

골프 스윙 시 스탠스에 따른 하지의 역학적 분석

윤세진^{1,*} · 설정덕² · 우병훈^{3,†}

¹중앙대학교 스포츠과학부, 강사

²중앙대학교 스포츠과학부, 교수

³경기대학교 체육학과, 조교수

(2021년 3월 24일 접수: 2021년 4월 28일 수정: 2021년 4월 29일 채택)

Biomechanical Analysis of Lower Limb on Stance during Golf Swing

Se-Jin Yoon^{1,*} · Jeong-Dug Sul² · Byung-Hoon Woo^{3,†}

¹Department of Sport Science, ChungAng Univ.

²Department of Sport Science, ChungAng Univ.

³Department of Physical Education, Kyonggi Univ.

(Received March 24, 2021; Revised April 28, 2021; Accepted April 29, 2021)

요약 : 본 연구의 목적은 골프 스윙 시 3가지 스탠스에서 클럽헤드 스피드와 볼의 정확성을 유지하기 위한 신체 전략을 하지의 운동학적 변인과 지면반력 변인을 통하여 알아보려고 하였다. 연구의 대상은 공식 핸디캡이 2인 남자골프선수 10명으로 하였다. 모든 대상자들은 스탠스 조건(스퀘어, 오픈, 클로즈드)에 따라 어드레스 자세를 유지한 후 스윙을 수행하였다. 3차원 동작분석 시스템과 지면반력기를 이용하여 각 스탠스에 따라 7번 아이언 풀스윙을 수행한 결과를 산출하였다. 연구결과로 신체중심의 변위, 고관절 각변위, 무릎관절 각변위는 차이가 나타나지 않았다. 발목관절 각변위는 어드레스부터 다운스윙까지 왼쪽에서 오픈 스탠스가 저측굴곡이 크게 수행되었고, 오른쪽에서 클로즈드 스탠스에서 저측굴곡이 크게 수행되었다. 지면반력에서 전후, 수직은 차이가 없었지만, 어드레스부터 테이크백까지 왼발은 오른쪽 방향, 오른발은 왼쪽 방향의 힘이 오픈이 클로즈드 스탠스보다 크게 나타났다. 결론적으로 다양한 스탠스에도 불구하고, 임팩트 시 동일한 자세를 유지하는 것이 클럽헤드 스피드와 볼의 방향에 긍정적으로 작용되는 것으로 판단된다.

주제어 : 골프스윙, 스탠스, 신체중심, 하지관절각변위, 지면반력

Abstract : The purpose of this study was to investigate the body's strategy through kinematic variables of the lower extremities and ground reaction forces to maintain the club-head speed and ball accuracy despite the three stances during the golf swing. Ten male golfers who official handicap two were participate in the experiment. All subjects performed swing after maintaining the address posture

[†]Corresponding author

(E-mail: woowoo@kgu.ac.kr)

* 이 논문은 윤세진의 박사학위논문을 바탕으로 작성되었음.

according to stance conditions(square; SS, open: OS, closed: CS). Using a 3D motion analysis system and force platform, the results were calculated with the 7-iron full swing each stance. In result, there was no difference in center of displacement, and left and right hip and knee joint angle displacement. Left ankle joint was largely plantar-flexed in OS, and right ankle joint was largely performed in CS from the address to the downswing. From address to take-back, right foot had a large left direction and the left foot had a right direction were greater in OS than in CS. Therefore, despite various stances, maintaining the same posture at impact is thought to have a positive effect on club head speed and ball direction.

Keywords : Golf Swing, Stance, Center of Mass, Lower Limb Joint Angular Displacement, Ground Reacting Force

1. 서론

골프 스윙의 동작을 분류하면 어드레스(address), 백스윙(back swing), 탑스윙(top swing), 다운스윙(down swing), 임팩트(impact), 팔로우스윙(follow swing) 및 피니시(finish)로 정의되는 세부적인 동작으로 구분할 수 있다[1]. 이중 준비 자세인 어드레스는 대부분 임팩트의 정확성에 원인이 된다[2]. 골프 스윙에서 어드레스 자세가 잘 수행되면 스윙의 80%는 성공이라고 할 만큼 어드레스의 중요성은 강조되어 왔다[3]. 골퍼들은 신체적 특성(신장, 성별, 체형)과 핸디캡에 따라 다양한 형태의 스탠스(stance)로 어드레스 자세를 취하고, 이는 클럽의 움직임과 볼의 구질을 통하여 결과물을 결정하는 중요한 요인으로 작용하게 된다. 또한 어드레스 자세에서 스탠스는 인체의 회전운동과 클럽 헤드의 운동 방향을 결정하는 중요한 요인으로 임팩트 후 스트레이트(straight), 슬라이스(slice), 훅(hook), 드로우(draw) 및 페이드(fade)로 정의되는 볼의 운동 방향과 밀접한 관련성이 나타났다[4].

좋은 스윙은 효율적인 체중 이동과 함께 양발의 압력 중심 관계를 위해 하지 힘의 사용과 동작의 유기적인 협응 동작이 수반될 때 이루어지기 때문에, 좋은 어드레스는 필수적이다. 또한 백스윙에서 다운스윙으로 연결되는 동작에서도 신체 중심의 이동은 볼의 비거리와 방향에 큰 영향을 미친다[5, 6].

프로골퍼와 같은 꾸준한 경기력을 보유한 경우 최대 헤드 스피드를 증가시키기 위해 원심력을 적용시킬 수 있어야 하고, 이러한 원리를 적용하기 위해서는 하지의 움직임은 역할이 중요하다고

하였다[1]. 골프는 풀스윙 시 상체 운동량이 증가하기 때문에 탄탄한 기반을 필요로 한다. 상체 운동의 기반이 바로 스탠스이다[7].

