

Comparison of Kinematic Variables of the Club Head, Golf Ball and Body Alignment according to Swing Plane during Golf Driver Swing

골프 드라이버 스윙 시 스윙 플레인에 따른 클럽 헤드 및 골프볼의 운동학적 변인과 신체 정렬 변인의 비교 분석

Young-Tae Lim^{1,3}, Moon-Seok Kwon³, Jae-Woo Lee^{2,3}

¹College of Biomedical & Health Science, Golf Industry Major, Konkuk University, Chungju, South Korea

²Department of Sports Science, Graduate School of Konkuk University, Chungju, South Korea

³Sports Convergence Institute, Konkuk University, Chungju, South Korea

Received : 23 December 2022

Revised : 28 December 2022

Accepted : 28 December 2022

Corresponding Author

Jae-Woo Lee

Sports Convergence Institute,
Konkuk University,
ChungwonDaero, Chungju-si,
Chungchongbuk-do, 27478,
South Korea

Email : jwlee1143@naver.com

Objective: The purpose of this study was to analyze the effects of club head and golf ball kinematics and body alignment according to the swing plane during golf driver swing.

Method: Sixteen college golfers participated in this study. Kinematic data of the club head and golf ball were collected using golf swing analysis system (Trackman Ver. 3e). The body alignment variables were collected using 8 motion capture system. An Independent samples *t*-test was used for comparison between the Out-to-In group and In-to-Out group, and the statistical significance level was set at .05.

Results: For the club head related variables, club path and club face angle showed higher values in Out-to-In swing plane than In-to-Out swing plane. For the kinematic variables of the golf ball, the total distance showed a higher value in the In-to-Out swing plane than that of the Out-to-In swing plane. For the body alignment, the In-to-Out swing plane showed higher values than the Out-to-In swing plane for the pelvis rotation angle and trunk rotation angle.

Conclusion: This study suggest that it would be more effective to use the In-to-Out swing plane for increasing the total distance during the golf driver swing.

Keywords: Golf driver swing, Swing plane, Body alignment, Kinematic variables

INTRODUCTION

골프 스윙은 운동역학 영역에서 연구의 주제로서 많은 연구자들에 의해 다루어지는 대표적인 신체 운동 중 하나이다(Kim et al., 2021; Nesbit & McGinnis, 2009). 골프 스윙 동작은 신체의 선 운동과 회전 운동뿐만 아니라 골프볼을 타격하는 골프 클럽(golf club) 운동을 복합적으로 접근하고 해석할 필요성이 있다(Hume, Keogh & Reid, 2005). 골프 스윙에서 볼 임팩트 후 골프볼의 운동은 클럽 헤드의 운동 속도와 방향에 의해 결정되며, 이러한 클럽 헤드의 운동은 신체 운동과 밀접한 관련성을 가지고 있다(Latella, Yungchien, Yung-Shen, Sell & Lephart, 2008). 골프 선수들은 골프 코스 환경에 따라 직선(straight), 페이드(fade), 드로우(draw) 등의 골프볼의 운동 방향을 변화시킬 수 있는 드라이버 샷(Shot) 기술을 활용하여 볼을 목표한 곳으로 보내기 위해 노력한다(Sohn, Ryue, Lee & Lim, 2010).

골퍼가 목표 지점에 골프볼을 보내기 위해 수행하는 골프 스윙 동작을 준비 자세인 어드레스(address)부터 백 스윙(back swing) 그리고 다운 스윙(down swing), 볼 임팩트(ball impact), 팔로우 스윙(follow swing) 등으로 세분화하여 골프볼의 운동과 관련된 신체 또는 클럽의 운동에 대해 운동역학적 연구들이 수행되어왔다(Kim et al., 2021; Smith, Roberts, Wallace & Forrester, 2012). 골퍼들은 골프 스윙을 시작하는 시점으로서 스윙 동작 전 골프볼의 운동 방향과 샷의 구질을 결정한 후 어드레스 자세를 결정한다. 어드레스 시 양 발을 지면에 위치시키는 스탠스는 클럽 헤드의 회전 운동 경로를 결정하는 중요한 요인들 중 하나이다(Hong, So & Kim, 2012). 골프 스윙 시 타겟 방향 양 발을 기준으로 목표 방향으로 회전하는 오픈(open) 스탠스와 반대 방향으로 발을 회전하는 클로즈(closed) 스탠스 그리고 양 발을 목표 방향과 수직하게 위치시키는 스퀘어(square) 스탠스 등의 어드레스 자세를 이용하여 클럽 헤드의 운동 경로를 변화시킬 수 있으며 이러한 결과로

