

# 사이클 페달링시 실시간 무릎각도 측정을 통한 하지정렬 평가시스템 개발

## Development of Lower Limbs Alignment System by Real-time Knee Angle Measurement

\*이주학, #탁계래, 최진승, 강동원, 배재혁, 신윤호

\*J. H. Lee, #G. R. Tack(grtack@kku.ac.kr), J. S. Choi, D. W. Kang, J. H. Bae, Y. H. Sin  
건국대학교 의료생명대학 의학공학부, 의공학 실용기술연구소

Key words : Knee angle, Motion system, Pedaling, Circle detection, Saddle height, Labview vision, Alignment

### 1. 서론

자전거 이용자의 35%정도가 무릎통증이 있는 것으로 보고되었다. 그중 전방 무릎 통증은 33%로 가장 많고, 후방 무릎 통증이 7%로 두 번째로 많았다[1]. 전방 무릎 통증은 너무 낮은 안장으로 페달링시 발생하고, 후방 무릎 통증은 너무 높은 안장으로 페달링시 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해소하기 위해 무릎각도가 25°~ 35°일 때의 안장높이를 최적의 안장높이로 제안하였다[2]. 이 방법을 Holmes method라 하여, 이를 적용하기 위해서는 측면에서의 무릎각도의 측정이 반드시 필요하다. 무릎각도 측정시 3차원 동작분석기를 사용하거나 각도계를 사용하는 방법이 있다. 하지만 3차원 동작분석기는 정확하지만 다소 넓은 공간과 고가이며, 각도계는 저가인 반면에 주관적이고 3차원 동작분석기에 비해 오차가 크다[3]. 따라서 오호상 등 (2012)은 일반 디지털 캠코더를 이용한 하지정렬 영상시스템을 개발하였다. 이는 정면에서 무릎의 좌우 변동성을 살펴볼 수 있으나, 실시간으로 무릎각도를 확인하지 못하며 추가적인 조명이 필요한 점, 낮은 프레임과 직접적인 각도를 보여주지 못한 점 등의 보완이 필요하다. 이러한 단점을 개선하기 위해 LED마커와 Web-Cam을 이용한 하지정렬평가시스템을 개발하였다.

### 2. 연구방법

#### 2.1 시스템 구성

시스템의 구성은 LED를 사용한 마커와 USB 타입의 일반적인 Web-Cam (SLEH-00448, Sony)을 사용하였다. Web-Cam은 320X240pixel의 해상도와 187 FPS (frame per second)로 설정하였다. Web-Cam의

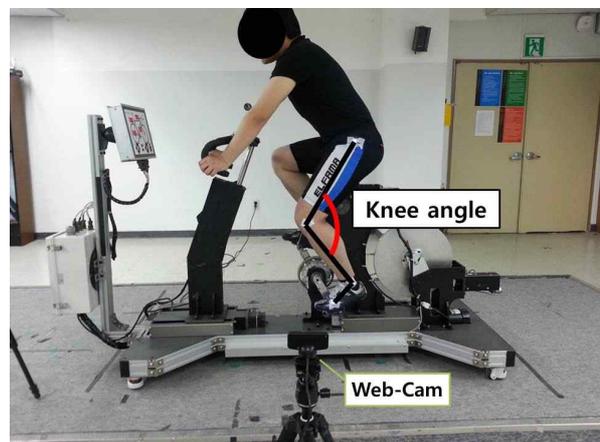


Fig. 1 The lower limb alignment system based on Web-Cam

위치는 비교적 유동적이거나, 편의상 자전거의 우측 bottom bracket으로부터 우측 150cm를 기준으로 정하였다. Web-Cam의 높이는 지상으로부터 70cm, 각도는 최대한 정면을 바라보게 설정을 하였다. LED 마커의 구성은 광원으로 5050 SMD타입의 LED, 전원으로 코인형 배터리 (CR2032)를 사용하여 제작하였다. 정중면 (Sagittal plane)에서 바라보는 무릎 각도를 구하기 위해 총 4개의 LED마커를 사용하였다. 부착위치는 엉덩관절과 무릎관절, 발목관절 및 제5번 종주골에 부착하였다. 실시간 마커트래킹을 위하여 Labview2010의 Vision 어플리케이션을 사용했다. LED마커 검출 방법은 영상 획득, 이미지 처리, LED마커 검출로 구성된다. 영상획득 과정에서는 웹캠에서 촬영한 32Bit (RGB)의 영상은 휘도를 기준으로 8Bit의 이미지로 변환 후 Threshold 제한하여 2bit의 이미지로 변환된다. 변환된 이미지는 Circle detection을 통하여 검출했다. LED마커는 해상도의 좌표 (X,Y)로 검출되며, X값은 횡방향, Y값은 종방향의 좌표를 나타낸다.

