과 실측치와의 비교

대부분의 선행연구에서 제시하는 자전거 운동 중의 에너지소비량 산출근거는 Ainsworth, Haskell, & Leon(1993)의 연구결과이다. 운동 중 에너지소비량 산출에 있어 가장 많이 인용되는 사이트 (<http://prevention.sph.sc.edu/tools/compendium.htm>)의 경우에도 Ainsworth et al.(1993)의 연구결과와 동일한 추정치를 이용하고 있으며, 국내에서 개발된 자전거 운동 중 에너지소비량 산출식(김의명, 2010) 역시 Ainsworth et al.(1993)의 연구결과와 동일한 추정치를 이용한다.

Ainsworth et al.(1993)의 추정식을 이용하여 에너지소비량을 Kcal로 환산한 값과 본 연구에서의 실측치를 비교할 때 Ainsworth et al.(1993)의 연구결과를

이용하여 산출한 추정치는 본 연구에서의 실측치보다 높게 나타났다(표 5). 추정치와 실측치의 차이는 남자의 경우 181.0±39.3Kcal, 여자의 경우 123.7±34.6으로 남자가 더 큰 것으로 나타났으며, 추정치와 실측치 사이의 적률상관계수(Pearson's r)는 r=0.694 (p<0.01)로 유의한 양의 상관관계를 보였다.

표 5. 선행연구결과에 의한 추정치와 실측치와의 비교1 (Kcal)  
Table 5. Comparison between estimated and measured values based on previous research results 1 (Kcal)

구 분	실측치a	선행연구1b	차이(선행연구1 - 실측치)
남자(n=30)	152.5±23.7	333.5±53.2	181.0±39.3
여자(n=30)	134.2±17.7	257.9±37.6	123.7±34.6
전체(n=60)	143.3±22.7	295.7±59.5	152.4±46.7

mean±S.D.  
a: 본 연구에서 실측한 자전거 운동 중 에너지소비량  
b: Ainsworth et al.(1993)의 추정식으로 산출한 에너지소비량

Ainsworth et al.(1993)의 연구결과에서 제시한 추정치는 본 연구에서의 실측치와 유의한 상관을 보였으나, 30분 자전거 운동 중 에너지소비량을 실측치보다 100Kcal 이상 높게 추정한다. 이와 같은 차이는 Ainsworth et al.(1993)의 추정식은 분당산소소비량만으로 계산한 결과로 소비산소 1L는 5Kcal에 해당한다는 공식으로 계산한 반면 본 연구에서의 실측치는 소비산소와 배출이산화탄소를 함께 고려한 산술식(에너지소비량(Kcal/min)=3.94×VO<sub>2</sub>(L/min)+1.106×VCO<sub>2</sub>(L/min))으로 계산했기 때문으로 추론된다(Weir, 1949).

자전거 운동은 체중에 의한 부하가 운동참여자에게 영향을 미치지 않는 무부하운동으로 간주된다(체육과학연구원 생활체육지도자연수원, 2009). 이러한 특성을 반영하여 대부분의 선행연구에서는 자전거 운동 중 에너지소비량 추정에 있어 체중을 고려하지 않는 반면 Melvin(2008)은 체중을 고려한 추정식을 개발하였으며, 체중 45~100kg을 대상으로 주행속도 8, 16, 24, 32kph 조건에서의 분당 에너지소비량을 제시하였다. Melvin(2008)의 추정식을 본 연구결과와 비교할 때 체중 및 주행속도에 따른 선형적 비례관계를 확인하였으며, 보간법을 이용하여 체중 45~100kg, 속도 8~

32kph 조건에서의 에너지소비량 추정치를 계산하여 결과해석에 이용하였다.

Melvin(2008)의 추정치를 이용하여 계산한 값과 본 연구에서의 실측치를 비교한 결과는 <표 6>과 같다. Melvin(2008)의 추정치를 이용하여 계산한 값은 본 연구에서의 실측치보다 높게 나타났으며, 추정치와 실측치의 차이는 남자의 경우 156.8±45.5Kcal, 여자의 경우 104.0±33.6Kcal로 남자에서 더 크게 나타났다. 추정치와 실측치 사이의 적률상관계수(Pearson's r)는 r=0.720(p<0.01)로 유의한 높은 상관을 보였다.