Table 1. Physical characteristics of participants

Group (Swing plane)	Mean \pm SD			
	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Handicap
Out-to-In ($n = 8$)	23.75 \pm 1.28	173 \pm 7.58	68.25 \pm 13.61	4.38 \pm 1.92
In-to-Out ($n = 8$)	24.38 \pm 1.69	174.88 \pm 7.40	71.16 \pm 12.16	4.50 \pm 2.27

다양한 골프볼의 운동이 가능해진다(Kim et al., 2021). 이에 많은 골프 교습가들은 스윙 동작을 수행하기 전에 어드레스 자세의 점검과 교정 과정을 통해 스윙의 목적에 부합하는 신체 운동을 수행할 수 있는 것으로 판단하고 있다(Smith et al., 2012).

골프 드라이버 스윙 시 볼 임팩트에서 클럽 페이스의 방향 요인도 골프 어드레스 동작과 함께 샷의 구질에 영향을 주는 중요한 요인이다(Sohn et al., 2010; Williams & Sih, 2002). 골퍼가 스윙의 목적을 달성하기 위해서는 골프볼을 클럽 헤드의 중심점에 정확하게 타격시킬 수 있는 일관성과 정확성을 반복적으로 연습하여야 한다(Sohn et al., 2010; Williams & Sih, 2002). 골프 스윙 시 골프볼의 운동 방향은 볼 임팩트 시점에서 클럽 헤드의 방향에 의해 많은 영향을 받기 때문에 클럽 헤드의 운동 궤적과 방향의 복합적인 요인들을 분석하는 것은 골프 스윙 기술과 샷의 기술을 객관적으로 해석할 수 있는 방법이다(Morrison, McGrath & Wallace, 2014). 이러한 골프 스윙의 결과를 정량적으로 분석하기 위하여 클럽 헤드의 운동을 분석하는 연구들이 수행되어 왔다(Williams & Sih, 2002; Williams & Sih, 2007). 이를 통해 골프 스윙 시 골프볼의 운동은 볼 임팩트 시 클럽의 운동 속도, 각도, 방향 등의 물리적 요인들에 의해 결정되는 것을 알 수 있었으며, 이를 기반으로 클럽의 운동과 볼의 운동 결과를 정량적으로 수치화 할 수 있는 장비를 활용한 연구들을 통해 많은 골퍼들의 스윙 동작을 분석하는 연구들이 수행되었다(Johansson, König, Brattberg, Dahlbom & Riveiro, 2015; Morrison, McGrath & Wallace, 2018; Sohn et al., 2010).

골프 백 스윙 이후 골프볼을 타격하기 위해 수행되는 다운 스윙에서 클럽 헤드의 궤적이 골프볼과 목표 지점의 기준선을 중심으로 임팩트 시점에서 바깥쪽에서 안쪽으로 운동하는 아웃 투 인(Out-to-In) 스윙 플레인 또는 안쪽에서 바깥쪽으로 운동하는 인 투 아웃(In-to-Out) 스윙 플레인의 결과와 높은 관련성을 가지고 있다(Sim, Seung-eel, Bae, Lee & Mun, 2007). 골프 스윙 플레인은 클럽 헤드의 궤적을 분석하여 스윙 중심을 기준으로 가상의 평면을 정의하여 스윙을 해석하는 방법 중 하나이다(Lim, 2004). Kwon, Como, Singhal, Lee & Han (2012)은 볼 임팩트 시점에서 클럽 샤프트의 수평선을 기준으로 백 스윙과 다운 스윙 시 클럽 헤드의 궤적에 최적화된 면을 산출하는 기능적 스윙 플레인(functional swing plane)을 제시하였다. 이러한 골프 스윙 플레인의 분석 방법은 볼의 운동 결과와 밀접한 관련성을 가지고 있는 클럽 헤드의 운동 방향을 해석할 수 있는 방안 중 하나로 이용되고 있다(Shin, Casebolt, Lambert, Kim & Kwon, 2008; Jang & Ryu, 2011). 특히, 볼 임팩트를 위해 수행되는 구간인 다운 스윙 구간에서 스윙 평면은 임팩트 후 볼의 구질에 많은 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Jang & Ryu, 2014).

