



관성센서 기반의 골프 스윙 모션 분석

고경리*, 반성범**

Golf Swing Motion Analysis Based on Inertial Sensors

Kyeong-Ri Ko*, Sung Bum Pan**

이 논문은 2017학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

요 약

골프를 즐기는 인구가 증가함에 따라 사용자 스스로 본인의 스윙 자세 분석이 가능한 분석 시스템의 필요성이 증가하고 있다. 본 논문에서는 관성센서 기반의 골프 스윙 모션 분석 시스템 구축을 위해 주요 분석 항목 6가지를 정의하였다. 관성센서 기반 모션캡처 시스템을 이용해 티칭프로와 일반인을 대상으로 모션 데이터를 취득하고, 제안한 시스템을 통한 분석을 수행하였다. 일반인과 티칭프로의 스윙 분석 결과, 일반인은 티칭프로에 비해 상체 및 머리 움직임이 더 크게 나타났으며, 꼬임각은 약 25도 낮게 나타났다. 스윙 궤적에 큰 영향을 미치는 스윙 템포 또한 전문가에 비해 짧게 유지하는 것을 확인하였고, 스윙 스피드도 더 느리게 나타남을 확인하였다. 또한, 전문가는 백스윙과 다운스윙의 플레인인 동일한 평면상에서 발생하는데 비해 일반인은 임팩트 지점과 어드레스 지점이 떨어져 나타나는 것을 확인하였다.

Abstract

As the golfing population increases, there is an increasing need for an analysis system capable of analyzing the user's own swing posture. In this paper, we define six main analysis items for constructing golf swing motion analysis system based on inertial sensors. Motion data was acquired for teaching pros and general users using inertial sensors based motion capture system, and analyzed through the proposed system. As a result of general swing motion analysis, the upper body and head movements were larger and the twist angle was lower by 25 degrees than the teaching pros. The swing tempo, which has a large effect on the swing trajectory, was also confirmed to be kept short compared to the expert, and the swing speed was slower. Experts confirmed that the plane of the backswing and the downswing occur on the same plane, whereas the general user's plane has fallen away from the impact point and the address point.

Keywords

golf swing analysis, motion data analysis, inertial sensors

* 조선대학교 제어계측공학과
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2436-7339>
** 조선대학교 전자공학과 교수(교신저자)
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0960-5706>

· Received: Aug. 09, 2017, Revised: Sep. 21, 2017, Accepted: Sep. 24, 2017
· Corresponding Author: Sung Bum Pan
Dept. of Electronics Engineering, Chosun University,
375 Seosuk-dong, Dong-gu, Gwangju 501-759, Korea,
Tel.: +82-62-230-6897, Email: sbpan@chosun.ac.kr

I. 서 론

최근 골프 산업의 활성화로 인하여 국내외에서 골프를 즐기는 인구도 함께 증가하고 있다. 한국골프장경영협회의 ‘2016년 전국 골프장현황 및 내장객 통계’에 따르면 전국 골프장 내장객 수는 2006년 약 19,653천명, 2009년 약 25,908천명, 2013년 약 31,057천명, 2016년 약 36,726천명으로 꾸준히 증가하고 있는 것으로 나타났다[1]. 골프를 즐기는 인구가 증가함에 따라 골프 스윙 향상 및 잘못된 스윙으로 인해 발생하는 상해를 방지하는 방법 등에 대한 관심도 높아지고 있다. 골프 입문자나 스윙 자세가 올바르지 못한 아마추어의 경우에는 티칭프로 등의 골프 전문가를 통해 스윙 동작을 학습하고, 자세를 교정해야 한다. 그러나 전문가를 통한 골프교습에는 추가적인 시간과 비용이 소요되며, 전문가의 지속적인 지도를 요한다. 그러므로 타인의 관찰 없이도 사용자 스스로 스윙 자세를 분석하고 교정하기 위한 스포츠 모션 분석 시스템이 필요하다.