표 6. 선행연구결과에 의한 추정치와 실측치와의 비교2 (Kcal)  
Table 6. Comparison between estimated and measured values based on previous research results 2 (Kcal)

구 분	실측치a	선행연구2b	차이(선행연구2 - 실측치)
남자(n=30)	152.5±23.7	309.3±60.8	156.8±45.5
여자(n=30)	134.2±17.7	238.2±37.0	104.0±33.6
전체(n=60)	143.3±22.7	273.7±61.4	130.4±47.8

mean±S.D.  
a: 본 연구에서 실측한 자전거 운동 중 에너지소비량  
b: Melvin(2008)의 추정치를 이용하여 계산한 에너지소비량

#### 4.2 시판제품을 이용한 결과와 실측치와의 비교

시판 유선속도계를 이용하여 측정된 에너지소비량과 본 연구에서 자동호흡분석기로 측정된 실측치를 비교한 결과는 <표 2>와 같다. 시판 유선속도계의 경우 주행속도가 실제 속도보다 낮게 인지되는 경향을 보여 제시된 에너지소비량이 실측치보다 낮게 나타났다. 시판 유선속도계에서 제시된 결과와 실측치의 차이는 남자의 경우 -5.0±24.5Kcal(절대치로는 19.3±14.3Kcal), 여자의 경우 17.9±19.2Kcal로 나타나 Ainsworth et al. (1993)의 추정치 및 Melvin(2008)의 추정치와 실측치와의 차이보다 적었다.

또한 본 연구에서의 실측치와 시판 유선속도계에서 제시한 결과를 비교할 때 주행시간에 대한 에너지소비량과 주행속도에 대한 에너지소비량이 선형적으로 비례하지 않으며, 성별, 연구대상자 내 상이한 주행속도 조건, 연구대상자 간 동일한 주행조건 등에 있어서도 에너지소비량 결과에 차이를 보였다. 따라서 주행속도

를 기준으로 한 에너지소비량 추정식은 정확하지 않은 것으로 사료되며, 센서의 장착 위치 및 방법에 따른 차이가 있을 것으로 추론된다.

본 연구결과 시판제품의 경우 주행속도에 따른 에너지소비량 추정보다는 주행시간에 따른 추정이 정확할 것으로 제언된다.

### 4.3 개발알고리즘으로 역추정한 결과

본 연구에서 개발된 주행시간에 따른 에너지소비량 추정식(개발식1)으로 역추정한 에너지소비량 및 본 연구에서 개발된 주행시간과 주행속도에 따른 에너지소비량 추정식(개발식2)으로 역추정한 에너지소비량과 본 연구에서의 실측치를 비교 분석한 결과는 <표 7>과 같다.

남자의 경우 실측치와 개발식1 추정치 간 차이는  $-3.9 \pm 24.4$ Kcal(절대치로는  $18.7 \pm 15.8$ Kcal), 실측치와 개발식2 추정치 간 차이는  $-6.0 \pm 19.7$ Kcal(절대치로는  $15.4 \pm 13.5$ Kcal)로 나타났으며, 여자의 경우 각각  $-2.6 \pm 18.1$ (절대치로는  $14.0 \pm 11.5$ Kcal),  $-4.2 \pm 15.8$ Kcal(절대치로는  $11.2 \pm 11.8$ Kcal)로 나타났다. 남자보다 여자에서의 차이가 적었으며, 개발식은 실측치보다 낮은 경향을 보였다. 즉 개발식은 에너지소비량을 과소추정하는 것으로 판단되며, 개발식1 추정치와 실측치와의 차이가 개발식2 추정치와 실측치와의 차이보다 적은 것으로 나타났다. 개발식1 추정치와 실측치 사이의 적률상관계수(Pearson's r)는  $r=0.346$  ( $p<0.01$ )으로 유의한 낮은 상관을 보였으며, 개발식2 추정치와 실측치 사이의 적률상관계수(Pearson's r)는  $r=0.653$  ( $p<0.01$ )으로 유의한 양의 상관관계를 나타내었다.