따라서 본 연구는 골프 드라이버 스윙 시 스윙 플레인에 따른 클럽 헤드 및 골프볼의 운동학적 변인과 신체 정렬 변인의 비교 분석하는

데 목적이 있다. 이를 통해 골프 드라이버 스윙 시 클럽 헤드의 궤적을 이용한 스윙 플레인 결과가 스윙 동작 시 신체 운동과 볼 임팩트 시점에서의 골프볼과 클럽 헤드의 운동에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

METHOD

1. 연구참여자

본 연구는 최근 12개월 내에 근골격계 부상 이력이 없는 K대학 골퍼 16명이 참여하였으며, 드라이버 스윙 시 골프 스윙분석 장비를 통해 측정된 클럽 페스(club path) 수치를 이용하여 Out-to-In과 In-to-Out 스윙 플레인을 구사하는 그룹으로 분류하였다(Table 1).

2. 실험 방법 및 절차

본 연구참여자는 실험 참여 전에 본 연구의 목적과 실험 절차를 설명 받은 뒤, 부상 방지를 위한 약 10분간 충분한 스트레칭과 드라이버 스윙 연습을 실시하였다. 이후 spandax 소재의 실험복으로 환복한 뒤, Vicon (Vicon, Denver, USA)사에서 제공하는 Plug-in-gait 모델을 기반으로 15 mm 반사마커(reflective marker) 47개를 신체 분절과 관절에 부착하였고 연구참여자가 구비한 드라이버의 Grip, Neck, Toe 위치에 추가 마커를 부착하였다. 이후, Active Wand를 이용하여 캘리브레이션(calibration)을 실시하였으며, 이를 통해 X 축은 AP (anterior-posterior) 방향, Y 축은 ML (medial-lateral, targeted direction) 방향, Z 축은 SI (superior-inferior) 방향으로 전역 좌표계를 설정하였다. 연구참여자 별 드라이버 스윙 시 신체 분절의 3차원 운동학적 자료를 수집하기 위해 8대의 적외선 모션 캡처 카메라(T10S, Vicon, LA, USA, sampling rate: 250 Hz)를 사용하였으며, 드라이버 스윙 시 스윙 플레인에 따른 클럽 헤드와 골프볼의 운동학적 자료는 레이더 기반으로 제작된 골프 스윙 분석 장비인 Trackman사의 Trackman Ver. 3e (Copenhagen, Denmark)을 사용하였다.

드라이버 스윙 시 스윙 플레인에 따른 클럽 헤드와 골프볼의 운동학적 변인과 신체 정렬 변인의 원자료를 수집하기 위해 연구참여자들은 동작 분석 시스템과 골프 스윙분석 장비의 캘리브레이션을 마친 실험실 내부에서 드라이버 스윙 준비 자세를 취하였으며, 연구자의 신호에 맞춰 총 5번의 드라이버 스윙을 실시하였다. 연구참여자 별 드라이버 스윙은 동작 분석 시스템과 골프 스윙분석 장비를 동조화시킨 뒤, Nexus software ver. 2.14 (Vicon, Denver, USA)으로 원자료를 수집하였다. 수집한 원자료는 골프 스윙분석 장비로 측정된 결과치를 기준으로 골프볼의 착지 지점이 정중앙에서 좌·우 편차 15 m를 벗어난

드라이버 스윙은 이상치(outlier)로 간주하여 분석 자료에서 제외하였다(Lim & Kwon, 2017). 수집된 신체 분절 및 관절의 운동학적 자료는 Kwon3DXP (Visol, Korea)를 사용하여 fourth-order low-pass Butterworth filter를 통해 8 Hz로 필터링하였다. 연구참여자 별 총 5개의 드라이버 스윙 중에서 5점 척도의 자가 평가 점수와 smash factor 측정치를 고려하여 최적의 드라이버 스윙을 1개 선정하였으며, 이를 본 연구 분석에 사용하였다.