이와 관련된 선행연구를 살펴보면, 초보 골퍼를 대상으로 3가지 유형(스퀘어, 오픈, 클로즈드) 스탠스에서 아이언 스윙을 수행한 결과, 훅 스타일의 골퍼는 오픈 스탠스로, 슬라이스 스타일의 골퍼는 클로즈드 스탠스로 변경하는 것이 정확한 스윙을 구사하는데 도움이 된다고 보고하였다[8]. 골프 스윙 시 스탠스에 따라 다운스윙과 팔로우스윙 구간에서 최대 무릎 모멘트가 발생하였고, 이는 신체의 무게중심이 이동하면서 발생하는 현상으로 보고하였다[9, 10]. 스탠스 유형이 안정성과 병진 및 회전운동의 기능적인 가동성에도 변화를 가져올 요인으로 작용한다고 보고하였고[11], 다운스윙 시 목표 방향으로 신체의 무게중심이 이동하는 패턴은 지면반력과 압력 중심의 수직과 관계성을 가지고 있고, 이러한 복합적인 신체 회전운동을 통해서 스윙 시 임팩트 구간에서의 클럽헤드 스피드 향상에 도움이 될 것으로 보고하였다[12]. 스탠스의 넓이와 형태에 따라 신체중심의 기저면 변화가 발생한다는 주장이[13], 골퍼에서 안정적인 스윙을 위하여 기저면 내에서 신체중심 이동이 필요하다고 하였다. 골프의 다운스윙은 테니스의 포워드 동작과 유사해서 고관절과 하지의 움직임이 중요하다고 하였고, 올바른 체중이동은 고관절의 회전과 동시에 체중 이동이 발생하며, 임팩트 시 힘의 증가와 정확도까지 향상시킨다고 보고하였다[14].

이미 골프 스윙 분석에 대한 선행연구들은 다양하지만, 골프 스윙의 준비라고 할 수 있는 어드레스 동작에서 스탠스에 대한 국내 연구는 미

비하고, 특히 스윙을 하는 주체인 상지 위주의 연구가 대부분이다. 골프 스윙 시 스탠스는 클럽 움직임을 결정하는 중요한 요인으로 작용하기 때문에, 잘못된 스윙을 보완하기 위해서 많은 지도자들이 스탠스를 활용하여 교정하는 방법을 제시하고 있다. 골프 스윙 시 당겨지는 공의 구질인 혹은 발생하는 경우에 스탠스를 오픈 스탠스로 변경하고 반대로 슬라이스 구질의 스윙을 교정하기 위해서는 클로즈드 스탠스로 변경하는 즉각적인 교정 피드백을 실시하고 있지만, 기존의 선행 연구에서 이러한 효과를 검증한 연구는 미흡한 실정이다. 스탠스는 안정성, 균형 및 다운스윙의 타이밍이 중요한 영향을 미치기 때문에 다양한 스탠스 자세에 따라 스윙동작이 변화되지만, 동일한 클럽스피드와 방향성을 유지하기 위해 신체가 어떻게 움직임이 발생하는지 알아보려고 한다.

따라서 본 연구의 목적은 골프 스윙 시 3가지 스탠스에서 클럽헤드 스피드와 볼의 정확성을 유지하기 위한 신체의 전략을 하지의 운동학적 변인과 지면반력 변인을 통하여 알아보려고 하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상

본 연구의 대상은 최근 6개월 이내 부상 경험이 없는 남자골프선수 10명을 선정하였다(연령: 20.7 ± 3.8 yr, 신장: 175.7 ± 5.0 cm, 체중: 76.9 ± 8.5 kg, 핸디캡: 2.0 ± 1.8). 측정 전 대상자에게 실험에 대한 상세한 의도 절차를 세부적으로 설명하였고, 주의사항 및 절차 등에 대하여 충분히 설명하고 실험 참여에 대한 동의서를 받았다.

2.2. 실험 도구 및 실험 절차

연구에 참여한 골프 선수를 대상으로 Scaling Method를 근거로 인체 각 부위의 길이 또는 둘레를 측정하기 위하여 마틴식 인체 측정기(SM-324)를 사용하여 측정하였다[15].

본 연구 대상자들의 신체에는 Nexus 소프트웨어(Vicon, LA, USA)에서 제공되는 plug-in-gait model에 적합한 35개의 19mm 반사 마커(reflective markers)를 부착하였고, 클럽에는 아이언 헤드와 그립에 부착하였다(Fig. 1). 골프 스윙의 3차원 운동학적 데이터는 8대의 적외선 모션 캡처 카메라(T10S, Vicon, LA, USA)를 이용하여

수집하였고, 지면반발력은 2대의 지면반력기(OR6-7-1000, AMTI, Inc, Watertown, MA, USA)를 이용하여 수집하였다.

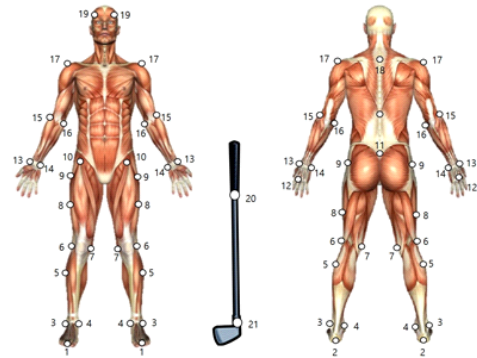


Fig. 1. Marker set-up.

