

# 골프 드라이버 스윙 시 임팩트 전·후 신체 균형성이 클럽헤드의 속도와 각도에 미치는 영향

류지선<sup>1</sup> · 김태삼<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국체육대학교 스포츠건강복지학부 스포츠건강관리 · <sup>2</sup>한국체육대학교 체육과학연구소

## Effect of Balance before and after Impact on the Velocity and Angle of Golf Club during Driver Swing

Ji-Seon Ryu<sup>1</sup> · Tae-Sam Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sport & Health Management Major, School of Sport Health & Welfare, Korea National Sport University, Seoul, Korea

<sup>2</sup>Sports Science Institute, Korea National Sport University, Seoul, Korea

Received 27 July 2011; Received in revised form 18 September 2011; Accepted 28 September 2011

### ABSTRACT

The purpose of this investigation was to determine whether correlations exist between balance and impact velocity, angular position, and maximum velocity of a club during drive swing. Twelve skilled golfers were recruited in this study. They were asked to perform ten swing trials and two trials were selected for analysis. Balance parameters were calculated via the force platform while kinematic variables were determined by using the Qualisys system. The results of the present study demonstrated that the average of COP velocity was faster in the medio-lateral direction rather than the antero-posterior direction. Also, left foot's COP velocity and free torque were greater than the right foot's before impact. The range of the right foot's COP in the antero-posterior direction before impact were correlated with the club velocity and angular position at impact. There was a negative correlation between the left foot's COP velocity before the impact and the velocity at impact. Additionally, the range and RMS of the left foot's free torque affected on the club angular position at impact and the maximum velocity at release, respectively. Finally, a negative correlation existed between the range of the right foot's free torque after the impact and club's maximum velocity at release.

**Keywords :** Golf, Impact, Free Torque, COP, RMS

## I. 서론

골프 경기는 정지된 공을 일정한 클럽(club)을 이용해서 스윙 (swing)하여 원하는 거리와 방향으로 보내는 운동이다. 골프 스윙은 주로 수직축을 중심으로 수평면에서 회전 운동이 일어남과 동시에 전두면에서 병진 운동을 수반하는 복합 운동이다(Ryu,

Hamill & O'connor, 2000).

골프 스윙의 성공 여부를 판단하는 척도는 여러 기준을 통해 이루어지지만, 무엇보다도 일관성을 유지한 상태에서 빠른 속도로 클럽의 페이스를 본인이 원하는 목표방향으로 정확하게 보내는 기준이 중요한 척도라고 할 수 있다(Heuler, 1996). 이와 같이 성공적인 스윙은 클럽의 스피드, 정확성, 일관성을 유지하는 것이 관건이라 할 수 있다(Koichiro, 1996; Won, 1996). 성공적인 골프 스윙은 스윙에 관여하는 신체 분절들의 적절한 협응(coordination) 동작과 신체의 균형 잡힌 수행 동작에 좌우된다고 할 수 있다.

Kim(2009)은 균형 잡힌 자세는 좋은 스윙을 만들어 낼 수 있는 중요한 요소이며, 균형을 잃으면 결코 좋은 스윙이 될 수

Corresponding Author : Ji-Seon Ryu  
Sport & Health Management Major, Korea National Sport University,  
88-15 Oryun-dong, Songpa-gu, Seoul, Korea  
Tel : +82-2-410-6692 / Fax : +82-2-418-1877  
E-mail : jiseon@knsu.ac.kr  
이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부) 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-413-G00007).

없다고 스윙의 균형성을 강조했다. 또한 Gluck, Bendo와 Spivak(2008)는 골프 스윙 동작에서 올바른 균형은 몸의 중심에서부터 우측으로 이동한 뒤 다시 좌측으로 이동을 원할 하게 할 수 있는 상태를 일컬어 체중이동의 균형성을 강조했다.

골프 스윙 시 균형성은 신체 분절의 움직임에 따라 스윙 시 지면에서 발생하는 반력에 의해 영향을 받으므로(Williams & Cavanagh, 1983), 지면 반력에 기초해 압력중심을 산출해 균형성 특성을 파악해서 골프 스윙 시 균형성의 변화 패턴을 관찰하고, 이들 균형성이 스윙에 어떤 영향을 미치는가를 분석하는 것은 골프 지도 뿐 만 아니라 스윙의 기전을 이해하는데 필요한 내용이다. 특히 골프 스윙의 표본이라 할 수 있는 엘리트 선수들의 스윙을 소재로 연구하는 것은 골프 지도에 기여하는 일이다.

골프에 대한 역학적(mechanical) 분석은 그동안 다양한 상황에서 많이 이루어져 왔다. 그중에서 지면 반력에 관한 연구는 스윙의 메카니즘 관찰뿐만 아니라 클럽간의 비교, 남녀 차이간의 비교 등 여러 상황에서 연구되었다(Caloso, 1967; Cooper, Bates, Bedi & Scheuchenzuber, 1974; Koenig, Tamres & Mann, 1994; Hur, Moon & Lim, 2005; Youm, Seo & Seo, 2007; Park, 2010).

한편 Williams & Cavanagh(1983)는 실험자를 3집단으로 분류해 골프 스윙 시 발의 압력 패턴 분석한 후 골프화 제작의 방향을 제시했으며, Park, Youm, Seo & Seo(2007)는 드라이브 스윙 중 왼발 GRF 패턴 타입을 구분한 연구에서 임팩트 순간 압력 중심점 위치는 숙련자와 미숙련자간 차이가 없다고 밝혔다. 이와 같이 골프 스윙 시 압력과 관련된 연구는 보이지만, 이를 활용해 신체 균형성을 판단한 연구는 부족한 편이다.

지면 반력 분석이외의 골프 스윙 자체에 대한 운동학적 분석은 숙련도에 따른 연구(Barrentine, Fleisig, Johnson & Woolley, 1994; So, Lim, Kim & Cho, 2005), 성별에 따른 연구(Kwon & Lee, 2005), 응용 스윙(Ryue, Lee & Lim, 2010)에 관한 연구, 관절 토크에 관한 연구(Lim & Hwang, 2006), 스윙 면에 관한 연구(Lim, 2009), 체중이동에 관한 연구(Kim, 2009), X-factor Stretch에 관한 비교 연구(Park & Seo, 2010), 어드레스(address)에 관한 연구(Sung, 2005), 샷(shot)과 관련된 연구(Pyun et al., 2007; Kim, Woo & Jung, 2007)등이 이루어 졌다.

