

USB 카메라를 이용한 골프 퍼팅 결과 기록 장치의 개발

김형식¹ · 최진승¹ · 탁계래^{2,3} · 임영태⁴ · 이정현^{2,3}

¹ 건국대학교 대학원 의학공학과 · ² 건국대학교 의료생명대학 의학공학부
³ 건국대학교 의공학실용기술연구소 · ⁴ 건국대학교 자연과학대학 스포츠과학부

Development of a Golf Putting Result Recording System Using USB Camera

Hyung-Sik Kim¹ · Jin-Seung Choi¹ · Gye-Rae Tack^{2,3} · Young-Tae Lim⁴ · Jeong-Han Yi^{2,3}

¹Department of Biomedical Engineering, Graduate School of Konkuk University, Chungju, Korea

²School of Biomedical Engineering, College of Medical and Life, Konkuk University, Chungju, Korea

³Research Institute of Biomedical Engineering, Konkuk University, Chungju, Korea

⁴Division of Sports Science, College of Natural Science, Konkuk University, Chungju, Korea

Received 29 April 2010; Received in revised from 21 June 2010; Accepted 24 June 2010

ABSTRACT

The putting stroke accounts for 40~50% of total stroke for a golf rounding and most golfers have difficulties on the putting. Studies for the putting stroke have been conducted by analyzing various factors such as kinematics, kinetics, psychologic and physiologic parameters. A lot of devices were developed to support the studies. However there was no appropriate method to measure the position of the ball quantitatively. In this study, we developed a new measurement system to measure and evaluate the putting result. The developed system uses a USB camera to take the 2-dimensional image of the surface including the hole cup at the center of the image and the ball. The position of the ball is extracted as a set of distance and angle in polar coordinate system. We evaluated the new system with an indoor set-up for putting experiments and the system provided accurate measurement results. The proposed system can be combined with the other measurement systems such as 3D motion capture system and force plate without any restriction.

Keywords : Golf Putting, Ball Position, USB Camera, Polar Coordinate

I. 서론

골프 경기의 전체 타수에서 퍼팅 스트로크가 차지하는 비율은 40~50%로 매우 중요하며(박진, 2000; Delay, Nougier, Orliaguet, & Coello, 1997; Gywn & Patch, 1993), 골프의 대표적 4가지 스윙 중 대부분의 골퍼들이 가장 어려움을 느끼는 스트로크이다(임형진, 2003).

이 때문에 성공적인 퍼팅 스트로크를 위하여 운동학적(kinematic), 운동역학적(kinetic), 심리학적(psychological)인 방법 등으로 많은 연구가 수행되어 왔으며 이를 뒷받침 하기위한 여러 계측 시스템들이 개발되어 쓰이고 있다.

대표적인 계측시스템으로 광학적 방법을 이용하는 적외선 3차원 동작 분석 카메라와 고속 비디오카메라는 운동학적 연구에 기반이 되었고, 센서기반의 전자기기인 지면 반력기(최성진, 박종진, 2002)와 관성 측정 시스템(King, Yoon, Perkins, & Najafi, 2008)은 운동학과 운동역학적 연구에 활용되었다. 또한 기계적 방법인 퍼팅머신을 이용하는 방법이 운동역학적으로 에너지를 분석(박진, 2003)하고 개발된 퍼터의 성능을 검증(Nilsson & Karlsen, 2006) 하는 연구에 사용되었다. 이러한 장비

Corresponding Author: Jeong-Han Yi
School of Biomedical Engineering, Research Institute of Biomedical Engineering, College of Biomedical & Life, Konkuk University, 322 Danwol-dong, Chungju-si, Chungcheongbuk-do, Korea
Tel : +82-43-840-3763 / Fax : +82-43-851-0620
E-mail: jeong2yi@kku.ac.kr
본 논문은 2010년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임.