3. 분석 변인

본 연구에서 드라이버 스윙 시 스윙 플레인인 골프 스윙분석 장비로 측정된 클럽 페이스(club path) 수치를 기준으로 In-to-Out 그룹과 Out-to-In 그룹으로 구분하였다. In-to-Out 스윙 플레인은 다운 스윙 시 타겟 라인을 기준으로 클럽 헤드가 내측으로부터 시작하여 볼 임팩트 이후에 외측으로 이동하는 것을 의미하며, 측정치 기준으로 양(+의 값을 나타낸다. 반면, Out-to-In 스윙 플레인은 다운 스윙 시 타겟 라인을 기준으로 클럽 헤드가 외측으로부터 시작하여 볼 임팩트 이후에 내측으로 이동하는 것을 의미하며, 측정치 기준으로 음(-)의 값을 나타낸다.

드라이버 스윙 시 스윙 플레인에 따른 클럽 헤드의 운동학적 변인은 클럽 헤드 스피드(club head speed), 어택 앵글(attack angle), 다이 나믹 로프트(dynamic loft), 클럽 패스(club path), 클럽 페이스 앵글(club face angle), 페이스 투 패스(face to path)로 설정하였다. 클럽 헤드 스피드는 골프 드라이버 스윙 시 클럽 헤드의 최대 순간 속력을 의미한다. 어택 앵글은 클럽 헤드가 골프볼을 임팩트하는 각도이며, 골프볼을 하향 타격하는 형태인 다운 블로(down blow)와 상향 타격하는 형태인 어퍼 블로(upper blow)를 확인하는 수치이다. 해당 수치의 양(+의 값은 어퍼 블로, 음(-)의 값은 다운 블로를 의미한다. 다이내믹 로프트는 볼 임팩트 시점에서 클럽 헤드 페이스가 지면과 이루는 각도이며, 해당 수치의 증가는 클럽 헤드 페이스가 수평 형태로 변화하는 것이고 수치의 감소는 수직 형태로 변화하는 것으로 해석할 수 있다. 클럽 페이스 앵글은 볼 임팩트 시점에서 클럽 헤드의 수평면상에서 열림과 닫힘을 확인하는 수치이며, 양(+의 값은 클럽 페이스가 열린 상태를 나타내고 음(-)의 값은 클럽 페이스가 닫힌 상태를 의미한다.

골프볼의 운동학적 변인은 볼 스피드(ball speed), 볼 런치 앵글(ball launch angle), 볼 회전율(ball spin rate), 볼 착지 각도(ball landing angle), 총 비거리(total distance)로 설정하였다. 볼 스피드는 볼 임팩트 이후 골프볼의 최대 순간 속력을 의미한다. 볼 런치 앵글은 볼 임팩트 이후에 골프볼이 출발하는 각도이며, 수평선상인 0°를 기준으로 산출하는 수치이다. 볼 회전율은 볼 임팩트 이후에 골프볼에서 발생하는 회전량을 나타낸다. 볼 착지 각도는 골프볼의 비행 이후에 지면에 착지하는 각도를 의미한다. 총 비거리는 골프볼이 착지한 거리와 굴러가는 거리를 합산한 값으로 골프볼이 최대로 나아간 거리를 의미한다.

본 연구에서 수행하는 골프 드라이버 스윙은 주요 운동면이 수평면 이기에 신체 정렬 변인은 수평면상의 움직임인 회전 운동에 초점을 두었다. 이에 따라 신체 정렬 변인은 몸통 회전 각도와 골반 회전 각도로 설정하였고 백 스윙 탑에서 상체와 골반의 상대 각도인 x-factor 변인을 추가로 확인하였다. 몸통과 골반의 회전 각도는 설정된 지역 좌표계의 Z축을 기준으로 상대지향각을 통해 계산하는 Cadan orien-

tation 방법을 이용하여 산출하였다. 산출된 몸통과 골반의 회전 각도 수치에서 양(+의 값은 왼 방향의 회전으로 신체 분절이 타겟 방향으로 열림(open)을 의미하며, 음(-)의 값은 오른 방향의 회전으로 신체 분절이 타겟 방향으로부터 닫힘(close)을 의미한다. X-Factor 변인은 백 스윙 구간에서(back swing phase) 클럽 헤드가 정적인 시점인 백 스윙 탑(back swing top)에서의 몸통과 골반의 상대 각도이며, 해당 수치가 증가할수록 백 스윙 크기의 증가를 의미한다.