표 7. 개발알고리즘으로 역추정한 결과 (Kcal)  
Table 7. Inverse estimation result with development algorithm (Kcal)

구분	실측치a	개발식1b	개발식2c	차이			
				차이1(개발식1 - 실측치)	차이1의 절대치	차이2(개발식2 - 실측치)	
남자(n=30)	152.5 ±23.7	148.6 ±1.0	146.4 ±6.5	-3.9±24.4	18.7 ±15.8	-6.0±19.7	15.4 ±13.5
여자(n=30)	134.2 ±17.7	131.5 ±0.8	130.0 ±5.9	-2.6±18.1	14.0 ±11.5	-4.2±15.8	11.2 ±11.8
전체(n=60)	143.3 ±22.7	140.1 ±8.7	138.2 ±0.3	-3.2±21.3	16.3 ±13.9	-5.1±17.8	13.3 ±12.7

mean±S.D.  
a: 본 연구에서 실측한 자전거 운동 중 에너지소비량  
b: 본 연구에서 개발된 주행시간에 따른 에너지소비량 추정식으로 계산한 에너지소비량  
c: 본 연구에서 개발된 주행시간과 주행속도에 따른 에너지소비량 추정식으로 계산한 에너지소비량

### 4.4 선행연구결과로 추정된 결과, 시판제품으로 계산한 결과, 개발알고리즘으로 역추정한 결과 등과 실측치와의 비교

본 연구에서 측정된 자전거 운동 중 에너지소비량 실측치를 Ainsworth et al.(1993)의 추정치 및 Melvin(2008)의 추정치로 계산한 값, 시판제품으로 측정된 값, 개발식1, 2로 역추정한 값 등과 비교하여 나타낸 결과는 <표 8>과 같다.

선행연구에서 제시된 추정식은 실측치와 큰 차이를 보이고 있으며, 시판제품의 경우 실측치에 가까운 신뢰도 높은 결과를 보였다. 개발식1과 2는 다른 결과와 달리 에너지소비량을 과소추정하는 경향을 보였으며, 차이의 절대값으로 볼 때 가장 적은 오차를 나타내었다.

표 8. 계산 에너지소비량 간의 비교 (Kcal)  
Table 8. Comparison between calculated energy consumption (Kcal)

구 분	남 자(n=30)		여 자(n=30)	
	실측치와의 차이	각 차이의 절대값	실측치와의 차이	각 차이의 절대값
선행연구1 a	181.0±39.3	181.0±39.3	123.7±34.6	123.7±34.6
선행연구2 b	156.8±45.5	156.8±45.5	104.0±33.6	104.0±33.6
시판제품c	-5.0±24.5	19.3±14.3	-17.9±19.2	17.9±19.2
개발식1d	-3.9±24.4	18.7±15.8	-2.6±18.19	14.0±11.5
개발식2e	-6.0±19.7	15.4±13.5	-4.2±15.8	11.2±11.8

mean±S.D.  
a: Ainsworth et al.(1993)의 추정식으로 계산한 에너지소비량  
b: Melvin(2008)의 추정치를 이용하여 계산한 에너지소비량  
c: 고정식 자전거 운동 중 시판 유선속도계로 측정된 에너지 소비량  
d: 본 연구에서 개발된 주행시간에 따른 에너지소비량 추정식으로 계산한 에너지소비량  
e: 본 연구에서 개발된 주행시간과 주행속도에 따른 에너지소비량 추정식으로 계산한 에너지소비량  
f: 각각의 세로항목의 계산 에너지소비량 - 실측치

본 연구에서 측정된 자전거 운동 중 에너지소비량 실측치와 Ainsworth et al.(1993)의 추정치 및 Melvin(2008)의 추정치로 계산한 값, 시판제품으로 측정된 값, 개발식1, 2로 역추정된 값 등과의 적률상관계수(Pearson's r)는 <표 9>와 같다.