기존의 2차원 분석 시스템은 카메라가 위치한 인체의 측면 또는 정면의 정보만 분석이 가능하므로 영상 내에서 보이지 않는 다른 관절들의 자세 정보에 대해서는 분석이 어려운 단점이 있다. 제안한 시스템은 관성센서를 통해 취득한 3차원 데이터를 이용하므로 스윙 시 인체에서 일어나는 움직임에 대한 3차원적 분석이 가능하다. 본 논문에서는 골프 스윙 모션 분석 시스템 구축을 위해 분석 항목 및 분석 방법 6가지를 정의한다. 또한, 제안한 시스템을 통해 티칭프로와 일반인 피험자를 대상으로 모션을 취득하고, 분석 결과를 비교한다. 분석 결과, 일반인은 티칭프로에 비해 상체 및 머리 움직임이 더 크고, 꼬임각은 낮으며, 스윙 템포는 더 짧게 유지한다. 스윙 스피드도 더 느리며, 전문가의 백스윙과 다운스윙 플레인은 동일한 평면상에서 발생하나 일반인의 백스윙과 다운스윙 플레인은 두 평면의 위치 차이가 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 골프 스윙 모션 분석 항목 및 시스템에 대해 설명하고, 3장에서는 티칭프로의 모션 데이터와 일반인 모션 데이터의 분석 및 비교 결과를 보인다. 마지막으로 4장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 골프 스윙 모션 분석 시스템

제안하는 골프 스윙 모션 분석 시스템은 그림 1과 같이 모션 데이터 취득을 위한 관성센서 기반의 모션캡처 장비, 분석 및 결과 확인을 위한 골프 분석 프로그램, PC 그리고 서버로 구성된다. 관성센서 기반의 모션캡처 장비는 17개의 관성센서로 구성된다. 이를 통해 고관절, 척추, 목, 머리, 어깨, 상완, 하완, 손, 다리, 무릎, 발 등 총 23개 관절의 모션 데이터 취득이 가능하며, 취득한 데이터는 BVH 포맷으로 저장된다[2].

제안하는 분석 시스템의 흐름도는 그림 2와 같다. 먼저, 피험자의 골프 스윙 모션 분석 및 비교를 위해, 비교 대상이 될 골프 전문가의 모션 정보를 불러온다. 이때, 골프 전문가의 모션 데이터는 다회에 걸쳐 취득된 모션 데이터를 정규화한 데이터로 사전에 DB로 정의된다. 비교 대상의 모션 데이터를 불러오면 해당 모션 데이터를 3D 골퍼 모델을 통해 재현하고, 동시에 분석 결과를 표현한다. 다음 단계로 피험자는 자신의 골프 스윙을 취득할 것인지 또는 기 취득된 모션 데이터를 불러올 것인지를 결정한다. 모션을 취득할 경우, 제안한 시스템에 포함된 관성센서 기반의 모션캡처 장비를 이용하여 23개 관절의 모션 정보를 취득한다. 모션 데이터 취득이 완료되면, 골프 분석 프로그램을 통해 피험자의 골프 스윙 모션 분석 결과를 표현한다.

본 논문의 골프 분석 프로그램은 Unity3D 엔진을 이용해 윈도우즈(Windows) 플랫폼 기반으로 제작되었다.



그림 1. 제안한 골프 모션 분석 시스템
Fig. 1. Proposed golf motion analysis system

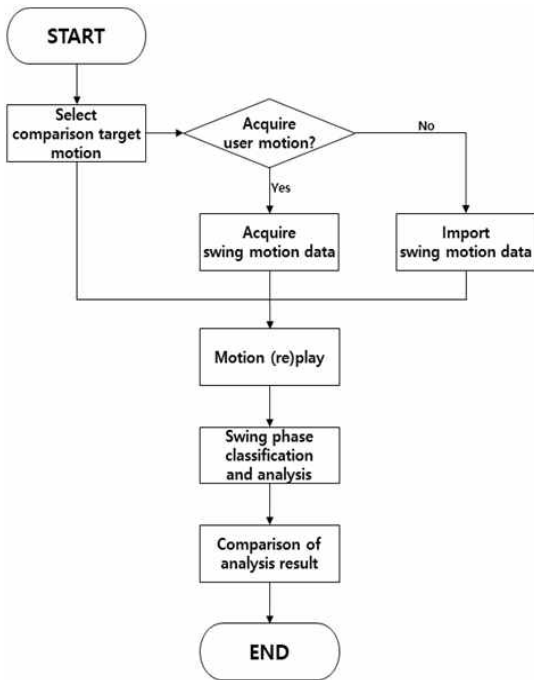


그림 2. 골프 스윙 모션 분석 시스템 흐름도
Fig. 2. Flow chart of golf swing motion analysis system

제안한 시스템에서는 피험자가 원하는 비교 대상을 선택한 후, 본인의 스윙 모션 정보를 취득하거나 불러오므로 비교 대상과 본인의 스윙 모션이 얼마나 다른지에 대해 직관적인 확인이 가능하다.

