KJS

Korean Journal of Sport Biomechanics 2020; 30(1): 27-35
http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2020.30.1.27
http://e-kjsb.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

Effects of Clubhead Velocity on GRF Magnitude and Time during 7-iron Swing

골프스윙 시 지면반력 크기와 시간 차이가 클럽헤드 속도에 미치는 영향

Byung Hoon Woo

Department of Physical Education, Kyonggi University, Suwon, South Korea

Received : 28 October 2019
Revised : 24 February 2020
Accepted : 26 February 2020

Corresponding Author
Byung Hoon Woo
Department of Physical Education/College of Human-Centered Convergence, Kyonggi University, 154-42 Gwanggyosan-ro, Yeongtong-gu, Suwon, 16227, South Korea
Tel : +82-31-249-1317
Fax : +82-31-249-9075
Email : woowoo@kgu.ac.kr

Objective: The purpose of this study was to investigate the influence of clubhead velocity through regression analysis on the magnitude and time difference of the forward-backward, medio-lateral, and vertical ground reaction peak forces generated by force plate during golf swing.

Method: 16 subjects (age: 20.5±4.2 yrs, height: 176.0±5.4 cm, weight: 77.8±5.9 kg, handy: 2.4±1.7) who is elite golf player in high school and university, participated in this study. The study method adopted three-dimensional analysis with 8 cameras and ground reaction force measurement with two force plate. The analysis variables were clubhead velocity, and ground reaction analysis variables set four events in each graph based on the peak forces commonly generated in Fx, Fy, and Fz graphs of the ground reaction data during the golf swing.

Results: As a result of analyzing the influence of ground reaction magnitude difference on clubhead velocity, the influence on clubhead velocity was ym4, zm1, xm4, zm2. The larger ym4, xm4, zm1, the faster the clubhead velocity, but the smaller the zm2, the faster the clubhead velocity. And in time difference, the influence on the clubhead velocity was in the order of xt4, zt1, zt3. The shorter xt4, zt1, zt3 showed faster clubhead velocity.

Conclusion: The left foot played a leading role in increasing the velocity of the clubhead. Although the result was caused by the interaction of the right foot and the left foot during the swing, the role of the left foot is relatively large.

Keywords: Clubhead velocity, Golf, Ground reaction force, Magnitude, Time

INTRODUCTION

골프는 파워를 통한 비거리, 목표지점으로 정확하게 보내는 정확성, 동일한 스윙을 반복적으로 수행할 수 있는 일관성이 중요한 요인으로 작용하는 스포츠이다(Chun, 1988; Milburn, 1982). 좋은 스윙을 위하여 적절한 체중이동이 필요하고 (Leadbetter, 2002), 상지와 상체 동작의 연계도 중요하지만, 하체와 유기적인 협응 과정은 필수적이다(Seong, Lee & Kwak, 2017). 하체에서 양발은 신체중심을 고정시키고 힘을 전달하는데 가장 중요한 핵심이 되고, 좋은 골프스윙을 수행하는데 있어 그 역할이 반드시 필요하다(Toski & Love, 1998). 하지만 골프와 같이 양발 지지를 이용하는 타격운동에서 체중이동은 각 분절의 운동연쇄의 원리로 해석되어야 한다(Okuda, Armstrong, Tsunezumi & Yoshiiko, 2002). 골프스윙 시 양발의 지면반력을 통한 운동연쇄는 클럽헤드 속도를 증가시켜 골프공의 비거리를 증가할 수 있기 때문에 이러한 상관관계는 기능적으로 관련이 있고, 골프스윙 시 에너지를 지면에서 가장 효율적으로 전달하는 방법을 이해하는 것이 중요하고(Queen, Butler, Dai & Barnes, 2013), Hellstrom (2009)은 빠른 클럽헤드 속도를 달성하기 위해서 골프에서 높은 수준의 수행이 필요하다는 점을 고

Copyright © 2020 Korean Journal of Sport Biomechanics
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

려할 때 지면에서 상위 분절로 힘을 효과적으로 전달하는데 적절한 체중이동 패턴이 필요하다고 보고하였다.

체중이동은 던지기나 치기 동작에서 수행자의 운동량이 투사체의 진행 방향과 동일한 방향으로 전달될 때 가장 큰 속도를 얻을 수 있고(Hume, Keogh & Reid, 2005), 골프스윙에서 체중이동은 발과 지면의 상호작용을 통하여 클럽의 궤도에 직접적인 영향을 미치며, 체중이동의 결과로 볼의 구질, 방향, 거리, 탄도 등 큰 영향을 미치게 된다(Park, 2010; Son, Yang & Lee, 2009). 골프스윙 시 적절한 체중이동은 좋은 밸런스를 유지할 수 있고, 자연스러운 상체 회전을 통해 볼에 최대 운동량을 전달하는데 필수 요인이 된다(Zumerchik, 2002). 또한 골프공의 비거리를 위하여 큰 지면반력이 필요하며, 이를 위하여 적절한 체중이동이 필요하다(Hume et al., 2005).