4. 통계분석

본 연구에서 수집한 원자료는 평균(mean)과 표준편차(standard deviation)로 산출하여 SPSS 27.0 통계프로그램(SPSS Inc., Chicago, IL 60606, USA)에 입력하였다. 골프 드라이버 스윙 시 두 가지 스윙 플레인인 인 투 아웃(In-to-Out)과 아웃 투 인(Out-to-In)에 따른 클럽 헤드, 골프 볼의 운동학적 변인과 신체 정렬 변인의 차이를 검증하기 위해 독립 t 검정(independent samples t-test)을 실시하였으며, 통계적 유의수준은 .05로 설정하였다.

RESULTS

1. 골프 드라이버 스윙 시 스윙 플레인에 따른 클럽 헤드의 운동학적 변인 비교

골프 드라이버 스윙 시 Out-to-In과 In-to-Out 스윙 플레인에 따른 볼 임팩트 시점에서의 클럽 헤드의 운동학적 변인을 비교한 결과는 <Table 2>와 같다. 골프 드라이버 스윙 시 클럽 헤드 스피드(club head speed), 어택 앵글(attack angle), 다이내믹 로프트(dynamic loft)는 스윙 플레인에 따른 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($p > .05$). 반면, 클럽 패스(club path)는 Out-to-In 스윙 플레인이 In-to-Out 스윙 플레인보다 높은 수치를 보였고($t = 4.628, p = .000$), 클럽 페이스 앵글(club face angle)은 Out-to-In 스윙 플레인이 In-to-Out 스윙 플레인 보다 높은 수치를 보였으며($t = 2.893, p = .012$), 두 변인 모두 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다.

Table 2. Comparison of club head kinematics variables according to swing plane during the golf driver swing

Club head variables [unit]	Golf swing plane		p
	Out-to-In	In-to-Out	
CH speed [mph]	98.49±11.25	99.70±8.30	.881
Attack angle [deg.]	1.51±2.31	0.24±1.57	.217
Dynamic loft [deg.]	12.54±2.68	13.47±3.34	.547
Club path [deg.]	4.59±2.83***	-0.99±1.91***	.000
Club face angle [deg.]	2.08±2.71*	-1.08±1.48*	.012

Note. Statistically significant difference at * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

2. 골프 드라이버 스윙 시 스윙 플레인에 따른 골프볼의 운동학적 변인 비교

골프 드라이버 스윙 시 Out-to-In과 In-to-Out 스윙 플레인에 따른 골프볼의 운동학적 변인을 비교한 결과는 <Table 3>와 같다. 골프 드라이버 스윙 시 스윙 플레인에 따른 볼 스피드(ball speed), 런치 앵글(launch angle), 볼 회전율(Ball Spin Rate), 볼 착지 각도(Ball Landing Angle)은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($p > .05$). 반면, 총 비거리(Total Distance)는 In-to-Out 스윙 플레인이 Out-to-In 스윙 플레인보다 높은 수치를 보였으며, 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다($t = -2.222, p = .043$).

Table 3. Comparison of golf ball kinematics variables according to swing plane during the golf driver swing

Golf ball variables [unit]	Golf swing plane		p
	Out-to-In	In-to-Out	
Ball speed [mph]	143.94±17.16	145.50±13.34	.842
Ball launch angle [deg.]	14.05±2.92	13.70±2.59	.118
Ball spin rate [rpm]	2707.09±344.85	2395.91±480.95	.159
Ball landing angle [deg.]	38.99±6.25	33.58±6.73	.118
Total distance [yard]	245.87±23.55*	273.14±25.50*	.043

Note. Statistically significant difference at $*p < .05$

3. 골프 드라이버 스윙 시 스윙 플레인에 따른 신체 정렬 변인 비교

골프 드라이버 스윙 시 Out-to-In과 In-to-Out 스윙 플레인에 따른 볼 임팩트 시점에서의 골반과 몸통의 회전 각도와 X-factor 변인을 비교한 결과는 <Table 4>와 같다. 골프 드라이버 스윙 시 골반 회전 각도와 몸통 회전 각도는 In-to-Out 스윙 플레인이 Out-to-In 스윙 플레

