

Kinect Sensor 기반의 개인 맞춤형 운동 처방 시스템 개발

Development of Personalized Exercise Prescription System based on Kinect Sensor

우현지*, 유미**, 홍철운**, 권대규**

전북대학교 대학원 헬스케어공학과*, 전북대학교 공과대학 바이오메디컬공학부**

Hyun-Ji Woo(whj6936@naver.com)*, Mi Yu(yumi@jbnu.ac.kr)**,
Chul-Un Hong(cuhong@jbnu.ac.kr)**, Tae-Kyu Kwon(kwon10@jbnu.ac.kr)**

요약

본 연구는 Kinect Sensor 기반의 개인 맞춤형 운동 처방 시스템을 개발하고, 개발 시스템의 사용성을 평가하는 것이다. 개발 시스템을 개인 맞춤형 운동 처방 시스템을 모션캡처 도구로서 이용할 수 있을지에 대한 가능성 검증을 위해서 스마트 거울 시스템에 부착된 키넥트 센서(Kinect sensor)에서 측정된 인체 움직임 데이터와 적외선 모션캡처 장비에서 측정된 인체 움직임 데이터를 비교하여 타당성과 신뢰성을 분석하였다. 타당성 검증 결과 상관계수 $r=0.871\sim0.919$ 로 높은 양의 상관성을 보였고, 예측가능정도가 88%로 높게 나타났다. 신뢰성 검증 결과 $r=0.743\sim0.916$ 높은 양의 상관성을 보였고, 반복 측정에 대한 일관성도 $ICC=0.937$ 로 매우 높게 나타났다. 결론적으로 본 연구에서 개발한 키넥트 센서기반의 운동 처방 시스템에서 인간 골격에 대한 특징 벡터를 통한 관절의 가동범위 평가 및 자세측정평가가 운동 처방을 제공하는데 있어서 하나의 기준이 될 수 있다는 가능성을 보여주었다. 향후 병원, 임상시험센터, 스포츠센터 등의 운동처방사 혹은 물리치료사, 퍼스널 트레이너들에게 전문성 제고에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

■ 중심어 : | 스마트 거울 | 운동 처방 | 바이오 피드백 | 키넥트 센서 | 보행 분석 |

Abstract

The purpose of this study is to investigate the personalized treadmill exercise analysis using a smart mirror based on Kinect sensor. To evaluate the performance of the development system, 10 health males were used to measure the range of the hip joint, knee joint, and ankle joint using a smart mirror when walking on a treadmill. For the validity and reliability of the development system, the validity and reliability were analyzed by comparing the human movement data measured by the Kinect sensor with the human movement data measured by the infrared motion capture device. As a result of validity verification, the correlation coefficient $r=0.871\sim0.919$ showed a high positive correlation, and through linear regression analysis, the validity of the smart mirror system was 88%. Reliability verification was conducted by ICC analysis. As a result of reliability verification, the correlation coefficient $r=0.743\sim0.916$ showed high correlation between subjects, and the consistency for repeated measurement was also very high at $ICC=0.937$. In conclusion, despite the disadvantage that Kinect sensor is less accurate than the motion capture system, Kinect is it has the advantage of low price and real-time information feedback. This means that the Kinect sensor is likely to be used as a tool for evaluating exercise prescription through human motion measurement and analysis.

■ keyword : | Smart Mirror | Exercise Prescription | Bio-feedback | Kinect Sensor | Gait Analysis |

* 본 연구는 "공공기관 연계 지역산업 육성사업(한국산업기술진흥원, 과제번호:P0004793, 과제명:노인성 질환 중심 사회문제 해소형 Open Lab 생태계 구축)" 및 "연구개발특구진흥재단-기술사업화역량강화 사업(과학기술정보통신부, 과제번호 : 2021-JB-RD-0035-01, 과제명 : 실감형 ICT 운동 기술기반 구축형 인터랙티브 코칭 홈트레이닝 난타북 및 운동서비스 플랫폼 개발)의 지원을 받아 수행한 결과입니다.

접수일자 : 2022년 02월 15일

수정일자 : 2022년 03월 18일

심사완료일 : 2022년 03월 18일

교신저자 : 권대규, e-mail : kwon10@jbnu.ac.kr

I. 서론

최근 첨단 과학 기술, 보건 의료 서비스의 발달, 인간의 평균 수명의 급격한 연장과 웰빙(well-being), 웰니스(wellness)라는 문화적 추세(trend)의 열풍으로 현대인들의 건강관리 개선 및 욕구가 점점 높아지고 있는 추세이다[1]. 질병예방과 건강관리를 위한 올바른 생활습관과 운동에 대한 중요성과 필요성이 부각되고 있음에도 불구하고 현대인들은 어떻게 실시하는 것이 효과적인 운동인가에 대해서는 해답을 찾지 못하고 있다[2]. 안전하고 효과적인 운동을 위해서는 개인의 건강상태 및 특성에 맞는 운동의 종류나 방법 등을 선택하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

운동처방이란 개인의 건강과 체력유지 및 향상을 목표로 각 개인에게 맞는 운동 형태, 운동 강도, 운동 시간, 운동 빈도 등을 결정하는 과정을 의미한다. 운동처방을 효과적으로 제공하기 위해서는 개개인의 신체적 특성과 질병여부 등을 고려한 문진과 객관적인 기초체력 테스트가 진행되어야 한다. 개인에 대한 맞춤형 운동 관리의 중요성이 증가하면서 기존의 일괄적이고 맹목적인 운동 서비스와 달리 개인의 특성을 반영한 운동 서비스의 중요성도 함께 증가하고 있다[3]. 그러나 다수의 전문 인력과 고가 장비의 필요에 인한 경제적 부담이 크다는 점, 동시에 다수에게 서비스를 제공하기 어렵다는 점, 운동처방에 대한 규칙과 형태 등이 다양하여 운동처방사 주관에 의한 수기식 운동처방이 이루어지고 있다는 점 등의 단점이 있다[2][4].

이러한 단점을 극복하는 방안으로 정보통신과 의료 기술이 융합된 개인 맞춤형 의료기기 및 운동처방의 필요성이 제기되고 있다. 이에 다양한 연령대 사용자들의 요구에 따른 운동처방 제공을 위해 정보통신과 의료 기술이 융합된 개인 맞춤형 의료기기 및 운동처방 소프트웨어 개발 등 다양한 연구와 개발이 국내외에서 활발히 진행되고 있다[5][6]. 인터넷 기반의 검사 및 체력측정을 통한 운동처방 프로그램 개발 연구들[7] 비롯하여 건강검진 데이터 기반의 맞춤형 운동처방 시스템개발[8], 다양한 사례를 기반으로 유사한 환경의 사용자에게 정해진 운동을 추천해주는 시스템 개발[5], 퍼스널 트레이너를 위한 웹 기반 회원관리 시스템 개발[9] 등과 같

이 꾸준히 연구되고 있다.