스탠스 별 골프 스윙 시 3차원 동작분석을 위하여 총 8대의 적외선 카메라를 설치하였다. 실험 전 대상자들의 최적의 스윙과 부상 방지를 위하여 준비운동, 스트레칭과 연습 스윙을 스탠스 별 수행시켰다. 인체와 골프클럽에 반사 마커 부착을 용이하게 하기 위하여 상의는 탈의하고, 하의는 몸에 밀착되는 타이즈를 착용하였다. 대상자들의 골프 스윙을 3차원으로 분석하기 위하여 Vicon에서 제공되는 Active Wand로 캘리브레이션을 실시한 후 전역 좌표계를 설정하였다. 본 연구에서 정의한 전역 좌표계는 X축은 신체의 좌우 방향, Y축은 전후 방향, Z축은 신체의 수직 방향으로 설정하였다.

스탠스는 연구의 목적에 맞추어 3가지 스탠스를 선정하고, <Fig. 2>와 같이 양발 끝이 골프공의 진행 방향과 수평이 되는 스탠스를 스퀘어 스탠스(SS; square stance), 왼발 끝이 오른발 뒤쪽으로 형성되어 골프공의 진행 방향과 수평 15° 가 되는 오픈 스탠스(OS; open stance), 오른발 끝이 왼발 뒤쪽으로 형성되어 골프공의 진행 방향과 수평 15° 가 되는 클로즈드 스탠스(CS; closed stance)로 선정하였다. 스퀘어 스탠스를 기준으로 오픈 스탠스와 클로즈드 스탠스는 각 대상자별 스탠스에 따라 테이프를 바닥 위에 표시하여 대상자들이 반복적 스윙에도 동일한 스탠스를 유지할 수 있도록 하였다. 대상자들은 개인이 사용하고 있는 아이언 7번 클럽을 이용하여 골프 스윙을 실시하였고, 3가지 스탠스에서 따라 각각

3-5번 스윙하여 트랙맨 4(TRACKMAN 4)와 스크린 골프를 이용하여 런치모니터에서 높이 15 cm, 넓이 10 cm의 범위를 설정하여, 범위 내에 포함된 타구의 스윙을 선택하여 분석하였다.

골프 스윙 시 동작분석과 함께 지면반력기를 이용하여 양발에서 발생된 전후, 좌우 및 수직 자료를 산출하였다. 골프 스윙 시 방향 요인들은 어드레스 자세를 기준으로 Fx는 전후 방향(A/P: Anterior/Posterior), (+ : 앞쪽, - : 뒤쪽), Fy는 좌우 방향(M/L: Medial/Lateral), (- : 왼쪽, + : 오른쪽), Fz는 상하 방향(U/D: Upward/Downward), (+ : 위쪽, - : 아래쪽)으로 정의하였다. 지면반력 값의 표준화는 대상자별 체중을 이용하여 값으로 나누어 사용하였다.

2.3. 자료처리

2.3.1. 동작분석

본 연구의 자료 수집과 자료의 평균은 Vicon Nexus Version 1.8.3(Vicon Inc., Denver, CO, USA)로 처리하였다. 동작분석 시 마커의 위치 자

료의 샘플링 비율(sampling rate)는 250Hz로 하였다. 수집된 자료는 영상분석 프로그램인 NEXUS 1.8.3을 이용하여 모든 자료 정보를 디지털화하여, 영상자료와 지면반력 자료를 동조화하였다. 이후 Vicon에서 측정된 자료 정보는 라벨링(labeling)을 통하여 c3d 파일로 변환하여 Visual3D(C-motion Inc., USA) 프로그램을 이용하여 분석 변인들을 산출 및 분석하였다. 이때, 영상자료의 잡음을 제거하기 위하여 8Hz로 스무딩(smoothing)을 하였다.

2.3.2. 지면반력

지면반력 분석 변인은 Fx, Fy, Fz에서 각 이벤트에서 나타난 값을 이용하여 스텝 별 차이를 분석하였다. 지면반력 자료의 샘플링 비율은 2000Hz로 하였고, 4차 low-pass Butterworth filter 50Hz로 스무딩하였다.

2.3.3. 각도 정의

본 연구의 하지관절 각도의 정의는 다음과 같다(Fig. 3).

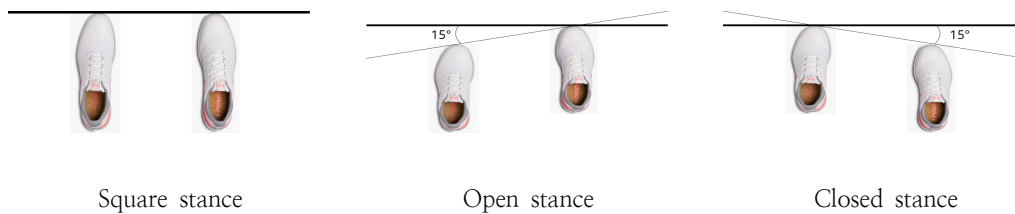
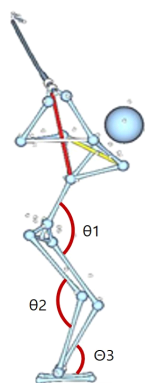


Fig. 2. Stance types.



$\theta 1$ (Hip joint): Angle between torso and thigh
 $\theta 2$ (Knee joint): Angle between thigh and lower leg
 $\theta 3$ (Ankle joint): Angle between lower leg and foot

Fig. 3. Angle definition.