이상에서 살펴본 바와 같이 골프에 관한 역학적 분석은 다양한 측면에서 이루어지고 있지만, 골프 스윙의 성공 여부를 판단하는 클럽의 속도 및 임팩트 시 클럽 헤드의 각도와 스윙 시 신체 균형성과 관련된 연구는 보이지 않고 있는 실정이다.

앞서 언급한 바와 같이 좋은 골프 스윙은 스피드, 정확성, 일관성을 유지하는 것이며, 이 좋은 스윙을 만들어 내는 것은 균형성이라는 것을 간접적으로 연구자들에 의해 강조되고 있지만, 실제 골프 스윙 시 신체 균형성의 변화와 좋은 스윙에서 요구되는 클럽의 속도, 임팩트 정확성의 척도인 임팩트 순간의

클럽 헤드 각도와 관련된 정량적 지표는 제시하지 못하고 있는 실정이다. 신체 움직임에서 균형성을 분석하는 것은 자세 제어와 전략 및 반응 메카니즘을 관찰해 불안정성을 판단하는 작업이다(Lee & Lin, 2007; Palmieri, Ingersoll, Stone & Krause, 2002). 일반적으로 신체의 안정성 분석은 지지면에 작용하는 합 수직력의 작용점으로 정의되는 COP(center of pressure)를 정량화해 판단 한다(Teasdale & Simoneau, 2001).

골프 스윙 구간에서 임팩트 전후 구간은 신체의 상하 움직임의 빠르기 정도가 가장 큰 구간이다(Cooper, Bates, Bedi & Scheuchenzuber, 1974; Lee, 1988). 이 움직임의 빠르기 정도는 COP에 영향을 미치고, 이는 신체 균형성에 민감하게 영향을 미친다고 볼 수 있다(Ryu, 2010b). 그러므로 이 구간에서 신체 균형성은 클럽의 정확한 임팩트와 속도를 결정하는데 영향을 미친다고 볼 수 있다(Koichiro, 1996; Kim, 2009). 따라서 이들 구간에서 일련의 신체 분절 움직임의 함수(Herring & Chapman, 1992)로 알려진 클럽 속도 및 임팩트 순간 클럽 페이스 각도와 신체 균형성과의 관계를 구명하는 것은 성공적인 스윙과 관련해 의미 있는 일이다.

골프 스윙 시 불안정성의 지표인 COP 크기와 안정성 유지에 필요한 근 활동량을 반영하는 COP 속도, 수직축과 관련된 조절 메카니즘의 유리 토크(free torque) 요인(Verkindt, Dalleau, Leroyer & Allard, 2009)들을 관찰해, 이들 요인과 성공적인 스윙의 지표인 클럽의 속도 및 임팩트 순간 클럽 페이스 각도와 관계 정도를 파악할 필요성이 요구된다 할 수 있다.

이에 본 연구는 골프 드라이버 스윙 시 임팩트 전·후 구간에서 발생하는 지면반력 자료를 기반으로 분석된 균형성 요인 중 COP의 범위, COP의 속도, 그리고 유리 토크의 크기를 산출해, 임팩트 순간 클럽의 속도와 클럽 헤드의 각도 변위, 임팩트 후 클럽의 최대 속도와와의 관계정도를 규명하고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상자

본 연구를 위해 선정된 실험 대상자는 각종 골프 대회에 우승 경험이 있는 오른손잡이 국가 대표 출신 3명, KPGA 정회원 4명, 상비군 출신 5명, 총 12명이다. 이들의 경력 및 신체적 특징은 아래와 같다(Table 1).

### 2. 실험 장비

본 연구에 사용된 실험장비와 분석 장비는 <Table 2>와 같은 촬영 장비와 영상분석 장비를 사용하였다.

Table 1. Characteristics of subjects

	Height (m)	Weight (kg)	Career (yrs)	Age(yrs)	Division
A	1.73	68	13	22	BNT
B	1.82	79	7	20	BNT
C	1.77	71	10	23	BNT
D	1.82	76	10	23	KM
E	1.77	70	10	23	KM
F	1.81	73	7	22	KM
G	1.73	66	8	22	KM
H	1.81	75	7	20	BNT
I	1.73	69	12	22	BNT
J	1.77	79	11	23	NT
K	1.76	82	8	22	NT
L	1.75	70	8	21	NT
<i>M</i>	1.77	73.2	9.3	22.0	
<i>SD</i>	0.35	5.02	2.05	0.95	

BNT: Backup national team(5), KM: KPGA member(4), NT: National team(3)

Table 2. Experimental equipments

Items	Experiment equipments	Manufacture
Instrument	Oqus 500 camera	Qualisys Ins.
	NLT	Qualisys Ins.
Analysis instrument	Force Plate Type 9286A	Kistler Ins.
	Qualisys Track Manager	Qualisys Ins.
	Matlab R2009a	Matworks ins.

### 3. 실험 절차

골프 드라이버 스윙 동작의 역학적 자료를 수집하기에 앞서 선정된 대상자들에게 연구의 취지를 충분히 설명한 후 실험을 수행하였으며, 각 대상자들은 실험에 앞서 충분한 워업(warm-up)을 통해 스윙 연습을 실시한 후 실제 실험에 임했다(Figure 1).

실험 순서는 무작위로 실시했으며, 모든 피험자들은 각 개인의 골프화를 신고, 바닥 높이에 맞춰 설치된 2대의 지면반력판(Kistler, Type9286A, Switzerland) 위에서 동일한 드라이버(Gallaway, Big berth)를 가지고 스윙 동작을 실시하는 것을 피험자 주변에 설치된 8대의 적외선 카메라(Oqus 500, Qualisys, Switzerland)를 통해 촬영하였다. 이 때 미끄러움을 방지하기 위해 지면반력판 위에 우레탄을 덮고 그 위에 2대의 지면반력판 구석에 맞춰 반사마커를 부착하였다. 그림에서와 같이 전역 좌표는 전역 좌표계 설정을 위해 길이가 알려진 4개의 마커를 지닌 L자형의 프레임(frame)을 피험자 오른쪽 지면반력판의 오른쪽 앞에 고정했으며, 이 때 방향은 상방 수직축을 +Z, 운동 방향 축, 즉 좌 축을 +Y, +Y축에서 +Z축으로의 외적(cross)을 +X, 즉 전(前)으로 취하는 오른손 법칙을 이용하였다. 또한 임팩트 순간 합 속도와 릴리즈 순간 최대 합 속도를 관찰하기 위해 클럽의 호젤에 반