그러나 대부분 기존의 연구들은 단순히 사용자의 신체정보를 입력하고 운동처방을 제공하는 단일사용자 인터페이스 방식으로 데이터베이스화가 이루어지기에 어려움이 있었다. 또한 단순 모니터링 서비스 수준에 그쳐 각 개인에게 맞춤형된 운동처방 서비스를 제공하지 못하여 사용자들의 서비스에 대한 만족도가 낮은 것으로 나타났다[10]. 따라서 운동처방이 당면한 과제를 해결하고 사용자가 운동을 보다 효율적으로 수행하기 위해서는 사용자와 제공자간의 시·공간적 제약 극복이 가능하고 상호작용이 이루어지는 개인 맞춤형 바이오 피드백을 제공하는 운동처방 방법이 개발되어야 한다고 본다.

바이오 피드백 제공을 위한 인체의 움직임을 정량적으로 분석하기 위한 방법으로는 특정 장치를 사람의 신체에 부착하여 움직임을 측정하는 접촉식 방식과 카메라를 이용하여 움직임을 측정하는 비접촉식 방식으로 구분된다. 접촉식 방식은 움직임을 감지하는 가속도 센서나 자이로 센서 등을 이용한 컨트롤러 또는 신체에 직접 센서를 부착하여 얻은 데이터를 분석해서 동작 인식에 활용한다[11]. 접촉식 방식의 대표적인 예로는 모션캡처 시스템이 있다. 모션캡처 시스템은 사람이나 동물 등 관찰대상에 대하여 위치, 속도, 방향 등의 정보들을 추출하는 기능을 제공하는 시스템으로 디지털 애니메이션부터 생체역학적 분석에 이르기까지 매우 넓은 응용분야에서 사용되고 있다. Ramakrishna 등[12] 모션캡처 시스템을 활용하여 측정된 보행 자세 데이터베이스를 기반으로 인체의 기준 자세 표현 방법을 제안하였고, Fujiyoshi 등[13]은 모션캡처의 특징 추출 기법을 활용하여 제스처에 대한 실루엣 영상에 별 모양의 Star Skeleton을 생성하여 제스처를 표현하고 인식하는 방법에 대해 제안하였다. 적외선과 반사마커를 이용한 광학식 모션캡처 시스템은 높은 정확성을 갖는다는 장점이 있지만 측정을 위해서는 피험자에게 반사마커를 붙여야한다는 번거로움과 장시간 측정 시 어려움이 누적된다는 점과 매우 고가라는 단점을 가지고 있다 [13].

비접촉식 방식은 신체에 센서나 디바이스를 장착하지 않고 얻은 데이터를 분석하여 동작 인식에 활용한다

다. 접촉식 방식에 비해 동적인 동작과 센서가 인식하지 못하는 범위의 동작에 대해서는 정확한 데이터를 얻기 어렵다는 단점이 있다. 비접촉식 방식의 대표적인 예로는 마이크로 소프트사의 키넥트 센서(kinect sensor)가 있다. 키넥트 센서는 실시간으로 사람의 움직임을 추정하여 25개 관절의 인체 모델의 3D 좌표 데이터를 제공한다. 3D 좌표 데이터값을 실시간으로 제공할 수 있다는 점과 모션캡처 시스템보다 가격이 저렴하다는 것이 키넥트 센서의 최대 장점이다[14]. 최근 다양한 분야에서 키넥트 센서를 활용한 연구와 제품 개발이 진행되고 있다. 특히 재활치료와 스포츠과학 분야에서 환자의 움직임 분석과 관련된 연구가 증가하고 있다. Maria do Carmo Vilas-Boas 등[15]은 보행 시 Kinect v1과 Kinect v2의 관절 각도 측정값 비교 분석에 대한 연구를 통해서 키넥트 센서가 인체의 관절 각도 측정에 사용될 수 있다고 하였으며, Justin Amadeus Albert 등[16]은 트레드밀 보행 시 Azure Kinect와 Kinect v2를 이용한 보행 주기 분석에서 향상된 하드웨어와 모션 추적 알고리즘을 제공하는 Azure Kinect의 보행 보폭 정확도는 높게 나타났지만 보행 시간 결과 정확도에서는 큰 차이가 발견되지 않았다고 하였다.

따라서 본 논문에서는 Kinect Sensor 기반의 개인 맞춤형 운동 처방 시스템을 개발하였다. Kinect Sensor 기반의 개인 맞춤형 운동 처방 시스템을 모션캡처 도구로서 이용할 수 있을지에 대한 가능성 검증을 위해서 스마트 거울 시스템에 부착된 키넥트 센서(Kinect sensor)에서 측정된 인체 움직임 데이터와 적외선 모션캡처 장비에서 측정된 인체 움직임 데이터를 비교하여 타당성과 신뢰성을 분석하고자 하였다. 또한 사용자의 실시간 자세균형 평가 및 트레드밀 보행 시 운동역학적 골격 모델(Skeleton Model) 기반의 개인 맞춤형 운동 처방 시스템 개발하고 그에 따른 검증을 수행하고자 하였다.

II. 개인 맞춤형 운동 처방 시스템 개발

[그림 1]은 개발된 키넥트 센서 기반의 운동처방 시

스템 스마트 거울의 구조를 나타낸 것으로 시스템은 크게 스마트 거울과 개인 맞춤형 운동 처방을 제공하는 프로그램으로 구성되어 있다.

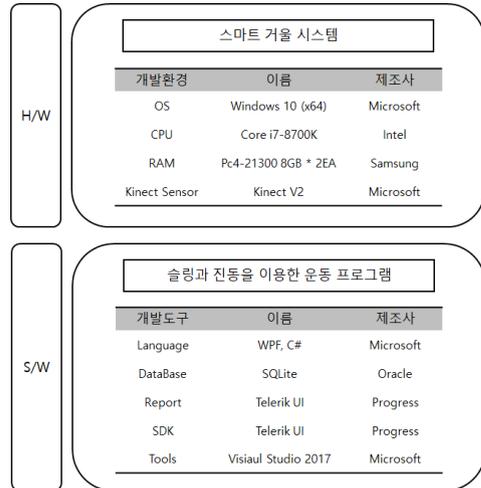


그림 1. System block diagram

1. 하드웨어 구성

스마트 거울의 디자인은 사용자조사와 평가를 통해 사용성과 유니버설 디자인 요소 및 감성 디자인 요소 등 다양한 디자인 요소를 융합한 헬스케어 융합디자인 개발을 통해 설계하였다. 전체적인 형태는 스마트 거울 타입으로 기본 바디(디스플레이)와 베이스(스탠드)로 구성하여 약 1m 90cm 정도의 길이로 설계하였다.