일반인의 골프 스윙 모션 데이터의 정성적 분석 결과, 척추와 머리의 과도한 움직임은 스윙에 큰 영향을 끼치는 것을 확인하였다[2]. 본 논문에서는 골프 스윙 모션 분석 시스템 구축을 위해 스윙 분석 항목에 대하여 표 1과 같이 정의한다.

표 1. 골프 스윙 분석 항목 정의
Table 1. Definition of golf swing analysis item

Analysis item	Explanation
Body-sway	The upper body moves up/down or left/right during the swing.
Head-up	During the swing process, your face goes away and your eyes become distant from the target.
X-factor	In the top of swing, the angle between the shoulder and the pelvis.
Swing tempo	Time rate of backswing and downswing.
Swing speed	Swing speed from top of swing to impact.
Swing plane	During the swing process, past position of the club head.

2.1 바디-스웨이

바디-스웨이는 그림 3과 같이 스윙이 진행되는 동안 상체가 상하 또는 좌우로 움직이는 현상을 나타내는 용어로 초보 골퍼들이 저지르기 쉬운 대표적인 실수 중 하나이다[3]. 본 논문에서는 바디-스웨이 분석을 위해 스윙이 진행되는 동안 양측 골반 관절과 척추 관절의 위치에 따른 척추 굽힘 각도를 산출한다. 인접하는 두 분절이 이루는 각도는 벡터의 내적의 정의를 이용해 산출한다. 제안한 시스템에서는 척추 굽힘 각도를 시간에 따른 각도 변화 그래프로 표현하고, 각 스윙 국면 별 평균 각도를 산출한다.



그림 3. 백스윙 시, 올바른 자세(좌)와 바디-스웨이(우)
Fig. 3. In backswing, the correct posture(L) and body-sway(R)

2.2 헤드-업

헤드-업은 그림 4와 같이 스윙이 진행되는 동안 머리가 돌아가서 공에서 눈이 멀어지는 것을 말한다[4].



그림 4. 임팩트 시, 올바른 자세(좌)와 헤드-업(우)
Fig. 4. In impact, the correct posture(L) and head-up(R)

본 논문에서는 스윙의 시작부터 끝나는 순간까지 척추 관절과 머리 관절의 위치에 따른 머리 굽힘 각도와 위치 변화를 산출한다. 제안한 시스템에서는 머리 굽힘 각도, 머리 움직임을 시간에 따른 변화 그래프로 표현한다.

2.3 꼬임각

꼬임각(X-factor)의 각도가 커질수록 클럽 헤드의 속도가 빨라지고 거리가 멀리 나가므로 중요한 분석 요인이다[5]. 본 논문에서는 식 (1)을 통해 백스윙 탑에서 어깨와 골반의 꼬임각을 산출한다. 제안한 시스템에서는 꼬임각을 시간에 따른 각도 변화 그래프로 표현하고, 백스윙 탑 순간에서의 어깨와 골반의 각도 및 꼬임 각도를 수치로 표현한다.

$$X_{factor} = Shoulder_{\angle} - Hip_{\angle} \quad (1)$$

2.4 스윙 템포

스윙 템포가 지나치게 빠른 골퍼는 백스윙과 다운스윙이라는 서로 다른 방향으로의 스윙 전환이 급격히 일어나 스윙 궤적이 비틀어지기 쉽다[6]. 본 논문에서는 식 (2)를 따라 백스윙 구간과 다운스윙 구간에서 소요된 시간을 산출한다. 제안한 시스템에서는 스윙 템포를 산출하여 이상적인 스윙 비율과 근접하게 나타난 경우에는 녹색, 기준 범위를 벗어 나면 적색으로 나타낸다.