2.3.4. 이벤트(event) 설정

본 연구에서는 골프 스윙 시 6가지 이벤트(어드레스, 테이크백, 탑스윙, 다운스윙, 임팩트 및 팔로우 스윙)로 분류하여 분석하였다(Fig. 4). 어드레스(ADD: address)는 준비자세, 테이크백(TB: take-back)은 백스윙 시 왼쪽 상지가 지면과 90°가 될 때, 탑스윙(TS: top swing)은 클럽헤드가 정점에서 정지된 지점, 다운스윙(DS: down swing)은 왼쪽 상지가 지면과 90°가 될 때, 임팩트(IP: impact)는 클럽헤드가 골프공과 타격이 이루어지는 지점, 팔로우 스윙(FS: follow swing)은 타격 후 클럽샤프트가 지면과 90°가 되는 지점으로 정의하였다.

2.4. 통계처리

본 연구의 자료처리는 SPSS-PC 25.0 통계프로그램을 이용하여 스윙 시 3가지 종류의 스탠스에 따른 변인의 평균과 표준편차를 산출하였다. 3가지 스탠스 간 스윙의 운동학적 변인과 지면반력 변인의 차이를 비교하기 위하여 일원변량분석(One-way ANOVA)을 실시하였다. 사후검증(post-hoc)은 LSD를 적용하였고, 모든 통계적 유의수준은 $p < .05$ 로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 신체 중심의 변위

골프 스윙 시 스탠스에 따른 신체중심 변위의 결과는 <Table 1>과 같다.

신체 중심의 좌우 변위인 X축, 전후 변위인 Y축, 수직 변위인 Z축 모두, 골프 스윙 시 스탠스에 따른 차이가 나타나지 않았다<Table 1>. 선행

연구에서 프로 골퍼 4명을 대상으로 드라이버 스윙 시 어드레스와 임팩트 동작의 차이를 분석한 결과, 머리 중심의 움직임은 스윙 속도를 높이기 위한 보상작용으로 안정성 상승의 결과라고 보고하였다[16]. 본 연구에서는 신체 중심에서 스탠스에 따른 차이가 보이지 않아, 스탠스가 신체 중심의 변화에 영향이 미치지 않는 것으로 판단된다.

3.2. 하지관절 각변위

골프 스윙 시 스탠스에 따른 하지관절 각변위의 결과는 <Table 2, 3>과 같다.

좌·우 고관절 각변위는 모든 이벤트에서 스탠스에 따른 차이가 나타나지 않았다. 선행연구에서 골프 스윙 시 골반의 변위를 분석한 결과, 골반의 좌·우와 전·후의 움직임은 스윙 유형별 동일한 방향으로 나타났고, 좌·우의 움직임은 스트레이트 페이드, 스트레이트 드로우, 전후의 움직임은 스트레이트 페이드, 페이드 드로우 및 상하의 움직임은 스트레이트 페이드, 스트레이트 드로우 간 차이가 나타나, 골반의 각도는 클럽 헤드의 스피드를 증가시키기 위해 골반회전을 선행한 상태에서 임팩트 한 결과라고 보고하였다[17]. 비거리 증가 요인으로 숙련자가 비숙련자보다 큰 X-Factor의 각도 차이라고 보고하였다[18]. 본 연구에서는 왼쪽 고관절이 왼쪽 하지의 움직임을 통해 OS와 CS로 인해 미세하게 발생되지만, 직접적인 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

좌·우 무릎관절은 모든 이벤트에서 스탠스에 따른 차이는 나타나지 않았다. 선행연구로 경사도에 따른 어프로치에서 오른쪽 무릎관절 각변위는 차이가 나타나지 않았지만, 왼쪽 무릎관절 각변위는 차이가 나타났다고 보고하였고[19], 지면 경사에 따라 아이언 클럽(4번, 7번, 9번) 분석에서 평

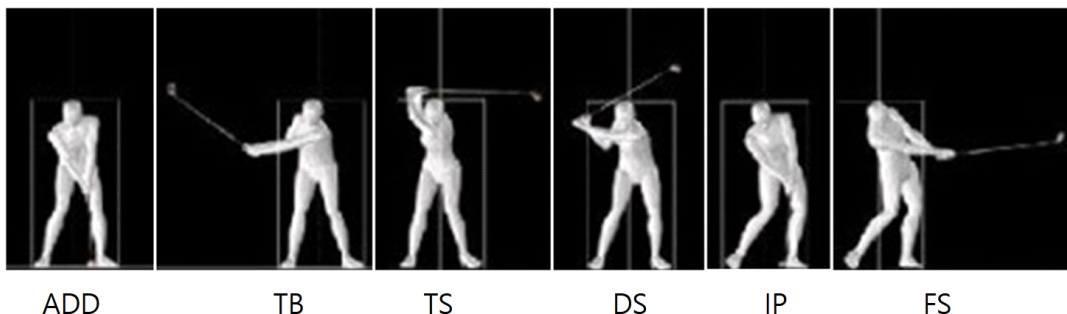


Fig. 4. Event of golf swing.

Table 1. Displacement of COM(center of mass)

