

골프 드라이버 스윙 시 운동역학 요인들과 비거리 관련성 분석

임영태^{1,4,*} · 박준성² · 이재우³ · 권문석^{4,†}

¹건국대학교 스포츠헬스과학부, 교수

²인천대학교 체육학부, 박사후연구원

³건국대학교 스포츠헬스과학부, 학생

⁴건국대학교 스포츠융복합연구소, 교수[†]

(2020년 11월 10일 접수: 2021년 1월 27일 수정: 2021년 2월 3일 채택)

Analysis of Relationship between Biomechanical Factors and Driver's Distance during Golf Driver Swing

Young-Tae Lim^{1,3,*} · Jun-Sung Park² · Jae-Woo Lee¹ · Moon-Seok Kwon^{3,†}

¹Department of Sports Health Science, Konkuk University

²Division of Sport Science, Incheon National University

³Sports Convergence Institute, Konkuk University

(Received November 10, 2020; Revised January 27, 2021; Accepted February 3, 2021)

요약 : 본 연구에서는 골프 드라이버 스윙 시 운동역학적 변인들이 비거리와 어떠한 관련성이 있는지를 분석하는 것이 목적이었다. 연구대상자는 신체 건강한 15명의 KPGA 골프 선수들이 참여하였다. 8대의 VICON 모션 캡처 카메라(250 Hz), 2대의 지면반력기(1000 Hz), 그리고 Trackman을 이용하여 운동학적 및 운동역학적 자료를 수집하였으며, 통계 분석은 Pearson 상관관계를 실시하였다. 드라이버 비거리와 볼 스피드, 클럽 헤드 스피드, 엑스 팩터, 그리고 지면반력 간 유의한 상관관계가 나타났으나, 스매쉬 팩터와 무릎 토크는 비거리와 상관관계가 나타나지 않았다. 볼 스피드, 클럽 헤드 스피드, 엑스 팩터, 지면반력은 비거리에 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 스매쉬 팩터와 무릎 토크는 비거리에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

주제어 : 무릎 토크, 지면반력, 비거리, 볼·클럽 헤드 스피드, 엑스 팩터

Abstract : The purpose of this study was to analyze relationship between biomechanical factors and diver's distance during golf driver swing. Fifteen professional golfers were participated in as subject. Eight motion capture cameras(250 Hz), 2 force plates(1000 Hz), and Trackman were used to collect kinematic and kinetic datas. It was performed Pearson's correlation analysis using SPSS 24.0. The level of significance was at .05. Ball speed, club head speed, X-Factor, and ground

[†]Corresponding author
(E-mail: rnjsanstjr@kku.ac.kr)

reaction force were correlated on driving distance, However, smash factor and knee moment were not correlated on driving distance. Ball speed, club head speed, X-Factor, and ground reaction force were effected to driving distance, but smash factor and knee moment were not effected to driving distance.

Keywords : Knee Torque, Ground Reaction Force, Ball-Club Head Speed, X-Factor

1. 서론

국내 골프 인구는 2016년 하계 올림픽 정식 종목으로 채택된 후 급속도로 증가하고 있으며 [1], 최근 해외에서 활동하고 있는 남녀 프로 골퍼들의 선전으로 골프에 대한 관심이 고조되고 있다. 골프는 드라이버, 아이언, 웨지, 퍼터를 이용하여 최소의 타수로 승패를 결정하는 스포츠이다. 특히 드라이버는 볼을 가장 멀리 보낼 수 있는 클럽으로써 많은 골퍼들이 비거리를 증가시키기 위해 시간을 할애하고 있다. 드라이버 비거리는 좋은 경기력을 위한 필수 조건 중 하나이다. 더욱이 최근 골프 경기가 개최되고 있는 골프장의 전장은 7,000 야드 이상으로 드라이버 비거리 증가는 곧 좋은 성적으로 이루어 질 수 있다.

드라이버 비거리는 체계적인 신체 활동에 의한 스윙 메카니즘과 클럽 및 볼과 같은 장비를 통해 증가시킬 수 있다. 이에 클럽 헤드의 운동학적 변인과 신체에서 발생하는 역학적 변인들은 드라이버 비거리 증가와 직접적인 관련이 있으며, 특히 클럽 헤드 스피드 증가는 신체 분절들의 순차적인 연쇄동작과 이를 통해 발생하는 클럽의 선 운동에 의해 결정된다고 보고하였다[2-4]. 골프 백스윙 시 X-Factor는 회전각의 차이가 클수록 강력한 힘을 생성시켜 비거리 증가에 도움이 될 수 있는 것으로 보고하였다[2]. 더욱이, X-Factor는 핸디캡과 연령이 낮을수록 수치가 높게 나타났으며, 이와 같은 결과는 곧 비거리에 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다[5-7].