$$\frac{BS}{DS} : \frac{DS}{DS} = \frac{BS}{DS} : 1 \quad (2)$$

2.5 스윙 스피드

스윙 스피드는 백스윙 탑에서 임팩트 순간까지 클럽 헤드의 이동에 대한 속도를 의미한다[7]. 본 논문에서 취득된 스윙 모션 데이터에서는 골프 클럽 및 타깃의 위치정보는 알 수 없다. 그러므로 그림 5와 같이 손이 몸의 중심을 기준으로 좌측으로 이동하기 직전 순간을 임팩트 시점으로 정의한다.

본 논문에서는 식 (3)을 통해 프레임 간 손의 위치 변화에 따른 속도 변화를 산출한다.

$$v_h = \frac{\sqrt{(x_t - x_{t-1})^2 + (y_t - y_{t-1})^2 + (z_t - z_{t-1})^2}}{100_{fps}} \quad (3)$$

제안한 시스템에서는 스윙이 진행되는 동안의 스윙 스피드를 산출하여 시간에 따른 속도 변화 그래프를 표현하고, 스윙 탑에서 임팩트 구간 사이의 최고 속도를 수치로 표현한다.



그림 5. 어드레스(좌)와 임팩트(우) 시 손의 위치
Fig. 5. Position of hand when address(L) and impact(R)

2.6 스윙 플레인

스윙 플레인은 패스와 앵글 오브 어프로치에 영향을 미치며, 방향과 탄도는 비거리에 절대적인 영향을 주므로 중요한 분석 요인이다[8].

취득된 스윙 모션 데이터에서는 클럽 헤드의 정보는 산출이 불가하므로 그림 6과 같이 클럽 헤드 대신에 손이 그려내는 스윙의 궤적을 분석의 참고 정보로 제공한다. 제안한 시스템에서는 손의 이동 좌표를 산출하여 스윙 플레인을 나타낸다.

III. 실험 결과

그림 7은 제안한 시스템의 골프 스윙 분석 프로그램이다. 제안한 골프 스윙 분석 시스템은 미리 정의된 티칭프로 데이터와 관성센서 데이터를 입력받을 수 있는 입력부, 입력된 골프 모션 데이터를 기반으로 티칭프로 데이터와의 바디-스웨이, 헤드-업, 꼬임각, 스윙 템포, 스윙 스피드, 스윙 플레인 분석 결과를 나타내는 6개의 출력부로 구성된다.