							(unit: m)
Event	Axis	SS	OS	CS	F	<i>p</i>	post-hoc
ADD	X	-0.22±0.64	-0.22±0.64	-0.21±0.65	.000	1.000	-
	Y	-0.29±0.58	-0.28±0.58	-0.27±0.58	.001	.999	-
	Z	-0.32±0.60	-0.32±0.61	-0.31±0.61	.001	.999	-
TB	X	0.40±0.03	0.41±0.03	0.42±0.02	.990	.385	-
	Y	-0.31±0.04	-0.32±0.04	-0.30±0.05	.439	.649	-
	Z	-0.97±0.03	-0.97±0.03	-0.97±0.03	.005	.995	-
TS	X	0.42±0.02	0.42±0.03	0.43±0.02	.950	.399	-
	Y	-0.31±0.04	-0.31±0.04	-0.30±0.05	.189	.829	-
	Z	-0.98±0.03	-0.98±0.03	-0.98±0.03	.009	.991	-
DS	X	0.48±0.03	0.48±0.04	0.48±0.03	.293	.749	-
	Y	-0.32±0.05	-0.32±0.04	-0.31±0.05	.027	.973	-
	Z	-0.95±0.04	-0.95±0.03	-0.95±0.03	.006	.994	-
IP	X	0.51±0.03	0.51±0.04	0.51±0.03	.250	.780	-
	Y	-0.31±0.05	-0.30±0.04	-0.31±0.05	.003	.997	-
	Z	-0.98±0.04	-0.97±0.04	-0.97±0.04	.018	.982	-
FS	X	0.53±0.03	0.53±0.05	0.54±0.04	.177	.839	-
	Y	-0.31±0.05	-0.30±0.04	-0.31±0.05	.041	.960	-
	Z	-0.99±0.03	-0.99±0.03	-0.99±0.03	.016	.984	-

Table 2. Angular displacement of left lower-joint

								(unit: degree)
Joint	Stance	ADD	TB	TS	DS	IP	FS	
Hip	SS	122.29±9.20	107.53±12.79	90.66±12.74	96.03±10.13	114.67±8.19	120.43±8.12	
	OS	124.22±9.50	108.79±12.60	90.97±13.12	98.24±9.21	113.65±8.85	120.09±8.52	
	CS	118.58±9.89	104.49±12.97	86.59±13.03	94.23±9.17	112.08±8.94	119.31±7.98	
	F	.901	.299	.356	.446	.227	.049	
	post-hoc	-	-	-	-	-	-	
Knee	SS	158.01±6.69	142.05±7.21	133.58±8.17	137.87±10.73	152.01±12.39	156.99±13.23	
	OS	156.56±7.28	141.92±7.45	133.30±8.41	136.94±9.03	149.33±12.32	153.81±14.54	
	CS	156.51±7.60	140.04±7.52	132.85±7.92	137.76±9.50	151.02±13.63	157.66±12.67	
	F	.14	.233	.021	.027	.112	.232	
	post-hoc	-	-	-	-	-	-	
Ankle	SS	73.96±1.65	88.06±4.03	92.23±4.25	80.83±4.14	65.67±6.09	63.53±5.27	
	OS	77.11±2.55	90.64±4.59	94.97±4.48	83.71±4.25	67.77±4.90	64.24±4.69	
	CS	71.94±2.35	85.55±3.49	89.83±3.13	78.45±4.33	64.87±6.29	63.69±5.56	
	F	13.832***	3.931*	4.148*	3.841*	.666	.050	
	post-hoc	OS>SS,CS	OS>CS	OS>CS	OS>CS	-	-	

p*<.05, **p*<.001

Table 3. Angular displacement of right lower-joint

(unit: degree)

Joint	Stance	ADD	TB	TS	DS	IP	FS
Hip	SS	117.37±7.82	112.80±8.43	107.35±8.80	112.25±7.35	121.02±10.95	104.66±15.14
	OS	115.82±8.26	110.86±8.88	105.23±8.85	110.40±6.57	118.79±10.75	106.43±14.69
	CS	118.92±9.09	114.14±9.57	109.09±9.20	114.44±8.68	121.88±11.34	104.50±16.59
	F	.339	.338	.469	.714	.211	.048
	post-hoc	-	-	-	-	-	-
Knee	SS	155.55±8.53	139.90±13.41	138.25±14.41	146.60±6.35	150.31±16.72	149.30±18.16
	OS	154.09±8.88	141.05±13.86	140.61±14.74	145.95±5.80	149.91±15.93	147.56±19.08
	CS	152.33±8.94	138.87±14.20	138.13±14.39	144.58±5.52	149.41±15.90	148.77±18.03
	F	.105	.062	.093	.257	.008	.024
	post-hoc	-	-	-	-	-	-
Ankle	SS	75.87±1.89	68.33±2.41	67.94±3.36	79.81±2.15	73.09±6.59	67.77±8.51
	OS	74.33±2.19	66.56±2.20	65.98±3.05	77.64±2.59	72.03±7.84	67.55±9.86
	CS	79.31±2.64	70.72±2.31	70.88±4.40	82.55±2.71	75.42±6.33	69.98±8.94
	F	12.731***	8.155**	4.565*	9.714***	.626	.218
	post-hoc	SS,OS<CS	SS,OS<CS	OS<CS	SS,OS<CS	-	-

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$

지는 양쪽 무릎관절의 각도 차이가 없었지만, 왼 발은 높은 경사면에서 무릎관절의 굴곡이 증가한다고 보고하였다[20]. 골프 스윙 시 왼쪽 무릎이 상체를 지지해 주는 역할로 인해 어드레스와 임팩트에서 움직임이 최소화해야만 안정적인 스윙을 수행한다고 보고하였다[21]. 본 연구에서는 스탠스가 무릎관절에 미치는 영향은 유의하지 않았다. 선행연구와 같이, 지면의 경사도나 다양한 클럽을 사용하여 스윙을 수행한 경우에만 무릎관절에 영향이 나타나지만, 스탠스에 따른 영향은 없는 것으로 사료된다.