골프스윙 시 일반적인 체중이동 순서는 오른손잡이일 경우 Leadbetter (1995)는 어드레스(백스윙의 시작)에서 발 사이에서 균등하게 균형을 잡고, 백스윙 시 오른발을 향해 이동하는 것으로 설명하고 있고, 다운스윙 시 체중이 오른발에서 왼발로 이동하며 이때 신체중심은 회전축보다 다소 앞쪽으로 이동해야 한다(An, Back & Kwak, 2005).

골프스윙 시 체중이동 연구로 Neal & Wilson (1985)은 백스윙 시 73~79% 정도가 오른발로 이동되고, 임팩트 시 오른발에 5~19%만 지지되며 대부분 왼발로 이동된다고 하였다. Koenig, Tamres & Mann (1994)는 백스윙 시 73~79%가 오른발로 이동한다고 하였고, Cooper, Bates, Rede & Scheuchenzuber (1974)는 임팩트 시 왼발에 75%, 오른발에 25% 정도가 지지된다고 하였다. Richards, Farrell, Kent & Kraft (1985)는 임팩트 시 5~19%만이 오른발을 지지한다고 보고하였고, William & Cavanagh (1983)는 임팩트 시 왼발에 체중의 110~150%가 적절하다고 하였다. 이러한 결과와는 달리, Vaughan (1981)은 클럽 종류에 상관없이 거의 동일한 체중이동의 변화가 보이고, 다운스윙 시 드라이버의 경우 오른 발에 50%, 왼발에 50% 정도로 두며 9번 아이언은 오른발에 55%, 왼발에 45% 정도로 체중이동이 된다고 하였다. Ball & Best (2007a)은 골프스윙에서 체중이동 연구는 여전히 해결되지 못한 상반된 결과가 존재하고, 그 이유로 이전 연구에서 문제점으로 골프스윙 시 하나의 스타일만 가정하여 분석하였기 때문에 오류가 발생한다고 지적하였다. Richards et al. (1985)는 숙련도에 따라 체중이동에 차이가 없다고 보고하였다. 체중이동과 수행력 사이의 상호관계에 대한 실험에서, Robinson (1994)은 기술 수준이 높은 골퍼들은 임팩트 시 발과 클럽헤드 속도 사이의 체중이동에서 유의한 상관성을 발견하였지만, Mason, McGann & Herbert (1995)는 싱글골퍼에서는 그 상관성이 보이지 않았다고 보고하였다.

이전의 연구들은 골프스윙 시 타이밍과 체중이동 패턴이 단순히 골프 기술 수준(Chu, Sell & Lephart, 2010; Okuda, Gribble & Armstrong, 2010; Richards et al., 1985)을 감안할 때 지반반력(GRF)의 크기보다 더 중요하다고 제안하였다. Richards et al. (1985)은 임팩트 시 발뒤꿈치에서 앞발까지 체중 분포 비율로 낮은 핸디캡(LHCP)과 높은 핸디캡(HHCP)의 골퍼를 85%의 정확도로 예측할 수 있음을 보여주었다. 또한, Chu et al. (2010)와 Okuda et al. (2010)은 다운스윙 시 오른발에서 왼발까지 수직 지면발력에서 크고 빠른 이동은 빠른 볼 스피드와 낮은 핸디캡 점수와 관련이 있다고 보고하였다.

이와 같이 골프스윙 시 체중이동에 관련된 연구들이 진행되고 있지만, 상이한 결론을 제시하는 경우가 빈번하기 때문에 많은 접근을 통해 클럽헤드 속도 상승을 위한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 지면반력에서 힘의 전환을 의미하는 피크힘(peak force)을 이용하여 전후, 좌우, 수직 지면반력에서 생성되는 피크힘 사이의 힘의 크기 차이와 소요된 시간 차이를 산출하여, 골프스윙 시 좌우, 전후, 수직 지면반력 크기와 시간 차이에 대한 회귀분석을 통하여 클럽헤드 속도에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

METHOD

1. 대상자

본 연구의 대상은 최근 6개월 이상 부상이 없었던 고등학교와 대학교 오른손잡이 골프선수 16명을 선정하였다(연령: 20.5±4.2 yr, 신장: 176.0±5.4 cm, 체중: 77.8±5.9 kg, 핸디: 2.4±1.7). 대상자들의 지면반력 자료 표준화(normalization)를 위하여 체중을 측정하였다. 측정 전 모든 대상자에게 실험에 대한 상세한 의도와 절차를 세부적으로 설명하고 참여의사에 대한 동의서를 받았다.

2. 측정도구 및 절차

골프스윙 시 지면반력의 크기와 시간이 클럽헤드 속도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 실험 전 모든 대상자들은 준비운동과 스트레칭을 실시하였다. 실험에 사용한 클럽은 대상자 개인 소유의 아이언 7번을 사용하였고, 준비운동으로 연습스윙도 수행하였다.

실험을 위하여 대상자들의 주요 관절에 Nexus 소프트웨어(Vicon, LA, USA)에서 제공되는 plug-in-gait 모델에 적합한 35개의 반사마커(reflective marker, size 19 mm)와 클럽헤드와 그립에도 추가 부착하였다(Figure 1).