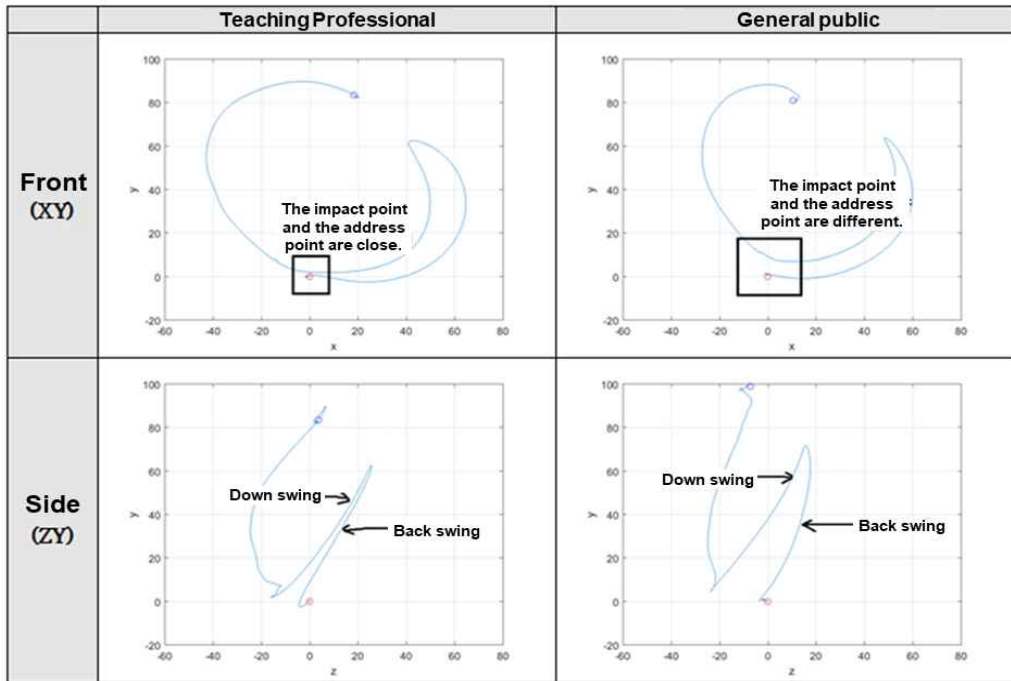


그림 6. 티칭프로(좌)와 일반인(우)의 스윙 플레인
Fig. 6. Swing planes of teaching pros(L) and public(R)

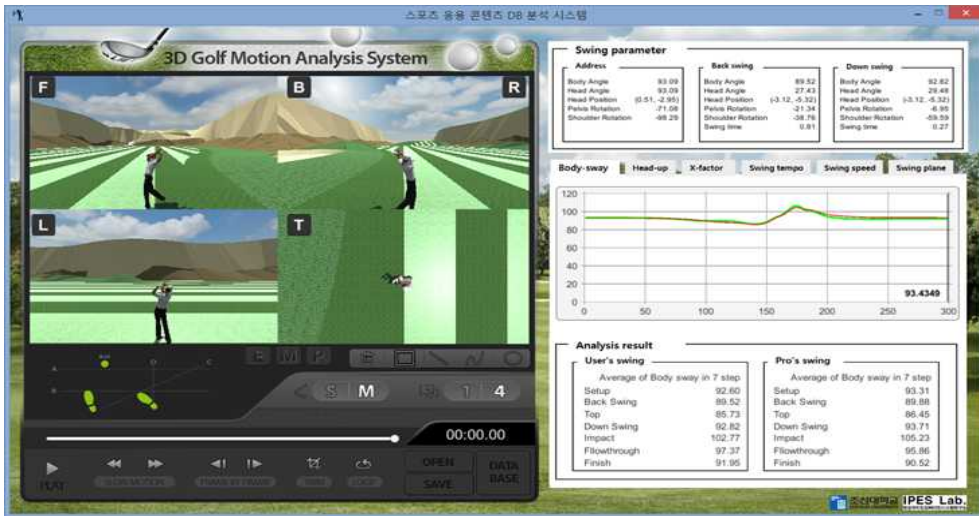


그림 7. 제안한 골프 스윙 분석 프로그램
Fig. 7. Proposed golf swing analysis program

본 장에서는 구축된 골프 스윙 분석 시스템을 이용하여 티칭프로와 일반인 피험자에 대한 스윙 분석 결과를 확인하고 비교한다.

그림 8부터 그림 13은 구축한 골프 스윙 모션 분석 시스템을 통해 출력된 결과이다. 그림에서 전문

가의 스윙 분석 결과는 녹색, 일반인의 분석 결과는 빨간색으로 표시된다.

바다-스웨이 분석 결과, 그림 8과 같이 스윙이 진행되는 동안 일반인의 상체 움직임은 전문가보다 더 과도하게 움직이는 것을 확인할 수 있다.