들은 주로 피험자의 동작 제어와 동작 수행 측면의 연구에 많이 활용되고 있으나 퍼팅 스트로크의 결과인 볼의 위치는 주로 성공과 실패로 대별하여 분석하였다. 이는 퍼팅 수행 결과인 볼의 위치를 활용하여 분석하는 방법과 장치는 아직까지 많이 연구되어 있지 않기 때문이다. 볼의 위치를 제시하는 방법으로 Pelz(2000)는 피험자의 시각을 기준으로 홀의 위쪽을 A구역 아래쪽을 B구역의 두 구역으로 나누는 방법과 0~9의 10구역으로 나누어 측정하는 방법을 제시 하였으나 구역이 크고 경계가 모호 하여 퍼팅 후 결과를 객관적으로 기록하기가 어려웠다. 박진(2006)은 인조 퍼팅 매트 위에 얇은 실을 이용하여 직각 좌표계를 구성하고 볼의 위치를 파악하였으나 재현성이 어렵고, 볼의 위치 파악이 수동이어서 정확성에는 한계가 있었다.

퍼팅 스트로크의 결과인 볼의 위치에 대한 정보와 운동학적, 운동역학적 데이터를 함께 분석하면 좀 더 많은 정보를 분석에 활용할 수 있을 것이라 생각된다. 따라서 본 연구에서는 실험실에 구현이 간편한 범용 USB 카메라를 이용하고, 볼의 위치를 홀컵과 스위트 스팟(sweet spot)을 기준으로 거리와 방향을 제시할 수 있는 극좌표(polar coordinates)를 이용하여 퍼팅 수행 후 결과를 간편하고 정확하게 기록할 수 있는 장치를 개발 하였다.

II. 연구방법

본 연구에서 개발한 퍼팅 결과 기록 장치는 범용 USB 카메라와 사용자 소프트웨어로 구성하였다(Figure 1).

USB 카메라는 QuickCam E2500TM (LogitechTM, Swiss)을 사용하였으며 실험실의 홀컵 수직 위 3m천장에 단단하게 고정하였다. 카메라의 해상도는 320×240이다. 실험 환경에 따라 시야각의 변화와 렌즈에 의한 공간 왜곡을 보정하기 위한 과정을 퍼팅 실험 전에 수행하였다. 보정 작업은 홀컵을 중심으로 5cm 간격으로 동심원들이 그려진 <Figure 2>와 같은 결과 그리드를 이용하고, 보정 영상을 찍어 영상 처리의 관심영역(ROI; Region of Interest) 추출에 사용하도록 하였다. 관심영역의 크기는 홀컵을 중심으로 <Figure 2(b)>와 동일한 가로 세로 80×80cm²의 범위로 128×128화소(pixel)였다. 렌즈에 의한 대표적 왜곡 현상은 숄통형(barrel) 왜곡과 바늘뺨(pincushion) 왜곡이며 이를 확인하기 위하여 <Figure 2>의 우측의 그리드를 이용하였다.

USB 카메라로부터 획득한 영상 데이터를 비트-플래너 슬라이싱(bit-planar slicing) 영상처리를 통하여 볼의 위치를 검출하도록 하였다. 이 방법은 영상처리에서 사용되는 명암변환(intensity transformation) 방법의 일종으로, 8비트(256레벨)로 처리되는 영상에서 색상을 비트(bit)단위로 연산하여 해상도를 낮

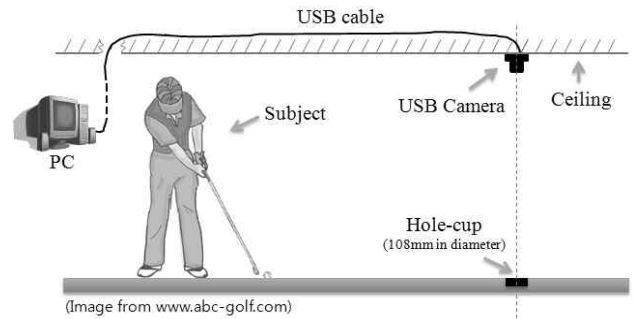


Figure 1. Configuration of the proposed putting result recording system

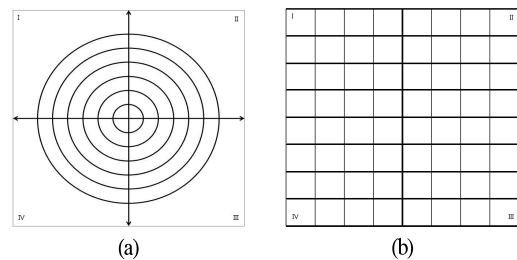


Figure 2. Calibration grid; (a) Target grid. (b) Cross strip grid.

