

생체 신호를 이용한 핸드사이클의 효율성 분석

이재훈

성결대학교 파이데이아학부

Efficiency Analysis of Hand Cycle Utilizing Vital Sign

Jae-Hoon Yi

College of Faidea, Sungkyul University, Anyang-si 14097, Republic of Korea

[요 약]

이 연구의 목적은 실제 장애인 선수들을 대상으로 시중에 판매되고 있는 High-end급 핸드 사이클과 새로 개발한 핸드사이클의 크랭킹을 비교 분석 하고자 한다. 현재 대한장애인사이클 연맹에 선수로 등록되어 있는 선수중 동일한 지체유형을 가지고 있는 남자선수 10명을 대상으로 하였다. 대상자들의 운동학적 데이터 획득을 위해 12대의 적외선카메라(Oqus-500)를 사용하였다. 자료 획득을 위해 30초 자료 중 15초 전·후의 크랭킹 3회를 분석하였다. 통계적 검정은 SPSS 16을 이용하여 대응표본 t-test를 이용하여 RX와 시제품의 운동역학적 변인의 차이를 검정하였으며, 이때의 유의 수준은 $\alpha=0.05$ 로 하였다. 크랭킹 시 근발현이 가장 높게 나타나는 180~195도 구간에 대한 선수들의 근 피로도 감소를 위해 핸드사이클 크랭크를 곡선으로 제작하여 적용할 필요가 있으며, 향후 연구에서는 핸드사이클의 크랭킹이 경기력 향상의 주요변인인 만큼 구조를 변형시킨 크랭크와 기존데이터를 비교 분석할 필요가 있다.

[Abstract]

Propose of this study was to compared and analyzes the cranking between the newly developed hand cycle prototype and the high-end hand cycle that are sold on the market for the disabled athletes. For this study, 10 male subjects, who had the same type of disability, were selected from the Korea Disabled Cycle Federation. 12 infrared camera(Oqus-500) was utilized to acquire the subjects' kinematic data. we have analyzed the data of 30 seconds - 15 seconds before and after cranking. SPSS 16 was used for a statistical verification and the difference of the sports biomechanical variable between RX and the prototype was verified by utilizing pared samples t-test. The significance level at the time of the experiment was $\alpha=0.05$. The results show that there is a need to design the hand cycle crank in a curve shape to lessen the muscle fatigue that is measured the highest between the angle of 180 to 195. In addition, comparative analysis between the existing data and the data of modified crank must be researched since the hand cycle cranking is one of the main variables in performance enhancement.

색인어 : 핸드사이클, 근 활성화, 관절 가동범위, 크랭킹, 동작분석

Key word : Hand Cycle, Muscle Activity, Range of Motion, Cranking, Motion Analysis

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2018.19.7.1297>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 24 June 2018; Revised 18 July 2018

Accepted 25 July 2018

*Corresponding Author; Jae-hoon Yi

Tel: +82-31-467-8374

E-mail: eddyfox7@hotmail.com

1. 서론

핸드사이클(hand cycle)은 누운 자세로 손을 이용하여 크랭크(crank)를 회전시키는 사이클을 뜻한다. 이렇듯 핸드사이클이 양팔을 이용하여 크랭킹을 하기 때문에 하지(lower extremity)를 이용하는 일반적인 사이클에 비하여 체력소모가 높아 일반인들로 하여금 진입장벽이 높은 종목이라 할 수 있다. 개발 초기 핸드사이클은 하지에 장애를 가지고 있는 척수장애인(spinal cord injury)들을 대상으로 개발되었으나 최근 유럽 등의 선진국에서는 비장애인들도 즐기고 있는 스포츠이다[1]-[3]. 그러나 아직 국내의 경우에는 일반자전거에 비하여 무거운 차체를 상지를 이용하여 이겨내야 하는 강한 체력이 필요하다는 점과 누워서 사이클을 타야하는 핸드사이클의 특성상 시야 확보가 어렵고 대중들에게 익숙하지 않기 때문에 국내에서는 생소한 종목중 하나이다. 더욱이 국내에서 공급되고 있는 핸드사이클은 일반 사이클과 달리 전량 해외 수입에 의존하고 있는 실정이다. 그러므로 자전거의 성능 및 메이커에 따라 다양한 가격대가 형성되어 있는 일반적인 사이클과 달리 높은 가격대를 형성하고 있기 때문에 장애인 및 비장애인이 생활체육으로써 핸드사이클 종목에 진입하는데 높은 장벽으로 작용하고 있는 것이 사실이다.