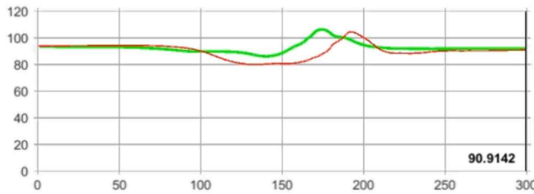


그림 8. 전문가와 일반인의 바디-스웨이 분석 결과
Fig. 8. Body-sway analysis result

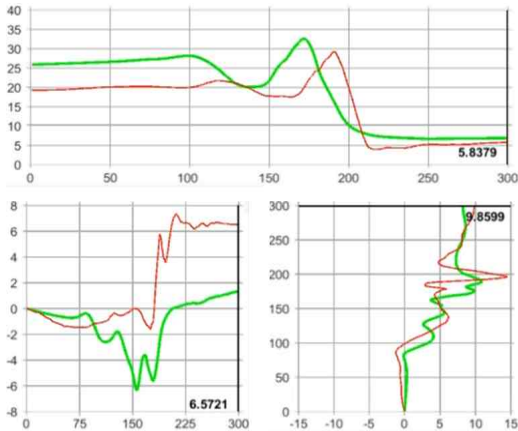


그림 9. 전문가와 일반인의 헤드-업 분석 결과
Fig. 9. Head-up analysis result

Analysis result			
User's swing	Pro's swing		
X-factor in Top of swing			
Shoulder turn	-70.1773	Shoulder turn	-61.953
Hip turn	-114.5677	Hip turn	-132.2992
X-factor	44.3905	X-factor	70.3462

그림 10. 전문가와 일반인의 꼬임각 분석 결과
Fig. 10. X-factor analysis result

2.3:1 Goal **3.0:1**

그림 11. 전문가와 일반인의 스윙 템포 분석 결과
Fig. 11. Swing tempo analysis result

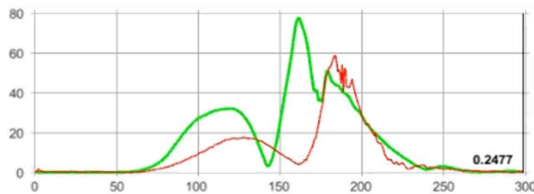


그림 12. 전문가와 일반인의 스윙 스피드 분석 결과
Fig. 12. Swing speed analysis result

그림 9는 헤드-업 분석 결과로 상단 그래프는 상체로부터 머리가 숙여진 각도 정보를 나타내고, 하단의 좌측 그래프는 머리의 앞뒤 움직임에 대한 정보를 나타내며, 하단의 우측 그래프는 머리의 위아래 움직임에 대한 정보를 나타낸다.

헤드-업 분석 결과, 스윙이 진행되는 동안 일반인의 머리 움직임은 전문가 보다 더 과도하게 숙여지거나, 앞뒤, 위아래로 움직이는 것을 확인할 수 있다.

그림 10은 꼬임각 분석 결과를 나타낸다. 분석 결과, 탑 오브 스윙 순간에서 일반인의 꼬임각은 전문가에 비해 약 25도 정도 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

그림 11은 스윙 템포 분석 결과를 나타낸다. 분석 결과, 전문가 모션은 이상적인 스윙 템포인 3:1 비율을 나타낸 반면, 일반인은 백스윙이 매우 짧게 유지하는 것을 확인할 수 있다.

그림 12는 스윙 스피드 분석 결과를 나타낸다. 분석 결과, 전문가에 비해 일반인의 스윙 스피드가 더 느리게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

그림 13은 스윙 플레인 분석 결과로, 좌측은 XY 평면상에 나타난 스윙 플레인, 우측은 ZY 평면상에 나타난 결과이다. 분석 결과, 전문가는 백스윙과 다운스윙의 플레인이 동일한 평면상에서 발생하여 임팩트가 어드레스 지점과 동일한 위치에서 나타나는 데 비해 일반인은 임팩트 지점과 어드레스 지점이 떨어져 나타나는 것을 확인할 수 있다.