스마트 거울은 47 inch의 가로와 세로로 회전이 가능한 회전형 디스플레이와 키넥트 센서로 구성되어 있으며 운동 처방 제공을 위한 제어용 시스템으로 컴퓨터를 부착하였다. 또한 사용자에게 편의성과 보다 쉽고 직관적인 조작성을 제공하기 위해서 디스플레이는 터치스크린으로 제작하였다.



그림 2. Hardware block diagram of the smart mirror based on Kinect sensor

2. 소프트웨어 구성

2.1 운동 처방 프로그램의 전체 구조

스마트 거울 내의 사용자를 위한 개인 맞춤형 운동 처방 시스템은 사용자의 전신 움직임이 측정 가능한 Kinect SDK 라이브러리를 이용하였다. Kinect for Windows SDK 2.0 라이브러리에서 제공하는 인체 관절 25개에 대한 위치 데이터를 Skeleton Positions 포인터로 제공받은 후 x, y, z 좌표값을 계산하여 각 관절의 가동범위를 측정하였다. 일반화된 운동 동작 자세 인식 모델(Kinect-based Exercise Pose Recognition Model)을 사용하여 운동 자세 판별에 필요한 기준 벡터를 생성하여 아래 식 (1)에서처럼 각도를 계산하여 자세 판별에 사용하였다[17].

$$\vartheta = \cos^{-1}\left(\frac{u \cdot v}{\|u\| \|v\|}\right) \quad (1)$$

위 식(1)에서, θ 는 3차원 공간에서 두 벡터 u, v 간의 각(°)이며, u와 v는 인접한 관절 벡터를 의미하거나 또는 관절 벡터와 정면/위아래 벡터를 의미한다.

운동 처방 프로그램은 주관절, 견관절, 슬관절, 족관절 등 신체 주요 관절의 가동 범위 평가와 이를 통한 구조적 및 기능적 이상에 적합한 맞춤형 운동방법 제공 기능들로 구성하였다.

[그림 3]은 운동 처방 프로그램의 시스템 구조를 나타낸 것으로 스마트 거울은 범용성을 고려하여 윈도우 10기반의 운영체제를 사용하였으며 Telerik UI에 상합에 맞는 Dialog를 통해 사용자에게 필요한 화면을 제공한다. Telerik UI에서 구현된 Dialog는 총 5가지로 주요 화면, 진단 및 평가 화면, 자세측정 평가 및 분석 화면, 운동처방 화면, 회원관리 화면이다.

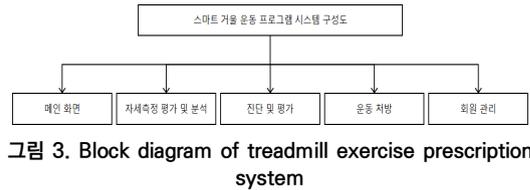


그림 3. Block diagram of treadmill exercise prescription system

2.2 메인화면

[그림 5]와 같이 메인 화면에서는 운동처방에 대한 상세설명과 이용방법에 대해 기술하였다. 또한 사용자의 프로그램 이용 시 편리성을 높이기 위해서 운동 처방 시스템에서 제공하고 있는 4가지 메뉴에 대해 기술하였다.



그림 4. Main Screen of the exercise prescription system

2.3 진단 및 평가모듈

[그림 6]은 운동처방 시스템의 진단 및 평가 설문지를 나타내고 있다. 진단 및 평가는 건강상태 측정 영역과 체력검사 영역으로 구성하였다. 건강상태 측정은 생활습관, 식습관, 운동습관 등을 측정하기 위해서 미국 스포츠의학회 (ACSM)에서 정의한 운동참여 전 개인의 위험증상 및 징후평가 설문지를 적용하여 구성하였다 [4]. 체력검사는 신장, 체중 등의 사용자의 기본 신체정보 측정과 근력, 근지구력, 유연성, 심폐지구력 등의 기초체력평가로 구성하였다. 모든 기초체력평가는 O2run社의 HelmasIII를 이용하여 사용하여 측정하였다.

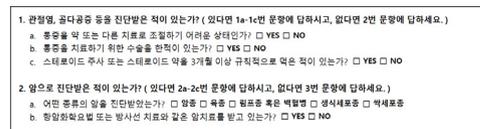
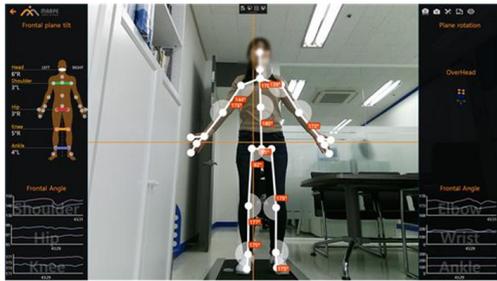


그림 5. Personal health assessment questionnaire

2.4 자세측정 평가 및 분석 모듈

사용자의 신체주요관절(주관절, 견관절, 고관절, 슬관절, 족관절 등)의 가동 범위 평가를 통한 각 개인의 구조적, 기능적 이상에 따른 운동 처방을 제공하기 위해서 Kinect SDK(Software Development Kit)를 사용하였다. Kinect ver.2에서 자동으로 Skeleton Positions 포인터로 제공하는 25개의 인체 주요 관절 데이터를 이용하여 각 관절의 각도를 실시간으로 평가·분석하였으며 이를 토대로 사용자에게 적합한 운동 처방을 제공할 수 있도록 하였다.



정지자세진단평가 정지자세진단평가
 정면(정면측정일시: 2019.12.17 01:43) 왼쪽측면(측면측정일시: 2019.07.12 17:01:48)



그림 6. Posture assessment and analysis screen

2.5 운동 처방 모듈

운동 처방 프로그램은 진단 및 평가와 자세측정 평가 등의 이학적 평가를 토대로 사용자에게 맞는 맞춤형 운동 프로그램을 제공하도록 하였다. 운동 처방 프로그램의 종류는 준비 운동, 본 운동, 정리 운동으로 구성하였다. 준비 운동은 체온을 상승시켜 관절의 가동범위를 늘리고 안전하게 본 운동을 수행하기 위함으로 어깨, 허리, 등, 내전근, 둔근 등을 중심으로 심부근육(local muscle)과 겹근육(global muscle)을 깨울 수 있는 운동으로 구성하였다. 본 운동은 사용자의 특성에 따른

개인 맞춤형으로 초기단계, 향상단계, 유지단계로 운동의 세부적인 구성을 설계하여 제공하도록 하였다. 정리 운동은 동적인 스트레칭 보다 정적인 스트레칭을 통해서 근육의 피로 및 손상을 감소시킨다. 추가적인 생리적 효과성을 목표로 어깨, 리 등 내전근, 둔근, 햄스트링의 피로회복을 위한 운동으로 구성하였다.