골프스윙 시 전구간에서 나타나는 클럽헤드의 최대속도는 적외선 모션 캡쳐 카메라 8대(MX T10-S, Vicon, LA, USA, sampling rate: 250 Hz)를 이용하여 운동학적 데이터를 수집하였고, 지면반력 자료는 2대의 지면반력기(OR6-7-1000, AMTI, Inc., Watertown, MA, USA, sampling rate: 1,000 Hz)를 이용하여 수

Figure 1. Marker set

집하였다. 전역좌표계는 Vicon에서 제공되는 Active Wand를 이용하여 캘리브레이션을 실시하여 설정하였고, X축은 대상자의 전후 방향, Y축은 좌우 방향, Z축은 수직 방향으로 정의하였다.

모든 대상자들은 풀스윙을 수행하였고, 총 3번의 스윙 중 대상자가 가장 잘 수행되었다고 판단한 스윙을 선정하여 클럽헤드 최대속도와 지면반력 자료를 수집하였다.

3. 자료처리

본 연구의 자료 수집은 Vicon Nexus Version 1.8.3 (Vicon Inc., Denver, Co., USA)로 처리하였다. 위치자료는 8 Hz, 지면반력 자료는 4차 low-pass Butterworth filter 50 Hz로 스무딩하였다.

Vicon 영상 장비로 측정된 대상자의 자료는 마커 정보를 라벨링을 통하여 c3d 파일로 변환하여 Visual3D (C-motion Inc., USA) 프로그램을 이용하여 분석 변인들을 산출 및 분석을 실시하였다.

1) 이벤트 및 구간 설정

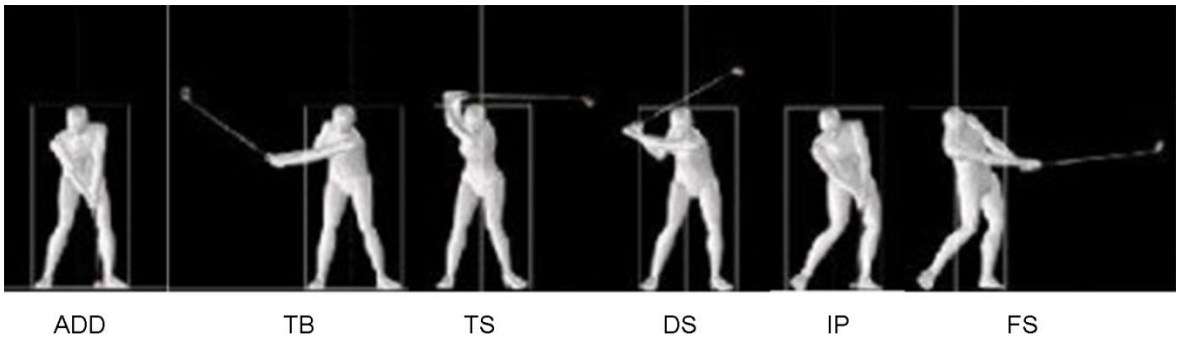
본 연구에서는 골프스윙 시 5가지 이벤트(ADD: 어드레스, TB: 테이크백, TS: 탑스윙, DS: 다운스윙, IP: 임팩트, FS: 팔로우 스윙)와 각 이벤트 사이인 5개의 구간으로 분류하여 분석하였다(Figure 2).

2) 지면반력 분석 변인 설정

지면반력 분석 변인은 골프스윙 시 지면반력 자료의 Fx, Fy, Fz 그래프에서 공통적으로 생성된 피크힘을 기준으로 각 그래프마다 4개씩의 이벤트를 설정하였다. 피크힘은 힘이 변화되는 지점이므로, 피크힘에 대해 각 이벤트 간 힘의 크기와 시간 차이에 회귀분석하였다. Fx는 초기 다운스윙 시 오른발에서 최대 전방힘, 왼발에서 최대 후방힘, 후기 다운스윙 시 오른발은 최대 후방힘, 왼발은 최대 전방힘을 선정하였고, Fy는 백스윙 시 오른발은 최대 외측힘, 왼발은 최대 내측힘, 다운스윙 시 오른발은 최대 내측힘, 왼발은 최대 외측힘을 선정하였으며, Fz는 백스윙 시 오른발은 최대 수직힘, 왼발은 최소 수직힘 다운스윙 시 오른발은 최소 수직힘, 왼발은 최대 수직힘을 선정하였다(Figure 3, 4).

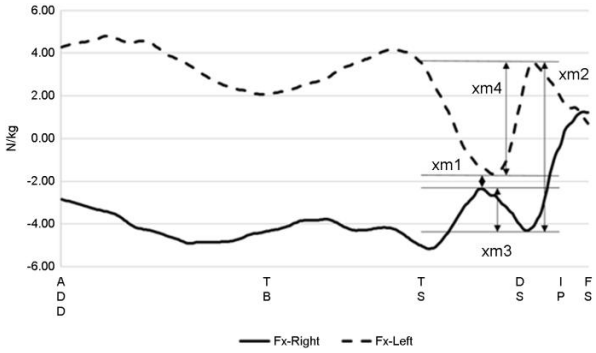
4. 통계처리

본 연구의 통계처리는 SPSS 23.0 (IBM, USA)을 이용하였고,



ADD: address - preparation, TB: take back - the event the left forearm and ground are horizontal, TS: top swing - The event clubhead stopped, DS: down swing - the event the left forearm and ground are horizontal after TS, IP: impact - the event where clubhead hit the golf ball, FS: follow swing - the event the left forearm and ground are horizontal after IP