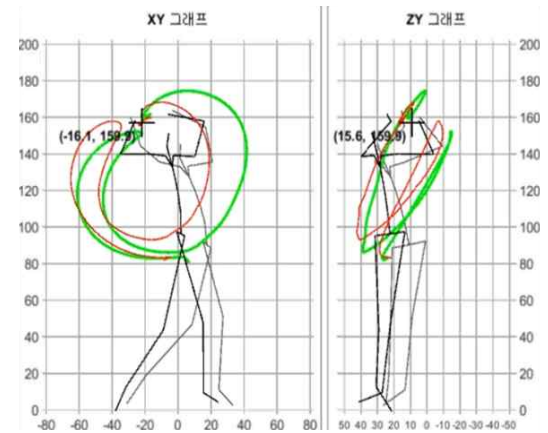


그림 13. 전문가와 일반인의 스윙 플레인 분석 결과
Fig. 13. Swing plane analysis result

IV. 결 론

본 논문에서는 관성센서 기반의 골프 모션 분석 시스템을 구축하였다. 골프 스윙 모션 분석을 위해 6가지 주요 분석 항목을 정의하고, 티칭프로의 스윙 모션을 기준으로 일반인의 스윙 모션을 비교 분석하였다. 분석 결과, 일반인 모션은 티칭프로에 비해 상체와 머리의 움직임이 더 크게 나타났으며, 꼬임 각은 더 낮게 나타났다. 스윙 템포는 전문가에 비해 짧게 유지하며, 스윙 스피드는 더 느리게 나타났다. 또한, 전문가는 백스윙과 다운스윙의 플래인이 동일한 평면을 유지하는 반면, 일반인은 임팩트 지점과 어드레스 지점이 떨어져 나타나는 것을 확인하였다. 이 결과로 제안한 골프 스윙 모션 분석 시스템을 통해 자신의 스윙 자세와 목표하는 전문가의 스윙 자세의 분석 및 비교가 가능함을 확인하였다. 제안한 시스템은 관성센서 기반의 모션캡처 시스템을 이용해 사용자의 모션을 취득하고 분석하므로 기존 2차원 영상 기반 분석 시스템에 비해 분석의 신뢰성과 용이성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 향후에는 스포츠 모션 분석 시스템의 다원화를 위해 다양한 모션캡처 장비와 연동이 가능한 시스템을 구현하고, 각 스윙 국면 별 주요 분석 항목의 추가 정의 및 정량적 분석을 위한 추가 연구를 진행할 계획이다.

References

[1] Korea Golf Course Business Association, [Association Press Release] 2016 Status of National Golf Course + Visitor Statistics, http://www.kgba.co.kr/media/press_list.asp?mode=23, Feb. 2016.

[2] K. R. Ko and S. B. Pan, "Golf swing motion data acquisition based on human body model for golf self-coaching", *Journal of KIIT*, Vol. 13, No. 8, pp. 117-123, Aug. 2015.

[3] S. W. Baek and C. W. Kim, "About weight movement a curve type research while golf swing", *The Korea Journal of Sports Science*, Vol. 18, No. 2, pp. 1445-1453, May 2009.

[4] C. S. Ha, "The kinematic and kinetic variables of head up putting involved in golf", *The Korea Journal of Sports Science*, Vol. 17, No. 1, pp. 675-684, Feb. 2008.

[5] P. J. Cheetham, P. E. Martin, R. E. Mottram, and B. F. St Laurent, "The importance of stretching the X-Factor in the downswing of golf: The X-Factor Stretch", *Optimising Performance in Golf*, pp. 192-199, Nov. 2001.

[6] R. J. Jagacinski, N. Greenberg, and M. J. Liao, "Tempo, rhythm, and aging in golf", *Journal of Motor Behavior*, Vol. 29, No. 2, pp. 159-173, Apr. 2010.

[7] A. J. Fradkin, C. A. Sherman, and C. F. Finch, "How well does club head speed correlate with golf handicaps?", *Journal of Science and Medicine in Sport*, Vol. 7, No. 4, pp. 465-472, Dec. 2004.

[8] S. M. Nesbit and M. Serrano, "Work and power analysis of the golf swing", *Journal of Sports Science and Medicine*, Vol. 4, No. 4, pp. 520-533, Dec. 2005.

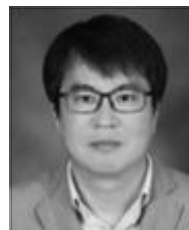
저자소개

고 경 리 (Kyeong-Ri Ko)



2011년 2월 : 조선대학교
제어계측로봇공학과(공학사)
2014년 2월 : 조선대학교
제어계측공학과(공학석사)
2014년 3월 ~ 현재 : 조선대학교
제어계측공학과(박사과정)
관심분야 : 영상처리, 모션분석,
모션인식

반 성 범 (Sung Bum Pan)



1999년 : 서강대학교 공학박사
1999년 ~ 2005년 : 한국전자통신
연구원 생체인식기술연구팀 팀장
2005년 ~ 현재 : 조선대학교
전자공학과 교수
관심분야 : 바이오인식, 영상처리,
VLSI 신호처리