운동 처방은 자세측정 및 평가에 따른 개인의 특성에 맞게 처방하여 준비 운동, 본 운동, 마무리 운동 순서에 따라 전문가의 동영상과 운동 이름, 운동 설명을 동시에 제공하였다. 사용자가 정확한 운동 동작을 수행하도록 도와 운동의 효과를 높일 수 있도록 하였다.



그림 7. Personalized exercise prescription screen

2.6 회원 관리 모듈

회원 관리 데이터베이스를 통해서 사용자를 등록하고 이름, 생년월일, 성별, 직업 등 개인의 기본적인 정보인 신상정보 데이터와 운동 처방 결과와 데이터를 통해 지속적으로 운동 처방 결과를 모니터링 할 수 있도록 하였다. 또한 개인의 다양하고 방대한 건강정보를 통합적으로 관리하고, 객관적인 변화를 시각적으로 볼 수 있도록 하였다.

III. 성능 평가 및 분석

1. 동작 검출의 타당도 및 신뢰도 검증

본 연구에서 타당성 검증은 비슷한 개념을 측정하는 도구와의 상관성 관계를 확인하는 준거타당성분석 방법을 기반으로 상관분석과 선형회귀분석을 통해서 스마트 거울 시스템의 타당성 검증을 실시하였고, 신뢰성 검증은 스마트 거울 시스템으로 측정한 3명의 피험자

의 관절각도 측정값의 급내상관계수(ICC)분석을 통해서 스마트 거울 시스템의 신뢰성 검증을 실시하였다.

1.1 연구설계

스쿼트 동작을 수행하는 동안 시상면에서 피험자의 움직임 분석을 위하여 3차원 동작분석 광학 카메라(Optotrak certus, NDI Inc, Canada) 3대를 사용하였다. 이와 동시에 스마트 거울 시스템의 키넥트 센서(Kinect sensor V2, Microsoft Inc., USA)를 동조(Synchronization)하여 촬영하였다. 스쿼트 동작은 다리를 어깨넓이의 1.5배로 벌린 후 무릎 각도가 90°가 되도록 하는 하프 스쿼트를 수행하였으며, 총 10회씩 실시하였다.



그림 8. Diagram of experimental setup

스쿼트 동작 동안 모션 캡처 장비를 통한 인체 동작 수집을 위해 Helen-Hays 마커세트를 이용하여 피험자의 하지 각 관절의 주요 부위에 능동 적외선 발광마커를 부착하였다. 부착 위치는 엉치뼈와 좌우 위앞엉덩뼈가시, 좌우 가쪽허벅지, 좌우 가쪽정강이, 좌우 가쪽관절융기, 좌우 가쪽복사뼈, 좌우 발꿈치, 좌우 발의 1번과 2번 중족골 사이, 좌우 새끼발가락 중족골로, 총 17개의 발광마커를 부착하였다. First Principles Software (Northern Digital Inc., Canada)를 통해 발광마커 데이터를 기록하였으며, 발광마커 데이터는 1,000Hz로 수집되었다.

스쿼트 동작 동안 스마트 거울 시스템을 통한 인체 동작 수집을 위해 스마트 거울 시스템에 부착된 키넥트 카메라를 이용하였으며, 이때 화각 내에 피험자의 신체가 모두 잡힐 수 있도록 키넥트 카메라에서 약 3m 떨

어진 거리에서 피험자가 동작을 수행할 수 있도록 하였다. Kinect SDK(Software Development Kit)를 통해 인체 동작 데이터를 기록하였으며, 데이터는 30Hz로 수집되었다.

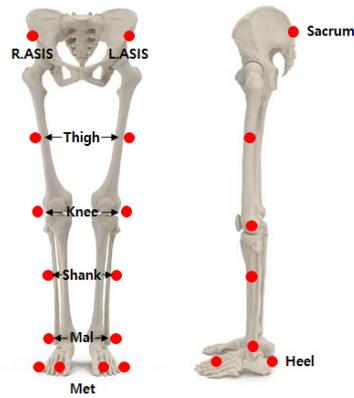


그림 9. Helen-Hays marker set

1.2 연구대상자

실험은 근골격계, 신경계, 관절의 가동범위가 모두 정상인 J시에 소재한 대학에 재학 중인 건강한 성인 남성 3명으로 최근 1년간 근골격계 부상 경험이 없는 자를 대상으로 실시하였다. 모든 대상자들은 연구의 목적과 실험의 전 과정에 대한 명확한 설명을 들은 후 자발적으로 실험에 참여하였다. 본 연구는 전북대학교 생명윤리심의위원회(Institutional Review Board, IRB)의 심사와 승인 후에 이루어졌다.(IRB File No. JBNU 2021-11-012-001)

1.3 데이터 분석 및 처리

타당성 및 신뢰성 검증은 스쿼트 운동 시 무릎 최대 신전 시점(E1), 무릎 최대 굴곡 시점(E2), 다시 무릎 최대 신전 시점(E3) 중 무릎의 최대 굴곡 시점(E2)의 각도의 최댓값 2개를 제외한 데이터를 기준으로 SPSS (Version 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하여 실시하였다. 타당성 검증은 각 장비(키넥트 센서, 모션캡처 장비)에서 산출된 관절각도 측정값으로 상관분석(pearson's correlation)과 선형회귀분석(linear regression analysis)을 실시하여 상관도와 회귀식의 기울기 및 절편을 살펴보았다. 신뢰성 검증은

급내상관계수(inter-class correlation co-efficient; ICC) 분석을 실시하였다. 통계적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 하였다.

1.4 타당성 검증 결과

[표 1]은 스마트 거울 시스템과 준거 측정기기 모션 캡처와의 상관관계분석 결과이다. 분석결과 상관계수 $r=0.871\sim 0.919$ 로 높은 양의(+)상관성을 나타냈다.

[그림 3]은 모션캡처와 스마트 거울 시스템의 선형회귀분석결과로 선형회귀분석을 통해 [Smart Mirror = $18.164 + 0.812 * \text{Motion Capture}$]의 회귀식을 도출하였다. 예측가능 지수 R2(결정계수) 값은 0.88로 1을 기준으로 보았을 때 예측가능정도가 88%인 것으로 나타났다.