Figure 2. Set of events and phases



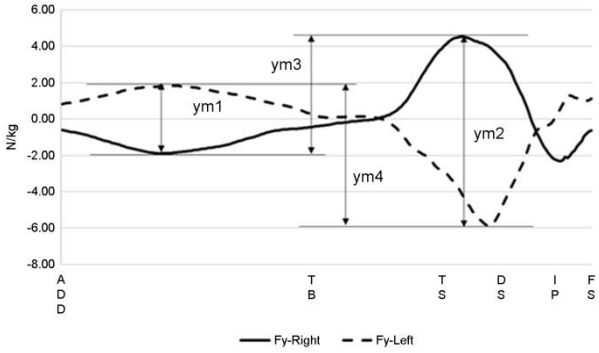
xm1: In downswing, difference between the maximum forward force of F1 and the maximum backward force of left F2

xm2: In downswing, difference between the maximum backward force of F1 and the maximum forward force of F2

xm3: In downswing, difference between the maximum forward force and the maximum backward force of F1

xm4: In downswing, difference between the maximum backward force and the maximum forward force of F2

Magnitude difference of Fx



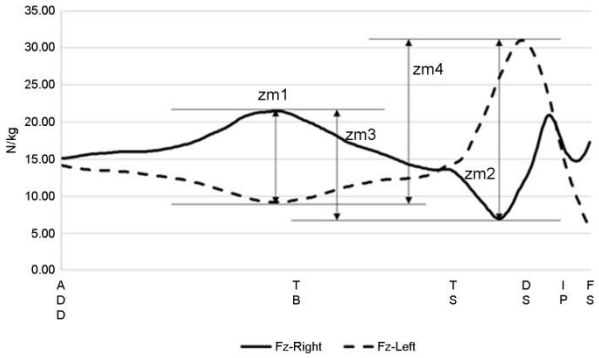
ym1: In backswing, difference between the maximum lateral force of F1 and the maximum medial force of F2

ym2: In downswing, difference between the maximum medial force of F1 and the maximum lateral force of F2

ym3: In entire swing, difference between the maximum lateral force and the maximum medial force of F1

ym4: In entire swing, difference between the maximum medial force and the maximum lateral force of F2

Magnitude difference of Fy



zm1: In backswing, difference between the maximum vertical force of F1 and the minimum vertical force of F2

zm2: In downswing, difference between the minimum vertical force of F1 and the maximum vertical force of F2

zm3: In entire swing, difference between the maximum vertical force and the minimum vertical force of F1

zm4: In entire swing, difference between the minimum vertical force and the maximum vertical force of F2

Magnitude difference of Fz

Note. F1: right GRF, F2: left GRF

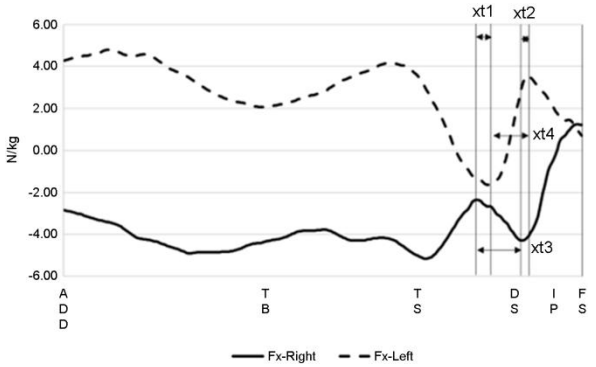
Figure 3. Set of variables in GRF magnitude

정규화 검정을 위하여 지면반력 크기와 시간 변인에 대해 z-score로 변환 후 Q-Q plot을 이용한 결과 정규성을 만족하였다. 지면반력 크기와 시간 변인이 임팩트 시 클럽헤드 속도에 미치는 영향을 입력(enter) 방식을 이용하여 다중회귀분석(multiple regression)으로 분석하였고, 모든 통계치의 유의수준은 $p<.05$로 설정하였다.

RESULTS

1. 지면반력 크기 변인에 따라 클럽헤드 속도에 미치는 영향

지면반력 크기 차이가 클럽헤드 속도에 미치는 영향을 분



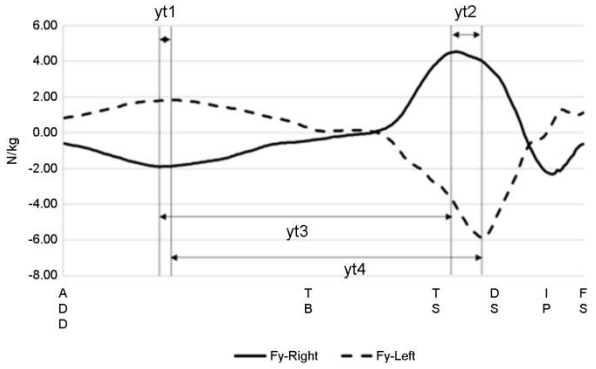
xt1: In downswing, time difference between the maximum forward force of F1 and the maximum backward force of F2

xt2: In downswing, time difference between the maximum backward force of F1 and the maximum forward force of F2

xt3: In downswing, time difference between the maximum forward force and the maximum backward force of F1

xt4: In downswing, time difference between the maximum backward force and the maximum forward force of F2