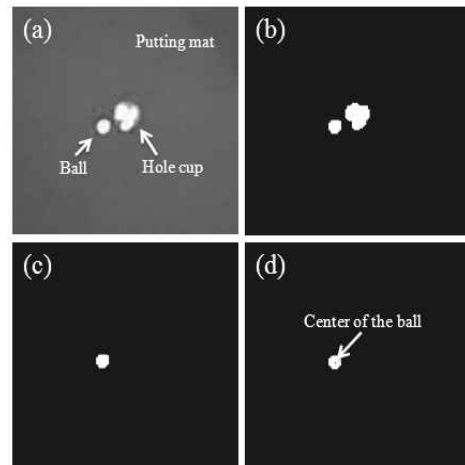


Figure 3. (a) Raw image (color). (b) Black and white image obtained by bit-planar slicing transformation. (c) Image after hole cup removed. (d) Extraction result of a ball center.

추는 방법이며(Gonzalez & Woods, 2002) 연산식을 아래에 나타내었다. 여기에서 해상도는 2의 승수로(2ⁿ, n: 비트수) 정해진다. 예를 들어 비트수를 7로 하면 주어진 256레벨의 영상에서 하위 128개의 값은 0으로 되어 원 영상의 해상도가 감소되며, 비트수를 1로 하면 영상의 정보가 거의 남지 않는다.

$$trans_image(x,y) = raw_image(x,y) \& 2^n$$

(& : AND operator, x,y : pixel coordinate
n : number of bit)

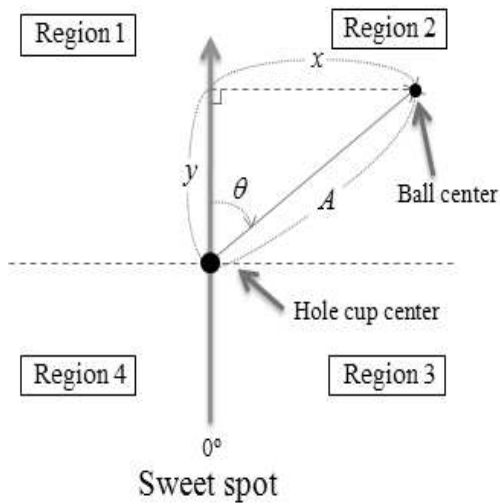


Figure 4. Polar coordinate representation of the ball position



Figure 5. A ball position extraction procedure

원 영상(raw image)<Figure 3(a)>에서 홀컵과 볼의 색상은 흰색, 인조 퍼팅 매트 색상은 초록색의 두 가지의 색 이므로 이를 적절히 구분 할 수 있도록 해상도를 비트수 7로 낮추어 홀컵과 볼은 흰색, 퍼팅 매트는 검은색으로 원 영상을 2진(binary) 영상으로 변환하였다<Figure 3(b)>. 흑백으로 변환된 영상으로부터 홀컵의 크기 108 mm는 이미 알고 있으므로 이를 흑색으

로 변환하면 볼만 흰 색으로 남는 영상을 얻을 수 있다(Figure 3(c)). 볼 영상에서 좌, 우, 상 및 하 각각의 끝을 검출하여 영역을 그리면 가상의 사각형 형상을 얻을 수 있으며, 이로부터 볼의 중심을 간단히 계산할 수 있고 조명에 따라 발생할 수 있는 그림자에 의한 오차의 영향을 줄일 수 있다(Figure 3(d)).