1.5 신뢰성 검증 결과

[표 2]는 스마트 거울 시스템을 통한 3명의 피험자의 관절각도 측정값의 급내상관계수분석 결과이다. 분석결과 피험자 사이의($r=0.743\sim 0.916$) 상관성이 높게 나타났다으며, 반복 측정에 대한 일관성($ICC=0.937$)도 매우 높게 나타났다.

표 1. Correlation Coefficient of motion capture and smart mirror system(* $p<.05$, ** $p<.01$)

	Motion Capture	Smart Mirror 1	Smart Mirror 2
Smart Mirror 1	0.891**	1	
Smart Mirror 2	0.919**	0.916**	1
Smart Mirror 3	0.871**	0.842**	0.743**

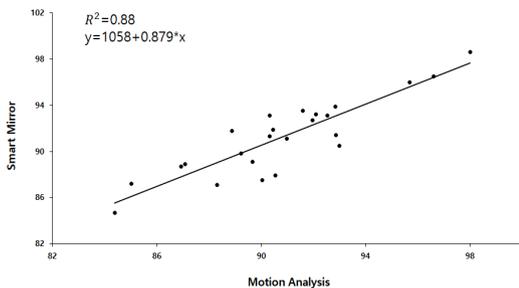


그림 10. Linear regression analysis between motion capture and smart mirror system

표 2. Reliability of smart mirror system

r	ICC	95% CI	
		Lower	Upper
0.743-0.916	0.937	0.816	0.983

2. 관절의 가동범위 평가의 효과 검증

2.1 연구 설계

운동처방은 개인의 상황을 정확히 분석하고 이를 토대로 처방이 이루어져야 그 효과성을 극대화 할 수 있다. 지난 30년간 인간의 보행에 대한 다양한 측면에서의 연구들이 진행되면서 보행은 운동효과와 더불어 운동 처방의 차원에서도 관심을 모아왔다. 따라서 개발한 운동 처방 시스템에서 키넥트 센서를 활용한 트레드밀 보행 시 각 개인의 관절의 가동범위 평가 및 분석이 운동 처방을 제공함에 있어 기준이 될 수 있는가에 대한 효과검증 분석 연구이다. 실험방법은 연구 대상자가 스마트 거울에서 정면으로 2m 떨어진 곳에 위치한 트레드밀에서 1m/s, 3m/s, 5m/s의 속도로 1분간 자연스러운 보행 훈련을 하는 것으로 하였다. 보행 속도는 선행연구를 통하여 밝혀진 느린 보행속도인 1m/s, 일반 보행속도인 3m/s, 빠른 보행속도인 5m/s의 수준으로 설정하였다[18]. 이때 연구 대상자의 엉덩이관절, 무릎관절, 발목관절의 가동범위 분석을 통해 키넥트 센서의 인식률과 유효성을 판단하였다.

2.2 연구 대상자

실험은 근골격계, 신경계, 관절의 가동범위가 모두 정상인 J시에 소재한 대학에 재학 중인 건강한 성인 남성 10명으로 최근 1년간 근골격계 부상 경험이 없는 자를 대상으로 실시하였다. 모든 대상자들은 연구의 목적과 실험의 전 과정에 대한 명확한 설명을 들은 후 자발적으로 실험에 참여하였다.

2.3 데이터분석

키넥트 3차원 인체 모델 관절에서 인체에 부착하는 마커 없이 인체 모델의 관절 좌표 값 측정이 가능하다. 이때 측정되는 인체관절좌표는 BVH포맷의 25개의 조인트로 표시되며 이때 측정되는 25개의 조인트는 실제 인체 관절과는 다소 다른 특징 점들로 정의 된다. 따라

서 SDK(Software Development Kit)를 활용하여 [그림 11]에서처럼 엉덩이관절, 무릎관절, 발목관절의 3차원 위치 좌표 값을 오일러 각도 계산법으로 변환한 후 Eq. (2, 3, 4)에 의한 보정 값을 사용하였다.

$$\theta_{Hip} = 90^\circ - \alpha_{Hip} \quad (2)$$

$$\theta_{Knee} = \alpha_{Knee} - 180^\circ \quad (3)$$

$$\theta_{Ankle} = \alpha_{Ankle} - 237^\circ \quad (4)$$

2.4 평가 결과

엉덩이관절의 굴곡/신전의 각도변화양상은 보행 속도에 상관없이 유사한 패턴을 보였다[그림 12]. 일반 지면에서의 자유보행에서 엉덩이관절은 보행주기 동안 한 번씩 굴곡과 신전을 하는데[18], 본 연구에서 수행된 개발한 스마트 거울을 활용한 보행에서도 모든 각도에서 일반 지면의 자유보행과 유사한 형태를 보였다. 구체적으로 모든 속도에서 단하지 지지기의 중간 위치에서 최대로 굴곡하고, 양하지 지지기의 시작까지 굴곡 상태를 유지하다 양하지 지지기가 끝나기 직전에 최대 신전에 도달하여 다시 굴곡하기 시작하는 형태를 보였다.

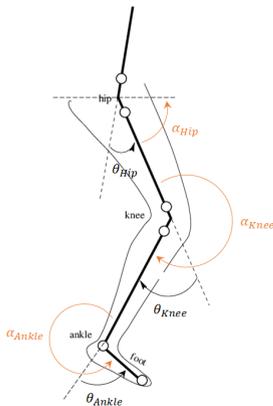


그림 11. Joint angle definitions

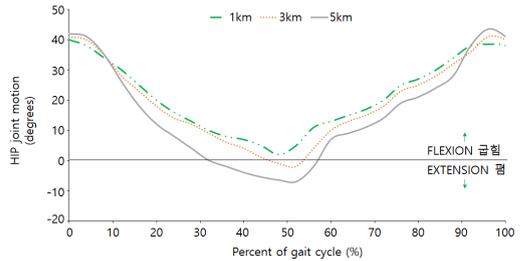


그림 12. Hip Joint Angle during Pedestrian Training

무릎관절의 굴곡/신전의 각도변화양상은 보행 속도에 상관없이 비교적 유사한 패턴을 보였다[그림 13]. 일반 지면에서의 자유보행에서 무릎관절은 보행주기 동안 한 번씩 굴곡과 신전을 하는데[19], 본 연구에서 수행된 개발한 스마트 거울을 활용한 보행에서도 모든 각도에서 일반 지면의 자유보행과 비교적 유사한 형태를 보였다. 그러나 보통 양하지 지지기의 초기굴곡은 정상 성인의 경우 약 10도 정도의 굴곡을 보이는데, 본 연구의 1m/s에서만 유사한 각도로 굴곡하였다. 3m/s에서는 약30도 정도의 굴곡을 보였고, 5m/s에서는 약38도의 굴곡을 보였다. 또한 5m/s 보행 시 다른 속도에 비해 양하지 지지기에서 가장 많이 굴곡하고, 단하지 지지기에서 가장 적게 굴곡하였다. 이는 보행속도가 증가함에 따라 무릎관절의 경우 발로 전해지는 증가된 지면 반발력의 충격을 감소시키기 위하여 무릎관절의 굽힘 각도가 증가[20][21]한다는 선행연구들과 같은 결과를 도출하였다.