## 2.2 정확도 검증



Fig. 2 The developed marker for verification

정확도검증은 3차원 동작 분석기 (Motion analysis Corp., USA)와 하지정렬평가 시스템의 단위가 다른 관계로 데이터를 Matlab v7.7 (Mathwork Inc., USA)을 이용하여 무릎각도로 계산하여 수행하였다. 위 연구에서 개발한 시스템에서 사용되는 LED마커와 3차원 동작분석기에서 사용되는 반사마커를 동일한 부착지점에 부착하기 위하여 검증시에 사용되는 마커는 새로 제작하였다. 검증용 마커는 <Fig. 2>와 같이 반사마커 상단부분에 LED (5050chip)를 부착하고, 하단부에 코인형 배터리를 장착하였다. 통계적인 비교를 위하여 SPSSv19 (SPSS Inc., USA)를 사용하여 Pearson 상관계수를 구하였다. 상관계수를 이용하여 3차원 동작 분석기와 하지정렬평가 시스템으로부터 산출된 무릎각도를 비교하였으며, 유의수준은  $\alpha = .01$ 로 정하였다.

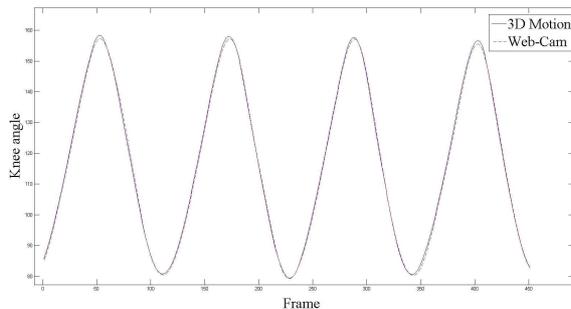


Fig 3. Comparison of knee angle based on motion system and Web-Cam.

## 3. 결과 및 논의

3차원 동작분석기의 마커의 단위는 mm, 하지정렬평가시스템의 단위는 pixel이어서 직접적인 정확도 비교는 불가능하므로 본 연구의 목적인 무릎각도로 계산하여 비교하였다.

11회의 반복 실험에서 총 평균 오차각도는  $0.771^\circ$

(최대:  $0.985^\circ$ , 최소:  $0.523^\circ$ ), 평균 상관계수는 0.999 (최대: 1.000, 최소: 0.999)로 3차원 동작분석기와의 각도차이는 미미하게 나타났다. <Fig. 3>은 3차원 동작 분석기와 하지정렬평가시스템의 각도이다. 오차는 주로 최대 무릎각도와 최소 무릎각도가 될 때 발생하였다. 그 이유는 저가 카메라에 사용된 렌즈의 회절에 따른 마커값의 인식의 오차라 고려된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 고해상도와 높은 FPS를 가지는 카메라를 사용하면 되지만 현재 시중에 출시된 카메라중 고해상도 (1024X720) 이상을 지원하고, 30FPS 이상 지원하는 카메라는 너무 고가이며 데이터의 양도 많아 USB2.0으로 해결되지 않는다. 또한, 이번연구의 목적인 페달링시 하지정렬평가에서  $1^\circ$ 이하 오차의 영향은 미미하여, 현재의 시스템의 사용만으로도 충분하다.

## 4. 결론

본 연구에서는 기존의 하지정렬평가 시스템의 단점을 보완하여 시스템 구축비용은 저렴하면서 실시간 각도를 측정을 통한 하지정렬평가 가능한 시스템을 개발하였다. 3차원 동작분석 시스템과의 비교에서 평균  $1^\circ$ 이하의 차이를 보여 실시간 하지정렬평가 시스템으로 충분한 역할을 할 수 있을 것으로 기대한다.

## 후기

이 논문은 2012년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2012R1A1A4A01008158).

## 참고문헌

1. Michael J. Callaghan, "Lower body problems and injury in cycling". Journal of Bodywork and Movement Therapies 9, 226-236, 2005.
2. Peveler W, "Comparing methods for setting saddle height in trained cyclists". Journal of Exercise Physiologyonline 8(1), 51-55, 2005.
3. 오호상, 최진승, 강동원, 서정우, 배재혁, "자전거 페달링 시 하지 정렬 평가를 위한 영상 시스템 개발," 한국운동역학회지, 22, 123-129, 2012.