Time difference of Fx



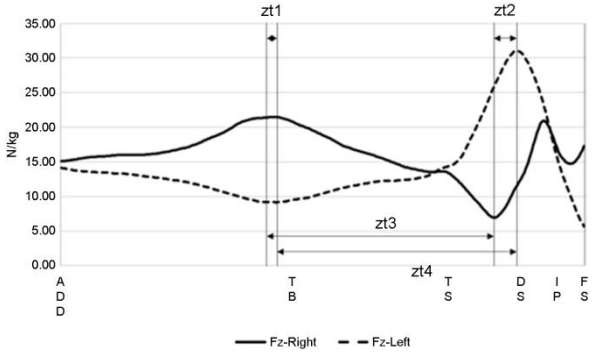
yt1: In backswing, time difference between the maximum lateral force of F1 and the maximum medial force of F2

yt2: In downswing, time difference between the maximum medial force of F1 and the maximum lateral force of F2

yt3: In entire swing, time difference between the maximum lateral force and the maximum medial force of F1

yt4: In entire swing, time difference between the maximum medial force and the maximum lateral force of F2

Time difference of Fy



zt1: In backswing, time difference between the maximum vertical force of F1 and the minimum vertical force of F2

zt2: In downswing, time difference between the minimum vertical force of F1 and the maximum vertical force of F2

zt3: In entire swing, time difference between the maximum vertical force and the minimum vertical force of F1

zt4: In entire swing, time difference between the minimum vertical force and the maximum vertical force of F2

Time difference of Fz

Note. F1: right GRF, F2: left GRF

Figure 4. Set of variables in GRF time

석하기 위하여 다중회귀분석을 실시하였다(Table 1). 분석 전, Durbin-watson을 확인한 결과 1.973으로 다중회귀분석모형에 적합한 모형으로 나타났다. *F* 값이 8.438 ($p<.000$)로 클럽헤드 속도에 영향을 미치는 변인이 있는 것으로 나타났다. 공차와 VIF 결과 ym2와 zm4가 다중공선성이 있어 제외하였고, 나머지 변인들은 다중공선성이 없는 것으로 확인되었다. 변인들 중 xm4 ($p<.05$), ym4 ($p<.05$), zm1 ($p<.01$), zm2 ($p<.05$)의 영향이 유효한 것으로 확인되었고, 유의한 변인에 대한 비표준화계수를 확인한 결과 xm4 (B=.822), ym4 (B=1.302), zm1 (B=.544), zm2 (B=-.276)으로 xm4, ym4, zm1가 클수록 클럽헤

Table 1. Results and regression analysis of clubhead velocity at Impact on GRF magnitude variables

Variables	M ± SD		B	β	*t*
Clubhead velocity	43.10±2.64	Constant	43.156		17.859
xm1	0.66±0.41		1.302	.201	1.749
xm2	5.72±1.14		-1.165	-.500	-1.951
xm3	0.82±0.38		-1.083	-.156	-1.436
xm4	4.84±1.46		.822	.453	**2.157***
ym1	2.84±0.70		-.729	-.194	-.857
ym2	8.47±1.30				
ym3	5.02±0.94		-.735	-.260	-1.068
ym4	6.25±1.06		1.302	.520	**2.196***
zm1	9.14±3.60		.544	.505	**2.746****
zm2	11.70±3.42		-.276	-.372	**-2.163***
zm3	7.37±2.46		-.003	-.004	-.019
zm4	13.45±3.56				
R^2 (.744), adjusted R^2 (.656), RMSE (1.550), *F* (8.438), *p*-value (.000***), Durbin-Watson (1.973)					

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

Table 2. Results and regression analysis of clubhead velocity at Impact on GRF time variables

Variables	M ± SD		B	β	*t*
Clubhead velocity	43.10±2.64	Constant	52.403		12.960
xt1	0.03±0.03		27.532	.262	1.728
xt2	0.05±0.04		18.594	.249	1.591
xt3	0.09±0.03		24.573	.246	1.584
xt4	0.14±0.03		-38.523	-.482	**-2.753****
yt1	0.05±0.03		-11.960	-.151	-.879
yt2	0.03±0.02				
yt3	0.76±0.14		-3.959	-.215	-.679
yt4	0.77±0.14		-.742	-.033	-.115
zt1	0.06±0.05		-23.474	-.425	**-3.395****
zt2	0.10±0.05		-2.442	-.150	-.918
zt3	0.56±0.16		-13.509	-.280	**-2.056***
zt4	0.61±0.18		19.629	.146	.662
R^2 (.685), adjusted R^2 (.557), RMSE (1.740), *F* (5.346), *p*-value (.000***), Durbin-Watson (1.657)					

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

드 속도가 빠르지만, zm2는 작을수록 클럽헤드 속도가 빠르다는 것을 알 수 있었다. 또한, 표준화계수를 확인한 결과 xm4 (β=.453), ym4 (β=.520), zm1 (β=.505), zm2 (β=-.372)로 클럽헤드 속도에 미치는 영향력은 ym4, zm1, xm4, zm2 순서로 나타났다. 지면반력 변인에 의해 클럽헤드 속도의 설명력은 74.4%이다.