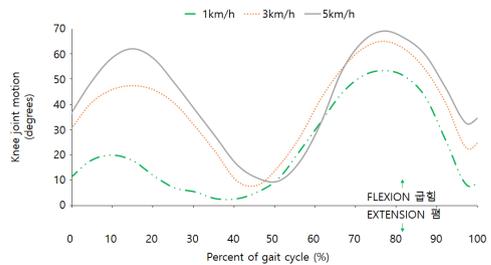


그림 13. Knee joint angle during pedestrian training

발목관절은 [그림 14]에서처럼 보행동안 두 번의 저축 굴곡과 배축 굴곡을 보이는데[19], 각 속도별로 두 번의 정점을 보이는 각도 곡선의 패턴이 유사하게 나타났다. 최대 배축 굴곡각은 속도변화에 대해 비교적 유

사하게 나타났으며 최대 저축 굴곡각은 보행 속도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였는데, 이는 선행연구들과 같은 결과와 일치하였다[22]. 또한 보행 속도가 증가할수록 배측 굴곡보다는 저축 굴곡 시 더 크게 증가하는 경향을 보였는데, 이는 보행 속도가 증가할수록 더 많은 추진력을 얻기 위해서 저축 굴곡이 더 크다는 선행결과와 일치하였다[23][24].

엉덩이관절, 무릎관절, 발목관절의 가동범위 및 굽힘 정도 평가 결과와 대부분 Perry의 보행분석에서 제시한 결과와 유사함을 도출해냈다[25]. 따라서 사용자에게 맞춤형 운동 처방을 제시함에 있어서 키넥트 센서를 활용한 인체영향평가 방법이 높은 잠재력을 가지며 사용 가능성이 높은 것으로 판단하였다.

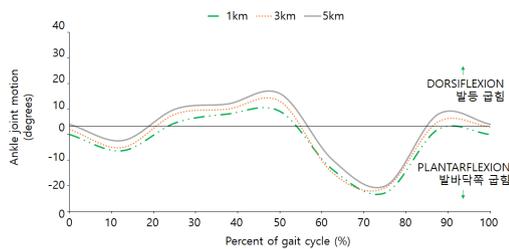


그림 14. Ankle joint angle during pedestrian training

IV. 고찰

본 연구의 목적은 미래의 건강 산업을 대비한 개인 맞춤형 운동 처방 시스템 개발의 필요성을 강조하기 위함이다. 본 논문에서는 키넥트 센서 기반의 개인 맞춤형 운동 처방 시스템 개발 및 개발한 운동 처방 시스템에서 키넥트 센서를 활용한 트레드밀 보행 시 각 개인의 관절의 가동범위 평가 및 분석이 운동 처방을 제공함에 있어 기준이 될 수 있는가에 대한 효과검증 분석 연구에 관한 것으로 다음과 같이 논의하고자 한다.

현대사회의 사회구조에 따라 사람들의 자연스러운 신체활동의 감소는 운동부족이라는 신종질환을 탄생시켰으며, 식습관 등과 맞물리면서 다양한 질환을 가속시켜 고통 받거나 조기사망을 초래하였다. 그러나 최근 과학기술과 정보통신의 발달로 스포츠 의학의 진보에 따라 개인의 목적에 따라 적절한 운동을 선택할 수 있

게 되었다[7].

따라서 시대의 흐름에 맞춰 시스템을 활용한 운동처방이 1995년부터 한국체육과학연구원을 비롯한 여러 기관, 현장에 널리 보급되었다. 특히 2000년대 중반부터 IT기반의 운동 처방 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되면서 다양한 실용화된 제품들이 시장에 출시되었다[26].

그럼에도 불구하고, 아직까지 개인 맞춤형 운동처방에 대한 의료적 제도 미비와 운동처방사 주관에 의한 수기식 운동 처방 등만이 이루어지고 있다[8].

한편 미국에서는 1991년에 Wellsource사에서 사용자의 생활태도, 심박수, 스트레스 등을 기반으로 하는 운동 처방을 제공하는 Lift Interventory and Fitness Evaluation 3.2프로그램을 개발하였고, B. E. Software사에서는 체중과 1RM 등을 이용한 개별 맞춤형 웨이트 트레이닝 프로그램인 Strength Disc 100을 개발하였다.

본 연구에서 개발된 시스템은 치료목적으로 사용하기 보다는 환경적 제한 없이 집, 트레이닝 센터에서 다양한 인체영향평가를 기반으로 한 개인 맞춤형 운동 처방 정보를 제공하여 건강관리를 할 수 있도록 개발된 프로그램이라고 할 수 있다. 더불어 기존에 연구된 프로그램의 인체영향평가항목에(기초체력평가, 생활습관, 식습관 평가) 보행 시 하지 관절의 각도 평가를 운동 처방을 위한 인체영향평가 항목에 추가하여 기존의 연구와는 다른 특색을 가지도록 하였다.

또한 본 연구에서는 선행연구에서 개발한 스마트 거울 시스템의 키넥트 센서에 대한 타당성과 신뢰성 검증을 위해서 스마트 거울 시스템에 부착된 키넥트 센서에서 측정된 무릎관절 각도 데이터와 모션캡처 장비에서 측정된 무릎관절 각도 데이터를 비교·분석하였다. 타당성 검증 결과 상관관계수 $r=0.871\sim 0.919$ 로 높은 양의 상관성을 나타냈고, 선형회귀분석을 통해서 스마트 거울 시스템의 키넥트 센서의 타당성이 88%인 것으로 나타났다. 신뢰성 검증은 스마트 거울 시스템의 키넥트 센서에서 측정한 3명의 피험자들의 관절각도 반복 측정값의 급내상관계수(ICC)분석을 실시하였다. 신뢰성 검증 결과 상관관계수 $r=0.743\sim 0.916$ 로 피험자 사이의 상관성이 높게 나타났으며, 반복 측정에 대한 일관성도

ICC=0.937로 매우 높게 나타났다. 이는 키넥트 센서가 간단한 동작 분석 시 비교적 높은 정확도의 데이터 획득이 가능하며, 완벽한 동작 분석을 위해서는 고가의 모션캡처 장비를 대체할 수 없지만 간단한 동작 분석을 통한 실시간 피드백 장비로써의 잠재성은 충분하다고 사료된다. 따라서 본 연구에서 개발된 키넥트 센서 기반의 스마트 거울 시스템이 사용자의 동작 분석 결과에 따른 개인 맞춤형 운동처방이 가능한 홈 트레이닝 제품으로 사용될 가능성이 충분하다고 사료된다.