드라이버 비거리는 헤드 스피드 증가만으로는 설명하는데 한계가 있다. 골프 볼을 멀리 보낼 수 있는 능력은 최대 헤드 스피드에서 발생되지만 임팩트 시 볼이 클럽 헤드의 스위트스팟(sweet spot)에 정확하게 임팩트 되지 않으면 최대 비거리를 낼 수 없기 때문이다. 즉 효율적인 임팩트는 최대 비거리를 발생시키는데 중요한 역할을

하고 있다. 이에 스매시 팩터(smash factor)는 볼의 속도와 클럽 헤드 속도의 비율로써 이에 따라 비거리 증가와 감소를 예상할 수 있으며, 클럽 헤드 속도의 최적화와 임팩트의 일관성을 향상시키는데 도움이 된다[8].

골프 스윙 시 지면반력은 볼의 비거리 증가를 위해 반드시 필요한 운동역학적 변인 중 하나이다[9]. 특히 골프 스윙은 하지(lower body)의 유기적인 협응 동작을 통해 이루어지기 때문에 지면반력은 비거리와 직결되는 에너지를 효율적으로 전달하는 중요한 역할을 한다[10]. 더불어 지면반력을 이용한 체중이동은 골프 스윙 시 신체 균형 유지와 회전 운동에 영향을 미치며[7, 9], 이를 통해 클럽 헤드 스피드와 볼의 정확도를 높일 수 있다[11].

골프 스윙 분석은 양 발에 의해 발생하는 지면 반력 분석뿐만 아니라 관절의 토크(모멘트) 변화에 대한 연구도 함께 진행되어야 한다고 보고하고 있다[12]. 신체의 빠른 회전운동으로 인해 무릎에 부하와 높은 토크가 발생하기 때문에 부상에 노출될 수 있다고 보고하였으며[13], 또한 어드레스 시 양 발의 기저면에 따라 무릎에 발생하는 토크 차이에 의해 골프 스윙에 영향을 미칠 수 있다고 보고하였다[14]. 특히, 오른손잡이 골퍼의 경우 왼쪽 무릎은 강력한 토크에 의해 비접촉성 전방십자인대(anterior cruciate ligament; ACL) 발생률을 증가시키는 원인으로 보고되고 있다[15-16]. 일반적으로 토크는 부상을 확인하는 변인 중 하나이지만, 토크는 회전을 발생시키는 힘의 능력으로써 골프 스윙 시 완벽한 회전 운동을 수행하는데 필수적인 변인으로 볼 수 있다[17].

따라서 본 연구의 목적은 골프 드라이버 스윙 시 발생하는 운동학적 변인과 운동역학적 변인들이 비거리에 미치는 영향을 분석하는 것이 목적이다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상자

본 연구에는 최근 12개월 이내 근골격계 부상 이력이 없는 신체 건강한 한국프로골프협회(KPGA) 소속 골프 선수 15명이 참여하였다(표 1). 모든 연구대상자들은 실험 목적과 절차에 대한 설명을 들은 후 자발적으로 연구 참여에 동의하였다.

2.2. 실험 절차 및 장비

본 연구에 적합한 3차원 공간 설정은 8대의 적외선 모션 캡처 카메라(T10S, Vicon Motion System Ltd., Oxford, UK; sampling rate: 250 Hz)와 2대의 지면반력기(OR6-7-1000, AMTI Inc., Watertown, MA; USA, sampling rate: 1000 Hz)를 이용하여 VICON 사에서 제공한 T자 모양의 Active Wand를 Non-linear transformation 방식의 캘리브레이션을 실시하였다. 전역좌표계(global reference frame)는 연구대상자의 전·후 방향을 X축, 볼이 운동하는 방향(타겟 방향)을 Y축, 지면으로부터 수직 방향을 Z축으로 정의하였으며, 연구대상자들의 신체 분절에 전역좌표계와 동일한 방향의 지역좌표계(local reference frame)를 설정하였다.

본 연구에 참여한 연구대상자들은 실험 전 부상 방지를 위해 약 10분간 스트레칭 및 연습 스윙을 실시하였다. 연구대상자들은 spandex 소재의 실험복으로 환복한 후 주요관절에 39개의 19 mm 반사마커(reflective marker)를 Vicon 사에서 제공하는 plug-in-gait model에 적합하게 부착하였고, 연구대상자들은 연구 목적에 따라 정확성과 비거리에 중점을 두고 총 10회의 드라이버 스윙을 실시하였다.

2.3. 변인분석

본 연구에서 드라이버 스윙 시 발생하는 지면반력과 무릎 모멘트를 분석하기 위해 8개의 이벤트를 정의하였다(그림 1). 8개의 이벤트는 다음과 같다. AD - 준비자세, TA - 클럽이 지면과 평행을 이루는 시점, BS - 클럽이 지면과 수직을 이루는 시점, TB - 백스윙이 정점인 시점, DS - 다운스윙 시점, BI - 볼이 헤드와 닿는 시점, FT - 임팩트 후 클럽이 지면과 평행을 이루는 시점, FIN - 마무리 단계로 설정하였다. 드라이버 스윙 즉 동적인 자세에서 발생하는 지면반력과 무릎 모멘트 자료를 수집하기 위해 다운스윙(DS)에서 팔로우스루(FT)까지의 구간에서 발생된 최대값(peak value)을 산출하였다.