보다 다양한 제품이 개발되어 핸드사이클의 가격이 낮춰진다면 장애인 및 비장애인들이 쉽게 핸드사이클 종목에 접근할 수 있을 것으로 생각된다. 이처럼 많은 대중들에게 핸드사이클 종목에 대한 접근성을 높여주기 위해서는 다양한 방면에서 핸드사이클에 대한 체계적이며 과학적인 연구가 이루어져야 한다[4]. 이러한 다양한 연구결과들을 통해 국내 기술을 축적하고 발전시킨다면 저렴한 가격에 핸드사이클을 보급함으로써 핸드사이클의 진입장벽을 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

최근 핸드사이클의 생체역학적(biomechanical) 관점에서의 연구들은 핸드사이클의 부품과 선수의 자세 혹은 장비와 선수의 인터페이스(interface)에 관한 연구가 주류를 이루고 있다. 크랭크의 길이는 크랭크비와 관계없이 180mm가 220mm에 비해 더 효율적이며[5], 최대 파워(maximal power)의 관점에서 크랭크의 너비(width)는 가슴너비(chest width)의 85%, 길이(length)는 팔 길이의 26%가 최적이라 보고되고 있다. 그리고 크랭크의 길이와 두께는 최적 케이던스(cadence)와 핸들스피드(handle speed)에 유의하지 않다고 보고되고 있다[6].

최대 파워(submaximal power) 상황에서 그립(grip) 각도가 당길 때는 30도, 내릴 때는 15도 일 때 최대(maximal) 일(work)을 생성하므로 핸드그립(hand grip)의 각도는 30도가 최적이라 보고하였다[7].

크랭킹 시 근육의 활성화도(muscle activity)는 다른 두 쌍의 길항근육(antagonist pairs muscles)의 관계와 달리 위팔두갈래와 위팔세갈래근에서 동시수축(co-contraction)이 발생하는 것으로 보고하였으나 이는 대상자의 숙련정도에 따라 다를 수 있다고 보고하였다[8]. 그러나 이 연구는 비장애인을 대상으로 한

사례연구로 상체의 움직임이 제한적인 척추 손상 장애인들과 직접적인 비교는 어렵다고 생각된다.

핸드사이클은 대상자가 생성한 힘을 핸드사이클에 얼마나 효율적으로 전달할 수 있는지가 경기력향상의 관건이다. 이러한 핸드사이클의 동력전달은 크랭킹에 의해 전달되므로 크랭킹이 경기력을 결정짓는 가장 중요한 요인이라 할 수 있다. 그러므로 이 연구는 실제 장애인 선수들을 대상으로 시중에 판매되고 있는 High-end급 핸드사이클과 새로 개발한 핸드사이클(prototype)의 크랭킹을 비교 분석 하고자 한다. 주요 분석변인은 크랭킹시 주로 사용되는 상체의 근활성도를 크랭크의 각도에 따라 비교분석하였으며, 이렇게 분석된 자료들은 한국형 핸드사이클 개발을 위한 자료로 활용될 것이다.

II. 연구방법

2-1 연구대상

이 연구는 현재 대한장애인사이클 연맹(Korea Disabled Cycle Federation)에 선수로 등록되어 있는 선수 중 H3 등급과 H4 등급의 지체유형을 가지고 있는 남자선수 10을 대상으로 하였다(경력: 8.62±0.07 yrs., 연령: 49±2.12 yrs., 몸무게: 58.50±0.71 kg, 착좌 신장: 79.25±10.25 cm). 리컴버트(recumbent) 유형의 상완추진(Arm-Power propulsion) 방법의 추진방법을 사용하는 대상자들이 참여하였으며, 각 등급별 5명씩 이 연구에 참여하였다.

2-2 실험설계 및 절차

실험 전 모든 선수들에게 실험의 목적, 내용 및 방법에 관하여 대상자들에게 설명하였고 자발적으로 참여의사를 밝히고 참가동의서에 서명한 10명을 대상으로 실험을 진행 하였다. 또한 이 연구는 장애인선수들을 대상으로 하는 실험이므로 실험 전 연세대학교 원주캠퍼스 생명윤리위원회(institutional review board)의 승인(승인번호: 104189-201505-BM -040-02, 승인일 2015. 7.9)을 획득하였다.