2. 지면반력 시간 변인에 따라 클럽헤드 속도에 미치는 영향

지면반력 시간 차이가 클럽헤드 속도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 다중회귀분석을 실시하였다(Table 2). 분석 전, Durbin-watson을 확인한 결과 1.657로 다중회귀분석모형에 적합한 모형으로 나타났다. *F* 값이 5.346 ($p<.000$)으로 클럽헤드 속도에 영향을 미치는 변인이 있는 것으로 나타났다. 공차와 VIF 결과 yt2가 다중공선성이 있어 제외하였고, 나머지 변인들은 다중공선성이 없는 것으로 확인되었다. 변인들 중 xt4 ($p<.01$), zt1 ($p<.01$), zt3 ($p<.05$)의 영향이 유효한 것으로 확인되었고, 유의한 변인에 대한 비표준화계수를 확인한 결과 xt4 (B=-38.523), zt1 (B=-23.474), zt3 (B=-13.509)으로 xt4, zt1, zt3가 짧을수록 클럽헤드 속도가 빠르다는 것을 알 수 있었다. 또한, 표준화계수를 확인한 결과 xt4 (β=-.482), zt1 (β=-.425), zt2 (β=-.280)로 클럽헤드 속도에 미치는 영향력은 xt4, zt1, zt3 순서로 나타났다. 지면반력 변인에 의해 클럽헤드 속도의 설명력은 68.5%이다.

DISCUSSION

본 연구에서는 지면반력 크기와 시간 차이에 따라 클럽헤드 속도에 미치는 영향을 다중회귀분석을 통하여 분석하였다. 연구 결과, 지면반력 크기 차이에 따라 클럽헤드 속도의 영향을 미치는 변인이 있었다. 비표준화계수 결과 xm4, ym4, zm1가 클수록 클럽헤드 속도가 빠르지만, zm2는 작을수록 클럽헤드 속도가 빠르게 나타났고, 표준화계수 결과, 클럽헤드 속도에 미치는 영향력은 ym4, zm1, xm4, zm2 순서로 나타났다. 선행연구를 살펴보면, Queen et al. (2013)은 오른손잡이 골퍼 28명을 핸디 9를 기준으로 15명의 낮은 핸디(LHCP) 골퍼들과 13명의 높은 핸디(HHCP) 골퍼들로 집단으로 구분하여 지면반력의 크기와 타이밍에 대한 분석을 실시한 결과 LHCP 골퍼집단은 HHCP 골퍼집단보다 탑스윙-임팩트 구간에서 오른발부터 왼발까지 수직력 전달이 크게 나타났고, 핸디캡에 상관없이 골퍼들은 외측힘에서 차이가 나타났으며, 내외측힘은 골프스윙 시 대부분의 어드레스-탑스윙 구간과 탑스윙-임팩트 구간에서 내측힘이 작용하였다고 보고하였다. Ball & Best (2007b)은 압력중심에 따라 분류한 2가지 스윙 스타일(front foot and reverse styles)에 따른 압력중심과 클럽헤드 속도 사이의 관계에서 다운스윙 시 더 큰 압력중심 범위와 더 빠른 압력중심 이동은 front foot 집단의 임팩트 시 더 빠른 클럽헤드 속도와 관련이 있고, reverse 골퍼의 경우, 늦은 백스윙 시 오른발로부터 압력중심이 더 멀리 위치되고, 임팩트 시 오른발로 향하는 더 빠른 압력중심은 임팩트 시 빠른 클럽헤드 속도와 관련이 있다고 보고하였다. 지면반력 크기 차이에 대한 연구 결과, 클럽헤드 속도에 가장 큰 영향을 미친 요인은 왼발의 내측힘과 외측힘의 차이다. 백스윙 시 왼발의 내측힘과 다운스윙 시 왼발의 외측힘의 차이는 체중이동 시 신체중심의 이동을 왼발이 주도하는 것으로 판단되며, 이로 인해 왼발은 반동을 이용한 힘의 증가를 나타내며, 왼발의 좌우이동 역할이 클럽헤드 속도에 가장 큰 영향을 미치는 된 것으로 사료된다. 두 번째는 백스윙 시 오른발과 왼발 사이의 수직힘 차이다. 체중이동 시 오른발로 전달이 크게 되고 있는 것을 증명한 요인으로, 백스윙 시 지면과 상호작용을 통한 운동량 축적이 클럽헤드 속도에 미치는 영향이 큰 것으로 사료된다. 세 번째는 다운스윙 시 왼발의 후방 최대힘과 전방 최대힘의 차이다. An et al. (2005)의 연구에서도 다운스윙 시 체중이 오른발에서 왼발로 이동할 때 신체중심은 회전축보다 다소 앞쪽으로 이동한다고 보고하였다. 다운스윙 시 전후힘도 왼발의 영향이 크게 나타났으며, 첫 번째 요인의 영향을 받아, 임팩트 전 왼발의 후방힘에서 전방힘으로 전환은 반드시 필요할 것이다. 네 번째는 다운스윙 시 오른발의 최소힘과 왼발의 최대힘 사이의 수직힘 차이다. 이 힘의 차이는 작을수록 클럽헤드 속도가 빠르게 나타났다. 체중이동을 통해 오른발로 체중이 이동되지만, 탑스윙 전 이미 체중이동이 시작되어 오른발의 수직힘은 감소되고, 왼발의 수직힘은 증가되고 있는 상태로 다운스윙 시 차이를 의미한다. 체중이동을 통해 왼발로 수직힘이 크게 전달되고 있지만, 오른발의 수직힘도 상대적으로 중요하다는 점이 강조하는 것으로 사료된다.