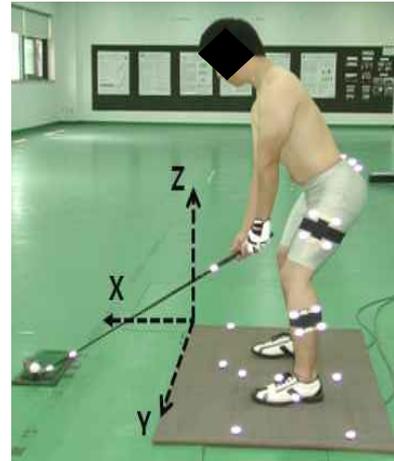


Figure 1. Experimental setting

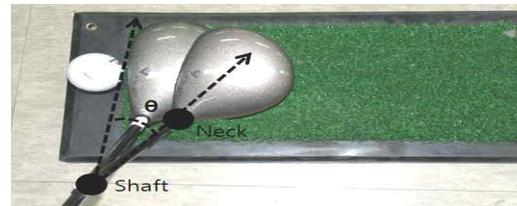


Figure 2. Angle definition

사 마커를 부착하였고, 임팩트 순간 클럽 헤드 페이스의 각도를 살펴보기 위해 클럽의 호젤(hosel)로부터 10 cm 위의 샤프트에 또 다른 반사 마커를 부착하였다(Figure 2). 지면반력판의 샘플링율(sampling rate)은 초당 1000 Hz로, 카메라의 샘플링율(sampling rate)은 500 Hz로 설정해 대상자별로 10번의 자료를 수집했다.

### 4. 자료처리 및 분석

자료는 각 대상자별 10번의 시도 중에 피험자가 가장 만족하게 스윙을 했다고 간주된 것 중에 임팩트 순간 최대의 속도가 발휘된 2개의 시도를 선정해 분석하였다. 상기 실험 절차에 의해 수집된 지면반력 데이터와 영상 자료 좌표는 선정된 변인 계산 전에 필터링을 통해 노이즈를 제거하였다.

지면반력 데이터는 수직반력( $F_z$ )을 기준으로, 영상 자료는 클럽의 호젤에 부착한 마커의 운동방향 좌표( $y$ )를 기준으로 PSD(power spectral density)를 구해, 이들 누적 신호의 99.9%를 각 실제 신호 특성의 대표적인 값으로 간주해 이에 포함된 최대 Frequency를 차단 주파수로 결정해 Butterworth 4차 low-pass 필터를 이용해 필터링 하였다(Ryu, 2010). 또한 지면 반력의 데이터는 바이어스를 제거 한 후 사용하였다. 이렇게 정리된 지면 반력 신호를 이용해 압력중심(center of pressure)과 유리 토크(free torque)를 계산했다(Ryu, 2010).

이와 같이 계산된 결과를 이용해 <Figure 3>과 같이 드라이

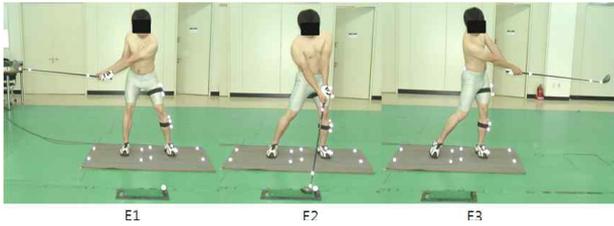


Figure 3. Phase setup

버 스윙 시 클럽이 다운스윙에서 샤프트가 수평이 유지된 상태 (E1)에서 임팩트 순간(E2)까지(이하: 임팩트 전)와 임팩트 순간 부터 샤프트가 역시 지면과 수평을 유지(E3)하는 릴리즈 구간 까지(이하: 임팩트 후) 각각의 지지 발에 대한 좌·우 및 전·후 COP 범위와 이들의 평균 속도를 산출하였으며, 또한 이 구간에서 유리 토크의 크기 범위와 이들 크기의 실효값인 RMS(root mean square)를 산출하였다.

클럽 헤드의 속도를 보기위해 호젤에 부착한 마커를 중심으로 유한차 방법을 이용해 임팩트 순간의 합속도와 릴리즈 순간에 발생하는 최대 합속도를 산출하였다. 또한 임팩트 순간 클럽 헤드의 각 변화를 보기 위해 호젤에 부착한 마커와 이로부터 그립 방향으로 10 cm 위에 부착한 마커를 이용해 임팩트 순간 0.008초 동안 클럽 헤드의 각을 산출했으며, 이를 토대로 RMS를 산출하였다. 클럽 헤드의 각은 클럽이 전두면에 투영된 상태에서 지면과 수직을 이룬 상태를 기준으로 이에 따른 각 변위를 관찰하였다.

이렇게 산출된 변인들을 활용해 드라이버 스윙 임팩트 전·후 균형성 요인들의 특징을 기술 통계치(descriptive statistics)를 이용해 해석하였다. 또한 임팩트 전의 균형성 판단 요인과 임팩트 순간의 합속도와 클럽 헤드의 각도 및 최대 속도와의 관계 정도를 살펴보고, 임팩트 후의 균형성 판단 요인과 최대 속도와의 관계를 살펴보았다. 이들 관계의 정도를 보기위해 Pearson의 적률 상관 계수가 이용되었으며, 이 때 모든 통계적 측정치는  $\alpha=0.05$ 수준에서 이루어졌다.

### III. 결과

상기 기술한 방법에 의거 골프 드라이버 스윙 시 임팩트 전·후 균형성 요인과 임팩트 순간 속도, 임팩트 순간 클럽 헤드의 각 변위, 릴리즈 순간 발생하는 클럽 최대 속도와의 관계 정도를 살펴본바 다음과 같은 결과를 얻었다.