그림 1. 실험에 사용된 핸드사이클
Fig. 1. Experimental Hand Cycle

표 1. 크랭킹시 근육의 활성화도 (M±SD, %)
Table 1. Muscle Activity in Cranking Activity (M±SD, %)

Cycle		Biceps B.	Brachio.	Deltoid	PectoralisM.	TricepsB.
Prototype	Max	0.91(0.11)	0.92(0.09)*	0.9(0.08)	0.84(0.12)	0.87(0.08)
	Mean	0.29(0.04)	0.36(0.06)	0.37(0.07)	0.37(0.05)	0.34(0.07)
RX	Max	0.81(0.12)	0.83(0.08)*	0.88(0.06)	0.88(0.04)	0.88(0.08)
	Mean	0.26(0.05)	0.32(0.04)	0.35(0.07)	0.38(0.05)	0.34(0.03)

실험 시 모든 대상자들의 자연스러운 크랭킹을 위해 실험전 모든 대상자들에 맞도록 핸드사이클의 조절장치(안장길이, 등받이 각도 등)를 피팅(fitting) 하였다.

실험 시 드라이브 스프라킷(drive spraket)은 50T로 고정하였고 부하는 CS-HG 50(Shimano MTB spraket)으로 조절하였다. 실험 데이터 획득은 실험대상자가 충분한 워밍업(warm-up) 후 30초간의 최대운동(maximal exercise)으로 크랭킹을 하도록 요구하였고, 모든 대상자들은 Top End Force RX Handcycle-Adjustable Carbon Fiber Back(Invacare, USA)과 시제품인 핸드사이클을 각각 1회씩 타도록 요구 하였다.

2-3 측정항목 및 방법

핸드사이클을 실내 훈련용 롤러인(indoor training roller), 르몽드 레버루션(Lemond Revolution, USA)에 거치하고, 상지관절각과 상지의 주요근육의 근활성도를 획득하였다(Delsys inc., USA). 대상자들의 운동학적(kinematic) 데이터 획득을 위해 12대의 적외선카메라(Infrared camera, Oqus-500)를 사용하였고, 크랭킹시 상지의 주요근육인 위팔두갈래근(Biceps Brachii), 위팔노근(Brachioradialis), 어깨세모근(Deltoid), 큰가슴근(Pectoralis Major), 위팔세갈래근(Triceps Brachii)의 근활성도를 측정하였다.

크랭킹의 국면(phase)과 이벤트(event) 정의를 위하여 s-EMG를 이용하여 표준화된(normalized) 적분(integral) EMG를 측정하였고 반복동작인 크랭킹 국면 및 이벤트는 근 활성도가 가장 높은 위팔노근의 근활성 시점(on set)을 기준으로 이벤트 1은 그립을 당기는 시점, 이벤트 2는 그립을 미는 시점으로 선정하여 국면 1은 크랭크를 당기는 구간, 국면 2는 크랭크를 미는 구간으로 정의 하였다.

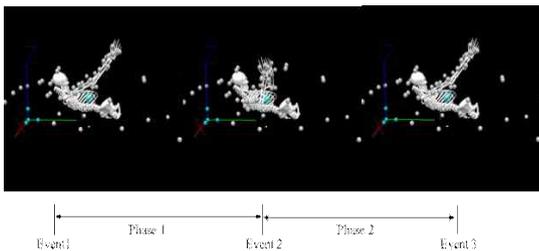


그림 2. 국면 및 이벤트
Fig. 2. Phase and Event

2-4 자료처리

자료처리는 Visual 3D(C-motion, USA) 프로그램을 이용하여 인체모델을 모델링하고 시상면(sagittal frame)에서의 상지관절의 각변위(angle displacement) 패턴을 획득하였다. 이때 회전방향은 음(-)을 굴곡(flexion), 양(+)을 신전(extension)으로 정의 하였다.