지면반력 시간 차이에 따른 클럽헤드 속도의 영향을 미치는 변인이 있었다. xt4, zt1, zt3가 짧을수록 클럽헤드 속도가 빠르게 나타났고, 표준화계수 결과, 클럽헤드 속도에 미치는 영향력은 xt4, zt1, zt3 순서로 나타났다. 선행연구를 살펴보면, Queen et al. (2013)은 LHCP 골퍼집단은 HHCP 골퍼집단보다 골프스윙 전반에 걸쳐 최대 수직힘의 타이밍이 빠르게 나타났고, LHCP 골퍼집단은 HHCP 골퍼집단보다 탑스윙-임팩트 구간에서 최고 외측힘의 타이밍이 빠르게 나타났으며, 어드레스-탑스윙 구간과 탑스윙-임팩트 구간은 최고 내측힘의 타이밍이 빠르게 나타났다고 보고하였다. 또한 Son (2011)은 골프 숙련자의 경우 왼발의 피크힘은 임팩트 전 평균 0.029초 전에 발생되었다고 보고하였다. 지면반력 시간 차이에 대한 연구 결과, 클럽헤드 속도에 가장 큰 영향을 미친 요인으로 첫 번째는 다운스윙 시 왼발의 후방힘과 전방힘 사이의 시간 차이다. 왼발의 후방힘과 전방힘의 전환시간이 짧을수록 클럽헤드의 속

도가 빠르며, 임팩트 이전에 시간 간격 감소하는 것이 클럽헤드 속도에 가장 큰 영향을 미친 것으로 나타났다. 지면반력 크기 차이에서도 클럽헤드 속도에 영향력을 가진 만큼 다운스윙 시 왼발이 후방에서 전방으로 전환되는 힘과 빠른 반동시간 시간은 큰 역할을 하는 것으로 사료된다. 두 번째는 백스윙 시 오른발의 최대 수직힘과 왼발의 최소 수직힘 사이의 시간 차이다. 이 시간 차이는 짧을수록 클럽헤드 속도가 빠른 것으로 나타나, 시간 차이는 백스윙 시 속도와 관련이 있으며, 빠른 백스윙이 클럽헤드 속도 상승과 관련이 있는 것을 증명하는 것으로 판단된다. 세 번째는 백스윙 시 오른발의 수직 최대힘과 다운스윙 시 수직 최소힘 사이의 시간 차이다. 이 시간 차이 역시 짧을수록 클럽헤드 속도가 빠른 것으로 나타났으며, 이 결과는 오른발의 전환시간을 나타내며 짧을수록 클럽헤드 속도가 빠르게 나타났다. 이는 오른발에서 축으로 회전하는 피벗이 일어나는 구간으로 빠른 체중이동을 필요하다는 의미로 판단된다. 따라서 이러한 시간 차이는 백스윙에서 다운스윙 중 전환될 때 오른발의 역할을 나타내고 있고, 오른발이 빠른 스윙을 주도하는 것으로 사료된다.

전반적으로 클럽헤드 헤드 속도의 상승을 위하여 왼발이 주도적 역할을 한 것으로 판단된다. 비록 스윙 동안 오른발과 왼발의 상호작용을 통하여 발생한 결과이였지만, 상대적으로 왼발의 역할이 크다고 볼 수 있다. 즉 왼발의 좌우로 전환되는 힘의 크기 차이와 전후힘 차이에서 볼 수 있듯이 좌우, 전후힘의 전환에서 클럽헤드의 속도를 더욱 상승시킬 수 있는 요인으로 판단된다.

CONCLUSION

본 연구의 목적은 지면반력에서 힘의 전환을 의미하는 피크힘(peak force)을 이용하여 전후, 좌우, 수직 지면반력에서 생성되는 피크힘 사이의 힘의 크기 차이와 소요된 시간 차이를 산출하여, 골프스윙 시 좌우, 전후, 수직 지면반력 크기와 시간 차이에 대한 회귀분석을 통하여 클럽헤드 속도에 미치는 영향을 알아보고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 지면반력 크기 차이가 클럽헤드 속도에 미치는 영향을 분석한 결과, 클럽헤드 속도에 미치는 영향력은 ym4, zm1, xm4, zm2 순서로 나타났고, ym4, xm4, zm1는 클수록 클럽헤드 속도가 빠르지만, zm2는 작을수록 클럽헤드 속도가 빠르게 나타났다.

둘째, 지면반력 시간 차이가 클럽헤드 속도에 미치는 영향을 분석한 결과, 클럽헤드 속도에 미치는 영향력은 xt4, zt1, zt3 순서로 나타났고, xt4, zt1, zt3이 짧을수록 클럽헤드 속도가 빠르게 나타났다.