표 9. 계산 에너지소비량 간 적률상관계수  
Table 9. Momentum correlation coefficient between calculated energy consumption

실측치	선행연구		개발식	
	1b	2c	1d	2e
실측치	1			
선행연구1	.694**	1		
선행연구2	.720**	.991**	1	
개발식1	.346**	.582**	.516**	1
개발식2	.653**	.818**	.828**	.738**

\*\* p<0.01  
a: 본 연구에서 실측한 자전거 운동 중 에너지소비량  
b: Ainsworth et al.(1993)의 추정식으로 계산한 에너지소비량  
c: Melvin(2008)의 추정치를 이용하여 계산한 에너지소비량  
d: 본 연구에서 개발된 주행시간에 따른 에너지소비량 추정식으로 계산한 에너지소비량  
e: 본 연구에서 개발된 주행시간과 주행속도에 따른 에너지소비량 추정식으로 계산한 에너지소비량

### 4.5 실외검증

실외검증 결과 10kph 이하의 주행속도인 경우 에너지소비량을 구체적으로 제시하는 것보다 'xx Kcal 이하의 값' 정도로 제시하고(물론 제품설명서에서도 제시되어야 함), 최종적인 에너지소비량에서는 가산하지 않는 것이 오차를 감소시키는 방법으로 제언된다.

이상의 결과를 종합하면 자전거 운동 중 에너지소비량 계산을 위한 알고리즘개발에는 주행시간 및 주행속도에 따른 에너지소비량 모델 개발이 적절한 것으로 제언된다. 또한 주행시간과 주행속도는 매 1분마다 측정되어 5분 단위로 산술처리하는 조건에서 본 연구에서 개발된 알고리즘이 신뢰도 높은 결과를 제공할 것으로 사료된다.

## 5. 결론

개인용 이동수단기술 개발 사업 중 고부가가치 자전거 개발 사업의 일환으로 자전거 운동 중의 에너지소비량 계산을 위한 알고리즘을 개발하고자 하는 목적으로 수행된 연구 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1)자전거 운동 중 주행시간에 따른 에너지소비량 추정식은 남자의 경우 '에너지소비량(Kcal)=5.048×(시간(분))-2.258', 여자의 경우 '에너지소비량(Kcal)=4.466×(시간(분))-1.605'로 산출되었다.

2)자전거 운동 중 주행시간과 주행속도에 따른 에너지소비량 추정식은 남자의 경우 '에너지소비량(Kcal)=(0.05×속도(kph))×(4.750×시간(분)+0.091)', 여자의 경우 주행속도 20kph 이하 조건에서는 '에너지소비량(Kcal)=(0.05×속도(kph))×(4.151×시간(분)-0.736)', 주행속도 20kph 초과 조건에서는 '에너지소비량(Kcal)=(0.04×속도(kph))×(4.151×시간(분)-0.736)'으로 산출되었다.

결론적으로 자전거 운동 시 에너지소비량 산출에는 주행시간 및 속도에 따른 에너지소비량 추정식 적용이 적절한 것으로 판단되며, 이를 기반으로 한 에너지소비

량 산출 기기가 개발되어 사용자의 적정운동량 산출에 응용되어야 할 것으로 제언된다.