그러나 본 시스템이 아직까지는 정밀한 맞춤형 운동처방 제공을 위해서는 운동 동작의 정확성을 판단할 수 있는 AI 영상분석 기술 등 추가적인 기술을 접목해야 한다. 그러므로 향후 기존의 간단한 센서나 단말기에 의존한 운동 처방이 아닌 기초체력평가, 위험증상 및 징후 평가 설문지, 보행 시 관절각도 평가에 따른 노인, 만성질환자, 건강한 성인 등 다양한 계층에 제공 가능한 운동 처방 알고리즘과 콘텐츠에 대한 개발연구가 진행되어야 할 것이다. 이는 헬스센터의 서비스 확대 및 진화 관리의 엔터테인먼트요소 융합을 통한 메디테인먼트(Medi-tainment) 시장의 블루오션 창출에 기여할 뿐만 아니라, 효과적이며 정밀한 운동 실천 문화의 확산에 기여할 수 있을 것이다.

V. 결론

본 연구에서는 키넥트 센서 기반의 스마트 거울을 활용한 개인 맞춤형 트레드밀 운동 분석을 고찰하였다. 본 시스템은 사용자의 건강상태, 기초체력, 자세측정 평가 등 각 개인의 체력 수준을 반영한 운동 처방 서비스 제공이 가능하도록 하였다. 개발한 시스템의 결과는 다음과 같다.

첫째, 프로그램은 SQLite와 Visual Studio 2017로 설계하여 Windows 2010에서 상용화되도록 하였다. 개발과정은 시스템(하드웨어·소프트웨어) 계획, 설계, 개발의 3단계로 진행하였다. 둘째, 운동 처방은 바이오 피드백을 활용한 사용자의 건강상태와 키넥트 센서 계측 기술을 활용한 실시간 자세 측정 등의 이학적 평가를 통해 개인 맞춤형으로 제공될 수 있다. 셋째, 운동

처방은 실제 전문가가 제공하는 동영상과 운동 프로토콜의 자체적인 개발을 통하여 사용자에게 신뢰도 및 운동 효과를 증진 시킬 수 있다. 넷째, 지속적인 운동 처방 관리를 위해 개인의 인체영향설문평가, 자세 측정 및 평가, 운동처방 제공 데이터를 회원관리 데이터베이스에 저장하여 모든 과정을 모니터링 할 수 있다.

본 연구에서 개발한 키넥트 센서기반의 운동 처방 시스템에서 인간 골격에 대한 특징 벡터를 통한 관절의 가동범위 평가 및 자세측정평가가 운동 처방을 제공하는데 있어서 하나의 기준이 될 수 있다는 가능성을 보여주었다. 또한, 키넥트 센서를 활용한 트레드밀 보행 시 엉덩이관절, 무릎관절, 발목관절의 가동범위 평가의 방법이 운동처방평가를 위한 도구로 사용이 가능함을 확인하였다.

그러나 키넥트 센서의 경우 해부학적으로 관상면(Frontal Plane)에서 이루어지는 동작만 인식이 가능하여 다양한 동적 자세에서의 관절 가동범위 평가 시 어려움이 있다. 따라서 이러한 한계점을 극복하기 위해서 추후에 다중 키넥트 센서를 사용하여 다양한 자세에서의 키넥트 센서 적용 방법을 고안해야한다고 생각한다. 또한 키넥트 센서의 높은 정확도 및 사용자 인터페이스 향상을 위해서는 추가 키넥트 보정 작업 및 알고리즘 개선이 향후 연구에서 필요하다고 생각한다.

추후 본 연구에서 개발한 시스템의 운동효과에 대한 검증이 실제 운동 소비자들을 대상으로 이루어진다면 더욱 신뢰성 높은 개인 맞춤형 운동 처방 시스템이 구현이 가능할 것이다. 이를 통해 향후 키넥트 센서를 활용한 보행 및 동작 분석, 게임 기반의 운동 처방 콘텐츠 개발 등에 기초 자료를 제공할 수 있을 것이다. 특히 최근 코로나19의 영향으로 실외 활동이 제한되면서 실내에서 운동할 수 있는 VR(가상현실), AR(증강현실) 스포츠에 대한 관심이 높아짐에 따라 본 연구 결과를 활용하여 인체 동작 측정 기술을 이용한 VR/AR 기반의 다양한 실내 스포츠 콘텐츠, 운동처방 시스템 개발에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다. 또한 병원, 임상시험센터, 스포츠센터 등의 운동처방사 혹은 물리치료사, 퍼스널 트레이너들에게는 전문성 제고에 도움을 줄 수 있고 일반인들에게는 운동에 대한 인식을 변화시킬 수 있는 좋은 계기가 될 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] S. B. Shin and W. J. Lee, "Convergence Research for Design and Implementation of Exercise Prescription Expert System Based Cloud Computing," *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol.8, No.10, pp.9-17, 2017.
- [2] D. J. Kim, I. K. Kim, Y. S. Oh, and Y. J. Shin, "Development of Web-based Personal Exercise Prescription System for Health Management," *Korean Academy of Kinesiology*, Vol.12, No.1, pp.73-82, 2010.
- [3] S. B. Park, J. H. Choe, S. Y. Kim, J. H. Hyeong, and G. R. Jeong, "Development of Customized Exercise Management System based on u-Fitness using Fitness Factor DB," *Korea Information Processing Society*, Vol.19, No.4, pp.56-63, 2012.
- [4] P. David. Swain, *American College of Sports Medicine, ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*, Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & WilkinsP Jonathan K. Ehrman, pp.40-41, 2014.
- [5] S. T. Smith and D. Schoene, "The use of Exercise-based Videogames for Training and Rehabilitation of Physical Function in Older Adults: Current Practice and Guidelines for Future Research," *Aging Health*, Vol.8, No.3, pp.243-252, 2012.
- [6] J. Van Paasschen, L. Clare, K. S. Yuen, R. T. Woods, and S. J. Evans, "Cognitive Rehabilitation Changes Memory-related Brain Activity in People with Alzheimer Disease," *Neurorehabilitation and Neural Repair*, Vol.27, No.5, pp.448-459, 2013.
- [7] H. C. Lim, *Development and Evaluation of Exercise Prescription System via Internet*, M.Sc. Thesis, Yonsei University of Health Policy and Management, 2000.
- [8] N. Y. Yang, *Design and Implementation of the Personalized Exercise Prescription System*, M.Sc. Thesis, Kyunghee University of Computer Engineering, 2008.
- [9] S. J. Yoon, D. J. Kim, S. H. Kim, H. W. Lim, and G. H. Kim, "Development of Web-based Member Management System for Health Management Specialist Personal Trainer-NEPS (Nutrition & Exercise Prescription System) Program-," *Korea Coaching Development Center*, Vol.11, No.4, pp.279-288, 2009.
- [10] B. M. Lee, J. K. Kim, J. Kim, Y. H. Lee, and U. G. Kang, "A Customized Exercise Service Model based on the Context-Awareness in u-Health Service," *The Journal of Korean Institute of Information TechNology*, Vol.9, No.2, pp.141-152, 2011.
- [11] K. J. Kim and C. W. Lee, "Motion-based Controlling 4D Special Effect Devices to Activate Immersive Content," *Smart Media*, Vol.8, No.1, pp.51-58, 2019.
- [12] V. Ramakrishna, T. Kanade, and Y. A. Sheikh, "Reconstructing 3D human pose from 2D image landmarks," *In European Conference on Computer Vision*, pp.573-586, 2012.
- [13] H. Fujiyoshi, A. J. Lipton, and T. Kanade, "Real-time Human Motion Analysis by Image Skeletonization," *IEICE Transactions on Information Systems*, pp.113-120, 2004.
- [13] S. Corazza, L. Mundermann, and A. M. Chaudhark, "A markerless motion capture system to study musculoskeletal biomechanics: visual hull and simulated annealing approach," *The Journal of the Biomedical Engineering Society*, Vol.34, No.6, pp.1019-1029, 2006.
- [14] J. Hwang, E. J. Kim, and S. Hwang, "Accuracy Comparison of Spatiotemporal Gait Variables Measured by the Microsoft Kinect 2 Sensor Directed Toward and Oblique to the Movement Direction," *Physical Therapy Korea*, Vol.26, No.1, pp.1-7, 2019.
- [15] M. do Carmo Vilas-Boas, H. M. P. Choupina, A. P. Rocha, J. M. Fernandes, and J. P. S. Cunha, "Full-body motion assessment: Concurrent validation of two body tracking