#### 1. 임팩트 전 균형성 요인과의 관계

임팩트 전 COP 변화 폭<Table 3>을 살펴보면, 전·후 방향의 압력 중심 움직임은 평균 .030 m, 운동방향인 좌·우축으로

Table 3. Mean & SD of balance variables from shaft parallel in down swing to impact

Variables	Phase	Shaft parallel in Down→Impact
Left COPx range(m)		0.030±0.04
Left COPy range(m)		0.013±0.008
Right COPx range(m)		0.012±0.008
Right COPy range(m)		0.017±0.01
Left COPx mean velocity(m/s)		35.83±25.16
Left COPy mean velocity(m/s)		110.1±35.74
Right COPx mean velocity(m/s)		25.67±20.0
Right COPy mean velocity(m/s)		57.09±36.1
Left free moment range(N · m)		4.417±2.266
Left free moment RMS		1.354±0.739
Right free moment range(N · m)		1.333±0.833
Right free moment RMS		0.412±0.257

Table 4. Correlation coefficients between balance variables before impact and club's kinematic variables

Variables	Before Phase	Impact Velocity	Maximum Velocity	RMS of Angle
Left COPx range		-0.0171 (0.9368)	0.2367 (0.2654)	-0.3306 (0.1146)
Left COPy range		0.0082 (0.9695)	0.2203 (0.3008)	-0.3914 (0.0586)
Right COPx range		0.4783 (0.0181)	-0.0935 (0.6639)	0.4211 (0.0404)
Right COPy range		-0.3799 (0.0671)	0.3551 (0.0886)	-0.4109 (0.0461)
Left COPx mean velocity		-0.3510 (0.0927)	0.1410 (0.5111)	-0.2563 (0.2267)
Left COPy mean velocity		-0.4901 (0.0150)	-0.0960 (0.6554)	-0.1017 (0.6361)
Right COPx mean velocity		0.2899 (0.1695)	0.2653 (0.2102)	-0.1416 (0.5092)
Right COPy mean velocity		0.2674 (0.2064)	0.3448 (0.0990)	-0.1264 (0.5562)
Left free moment range		-0.1875 (0.3803)	0.3628 (0.0814)	-0.4774 (0.0183)
Left free moment RMS		-0.2253 (0.2897)	0.3302 (0.1151)	-0.4597 (0.0238)
Right free moment range		-0.2738 (0.1954)	0.3650 (0.0794)	-0.3650 (0.0795)
Right free moment RMS		-0.2783 (0.1879)	0.4103 (0.0464)	-0.4001 (0.0527)

는 평균 .013 m의 압력중심 변화 폭을 나타냈으며, 오른발의 경우 전·후 쪽으로 평균 .012 m, 클럽의 운동방향 쪽으로는 평균 .017 m로 왼발과 거의 비슷한 상태로 압력중심의 변화가 크게 이루어지지 않았다.

이 순간 압력중심 속도는 양 발 앞, 뒤 방향보다는 운동 방향 쪽으로 평균적으로 빠르게 움직였으며, 오른발 보다 왼발이 크게 움직이는 특징을 보였다. 유리 토크의 크기도 오른발 보다 왼발이 평균적으로 큰 것으로 나타났다.

<Table 4>에 제시한 바와 같이 이들 변화 요인과 클럽 속도와의 상관관계를 살펴보면, 오른발 전·후 COP 범위와 임팩트 순간 클럽의 속도와의 상관관계( $r=.4783, p<.0181$ )가 있는 것으로 나타났다<Figure 4>. 반면에 왼발의 좌·우, 전·후 COP와 오른발의 좌·우 COP 범위와는 관계가 약한 것으로 나타났다.

임팩트 전 COP 범위와 클럽 헤드의 각 변위 크기 정도를 나타내는 RMS와의 관계를 살펴보면, 임팩트 순간 클럽 속도와의 관계와 마찬가지로 오른발 전·후 COP 범위와 클럽 헤드 각 변위 RMS와는 상관관계( $r=.4211, p<.0404$ )가 있으나, 그 밖에 왼발의 좌·우, 오른발의 COP 범위와는 관계가 약한 것으로 나타났다<Figure 5>. 또한 임팩트 COP 범위와 릴리즈 순간 최대 속도와의 관계 정도를 살펴보면, 오른발, 왼발 전·후, 좌·우 COP 범위와는 약한 관계로 나타났다.

임팩트 전 COP 평균 속도와 임팩트 순간 클럽 속도와의 상관관계를 정리하면, 왼발의 좌·우 COP 평균 속도와 임팩트 순간 클럽의 속도와는 부적 상관관계( $r=-.4901, p<.0150$ )가 있는 것으로 나타났으나, 오른발의 COP 평균 속도와 왼발의 전·후 COP 평균 속도와는 관계가 낮은 것으로 나타났다<Figure 6>.

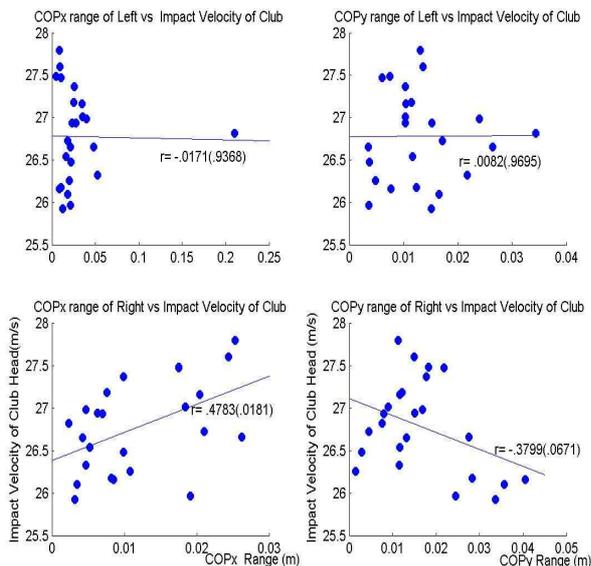


Figure 4. Correlations between Rang of COP before impact and impact velocity of a club

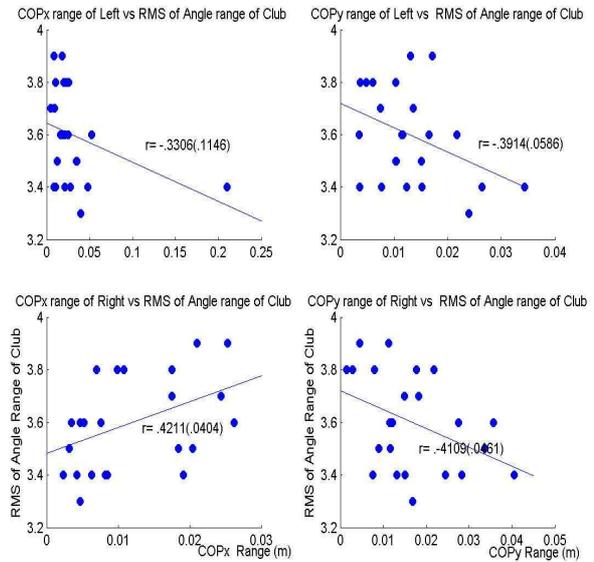


Figure 5. Correlations between Rang of COP before impact and angular position of a club and its RMS