발목관절에서 왼쪽 발목관절 각변위는 어드레스에서 스탠스별 차이가 나타났고($p<.001$), 사후검증으로 OS이 SS와 CS보다 저측굴곡이 크게 나타났다. 테이크백, 탑스윙 및 다운스윙도 스탠스별 차이가 나타났고($p<.05$), 이에 따른 사후검증으로 OS이 CS보다 저측굴곡이 크게 나타났다. 하지만, 임팩트부터 스탠스별 차이가 나타나지 않았다. 오른쪽 발목관절 각변위는 탑스윙까지 배측굴곡으로 진행되다가, 다운스윙에서 저측굴곡되었지만, 이후에는 배측굴곡으로 진행되었다. 오른쪽 발목관절 각변위는 어드레스($p<.001$)와 테이크백($p<.01$)에서 스탠스별 차이가 나타났고, 사후검증으로 CS가 SS와 OS보다 저측굴곡이 크게 나타났

다. 탑스윙은 스탠스별 차이가 나타났고($p<.05$), 사후검증으로 CS가 OS보다 저측굴곡이 크게 나타났다. 다운스윙은 스탠스별 차이가 나타났고($p<.001$), 사후검증으로 CS가 SS와 OS보다 저측굴곡이 크게 나타났다. 하지만, 임팩트부터 스탠스별 차이가 나타나지 않았다. 선행연구로 골프 스윙 시 목표지점의 반대 방향을 향하여 다운스윙 후반에서 발목관절 작용이 나타난다고 보고하였지만[22], 임팩트 이후에서도 나타난다고 보고하였다[23]. 본 연구에서는 왼쪽 발목관절 각변위가 테이크백과 탑스윙, 다운스윙에서 어드레스의 스탠스 영향으로 인하여 OS가 CS보다 신전이 크게 나타났다. 이는 OS에서 발의 외전으로 인하여 시상면에서 상대적으로 신전이 크게 나타난 것으로 판단된다. 오른쪽 발목관절 각변위는 어드레스, 테이크백, 탑스윙, 다운스윙까지 CS에서 저측굴곡이 크게 발생하였다. 오른쪽 발목관절은 왼발의 OS나 CS에 영향이 없이, 관절각이 유지될 것으로 예측되었지만, 실제로 스탠스의 영향으로 인해 오른쪽 발목관절에도 영향을 미치는 것으로 사료된다. 즉, 왼쪽 발목관절은 의도적인 스탠스 변화로 인하여 발목관절 각변위가 발생되었고, 오른쪽 발목관절도 영향을 받는 것으로 판단된다.

Table 4. Right ground reaction force

		(unit: N/kg)				
Event	Force	SS	OS	CS	F	post-hoc
ADD	Fx	-0.68±0.24	-0.63±0.28	-0.68±0.21	.133	-
	Fy	-0.15±0.09	-0.30±0.15	-0.03±0.10	13.545***	OS>SS>CS
	Fz	4.79±0.46	4.90±0.54	4.55±0.51	1.251	-
TB	Fx	-1.14±0.38	-1.09±0.37	-1.12±0.36	.033	-
	Fy	-0.26±0.17	-0.40±0.15	-0.06±0.20	10.031***	OS, SS>CS
	Fz	6.83±0.80	6.91±0.99	6.62±0.71	.326	-
TS	Fx	-1.16±0.42	-1.13±0.42	-1.10±0.38	.059	-
	Fy	0.35±0.64	0.33±0.61	0.59±0.63	.517	-
	Fz	5.53±0.73	5.38±0.80	5.30±0.70	.263	-
DS	Fx	-1.27±0.28	-1.37±0.32	-1.34±0.34	.248	-
	Fy	1.45±0.38	1.37±0.39	1.57±0.43	.644	-
	Fz	5.47±1.18	5.55±1.34	5.22±1.32	.178	-
IP	Fx	-0.29±0.43	-0.36±0.52	-0.40±0.45	.143	-
	Fy	0.16±0.39	0.06±0.60	0.17±0.36	.181	-
	Fz	5.16±2.11	5.63±2.53	5.25±2.34	.112	-
FS	Fx	-0.52±1.11	-0.30±0.98	-0.73±1.44	.325	-
	Fy	-0.44±0.32	-0.56±0.58	-0.27±0.52	.919	-
	Fz	4.41±2.85	4.90±3.37	4.85±3.59	.068	-

*** $p<.001$

Table 5. Left ground reaction force

		(unit: N/kg)				
Event	Force	SS	OS	CS	F	post-hoc
ADD	Fx	0.90±0.31	0.94±0.31	0.91±0.28	.173	-
	Fy	0.21±0.12	0.36±0.14	0.05±0.13	14.767***	OS>SS>CS
	Fz	5.21±0.50	5.09±0.63	5.50±0.63	1.263	-
TB	Fx	0.65±0.31	0.64±0.29	0.58±0.24	.181	-
	Fy	0.24±0.15	0.32±0.14	0.11±0.16	5.324*	OS, SS>CS
	Fz	3.12±0.69	2.98±0.79	3.29±0.64	.482	-
TS	Fx	0.10±0.69	0.08±0.60	0.05±0.59	.014	-
	Fy	-0.29±0.75	-0.37±0.77	-0.46±0.72	.881	-
	Fz	3.78±0.67	3.85±0.58	4.05±0.79	.437	-
DS	Fx	0.77±0.61	0.75±0.64	0.68±0.62	.057	-
	Fy	-1.68±0.62	-1.75±0.60	-1.93±0.66	.653	-
	Fz	8.09±1.99	7.90±1.52	7.55±1.66	.248	-
IP	Fx	0.45±0.66	0.55±0.71	0.53±0.75	.055	-
	Fy	0.58±0.55	0.52±0.54	0.52±0.63	.962	-
	Fz	6.20±2.57	6.46±2.37	6.62±2.86	.066	-
FS	Fx	0.13±0.56	0.13±0.39	0.18±0.44	.039	-
	Fy	0.48±0.33	0.73±0.43	0.57±0.43	.369	-
	Fz	5.70±2.10	5.41±1.65	5.63±1.81	.064	-

* $p<.05$, *** $p<.001$

3.3. 지면반력

골프 스윙 시 스탠스에 따른 지면반력의 결과

는 <Table 4, 5>와 같다. Fx는 전(+)/후(-) 방향의 힘, Fy는 좌(-)/우(+) 방향의 힘, Fz는 수직(+)

방향의 힘을 의미한다.