카메라를 통해 획득한 원자료(raw data)는 노이즈(noise)에 의한 오차를 제거하기 위해 ‘버터워스양방향필터’(second order butterworth bidirectional filter)를 사용하였고, 근전도(EMG) 신호는 20~500Hz의 대역필터(band pass filter)를 사용하였다. 그리고 근육의 최대등척성 수축(maximal isometric contraction)에서 생성된 진폭(amplitude)을 사용하는 것은 동적 수축 상황(dynamic contraction conditions)에서는 오류가 야기될 수 있으므로[9] 대안으로 제시되고 있는 실제 동작 수행 시 수축동안의 최대 진폭(maximal amplitude)을 다른 진폭(amplitude)으로 나누는 상대적도인 RVC 기법을 사용하였다[10].

상지관절각의 변화 패턴과 근활성도 자료획득을 위해 30초 자료 중 15초 전·후의 크랭킹 3회를 분석하였고 통계적 검정은 SPSS 16을 이용하여 대응표본 t-test를 이용하여 RX와 시제품의 운동역학적(kinematic) 변인의 차이를 검정하였으며, 이때의 유의 수준은 $\alpha=0.05$ 로 하였다.

III. 결 과

크랭킹 시 위팔두갈래근, 위팔노근, 어깨세모근의 최대 및 평균 근활성도는 RX에 비하여 시제품이 큰 것으로 나타났다. 그러나 이러한 차이는 위팔노근을 제외하고 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

크랭킹 시 큰가슴근, 위팔세갈래근의 최대 및 평균 근활성도는 시제품이 RX에 비하여 작은 것으로 나타났다. 그러나 이러한 차이는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

크랭킹시 RX와 시제품의 상지관절각 변화는 두 가지 사이클간에 차이가 없는 것으로 나타났다.

크랭킹 시 시제품의 위팔두갈래근, 위팔노근 및 어깨세모근의 근활성도 변화 패턴은 RX와 유사한 것으로 나타났으나 RX에 비하여 근발현량이 다소 높은 것으로 나타났다.

크랭크를 미는 구간에서 큰가슴근의 근활성도는 두 제품 간 차이가 없었으나 시제품이 RX에 비하여 근육의 발현시점이 다소 늦은 것으로 나타났다. 위팔세갈래근은 두 제품 간의 차이가 없는 것으로 나타났으며, 변화패턴의 차이도 없는 것으로 나타났다.

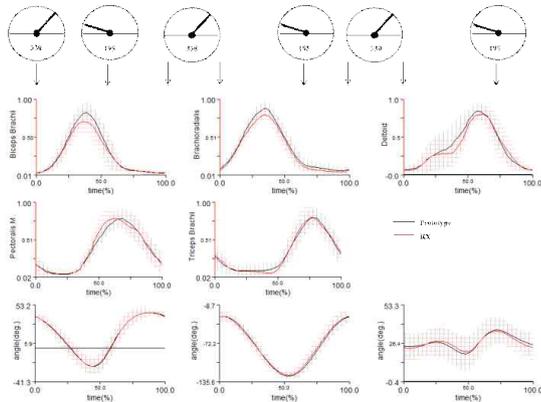


그림 3. 크랭킹시 근육의 활성화도 변화패턴
Fig. 3. Muscle Activity Variation in Cranking

IV. 논 의

두 종류의 핸드사이클 모두 크랭크 각도가 0~15도 일 때 최대 근발현을 보이는 것으로 나타났다. 이 연구에서 위팔두갈래근의 최대 근활성도는 91%로 나타났다. 이는 81%[11]~85%[4]라고 보고한 이전의 연구보다 높은 수치이다. 특히 선행연구에서는 상승모근을 제외하고는 위팔세갈래근, 큰 가슴근, 어깨세모근의 활성도가 60%를 넘지 않는 것으로 보고하였으나 이 연구에서는 최대 근활성도가 모두 85% 이상인 것으로 나타났다.

이 연구는 실제 핸드사이클 선수들을 대상으로 한 결과로써 핸드사이클에 익숙하지 않은 일반인을 대상으로 한 이전의 선행연구들과는 다른 것으로 생각한다. 특히 이러한 실험 참가자의 경험이 크랭킹 시 주동근을 효율적으로 활용할 수 있도록 하기 때문에 선행연구들에 비하여 근활성도가 높게 나타난 것이라 생각된다[12].