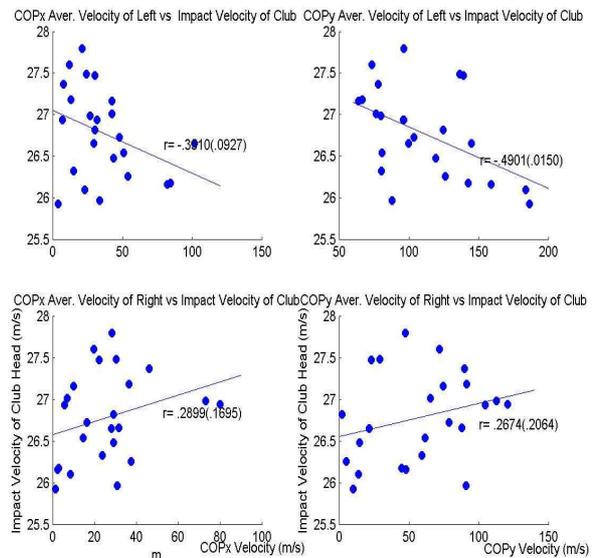


Figure 6. Correlations between average velocity of COP before impact and impact velocity of a club.

반면에 임팩트 전 각 발 COP 평균 속도와 임팩트 순간 클럽 헤드의 각도 변화의 크기 정도를 나타내는 RMS와 릴리즈 순간 클럽의 최대 속도와는 상관관계가 낮게 나타났다.

임팩트 전 각 발에서 발생하는 유리 토크와 임팩트 순간 클럽의 최대 속도와의 관계를 살펴보면, 유리 토크는 임팩트 순간 클럽의 속도에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나, 왼발의 유리토크 범위는 클럽 헤드의 각도 변화에 영향( $r=-.4774, p<.0183; r=-.4597, p<.0238$ )을 미친 것으로 나타났다<Figure 7>. 반면에 오른발의 유리 토크 범위는 클럽 헤드의 각도 변화와

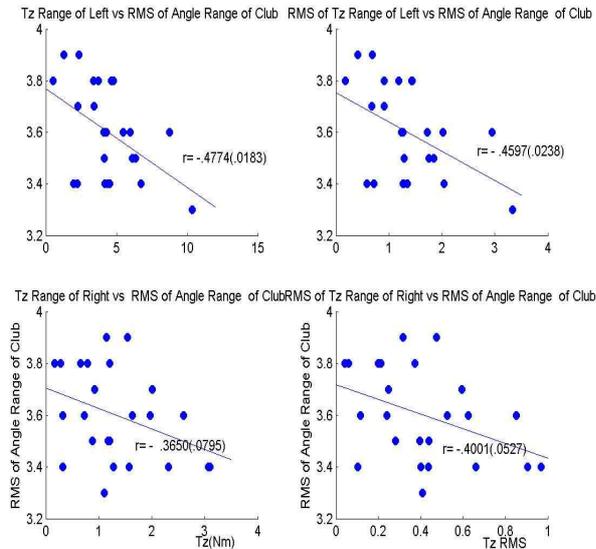


Figure 7. Correlations between range of free torque before impact and angular position of a club and its RMS

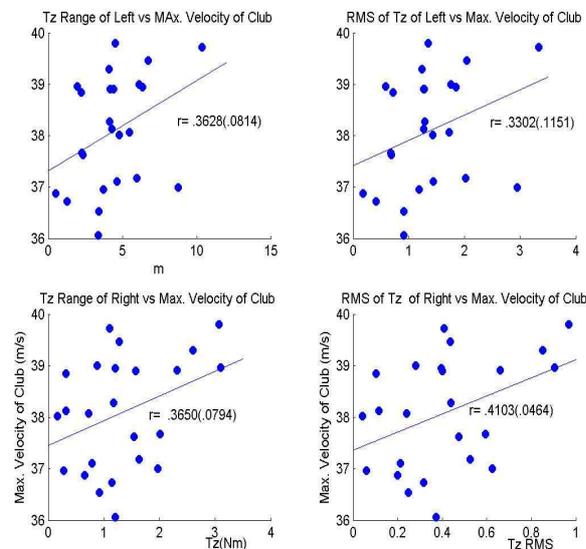


Figure 8. Correlations between range of free torque before impact and maximum velocity of a club

관계가 적은 것으로 나타났다. 이들 유리 토크와 릴리즈 순간 클럽 최대 속도와의 관계는 양 발 유리 토크 범위와는 관계가 낮은 것으로 보였으나, 오른발 유리 토크 RMS와는 상관관계가 있는( $r=.4103$ ,  $p<.0464$ ) 것으로 나타났다(Figure 8).

2. 임팩트 후 균형성 요인과 클럽의 최대 속도와의 관계

임팩트 후 균형성 요인들의 특징<Table 5>중 COP 변화 폭은 왼발, 오른발 임팩트 전의 변화 폭과 방향 별 약간의 차이를 보였지만, 평균적으로 거의 변화가 없이 그대로 유지하고 있는 양상이 나타났다.

Table 5. Mean & SD of balance variables from impact to release

Variables	Phase	Impact → Release
Left COPx range(m)		0.020±0.013
Left COPy range(m)		0.019±0.011
Right COPx range(m)		0.020±0.010
Right COPy range(m)		0.013±0.007
Left COPx mean velocity(m/s)		26.49±20.26
Left COPy mean velocity(m/s)		122.4±36.49
Right COPx mean velocity(m/s)		37.47±18.01
Right COPy mean velocity(m/s)		62.69±40.2
Left free moment range(N · m)		3.081±2.123
Left free moment RMS		0.90±0.553
Right free moment range(N · m)		1.409±1.044
Right free moment RMS		0.047±0.352

Table 6. Correlation coefficients between balance variables after impact and club's maximum velocity

Variables	After Phase	Maximum Velocity
Left COPx range		0.1714 (0.4232)
Left COPy range		0.2247 (0.2912)
Right COPx range		0.3429 (0.1010)
Right COPy range		-0.0839 (0.6967)
Left COPx mean velocity		-0.0992 (0.6447)
Left COPy mean velocity		-0.1566 (0.4651)
Right COPx mean velocity		0.3899 (0.0597)
Right COPy mean velocity		0.2523 (0.2343)
Left free moment range		0.1550 (0.4697)
Left free moment RMS		0.1290 (0.5479)
Right free moment range		-0.4406 (0.0312)
Right free moment RMS		-0.4249 (0.0385)