좌·우 발 모두 전·후 지면반력은 모든 이벤트에서 스탠스에 따른 차이가 나타나지 않았다. 왼발의 좌·우 지면반력은 어드레스에서 테이크백까지 오른쪽으로 진행되었다가 탑스윙에서 다운스윙까지 왼쪽, 이후 임팩트부터 다시 오른쪽으로 힘이 전달되었다. 왼발의 좌·우 지면반력은 어드레스에서 차이가 나타났다($p < .001$). 사후검증으로 OS가 SS와 CS보다 크게 나타났다. 테이크백도 좌·우 지면반력에 차이가 나타났고($p < .05$), 사후검증 결과 OS와 SS가 CS보다 크게 나타났다. 오른발의 좌·우 지면반력은 어드레스에서 테이크백까지 왼쪽으로 진행되었다가 탑스윙에서 임팩트까지 오른쪽, 이후 다시 왼쪽으로 힘이 전달되었다. 오른발의 좌·우 지면반력은 어드레스에서 테이크백까지 왼쪽으로 진행되었다가 탑스윙에서 임팩트까지 오른쪽, 팔로우 스윙에서 왼쪽으로 힘이 전달되었다. 오른발의 좌·우 지면반력은 어드레스에서 차이가 나타났다($p < .001$). 사후검증으로 OS, SS, CS 순으로 크게 나타났다. 테이크백도 좌·우 지면반력에서 차이가 나타났고($p < .05$), OS와 SS가 CS보다 크게 나타났다. 좌·우 발 모두 수직 지면반력은 모든 이벤트에서 차이는 나타나지 않았다. 선행연구로 4가지 클럽을 이용한 스윙에서 지면반력 차이를 분석한 결과, 어드레스에서 좌·우 지면반력은 클럽이 길어질수록 더욱 커지고, 짧아질수록 오른발의 수직 지면반력을 크게 발생하며, 백스윙 정점에서 왼발은 공의 진행 방향으로 오른발은 반대 방향으로 힘을 가해지고, 수직 지면반력은 왼발보다는 오른발에 더 크게 발생하였다. 또한 임팩트 순간에는 클럽에 상관없이 왼발은 공의 진행 방향으로, 오른발은 반대 방향으로 좌·우 지면반력이 나타났고, 드라이버는 아이언에 비해 왼발은 더 작고 오른발은 더 크게 수직 지면반력이 나타났다고 보고하였다[24]. 좌·우 지면반력에서 좌·우 발 모두 OS가 CS보다 어드레스와 테이크백에서 내측방향의 힘이 강하게 발생되었다. 이는 전족 사이의 간격이 가장 큰 OS가 기저면 증가로 안정성은 상승하지만, 체중이동과 같은 기동성이 감소하기 때문에 양발의 내측방향의 힘을 증가하여 기동성 감소에 대한 상쇄를 도모하는 것으로 판단된다.

종합해 보면, 어드레스부터 다운스윙까지 왼쪽 발목관절은 OS, 오른쪽 발목관절은 CS에서 저측 굴곡이 크게 발생되었지만 이후 임팩트부터는 차이가 나타나지 않았다. 어드레스와 테이크백까지

좌·우 지면반력은 OS에서 왼발은 오른쪽 방향, 오른발은 왼쪽 방향의 힘이 크게 나타났지만, CS는 좌·우 방향의 힘 모두 작게 나타났다. 이는 OS에서 백스윙 시 CS에 비해 오른쪽 방향의 체중이동이 용이하여 나타난 결과로 예측되지만, 좌·우 발목관절과 좌·우 지면반력에서 스탠스에 따른 차이는 각각 임팩트 이전과 탑스윙 이전에만 발생되었고, 결과적으로 임팩트 시 스탠스에 따른 차이가 없이 동일한 자세를 유지함으로써 클럽헤드 스피드와 볼의 방향에는 영향을 미치지 못하는 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구의 목적은 골프 스윙 시 3가지 스탠스에서 클럽헤드 스피드와 볼의 정확성을 유지하기 위한 신체의 전략을 하지의 운동학적 변인과 지면반력 변인을 통하여 알아보고자 하였다.

스탠스 별 신체중심의 변위에서는 차이가 나타나지 않았고, 하지관절 중 고관절과 무릎관절에서도 차이가 나타나지 않았다. 왼쪽 발목관절은 어드레스부터 다운스윙까지 오픈 스탠스에서 저측 굴곡이 크게 수행되었고, 오른쪽 발목관절 각변위는 어드레스부터 다운스윙까지 클로즈드 스탠스에서 저측굴곡이 크게 수행되었다. 지면반력에서 전후, 수직 지면반력은 차이가 없었지만, 좌·우 지면반력에서 어드레스부터 테이크백까지 오픈 스탠스가 클로즈드 스탠스보다 왼발은 오른쪽 방향, 오른발은 왼쪽 방향의 힘이 크게 나타났다. 결론적으로 대부분의 변인들에서 스탠스별 차이가 없거나 탑스윙과 임팩트 이전에 차이가 나타났지만, 타격이 이루어지는 임팩트에서는 스탠스별 차이가 나타나지 않았기 때문에, 클럽헤드 스피드와 볼의 방향에는 영향을 미치지 못하는 것으로 사료된다. 이를 통하여 다양한 스탠스에도 불구하고, 임팩트 시 동일한 자세를 유지하는 것이 클럽의 헤드스피드와 볼의 방향에 긍정적으로 작용되는 것으로 판단되며, 골퍼들의 다양한 스윙 동작이나 스탠스에도 불구하고, 일정한 거리와 정확성을 위하여 임팩트 시 자세의 중요성을 알 수 있다.