Table 4. Comparison of body alignment variables according to swing plane during the golf driver swing

Body alignment variables [unit]	Golf swing plane		p
	Out-to-In	In-to-Out	
Pelvis rotation angle [deg.]	43.05±5.27*	54.47±12.46*	.032
Trunk rotation angle [deg.]	23.28±6.83*	31.28±4.83*	.017
X-factor	-56.18±7.32	-61.66±8.60	.191

Note. Statistically significant difference at $*p < .05$

인보다 높은 수치를 보였고 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 반면, 드라이버 스윙 시 X-factor 변인은 두 스윙 플레인 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($p > .05$).

DISCUSSION

골프 스윙은 신체의 움직임과 골프 클럽의 복합적인 운동 요인들에 의해 결정된다(Smith et al., 2012). 따라서 많은 골프 스윙에 관한 연구들은 골프 스윙 동작을 분석하여 산출되어지는 다양하고 수많은 요인들 중 연구의 목적에 적합한 요인들을 중점적으로 분석하여 왔다(Hume et al., 2005). 특히, 골프 스윙 시 클럽 헤드의 움직임은 볼 임팩트 후 골프볼의 운동을 결정하는 중요한 요인으로 판단하고 있다(Kim et al., 2021). 골프 스윙 시 볼 임팩트 시점의 전, 후 클럽 헤드의 운동이 바깥쪽에서 안쪽으로 운동하게 되면 페이드 구질, 안쪽에서 바깥쪽으로 운동하게 되면 드로우 구질의 발생시키는 것으로 보고되고 있다(Collinson, Wood, Mullineaux & Willmott, 2012). 더욱이, 골퍼들의 숙련도가 높을수록 임팩트 시점에서 클럽 헤드 스피드와 클럽 헤드를 바깥쪽으로 밀어내는 움직임을 나타내는 경향을 가지고 있다(Williams & Sih, 2002). 본 연구에서도 골프 드라이버 스윙 시 클럽 헤드의 스윙 플레인이 임팩트 시점을 기준으로 Out-to-In 스윙 플레인의 경우 약 4.59도 클럽 패스 나타내었고 In-to-Out 스윙 플레인의 경우 약 -0.99도의 클럽 패스를 나타내었다. 이는 클럽 헤드의 움직임이 In-to-Out 스윙 플레인에서 클럽 패스가 타겟 방향과 Out-to-In의 스윙 플레인에 비해 가까운 것을 알 수 있었다. 클럽 페이스 앵글(club face angle)에서도 In-to-Out 스윙 플레인의 경우 Out-to-In 스윙 플레인 보다 타겟 방향과 볼을 타격하는 임팩트 시 클럽 페이스의 상대적 위치에서 적은 수치를 나타내었다. 골프 스윙 시 다양한 요인들이 클럽 헤드의 운동에 관여하며, 결과적으로 스윙을 대표할 수 있는 스윙 플레인을 통해 골퍼들의 스윙의 결과를 유추할 수 있다(Morrison et al., 2018). 골프 스윙 플레인은 골퍼들의 신체적 특성 또는 기술의 차이 등 다양한 요인들에 의해 결정될 수 있으므로 원 플레인, 투 플레인, 다중 플레인 등의 다양한 결과들로 해석될 수 있다(Shin et al., 2008). 이러한 볼 임팩트 상황에서 클럽 헤드와 볼의 운동을 이해하기 위한 일환으로 스윙 플레인의 움직임을 이용하여 골퍼들의 스윙 기술들을 이해하고 볼의 운동 구질과 연관하여 설명하기 위해 다양한 연구들이 수행되어 왔다(Morrison et al., 2014). 하지만 골프 스윙 시 볼 임팩트 후 볼의 운동을 직접적으로 설명하기에는 한계가 있었다.