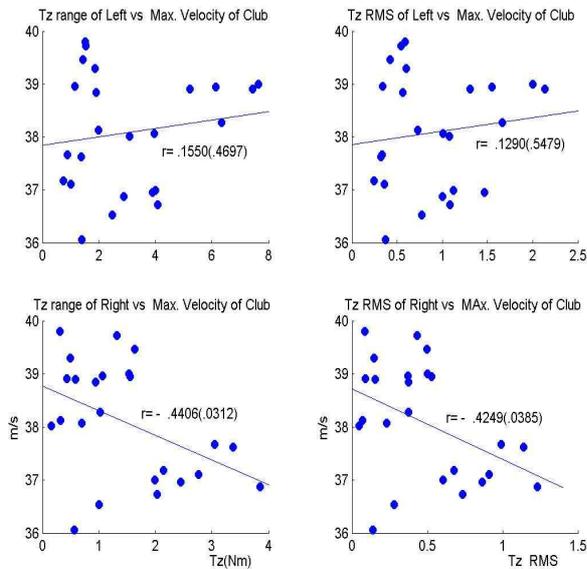


Figure 9. Correlations between range free torque after impact and maximum velocity of a club

이들 COP의 속도는 왼발의 전·후 방향을 제외하고는 평균 임팩트 전보다 증가하는 경향을 보였다. 이 순간 유리 토크 크기는 임팩트 전 보다 양 발이 평균적으로 약간 감소했지만, 왼발의 크기가 오른발의 크기보다 큰 것은 임팩트 전과 같은 상황이었다.

<Table 6>에 나타난 바와 같이 COP의 범위와 클럽 최대속도와의 상관관계를 살펴보면, 양 발의 COP 움직임 범위는 클럽의 최대 속도에 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 이 COP의 평균 속도와 클럽 최대 속도와의 관계도 낮은 것으로 나타났다. 반면에 오른발 유리 토크의 크기와 이의 RMS, 그리고 클럽 최대속도와의 관계 정도는 각각  $r = -.4406 (p < .0312)$ ,  $r = -.4249 (p < .0385)$ 로 부적 관계가 있는 것으로 나타났다(Figure 9). 그러나 왼발의 유리 토크 크기와 클럽 최대 속도와의 상관관계는 낮은 것으로 나타났다.

#### IV. 논 의

골프 스윙 시 견고한 신체 균형성 유지는 비거리 확보뿐만 아니라 스윙의 일관성과 정확성을 보장하는 중요한 요인이라 할 수 있다. 본 연구는 드라이버 스윙 시 임팩트 전, 후 신체 균형성과 클럽의 속도 및 클럽 헤드의 각도와와의 관계 정도를 밝히고자 하였다. 연구 결과 골프 드라이버 스윙 시 임팩트 전, 균형성 판단 요인 중에 불안정과 관련된 COP 범위(Verkindt et al., 2009; Ryu, 2010(b))는 본 연구에서 왼발과 오른발이 거의 비슷한 상태로 압력중심의 변화가 크게 나타나지 않았다.

COP는 지지면에 작용하는 합 수직력의 작용점을 나타내는 척도(Teasdale & Simoneau, 2001)이므로, 본 연구 결과는 드라이버 스윙 시 임팩트 순간까지 발이 견고하게 유지되고 있다는 것을 의미한다 할 수 있다. 본 연구에서 양 발의 COP의 변화 폭은 아주 작게 나타났는데, 향후 경기력 수준에 따라 대상자들을 선정해 이와 관련된 정량적 자료를 이용해 COP의 변화 폭에 대한 보다 의미 있는 판단을 부여할 필요성이 있다 하겠다.

이 순간 안정성 유지에 필요한 근 활동량과 관련 있는(Verkindt et al., 2009) 압력중심 속도는 양 발 앞, 뒤 방향보다는 운동방향 쪽으로 평균적으로 빠르게 움직였으며, 오른발 보다 왼발이 크게 움직이는 특징을 보였는데, 이는 운동방향으로의 체중 이동에 따른 결과로 보여 진다. 또한 유리 토크의 크기도 오른발 보다 왼발이 평균적으로 큰 것으로 나타났는데, 이는 임팩트 전부터 왼발의 회전 중심의 역할을 준비하기 위한 동작의 반영 때문인 것으로 보여 진다.

본 연구 결과에서 오른발 전·후 COP 변화 폭과 임팩트 순간 클럽의 속도와는 상관관계가 있는 것으로 나타났는데, 골프 드라이버 스윙 시 임팩트 전 오른발의 압력중심 벡터 방향은 뒤에서 앞으로 향하도록 하고, 이 크기에 관심을 갖고 스윙을 하는 것이 필요하리라 생각된다. 본 연구에서 임팩트 전 COP 범위와 클럽 헤드의 각 변위 크기 정도를 나타내는 RMS와의 관계에서도 오른발 전·후 COP 범위와 클럽 헤드의 각 변위 RMS와 상관관계가 있게 나타났는데, 이 또한 오른발의 압력중심 벡터의 방향과 크기가 클럽 헤드의 정확한 임팩트에 기여한다 할 수 있다는 것을 보여준 자료라 생각된다. 골프 스윙 시 임팩트 순간을 준비하기 위해 체중 이동에 따른 발과 지면간의 상호 작용에서 오른발의 역할은 클럽 궤도에 직접적인 영향을 미친다는 것을 보여주는 결과라 볼 수 있다(Hur et al., 2005).

한편 임팩트 전, 양 발의 COP 범위와 릴리즈 순간 최대 속도와의 관계 정도는 오른발, 왼발 전·후, 좌·우 COP 범위와는 관계가 낮은 것으로 나타났다. 이는 릴리즈 순간 최대 속도는 임팩트 양 발의 압력중심 변화의 폭과는 무관하게 발휘된다고 볼 수 있다. COP 평균 속도와 임팩트 순간, 클럽 속도와의 상관관계를 분석한 결과 왼발의 좌·우 COP 평균 속도와는 부적 상관관계를 보였다. 이는 임팩트를 준비하기 위해 왼발의 압력중심은 클럽 운동 방향과 반대로 향하고 있다는 것을 방증한 결과로 볼 수 있다. 즉 스윙 시 왼발의 압력중심 방향 벡터를 운동방향 반대로 놓고 임팩트가 이루어져 클럽의 원심력을 크게 해 임팩트 순간 속도의 증가를 도모하는 신체의 견고한 자세 유지에 따른 결과에 기인한다고 볼 수 있다.