이 연구에서 위팔두갈래근이 약 270도부터 발현을 시작하여 195도 까지 발현되는 것으로 나타났다. 이는 위팔두갈래근은 크랭크가 0도와 180도 사이에서, 위팔세갈래근은 180도에서 360 사이에서 발현된다고 보고한 선행연구결과와 다른 결과를 보였다[4]. 이러한 결과는 결과적으로 동시수축(co-contraction) 범위를 증가시키게 되며, 동시수축 순간의 증가가 선수의 숙련도에 따른 결과인지는 비교할 문헌이 없기 때문에 명확히 알 수 없다.

크랭킹 시 상지관절의 각도변화 패턴은 RX와 시제품간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 관절각도의 변화는 크랭킹의 효율성을 평가하는 중요한 변수로 간주되며[13]-[15], 특히 핸드

사이클의 크랭킹 동작은 반복동작이므로 개발된 시제품이 시중에 판매되고 있는 High-end 제품과 동일하게 크랭킹을 하는데 문제가 없다고 판단된다.

근발현이 가장 높게 나타나는 구간은 180~195도 구간으로 나타났다. 그러므로 크랭킹이 핸드사이클의 경기력 향상의 주요변인인 만큼 핸드사이클 크랭크의 구조를 변화 시킨다면 보다 효율적일 것이라 판단된다. 특히 핸드그립에 따른 혈중 젖산농도(blood lactate density)의 차이가 달라진다는 선행연구결과[16]를 살펴볼 때 그립과 크랭크의 구조적 변화는 크랭킹을 보다 효율적으로 수행할 수 있을 것이다[5].

이 연구의 결과치는 실제 장애인선수를 대상으로 획득한 것으로써 지금까지 비장애인을 대상으로 연구된 대부분의 선행연구 결과치와 직접적으로 비교 할 수 없는 아쉬움이 있다. 그러나 장애인선수들에 관한 직접적인 연구 자료로써 그 가치 높다고 판단된다.

V. 결 론

이 연구는 장애인 핸드사이클 선수를 대상으로 경기력과 직접적으로 관계있는 크랭킹 시 상지근육의 근활성도 및 변화패턴을 분석하기 위하여 실시되었다.

이를 위해 대상자들은 동일한 장애유형(types of disability)이고 모두 리컴버트 유형의 핸드사이클을 타는 선수를 대상으로 하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

크랭킹 시 위팔두갈래근, 위팔노근, 어깨세모근의 최대 및 평균 근활성도는 RX에 비하여 시제품이 큰 것으로 나타났고 근활성도 변화 패턴은 유사한 것으로 나타났다. 크랭크를 미는 구간에서 큰가슴근의 근활성도는 RX에 비하여 시제품이 작은 것으로 나타났으나, 근육의 발현시점(muscle on set)이 다소 늦은 것으로 나타났다.

크랭킹시 RX와 시제품의 상지관절각 변화는 두 가지 사이클간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러므로 크랭킹 시 근발현이 가장 높게 나타나는 180~195도 구간에 대한 선수들의 근피로도(muscle fatigue) 감소를 위해 핸드사이클 크랭크를 곡선으로 제작하여 적용할 필요가 있다고 판단된다.

기존의 대부분의 선행연구들이 핸드사이클링이 익숙하지 않은 일반인들을 대상으로 한 것과 달리 이 연구는 실제 핸드사이클 선수들을 대상으로 한 결과로써 이 연구결과를 일반화하기 위한 선행결과들이 다소 부족한 것이 사실이다. 그러므로 향후 연구에서는 핸드사이클의 크랭킹이 경기력 향상의 주요변인인 만큼 구조를 변형시킨 크랭크와 이 연구 결과의 데이터와 비교 분석할 필요가 있으며, 장애인 선수들의 경우 장애요인(obstructive factor) 및 복합장애(multiple disabilities)에 따른 신체의 기능적 차이가 존재하기 때문에 실험 표본집단(sample group)을 조심스럽게 통제해야 한다고 판단된다.

그러므로 향후 더 많은 국가대표선수를 대상으로 자료를 축

적하고 핸드사이클 크랭킹에 영향을 미치는 요소 및 부품을 최적화하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

위 논문은 문화체육관광부의 스포츠산업기술개발사업에 의거 국민체육진흥공단의 국민체육기금을 지원받아 연구되었습니다.