이후 볼의 위치를 사용자에게 제시하기 위하여 스위트 스팟을 기준으로 좌표를 극좌표 형태로 변환 하였고<Figure 4> x 는 볼의 중심과 스위트 스팟까지의 수직거리, y 는 홀컵의 중심과 볼 중심의 스위트 스팟에 대한 정사영 위치와의 거리이다. 이로부터 삼각함수를 이용하여 홀컵의 중심으로부터 거리(A)와 각(θ)으로 볼의 위치를 다음 두 식으로 간단히 계산할 수 있다. 이때 계산된 x 와 y 의 부호를 이용하여 <Figure 2 a,b>에 제시된 4개 사분면의 위치를 판단하고 $-90^\circ \sim 90^\circ$ 의 범위의 값을 갖는 θ_1 로부터 $0 \sim 360^\circ$ 범위의 θ 를 계산하였다.

$$A = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{x}{y}$$

$$\theta = \begin{cases} 360^\circ - |\theta_1|; & \text{Region 1} \\ \theta_1; & \text{Region 2} \\ 180^\circ - |\theta_1|; & \text{Region 3} \\ 180^\circ + \theta_1; & \text{Region 4} \end{cases}$$

퍼팅 결과에 대한 영상 처리와 볼 위치 계산은 MATLAB (Mathworks, USA)으로 작성하였으며 그래픽사용자 인터페이스 개발 툴인 GUIDE를 이용하여 사용자가 간편한 조작으로 영상 획득, 저장 및 볼의 위치를 검출할 수 있도록 하였다. <Figure 5>는 볼 위치 검출 소프트웨어의 순서도이다.

III. 결과

본 연구에서 MATLAB의 GUIDE를 이용하여 작성한 볼 위치 검출 소프트웨어인 Ball Finder의 제어화면은 <Figure 6>과 같으며, 5개의 사용자 버튼과 3개의 감시창(viewer)으로 구성되었다. 주 감시창(main viewer)을 통하여 실시간 USB 카메라의 영상을볼 수 있으며, Capture 버튼을 이용하여 관심 영역창(ROI viewer)에 관심영역에 대한 영상을 나타낼 수 있다. Find 버튼을 클릭하면 홀컵의 중심으로 부터 볼의 중심 사이의 거리와 스위트 스팟을 기준으로 한 각도(시계 방향)를 계산하여 결과창(result viewer)에 결과를 표시한다. Save버튼은 현재 수집된 영상을 저장하여 추후 분석에 활용할 수 있는 기능이며, Image Load 버튼은 기존에 저장된 영상 데이터를 불러와 분석할 수 있는 기능이다.