이와는 달리 오른발의 COP 평균 속도와 왼발의 전·후 COP 평균 속도와는 관계가 낮은 것으로 보아, 왼발의 좌·우 움직임과 같은 동작은 이루어지지 않은 것으로 보여지며, 골프 드라이버 스윙 시 왼발의 좌·우 축을 중심으로 구심력이 작용하고,

이 구심력은 임팩트 순간 클럽의 속도에 영향을 미치는 것으로 간주할 수 있다. 또한 임팩트 전 각 발 COP 평균 속도는 임팩트 순간, 클럽 헤드의 각도 변화에 영향을 미치지 않은 것으로 나타났고, 릴리즈 순간 클럽의 최대 속도와는 상관관계가 낮게 나타났다. 이런 결과로 볼 때, 골프 드라이버 스윙 시 임팩트 전 안정성을 유지하기 위한 움직임은 주로 왼발을 주축으로 운동 방향과 반대 방향으로 이루어지고 있으며, 이는 임팩트 순간 클럽의 속도에는 영향을 주나 정확성에는 영향을 주지 않은 것으로 생각된다. 뿐만 아니라 이러한 결과는 드라이버 스윙 시 거리를 내기 위한 유동성(mobility)과 방향의 정확성을 높이기 위한 안정성(stability)을 동시에 추구하는 움직임이라 볼 수 있다(Park, 2005).

임팩트 전, 각 발에서 발생하는 유리 토크와 임팩트 순간 클럽 속도와 관계를 살펴본 결과, 유리 토크는 임팩트 순간 클럽의 속도에 영향을 미치지 않은 것으로 나타났으나, 왼발의 유리토크 범위는 클럽 헤드의 각도 변화에 부적 영향을 미친 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 수직축을 중심으로 자세 조절에 관여하는(Verkindt et al., 2009) 메카니즘의 영향으로 보여진다. 따라서 정확한 임팩트를 유지하기 위해서는 임팩트 전 수직축에 대한 왼발의 회전력을 가능하면 적게 유지하는 것이 관건이라 할 수 있다. 그러나 임팩트 이후, 릴리즈 순간까지 클럽의 최대 속도와 오른발 유리 토크와는 상관관계가 있는 것으로 보아 임팩트 이후, 수직축에 대한 오른발의 회전력에 관심을 갖고 스윙을 유지해야 할 것으로, 본 연구 결과에 기초해 제안하고자 한다.

본 연구 결과에서 임팩트 후 COP 변화 폭은 왼발, 오른발 임팩트 전의 변화 폭과 방향 별 약간의 차이를 보였지만, 평균적으로 거의 변화가 없이 그대로 유지하고 있는 양상이 나타났는데, 이는 릴리즈 순간까지 신체의 안정한 상태를 유지하는 반영의 결과로 해석할 수 있다. 다시 말해 드라이버 스윙 시 양발이 지면에서 거의 고정된 상태로 임팩트 되고, 또한 릴리즈 순간까지 자세가 유지되는 결과로 볼 수 있다. 임팩트에서 릴리즈 순간까지 스윙 시 양 발의 COP의 속도는 왼발의 전·후 방향을 제외하고는 평균 임팩트 전보다 증가하는 경향을 보였는데, 이는 스윙의 원심력을 극복하기 위한 움직임의 결과로 보여진다. 이 순간 유리 토크 크기는 왼발이 오른발 보다 크게 나타났는데, 이러한 현상은 릴리즈 이후 왼발을 중심으로 팔로우를 하기 위한 준비과정의 일환으로 보여진다.

본 연구에서 임팩트 순간부터 릴리즈 순간까지 균형성 요인 중에서 릴리즈 순간 최대 속도와 관계 정도를 살펴본 결과, 유일하게 오른발 유리 토크의 크기가 작으면 작을수록 클럽의 최대 속도가 커지는 부적 관계를 보였다. 이는 릴리즈 순간까지 가능하면 수직축을 중심으로 한, 오른발의 회전은 작아야

한다는 결과로 볼 수 있다. 위의 COP의 변화와 같은 개념으로 성공적인 스윙을 위해서는, 릴리즈 순간까지 양 발이 고정된 상태를 계속 유지하면서 릴리즈가 이루어져야 한다는 드라이버 스윙의 정량적 지침이라 할 수 있다. 좀 더 명확한 관계를 살펴보기 위해서는 경기력이 떨어지는 골퍼들과의 비교 연구를 통해 면밀한 관찰이 향후 필요할 것으로 보인다.

## V. 결론 및 제언

골프 드라이버 스윙 시 신체의 균형성과 공의 비거리를 추정하는 척도인 클럽의 속도 및 임팩트의 정확성을 예측하는 클럽 헤드의 변화 정도와의 관계를 살펴보고자 국가대표와 프로에 속하는 남자 12명의 골프 선수를 대상으로 지면반력과 영상 분석을 통해 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 임팩트 전 압력 중심 속도는 양발 앞, 뒤 방향보다는 운동 방향 쪽으로 평균적으로 빠르게 움직였으며, 오른발 보다 왼발이 크게 움직이는 특징을 보였다. 이 순간 유리 토크의 크기도 오른발 보다 왼발이 평균적으로 큰 것으로 나타났다. 한편 임팩트 후 COP 변화 폭은 왼발, 오른발 임팩트 전의 변화 폭과 방향 별 약간의 차이를 보였지만, 평균적으로 거의 변화 없이 그대로 유지하고 있는 양상이 나타났다. 이들 COP의 속도는 왼발의 전·후 방향을 제외하고는 평균 임팩트 전보다 증가하는 경향을 보였으며, 이 순간 유리 토크 크기는 임팩트 전 보다 양 발이 평균적으로 약간 감소했지만, 왼발이 오른발보다 큰 토크를 보였다.
2. 임팩트 전 오른발 전·후 COP 범위와 임팩트 순간 클럽의 속도와 클럽 헤드의 각 변위와는 상관관계가 있는 것으로 나타났다( $r=.4783, p<.0181$ ). 그 밖에 왼발의 좌·우, 오른발의 COP 범위와는 관계가 약한 것으로 보였으나, 임팩트 전 왼발의 좌·우 COP 평균 속도와 임팩트 순간 클럽의 속도와는 부적 상관관계( $r=-.4901, p<.0150$ )가 있는 것으로 나타났다. 또한 임팩트 전 왼발의 유리토크 범위는 클럽 헤드의 각도 변화에 영향을 미쳤으며( $r=-.4774, p<.0183$ ;  $r=-.4597, p<.0238$ ), 오른발 유리 토크의 절대 크기는 릴리즈 순간 클럽의 최대 속도와 상관관계가 있는 것으로 나타났다( $r=.4103, p<.0464$ ).
3. 임팩트 후 오른발 유리 토크의 크기와 이의 RMS, 그리고 클럽 최대 속도와 관계 정도는 각각  $r=-.4406(p<.0312)$ ,  $r=-.4249(p<.0385)$ 로 부적 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

향후 균형성과 골프 스윙의 역학적 관계를 살피기 위해서는 경기력 수준 등에 따른 차이점을 규명할 필요성이 요구되며, 또한 보다 많은 대상자, 대상자의 체중을 고려한 연구와 보다 많은 역학적 요인들과의 관계 정도를 살펴볼 것을 제언한다.