## REFERENCES

- [1] KOTI Bicycle Transport Brief, THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE, Vol.2 No.8 2011.08.01.
- [2] 2012 bike sales, more than cars... 'Two Wheels Frenzy' runs towards the trillion 1 market, THE KOREA ECONOMIC DAILY, 2013.08.23., <https://www.hankyung.com/news/article/2013082340381>
- [3] 13.4 million people who use bicycles-3.3 million of them use bicycles every day, THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE, 2017.03.09., [https://www.koti.re.kr/user/bbs/BD\\_selectBbs.do?q\\_searchKeyTy=sj\\_\\_\\_1002&q\\_searchVal=%EC%9E%90%EC%A0%84%EA%B1%B0&q\\_bbsCode=1005&q\\_bbscttSn=20170309140233834&q\\_rowPerPage=10&q\\_currPage=1&q\\_bbsSortType=e&](https://www.koti.re.kr/user/bbs/BD_selectBbs.do?q_searchKeyTy=sj___1002&q_searchVal=%EC%9E%90%EC%A0%84%EA%B1%B0&q_bbsCode=1005&q_bbscttSn=20170309140233834&q_rowPerPage=10&q_currPage=1&q_bbsSortType=e&)
- [4] Lim Myoung-Seong, Development of the mathematic algorithm for energy expenditure calculation during cycling, Domestic Master's Thesis, Graduate School, Kwandong University, 2014. Gangwon-do
- [5] The e-bike market laughs as self-sufficiency increases, SAMSUNG SDI, 2017.04.27., <https://www.samsungsdi.co.kr/column/all/detail/34911.html>
- [6] Higher than the OECD average, such as Korea's life expectancy and the level of medical equipment possession -Health care in Korea as seen by OECD statistics-, Ministry of Health and welfare, 2020.07.22., [http://www.mohw.go.kr/react/al/sal0301vw.jsp?PAR\\_MENU\\_ID=04&MENU\\_ID=0403&CONT\\_SEQ=355518](http://www.mohw.go.kr/react/al/sal0301vw.jsp?PAR_MENU_ID=04&MENU_ID=0403&CONT_SEQ=355518)
- [7] Heung-Hwan Go (1992). Measurement evaluation of physical education-theory and practice. Seoul: Yonsei University Press.
- [8] National Sports Promotion Corporation's Racing Operation Headquarters (2002). A study on the revitalization plan for cycling for the promotion of life sports.
- [9] Kim Eui Myoung(2010). Service for Bicycle Use Information Based on Low Carbon Green Growth. Korean Society for Geospatial Information Science, 18(3), 75-81.
- [10] Ministry of Culture, Sports and Tourism (2019). 2019 National Living Sports Survey.
- [11] Physical Education Research Institute, Sports Instructor Training Institute (2009). Level 3 Life Sports Leader Training Textbook. Seoul: Daehan Media.
- [12] Korean Economy (2012). A bicycle company that runs through. Page 15 of August 27.
- [13] Korea Tourism Culture Institute (2009). KCTI culture and art tourism trend analysis.
- [14] Ainsworth, B.E., Haskell, W.L. & Leon, A.S.(1993). Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. Med. Sci. Sports Exerc., 25(1), 71-80.
- [15] Melvin, H.W.(2008). Nutrition for health, & Fitness(8th Ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- [16] Weir, J.B.(1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. J. Physiol., 109(1-2), 1-9.
- [17] <http://prevention.sph.sc.edu/tools/compendium.htm>

---

### 저자약력

---

#### 임 명 성 (Myoung-Seong Lim)

#### [정회원]



<관심분야>

- 2003.03.03 - 2012.02.03. 가톨릭관동대학교(학사졸업) 스포츠의학 전공
- 2012.03.03 - 2014.02.02 가톨릭관동대학교(석사졸업) 운동 재활 전공
- 2011.12. ~ 2014.01. : 한국체육과학연구원 운동생리학실 (생리학 실험실 조교 및 관리보조)
- 현재 : 도미 수학 중

스포츠 운동분석

**정 진 형 (Jin-Hyoung Jeong) [정회원]**



- 2012년 2월 : 가톨릭관동대학교 의료공학과 졸업 (학사)
- 2014년 2월 : 가톨릭관동대학교 일반대학원 졸업 (공학석사)
- 2017년 8월: 가톨릭관동대학교 일반대학원 졸업 (공학박사)
- 2017년 9월 ~ 현재: 가톨릭관동대학교 초빙교수

〈관심분야〉 의용메카트로닉스, 디지털 신호처리, 영상처리,

**이 상 식(Sang-Sik Lee) [종신회원]**



- 1993-2000년 LG전선(주)
- 1996-2000년 성균관대학교 박사
- 2001-2004년 (주)미도테크
- 2004-2010년 성균관대학교 연구 교수
- 2011-현재 가톨릭관동대학교 의료 공학과 교수

〈관심분야〉 의용메카트로닉스, u-Health, 생체역학, 의용전기전자

**장 지 훈 (Jee-Hun Jang) [일반회원]**



- 1993년 : 중앙대학교 약학대학 졸업
- 2003년 한국체육대학교 체육학과 박사
- 2009 ~ 현재: 가톨릭관동대학교 스포츠레저학과 교수

〈관심분야〉 스포츠의학, 운동재활