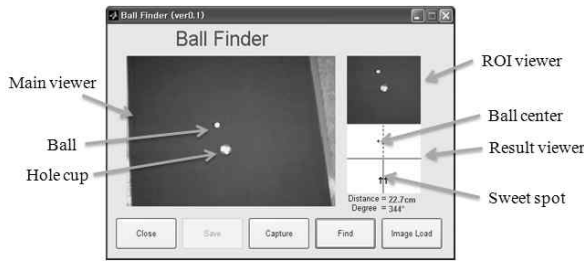


Figure 6. User interface of the ball finder software

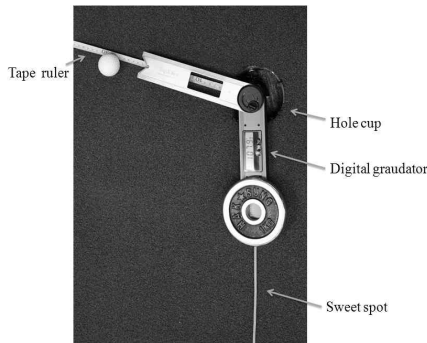


Figure 7. A set-up for actual measurement

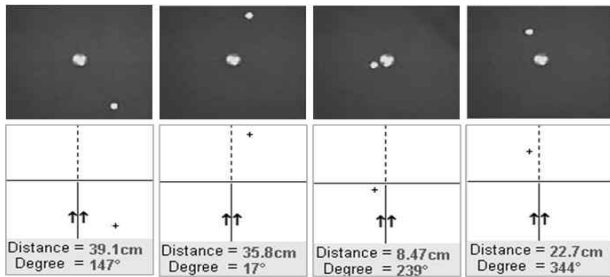


Figure 8. Results of ball position extraction

계산된 볼의 위치는 <Figure 7>의 방법으로 실측한 값과 비교하였다. 실측을 위하여 홀컵과 볼의 거리는 일반 5 m 길이의 철제 줄자를 이용하였고, 각도는 디지털 각도기(DigiX New DXN-360, China)와 레이저 포인터를 이용하여 볼의 중심과 디지털 각도기를 정렬한 후 측정하였다. 홀컵의 중심으로부터 20 cm ~ 57 cm의 범위의 무작위 위치에서 20회 측정한 결과 실측값과 볼 위치의 디지털 계산값 사이에 거리와 각도의 최대 편차는 각각 ± 0.3 cm, $\pm 1.2^\circ$ 였다. 이때 각도에 의한 거리 편차는 최대값 ± 1.2 mm가 된다. 편차는 볼의 직경과 비교할 때 10% 이하로 평가 되었다. <Figure 7>의 측정에서 관찰자에 의하여 발생하는 오차는 무시하였다. <Figure 2(b)>의 그리드 내 각 정사각형의 모서리를 추출하여 중심으로부터 모서리 간 간격으로 본 연구에서 사용한 USB 카메라 영상의 술통형(barrel)과 바늘땀(pincushion) 형상의 기하학적 왜곡을 확인하였다. 모서리간 간격이 일정하지 않으면 왜곡이 발생한 것이나 본 연구에서는 카메라로부터 획득한 영상의 전체 범위를 이용한 것이 아닌 중간 부분의 관심영역만

이용하였기 때문에 실제 값과 관심영역 내에서 계산한 값의 왜곡이 한 화소의 크기보다 작았다.

실험결과 범용 USB 카메라를 이용하여 정확한 계측 장치를 저렴한 비용으로 구성 할 수 있었고, 극좌표를 이용하여 간단하게 볼의 위치를 계산할 수 있었다. 결과의 일부를 <Figure 8>에 제시하였다. <Figure 8>에서 + 표시는 추출한 볼의 중앙점이며 각 추출영상 하단에 거리와 각도를 표시하였다.

IV. 논 의

본 논문에서는 골프 퍼팅스트로크의 결과를 객관적이고 간편한 방법으로 제시 할 수 있는 장치와 방법에 대한 연구를 제시하였다.

퍼팅 스트로크의 결과를 기록하는 방법으로 Pelz(2000)가 제시한 홀컵을 중심으로 A와 B의 두 구역으로 나누는 방법과 구역을 세분하여 0-9의 10구역으로 나누어 측정하는 방법, 박진(2006)이 제시한 얇은 실로 좌표계를 구현하는 방법이 있지만 좀 더 간편하고 정확한 방법에 대한 요구가 계속 있어왔다. 본 논문에서 제안한 방법은 기존 연구와 비교 할 때 결과 데이터의 객관성 확보와 데이터 획득의 용이성 및 활용성, 실험의 재현성, 간단하고 저렴한 비용등 다양한 측면에서 장점이 있다고 판단된다.

객관성과 일관성 및 재현성 확보의 측면에서 기존의 대표적인 방법들은 구역의 설치를 매 실험 수행해야 하며 실험 장치에 의한 볼의 회전이 영향을 받을 수 있었고, 장기간 설치에 대한 실험 환경의 변화로 인하여 재설치 등의 절차가 필요하므로 획득한 결과 값이 실험간 또는 실험 수행자별로 달라 질 수 있는 가능성이 있다. 제안한 방법에서는 자동화된 장치로 결과를 기록하고, 볼의 위치 정보를 거리와 각도의 정량적인 값으로 제시되므로 문제점을 크게 개선하였다고 사료된다. 제안한 장치는 설치 후 간단한 보정과정을 마치면 실험간 매회 재설치를 할 필요 없이 장기간 사용할 수 있어 결과의 정확성과 재현성을 확보할 수 있다. 또한 범용으로 사용되는 USB 카메라를 이용하고 PC와 연결하기 위한 케이블 연결로 설치가 완료됨으로 매우 적은 비용으로 전체 장치를 구현할 수 있다. 기존의 방법과 다르게 퍼팅 결과를 영상 자료로도 저장할 수 있어 본 연구에서 개발한 소프트웨어뿐만 아니라 다른 그래픽 편집 툴을 이용하여 결과를 분석 할 수도 있으며, 개발한 장치를 3차원 동작 분석 장치, 지면 반력기, 생체신호 계측 시스템인 BioPAC(MP100, USA), 퍼터의 움직임과 악력을 측정할 수 있는 스마트퍼터시스템(김형식, 최진승, 임영태, 탁계래, 이정환, 2007)등과 동기 시켜 함께 사용할 수 있어 활용성이 높다고 사료된다.