- depth sensors versus a gold standard system during gait,” *Journal of Biomechanics*, Vol.87, pp.189-196, 2019.
- [16] J. A. Albert, V. Owolabi, A. Gebel, C. M. Brahms, U. Granacher, and B. Arnrich, “Evaluation of the pose tracking performance of the azure kinect and kinect v2 for gait analysis in comparison with a gold standard: A pilot study,” *Sensors*, Vol.20, No.18, p.5104, 2020.
- [17] K. S. Park, “Development of Kinect-Based Pose Recognition Model for Exercise Game,” *KIPS Transactions on Computer and Communication Systems*, Vol.5, pp.303-310, 2016.
- [18] R. B. Kim, J. Y. Choi, and J. M. Shin, “The Influence of Step Length and Waling Speed on the Angle and rom of the Lower Limb Joint,” *The Korea Journal of Physical Education*, Vol.40, No.4, pp.997-1009, 2001.
- [19] Y. Kim, G. Yang, and M. Mun, “Motion Analysis of Tresidmill Walking with Various Slopes at a Normal Speed,” *The Korea Society of Medical and Biological Engineering, Korea*, Vol.1, pp.71-78, 1997.
- [20] A. Arampatzis, G. P. Brüggemann, and V. Metzler, “The Effect of Speed on Leg Stiffness and Joint Kinetics in Human Running,” *Journal of Biomechanics*, Vol.32, No.12, pp.1349-1353, 1999.
- [21] J. P. Holden, G. Chou, and S. J. Stanhope, “Changes in knee joint function over a wide range of walking speeds,” *Clinical Biomechanics*, Vol.12, No.6, pp.375-382, 1997.
- [22] R. B. Kim, “Influence of speed and step length during walking on kinetics of joints of lower limbs,” *M.Sc. Thesis*,” Yonsei University of Physical Education, pp.55-62, 2000.
- [23] M. Fujia, N. Massusake, T. Norimatsu, G. Chiba, and T. Hayashi, “Motion and role of the MP joint in walking,” *Biomechanics*, Vol.8, No.1, pp.467-470, 1983.
- [24] D. A. Winter, “Biomechaical motor patterns in Normal gait,” *Journal of Motor Behavior*, Vol.15, No.4, pp.302-330, 1983.
- [25] J. Perry and J. M. Burnfield, *Gait analysis: Normal and Pathological function*, New Jersey : SLACK, 2012.
- [26] Y. A. Jang, C. L. Kim, H. S. Lee, Y. N. Lee, and H. J. Lee, *Health promotion portal web service establishment and operation-Health diary modification and supplement*, Korea Health Industry Development Institute, pp.36-38, 2006.

저 자 소 개

우 현 지(Hyun-Ji Woo)

정회원



- 2018년 2월 : 전북대학교 바이오메디컬공학부(헬스케어기계전공)(공학사)
- 2021년 2월 : 전북대학교 헬스케어공학과(공학석사)
- 2021년 8월 ~ 현재 : 전북대학교 헬스케어공학과 박사과정

〈관심분야〉 : 재활공학, 생체역학

유 미(Mi Yu)

정회원



- 2003년 2월 : 전북대학교 전자정보공학부(공학사)
- 2005년 2월 : 전북대학교 의용생체공학과(공학석사)
- 2009년 8월 : 전북대학교 의용생체공학과(공학박사)
- 2010년 5월 ~ 2012년 11월 : 캠틱

중합기술원 연구개발실 전임연구원

- 2012년 11월 ~ 2020년 9월 : 전북대학교 산학협력단 R&BD전략센터 R&D매니저
- 2020년 11월 ~ 현재 : 전북대학교 바이오메디컬공학부 연구교수

〈관심분야〉 : 재활공학, 생체역학

홍 철 운(Chul-Un Hong)

정회원



- 1989년 2월 : 전북대학교 물리학과 졸업 (공학학사)
- 1995년 3월 : 일본 오사카대학 졸업 (공학석사)
- 1998년 2월 : 일본 JAIST 졸업 (공학박사)
- 2002년 10월 ~ 현재 : 전북대학교

바이오메디컬공학부 교수

〈관심분야〉 : 재활공학, 생체물리학, 센서공학

권 대 규(Tae-Kyu Kwon)

정회원



- 1993년 2월 : 전북대학교 기계공학과(공학사)
- 1995년 2월 : 전북대학교 기계공학과(공학석사)
- 1999년 2월 : 일본 동북대학교 기계전자공학과 (공학박사)
- 2004년 ~ 현재 : 전북대학교 바이

오메디컬공학부 교수

〈관심분야〉 : 생체역학, 재활공학, 스포츠과학