향후 연구는 다양한 골프 스윙 동작을 통하여 신체의 보상작용에 대해 알아볼 필요가 있을 것으로 사료된다.

References

1. P. D. Milburn, "Summation of Segmental Velocities in The Golf Swing". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Vol.14, No.1 pp. 60-64, (1982).
2. C. H. Park, "*Power Golf Stroy*". RainbowBooks, (2006).
3. R. J. Sung, "A Study on the Swing Path and Plane of the Club in Golf Swing". *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol.14, No.1 pp. 99-115, (2004).
4. T. Y. Shim, S. I. Oh, S. H. Shin, S. S. Lee, J. H. Mun, "*The Prediction of "Slice" Using Neural Network in Golf Swing*". Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering, Fall 2004, pp. 37-40, (2004).
5. C. W. Kim, "A Case Study of X-Factor in the Golf Swing Analysed by the Level and the Age". *Korean Journal of Sport Science*, Vol.5, No.10 pp. 1357-1366, (2009).
6. R. M. Queen, R. J. Butler, B. Dai, C. L. Barnes, "Difference in Peak Weight Transfer and Timing Based on Golf Handicap". *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol.27, No.9 pp. 2481-2486, (2013).
7. T. Woods, "*How to Play Golf*". NY: Warner Books, (2001).
8. K. J. Nam, C. H. Lee, "The Effect of Feed-Back on 7 Iron Swing according to 3 Stance Types". *Korean Journal of Sports Science*, Vol.26, No.5 pp. 1161-1172, (2017).
9. J. S. Park, M. S. Kwon, J. W. Lee, Y. T. Lim, "Comparison of Knee Joint Torque with Stance Types at Follow-through Phase in Female Elite Golfers". *Journal of Golf Studies*, Vol.10, No.3 pp. 63-70, (2016).
10. S. Lynn, G. J. Noffal, "Frontal Plane Knee Moments in Golf: Effect of Target Side Foot Position at Address". *Journal of Sports Science and Medicine*, Vol.9, No.2 pp. 275-281, (2010).
11. M. F. Smith, "*Golf Science: Optimum Performance from Tee to Green*". University of Chicago Press, (2013).
12. K., A. Ball, R., J. Best, "Different Centre of Pressure Patterns Within the Golf Stroke I: Cluster Analysis". *Journal of Sports Science and Medicine*, Vol.25, No.7 pp. 757-70, (2007).
13. D. A. Winter, "Human Balance and Posture Control during Standing Walking". *Gait Posture*, Vol.3, pp. 193-214, (1995).
14. J. G. Hay, "*The Biomechanics of Sports Techniques*". NJ: Prentice-hall, Englewood Cliff, (1985).
15. V. M. Zatsiorsky, V. N. Seluyanov, L. G. Chugunova, "*Methods of Determining Mass-Inertial Characteristics of Human Body Segments*". In G.G. Chernyi & S.A. Regirer, Contemporary Problems of Biomechanics (pp. 272-291), USA: CRC Press, (1990).
16. W. I. Son, "Kinematical Analysis of Address and Impact Motions in Golf Drive Swing". *Journal of Sport and Leisure Studies*, Vol.34, No.2 pp. 1993-1404, (2008).
17. J. C. Kang, "*The Analysis about Biomechanical Variances of Driver at Impact Zone*". Unpublished Master's Thesis, Yongin University, Yongin, Korea, (2014).
18. S. Y. Hong, "Kinetics Comparison Analysis of X-Factor and O-Factor according to Long Iron Swing Motion of Golf Skilled and UnSkilled". *Korean Journal of Sport Science*, Vol.27, No.6 pp. 1083-1094, (2018).
19. Y. J. Choi, "*Kinematic Analysis on Body Segment by the Angle of Slope when Female Golfer Performs Approach Motion*". Unpublished Master's Thesis, Chungnam National University, Daejeon, Korea, (2019).
20. J. Park, "A Kinematical Comparison of the Swing Techniques in Different Ground

- Levels". *The Korean Journal of Physical Education*, Vol.39, No.1 pp. 540-549, (2000).
21. J. B. Yoon, K. S. Park, "The Analysis of Correlation Between Angle of the rotation Body Segment and Horizontal Flight Angle of ball During the Golf Swing". *The Korean Journal of Physical Education*, Vol.32, No.2 pp. 273-288, (1993).
22. I. Okuda, C. W. Armstrong, H. Tsunozumi, H. Yoshiiko, "*Biomechanical Analysis of Professional Golfer's Swing: Hidemichi Tanaka*". In E. Thain(Ed) *Science & Golf VI: Proceedings of the World Scientific Congress of Golf*, 18-27, Padstow, Cornwall, GB: TJ International Ltd, (2002).
23. S. H. Na, "*The Kinetic Analysis of the Nether Limbs during the Golf Driver Swing*". Unpublished Doctor's Thesis, Korea University, Seoul, Korea, (2006).
24. G. J. Seong, K. C. Lee, C. S. Kwak, "A Study About Difference of Ground Reaction Forces on foot with Golf Clubs". *Korean Journal of Teacher Education*, Vol.33, No.4 pp. 133-146, (2017).