V. 결 론

본 논문에서 퍼팅 스트로크 연구에서 필수적인 볼의 위치에 대한 정보를 객관적이고 간편하게 측정하여 결과를 제공하는 새로운 장치를 제안하였으며, 제안한 장치는 다음의 특징을 갖는다.

첫째, 장기간 사용시 장치의 변형 이전 교정 및 보정이 용이하고, USB카메라를 사용하기 때문에 장치의 구현이 간편하며 소요 비용이 적다.

둘째, 볼의 위치를 고정된 카메라로 디지털 계산에 의하여 자동으로 결과를 도출하므로 구역과 경계의 판단의 모호함이 없는 결과가 얻어졌다.

셋째, 퍼팅실험을 3차원 동작 분석 장치, 지면 반력기, BioPAC, 스마트퍼터시스템과 동기 시켜 함께 사용할 수 있고 퍼팅결과를 영상 자료로 저장할 수 있다.

본 연구에서 개발된 골프 퍼팅 결과 기록 장치를 통하여 제시되는 볼의 위치에 대한 정보와 함께 운동학적, 운동역학적 데이터를 분석하면 좀 더 많은 정보를 분석에 활용할 수 있으므로 각종 골프 연구뿐만 아니라 실외 퍼팅 연구에도 활용이 가능할 것이다.

참고문헌

- 김형식, 최진승, 임영태, 탁계래, 이정환(2007). **악력과 관성센서를 이용한 스마트 퍼터의 개발**. 2007 한국운동역학회 추계학술대회 논문집, 106-110.
- 박진(2000). **골프 퍼팅 스트로크의 구간별 소요시간 분석**. **한국운동역학회지**, 9(2), 187-193.
- 박진(2003). **퍼팅 스트로크의 충돌과정에서 나타난 퍼터헤드와 볼의 운동에너지 변화 분석**. **한국운동역학회지**, 13(2), 175-183.
- 박진(2006). **퍼팅 스트로크 실험용 진자 퍼팅기 개발**. **한국운동역학회지**, 16(4), 147-152.
- 임형진(2005). **Three Putt은 없다**. 서울: 동화.
- 정성환, 이문호(2005). **MATLAB을 활용한 실용 디지털 영상 처리**. 서울: 홍릉과학출판사.
- 최성진, 박종진(2002). **골프 퍼팅 스윙시 성공과 실패에 따른 운동역학적 분석**. **한국운동역학회지**, 12(2), 279-293.
- Delay, D., Nougier, V., Orliaguet, J., & Coello, Y.(1997). **Movement control in golf putting**. *Human Movement Science*, 16(5), 597-619.

Gonzalez R. C., & Woods R. E.(2002). *Digital Image Processing 2nd Edition*, New Jersey: Prentice Hall.

Gywn, R. G., & Patch, C. E.(1993). **Comparing two putting style for putting accuracy**, *Perceptual and Motor Skills*, 76(2), 387-390.

Nilsson, J., & Karlsen, J.(2006). **A new device for evaluating distance and directional performance of golf putters**, *Journal of Sports Science*, 24(2), 143-147.

King, K., S. W. Yoon, Perkins, N. C., & Najafi K.(2008). **Wireless MEMS inertial sensor system for golf swing dynamics**. *SENSORS AND ACTUATORS A* 141, 619-630.

Pelz, D.(2000). *Dave Pelz's putting bible*. New York: Doubleday.