이에 본 연구에서는 볼 임팩트 후 골프볼의 운동을 정량적으로 측정할 수 있는 Trackman 분석 장비를 이용하여 스윙 플레인에 따라 골프볼의 운동학적 요인들을 분석하였다. 그 결과 In-to-Out 스윙 플레인이 Out-to-In의 스윙 플레인 조건에 비해 비거리 요인에서만 통계적으로 의미 있는 큰 수치를 나타냈다. 하지만 두 스윙 플레인 조건에 따른 볼 스피드(ball speed), 런치 앵글(Launch Angle), 볼 회전율(Spin Rate), 볼 착지 각도(ball Landing Angle) 요인들은 두 스윙 플레인 조건에서 차이가 나타나지 않았다. 골퍼들에게 비거리는 가장 흥미로운 요인들 중 하나이다. 골프 드라이버 스윙 시 클럽 헤드 스피드는 비거리와 밀접한 관련성을 가진 요인 중 하나이지만(Hume et al., 2005), 본 연구에서는 두 스윙 플레인 조건에 따른 통계적 차이는 없었다. 볼의 운동 거리와 관련성이 있는 또 다른 요인인 볼 회전율은 In-to-Out

스윙 플레인인 Out-to-In 스윙 플레인에 비해 다소 낮은 수치를 나타냈지만 통계적 차이는 없었다. 본 연구를 통해 골프 스윙 동작 시 신체 회전 운동에 대한 요인들을 분석한 결과 골프 드라이버 스윙 시 골반 회전 각도와 몸통 회전 각도는 In-to-Out 스윙 플레인 조건에서 Out-to-In 스윙 플레인 조건보다 통계적으로 높은 수치를 나타내었지만, X-factor 요인에서는 차이를 나타내지 않았다. 골프 스윙 시 몸통과 골반 분절들은 타겟 반대 방향으로의 백 스윙과 타겟 반대 방향으로의 다운 스윙 시 회전 운동을 수행한다. 특히, 스윙의 준비 자세인 어드레스에서 백 스윙 탑 지점까지 몸통과 골반의 회전 운동은 볼을 강력하게 타격하기 위해 필요한 사전 동작이다(Lim, 2004). 이러한 이유로 백 스윙 시 몸통과 골반의 회전 운동의 범위는 클럽 헤드의 운동 범위를 증가시켜 임팩트 구간에서 클럽 헤드의 스피드를 증가시킬 수 있는 방법으로 제시되고 있다(Hume et al., 2005; Nesbit & McGinnis, 2009). 본 연구에서 골프 드라이버 스윙 시 In-to-Out 스윙 플레인 조건이 Out-to-In 스윙 플레인 조건에 비해 전체 비거리(Total distance)에서 큰 수치를 나타냈지만 클럽 헤드 스피드와 X-factor 요인에서는 차이를 보이지 않았다. 하지만 In-to-Out 스윙 플레인 조건에서 골반과 몸통의 회전 각도 요인에서 상대적으로 큰 수치를 나타냈고, 볼 회전량에서 적은 수치를 나타낸 결과로 해석되며 본 연구의 비거리는 볼이 공중에서 운동한 거리와 지면에 낙하 후 운동한 거리를 포함한 전체 운동 거리를 산출한 결과로도 해석된다. 그리고 골프 스윙 시 비거리에는 신체와 클럽의 다양한 운동 요인들이 복합적으로 작용하고 있으며, 클럽의 운동을 통해 최상의 볼 임팩트를 만들어내기 위해서는 클럽 헤드 중심 부분에 가까운 'sweet spot' 지점에 골프볼을 타격해야만 목표한 지점까지 골프볼을 운동시킬 수 있다(Williams & Sih, 2002).

CONCLUSION

본 연구의 목적은 골프 드라이버 스윙 시 스윙 플레인에 따른 클럽 헤드 및 골프볼의 운동학적 변인과 신체 정렬 변인에 미치는 영향을 분석하는데 있다. 골프 드라이버 스윙 시 In-to-Out 스윙 플레인 조건이 Out-to-In 조건에 비해 클럽 패스와 클럽 페이스 각도 요인이 타겟 방향의 기준선에 가까운 운동을 나타내었다. 그리고 전체 비거리와 몸통과 골반의 회전 운동의 범위에서도 In-to-Out 조건의 스윙 플레인인 Out-to-In 조건에 비해 상대적으로 큰 수치를 나타냈다. 그러므로 골프 드라이버 스윙을 통해 비거리를 증가시키고자 한다면 과도한 근력을 이용하여 클럽 헤드의 스피드의 증가시키는 방법보다 타겟 방향과 일치할 수 있는 클럽 헤드의 운동을 통해 목표한 지점까지 안정적으로 볼을 운동시킬 수 있는 In-to-Out 스윙 플레인을 활용하는 것이 보다 효과적인 것이라 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper was supported by Konkuk University in 2021.