참고문헌

- [1] T. Abel, T., M. Kröner, S. Rojas Vega, C. Peters, C. Klose, and P. Platen, "Energy expenditure in wheelchair racing and handbiking - a basis for prevention of cardiovascular diseases in those with disabilities," *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation*, Vol. 10, No. 5, pp. 371-376, 2003a.
- [2] T. Abel, S. Schneider, P. Platen, and H. K. Strüder, "Performance diagnostics in handbiking during competition," *Spinal Cord*, Vol. 44, No. 4, pp. 211-216, 2006.
- [3] U. Arnet, T. Hinrichs, V. Lay, S. Bertschy, H. Frei, and M. W. G. Brinkhof, "Determinants of handbike use in persons with spinal cord injury: results of a community survey in Switzerland," *Disability and Rehabilitation*, Vol. 38, No. 1, pp. 81-86, 2016.
- [4] A. Faupin, P. Gorce, E. Watelain, C. Meyer, and A. Thevenon, "A biomechanical analysis of handcycling: A case study," *Journal of Applied Biomechanics*, Vol. 26, No. 2, pp. 240-245, 2010.
- [5] V. L. Goosey-Tolfrey, H. Alfano, and N. Fowler, "The influence of crank length and cadence on mechanical efficiency in hand cycling," *European journal of Applied Physiology*, Vol. 102, No. 2, pp. 189-194, 2008.
- [6] C. Krämer, L. Hilker, and H. Böhm, "Influence of crank length and crank width on maximal hand cycling power and cadence," *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 106, No. 5, pp. 749-757, 2009a.
- [7] C. Krämer, G. Schneider, H. Böhm, I. Klöpfer-Krämer, and V. Senner, "Effect of different handgrip angles on work distribution during hand cycling at submaximal power levels," *Ergonomics*, Vol. 52, No. 10, pp. 1276-1286, 2009b.
- [8] A. Faupin, P. Gorce, and C. Meyer, "Effects of type and mode of propulsion on hand-cycling biomechanics in nondisabled subjects," *Journal of Rehabilitation Research & Development*, Vol. 48, No. 9, pp. 1049-1060, 2011.
- [9] G. A. Mirka, "The quantification of EMG normalization error," *Ergonomics*, Vol. 34, No. 3, pp. 343-352, 1991.
- [10] D. G. E. Robertson, G. E. Caldwell, J. Hamill, G. Kamen, and S. N. Whittlesey, *Research Methods in Biomechanics*. Champaign, Human kinetics, 2004.
- [11] H. E. Veeger, L. H. van der Woude, and R. H. Rozendal, "A computerized wheelchair ergometer. Results of a comparison study," *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, Vol. 24, No. 1, pp. 17-23, 1992.
- [12] H. W. Wu, L. J. Berglund, F. C. Su, B. Yu, A. Westreich, K. J. Kim, and K. N. An, "An instrumented wheel for kinetic analysis of wheelchair propulsion," *Journal of Biomechanical Engineering*, Vol. 120, No. 4, pp. 533-535, 1998.
- [13] G. E. Caldwell, L. Li, S. D. McCole, and J. M. Hagberg, "Pedal and crank kinetics in uphill cycling," *Journal of Applied Biomechanics*, Vol. 14, No. 3, pp. 245-259, 1998.
- [14] J. Verellen, D. Theisen, and Y. Vanlandewijck, "Influence of crank rate in hand cycling," *Medicine and science in sports and exercise*, Vol. 36, No. 10, pp. 1826-1831, 2004.
- [15] H. A. Bafghi, A. de Haan, A. Horstman, and L. van der Woude, "Biophysical aspects of submaximal hand cycling," *International Journal of Sports Medicine*, Vol. 29, No. 8, pp. 630-638, 2008.
- [16] A. Mader, "Glycolysis and oxidative phosphorylation as a function of cytosolic phosphorylation state and power output of the muscle cell," *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 88, No. 4-5, pp. 317-338, 2003.



이재훈(Jae Hoon Yi)

2003년 : 한국체육대학교 체육학과 (체육학학사)

2005년 : 한국체육대학교 대학원 체육학과 (체육학석사)

2010년 : 한국체육대학교 대학원 체육학과 (이학박사)

2010년~2011년: 아주대학교 공학연구소 전임연구원

2011년~2013년: 나사렛대학교 연구교수

2013년~현 재: 성결대학교 파이데이아학부 교수

※관심분야 : 스포츠클리닉, 경기력향상, 동작분석 등