향후 연구에서는 다양한 클럽과 거리 조절에 따른 지면반력의 효과를 연구하고, 이에 따라 신체 관절 및 분절이 어떤 방식으로 운동학 및 운동역학적 변화가 발생하는지 연구할 필요가 있을 것이다.

REFERENCES

An, C. J., Back, J. H. & Kwak, C. S. (2005). Driver swing motion analysis of ground reaction in pro-golf player. *Korean Journal of Sport Science*, *16*(1), 130-139.

Ball, K. A. & Best, R. J. (2007a). Different centre of pressure patterns within the golf stroke I: Cluster analysis. *Journal of Sports Sciences*, *25*(7), 757-770.

Ball, K. A. & Best, R. J. (2007b). Different centre of pressure patterns within the golf stroke II: Group-based analysis. *Journal of Sports Sciences*, *25*(7), 771-779.

Chu, Y., Sell, T. C. & Lephart, S. M. (2010). The relationship between biomechanical variables and driving performance during the golf swing. *Journal of Sports Science*, *28*, 1251-1259.

Chun, H. S. (1988). *Kinematic analysis of the golf swing*. Unpublished Master's Thesis, Ewha Womans Korea University.

Cooper, J. R., Bates, B. T., Rede, J. & Scheuchenzuber, J. (1974). *Kinematic and kinetic analysis of the golf swing*. In: Nelson RC, Morebouse CA (Eds.), Biomechanics IV. Baltimore, MD: University Park Press, 298-305.

Hellstrom, J. (2009). Competitive elite golf: A review of the relationships between playing results, technique and physique. *Sports Medicine*, *39*(9), 723-741.

Hume, P. A., Keogh, J. & Reid, D. (2005). The role of biomechanics in maximizing distance and accuracy of golf shots. *Sports Medicine*, *35*(5), 429-449.

Koenig, G., Tamres, M. & Mann, R. W. (1994). *The biomechanics of the shoe-ground interaction in golf*. In A. J. Cochran, & M. R. Farrally (Ed), Science & golf Ⅱ: Proceedings of the World Scientific Congress of Golf. 40-45. Padstow, Cornwall, GB: E & FN Spon.

Leadbetter, D. (1995). *A lesson with Leadbetter: The swing*. London: Telstar Video Entertainment, Festival Records.

Leadbetter, D. (2002). *Golf swing* (Park, H. T.), Seoul: Sam-ho media.

Mason, B. R., McGann, B. & Herbert, R. (1995). *Biomechanical golf swing analysis*. In T. Bauer (Ed.), Proceedings of the XIII International Symposium for Biomechanics in Sport (pp. 67-70). Thunder Bay, ONT: Lakehead University.

Milburn, P. D. (1982). Summation of segmental velocities in the golf swing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*,

14(1), 60-64.

Neal, R. T. & Wilson, B. D. (1985). 3D kinematics and kinetic of the golf swing. *International Journal of Sports Biomechanics*, *1*, 221-232.

Okuda, I., Armstrong, C. W., Tsunezumi, H. & Yoshiiko, H. (2002). *Biomechanical analysis of professional golfer's swing*. Hidemichi Tanaka. Science & golf VI: Proceedings of the World Scientific Congress of Golf. In Eric. Thain (Eds), 18-27. Padstow, Cornwall, GB: TJ international Ltd.

Okuda, I., Gribble, P. & Armstrong, C. (2010). Trunk rotation and weight transfer patterns between skilled and low skilled golfers. *Journal of Sports Science and Medicine*, *9*, 127-133.

Park, J. Y. (2010). Ground reaction force and foot pressure analysis during golf iron swing by gender. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *20*(2), 167-174.

Queen, R. M., Butler, R. J., Dai, B. & Barnes, C. L. (2013). Difference in peak weight transfer and timing based on golf handicap. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *27*(9), 2481-2486.

Richards, J., Farrell, M., Kent, J. & Kraft, R. (1985). Weight transfer patterns during the golf swing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *56*, 361-365.

Robinson, R. L. (1994). *A study of the correlation between swing characteristics and clubhead velocity*. In A. J. Cochran & F. R. Farrally (Eds.), Science and golf II: Proceedings of the 1994 World Scientific Congress of Golf (pp. 84-90). London: E & FN Spon.

Seong, G. J., Lee, K. C. & Kwak, C. S. (2017). A Study about difference of ground reaction forces on foot with golf clubs. *Korean Journal of Teacher Education*, *33*(4), 133-146.

Son, D. J., Yang, J. O. & Lee, J. S. (2009). Influence of different slope analysis during pitching wedge swing on plantar pressure distribution pattern. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *19*(2), 297-309.

Son, J. H. (2011). Research analysis of GRF peak value and timing before and after golf shot. *The Korea Journal of Sports Science*, *20*(5), 1217-1228.

Toski, B. & Love, D. (1998). *How to feel a real golf swing*. New York. Three Rivers Press.

Vaughan, C. L. (1981). *A three-dimensional analysis of the forces and torques applied by a golfer during the downswing*. International Series on Biomechanics, 3B(VII-B), 325-331. University Park Press Baltimore.

William, K. & Cavanagh, P. (1983). The mechanics of foot action during the golf swing and implication for shoe design. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *15*(3), 247-255.

Zumerchik, J. (2002). *Newton on the tee: A good walk through* the science of golf. Simon & Schuster, Inc.