REFERENCES

Collinson, A., Wood, P., Mullineaux, D. R. & Willmott, A. P. (2012). *The clubhead swing plane in golf draw and fade shots*.

- Hong, S., So, J. & Kim, Y. (2012). Kinematic analysis according to the intentional curve ball at golf driver swing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 22(3), 269-276.
- Hume, P. A., Keogh, J. & Reid, D. (2005). The role of biomechanics in maximising distance and accuracy of golf shots. *Sports Medicine*, 35(5), 429-449.
- Jang, J. K. & Ryu, J. K. (2011). A Study of the Club Head's Planar Movement in the Golf Swing. *The Korean Society of Sports Science*, 20(5), 1353-1363.
- Jang, J. K. & Ryu, J. K. (2014). A Study on the Professional Golfer's Swing Plane on the downswing. *The Korean Society of Sports Science*, 23(6), 1481-1490.
- Johansson, U., König, R., Brattberg, P., Dahlbom, A. & Riveiro, M. (2015). Mining trackman golf data. Paper presented at the *2015 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, 380-385.
- Kim, S. E., Lee, J., Lee, S. Y., Lee, H., Shim, J. K. & Lee, S. (2021). Small changes in ball position at address cause a chain effect in golf swing. *Scientific Reports*, 11(1), 1-10.
- Kwon, Y., Como, C. S., Singhal, K., Lee, S. & Han, K. H. (2012). Assessment of planarity of the golf swing based on the functional swing plane of the clubhead and motion planes of the body points. *Sports Biomechanics*, 11(2), 127-148.
- Latella, F. S., Yungchien, C., Yung-Shen, T., Sell, T. C. & Lephart, S. (2008). A method of golf specific proprioception to address physical limitations of the golf swing. Paper presented at the *Science and Golf V: Proceedings of the World Scientific Congress of Golf*, 112-119.
- Lim, Y. (2004). Categorization of two different swing styles using weight transfer patterns of golf swing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 14(2), 179-186.
- Lim, Y. T. & Kwon, M. S. (2017). The effect of stance type on the club head speed and center of pressure and center of mass patterns during the driver swing. *Journal of Golf Studies*, 11(1), 203-215.
- Morrison, A., McGrath, D. & Wallace, E. (2014). Changes in club head trajectory and planarity throughout the golf swing. *Procedia Engineering*, 72, 144-149.
- Morrison, A., McGrath, D. & Wallace, E. S. (2018). Analysis of the delivery plane in the golf swing using principal components. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 232(4), 295-304.
- Nesbit, S. M. & McGinnis, R. (2009). Kinematic analyses of the golf swing hub path and its role in golfer/club kinetic transfers. *Journal of Sports Science & Medicine*, 8(2), 235-246.
- Shin, S., Casebolt, J., Lambert, C., Kim, J. & Kwon, Y. (2008). A 3-D determination and analysis of the swing plane in golf. Paper presented at the *ISBS-Conference Proceedings Archive*.
- Sim, T., Seung-eel, O., Bae, J., Lee, S. & Mun, J. H. (2007). The effect of swing plane area with respect to swing velocity in golf swing.

- Paper presented at the *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, 2006*, 2905-2908.
- Smith, A., Roberts, J., Wallace, E. & Forrester, S. (2012). Professional golf coaches' perceptions of the key technical parameters in the golf swing. *Procedia Engineering, 34*, 224-229.
- Sohn, J., Ryue, J., Lee, K. & Lim, Y. (2010). Effect of intentional draw & fade shots on golf swing mechanics. *Korean Journal of Sport Biomechanics, 20(2)*, 149-154.
- Williams, K. & Sih, B. (2002). Changes in golf clubface orientation following impact with the ball. *Sports Engineering, 5(2)*, 65-80.
- Williams, K. & Sih, B. (2007). Three dimensional analyses of club movement and clubhead orientation at impact during the golf swing. *Journal of Biomechanics, 40(2)*, S317.