## 참고문헌

- Barrentine, S. W., Fleisig, G. S., Johnson, H., & Woolley, T. W.(1994). *Ground Reaction Forces and Torques of Professional and Amateur Golfers*. In: Science & Golf II. Proceedings of the World Scientific Congress of Golf. Eds: Cochran, A. J. & Farrally M. R. London: E & FN Spon. 33-39.
- Carlsoo, S.(1967). A kinetics analysis of the golf swing. *Journal of Sports Medicine*, 7, 66-72.
- Cooper, J. M., Bates, J. M., Bedi, J., & Scheuchenzuber, J. (1974). *Kinematic and Kinetic analysis of the Golf Swing*. Biomechanics, IV.
- Gluck, G. S., Bendo, J. A., & Spivak, J. M.(2008). The lumber spine and low back pain in golf: a literature review of swing biomechanics and injury prevention. *The Spine Journal*, 8, 778-788.
- Herring, R., & Chapman, A.(1992). Effects of changes in segmental values and timing of both torque and torque reversal in simulated throws. *Journal of Biomechanics*, 25, 1173-1184.
- Heuler, O.(1996). *Golf Swing Basics*(E. Reinersmann, Trans.). New York; Sterling Pub. Co.
- Hur, Y. J., Moon, G. P., & Lim, J.(2005). A study of ground reaction forces during professional golf's swing with different golf clubs. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 15(2), 103-111.
- Kim, C. W.(2009). A study of the shot differences among each clubs and the weight shift patterns from back swing top to the impact during the golf swing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 19(2), 287-296.
- Kim, H. M., Woo, S. Y., & Jung, S. E.(2007). Kinematic Factors influencing on the precision of shot approach shoots in golf. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(2), 227-237.
- Koenig, G., Tamres, M., & Mann, R. W.(1994). *The Biomechanics of the Shoe-Ground Interaction in Golf*. In: Science & Golf II. Proceedings of the World Scientific Congress of Golf. Eds: Cochran, A. J., & Farrally, M. R. London: E & FN Spon. 40-45.
- Koichiro, F.K.(1996). *Determining the Essential Elements of Golf Swings used by Elite Golfer*, US, Microform Publications.
- Kwon, S. O., & Lee, K. K.(2005). Effects of gender, skill level, and club on kinematics of golf swing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 15(3), 79-94.
- Lee, A. J. Y., & Lin, W. H.(2007). The influence of gender and somatotype on single leg upright standing postural stability in children. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(3), 173-179.
- Lee, J.H.(1988). The ground reaction analysis of swing motion for pro-golfers. *The Korean Journal of Physical Education*, 37(3), 357-366.
- Lim, J., & Hwang, I. S.(2006). A calculation of joint torque for triple segment system in golf swing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 16(4), 105-113.
- Lim, Y. T.(2009). The analysis of swing plane of elite golfers during drive swing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 19(1), 59-66.
- Palmieri, R. M., Ingersoll, C. D., Stone, M. B., & Krause, M. A.(2002). Center of pressure parameters used in the assessment of postural control. *Journal of Sport Rehabilitation*, 11, 51-66.
- Park, J.(2005). Weight transfer patterns under the different golf swing types: a case study involving a low handicap player and a high handicap player(I). *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 15(3), 31-49.
- 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.
- Park, Y. H., Youm, C. H., Seo, K. W., & Seo, K. E.(2007). Number of trials for the reliable golf swing ground reaction force data collection and its characteristics. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(4), 115-123.
- Park, T. J., & Seo, K. E.(2010). A Comparative analysis of X-factor stretch between driver and Iron swing in male professional golfers. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(4), 487-495.
- Pyun, E. K., Park, Y. H., Youm, C. H., Sun, S., Seo, K. W., & Seo, K. E.(2007). Kinematical difference of the male professional golfers' 30 yard chip shot and pitch shot motion. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(2), 177-185.
- Ryu, J. S.(2010a). Difference of the shoe, dress shoe, and barefoot's impact factors during walking. *The Korean Journal of Physical Education*, 49(1), 445-455.

- Ryu, J. S.(2010b). Effects of high-heeled shoe with difference height on the balance during standing and walking. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(4), 479-486.
- Ryu, J. S., Hamill, J., & O'connor, K.(2000). The effects of heel height on the mechanics of the golf swing. *The Research Institute of Physical Education & Sports Science*, 19(1), 41-53.
- So, J. M., Lim, Y. T., Kim, Y. S., & Cho, B. W.(2005). An analysis of decision factor on drive distance for university golf player's objects execution using late hitting method. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 15(3), 71-78.
- Sohn, J. H., Ryue, J. J., Lee, K. K., & Lim, Y. T.(2010). Effect of international draw & Fade shots on golf swing mechanics. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(2), 149-154.
- Sung, R. J.(2005). Changes of setup variables by the changes of golf club length. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 15(3), 95-104.
- Sung, R. J.(2010). A method for analyzing and evaluating the golf swing using the force platform data. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(2), 213-219.
- Teasdale, N., & Simoneau, M.(2001). Attentional demands for postural control: the effects of aging and sensory reintegration. *Gait& Posture*, 14, 203-210.
- Verkindt, C., Dalleau, G., Leroyer, P., & Allard, P.(2009). Quiet standing balance in pre-adolescent girls and woman. *International Society of Biomechanics XXIIInd Congress Proceedings*.
- Williams, K. R., & Cavanagh, P. R.(1983). The mechanics of foot action during the golf swing and implications for shoe design. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(3), 247-255.
- Won, J. S., & So, J. M.(1996). A kinetic analysis on middle-iron swing of female pro-golfer: From the point of view of ground reaction forces. *1996 International Sports Science Congress Proceeding*, 1040-1050.