골프 스윙 시 발생하는 운동학적 변인(ball

Table 1. Physical characteristics of participants (M±SD)

Age(yrs)	Weight(kg)	Height(cm)	Careers(yrs)	Hand-cap
23.33±2.52	76.77±6.55	177±4.45	6.53±0.96	0.4±0.49

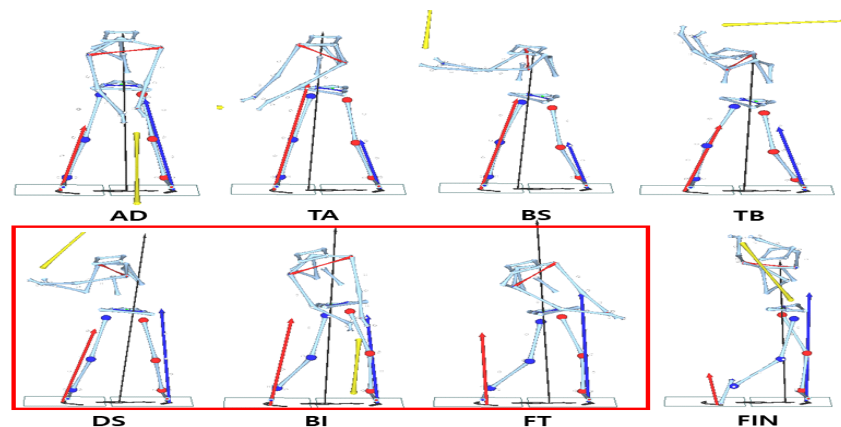


Fig. 1. Event of driver swing.

speed, club head speed, smash factor)은 최첨단 레이더 측정 기술 기반인 Trackman(Trackman Golf, Denmark)을 이용하여 수집하였다. Trackman을 통해 산출된 결과는 볼의 정확도와 비거리를 동시에 만족시킨 좌우편차 15 m 이내의 자료만 선별하여 평균과 표준편차를 산출하였다[7]. 드라이버 스윙 시 발생된 자료는 Nexus software 1.8.3(VICON Inc., Denver, CO, USA)과 Kwon3DXP(Visol, Korea)를 통해 수집하였으며, 무릎 모멘트와 지면반력은 2대의 지면반력기를 이용하여 자료를 수집하였다. 수집된 위치데이터는 Butterworth 4차 저역통과필터를 이용하여 8 Hz, 지면반력 데이터는 50 Hz로 smoothing을 실시하였다. 드라이버 스윙 시 발생된 지면반력과 무릎 모멘트 자료는 각 연구대상자들의 체중으로 표준화(normalization by Nm/kg)하였다.

2.4. 통계분석

본 연구에서 수집된 클럽 헤드의 운동학적 및 신체 운동역학적 데이터를 통해 평균(mean)과 표준편차(standard deviation)를 산출하였으며, 드라이버 비거리와 운동학적(ball speed, club head speed, smash factor, X-Factor) 및 운동역학적 변인(ground reaction force, torque)간의 상관관계는 SPSS 24.0(Armonk, New York, USA)을 이용하여 Pearson's product moment correlation coefficient(적률상관관계분석)를 실시하였다. 모든 통계적 가설의 수락수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하여 유의성을 검증하였다.

3. 결과

드라이버 스윙 시 발생된 클럽 헤드의 운동학적 변인의 평균은 (표 2)와 같다. 스매쉬 팩터의 평균은 1.48 ± 0.03 , 클럽 헤드 스피드의 평균은 104.09 ± 6.0 , 볼 스피드의 평균은 154.23 ± 8.45 , 평균 비거리는 282.91 ± 16.71 , 그리고 평균 엑스 팩터는 60.52 ± 7.14 로 나타났다.

드라이버 비거리와 골프 스윙 시 발생된 클럽 헤드의 운동학적 변인 간 상관관계는 (표 3)과 같다. 볼 임팩트 시 발생하는 스매쉬 팩터(smash factor)와 비거리간 상관관계가 나타나지 않았다($r=.199$, $p=.478$). 볼 스피드와 비거리간 통계적으로 유의한 정적 상관관계가 나타났으며($r=.924$, $p=.000$), 또한 클럽 헤드 스피드와 비거리 간 통계적으로 유의한 정적 상관관계가 나타났다($r=.800$, $p=.000$). 그리고 백스윙 시 X-Factor와 비거리 간 통계적으로 유의한 부적 상관관계가 나타났다($r=-.585$, $p=.022$). 드라이버 비거리와 골프 스윙 시 발생된 무릎 토크 간 상관관계는 (표 4)와 같다. 다운스윙(DS) 시작 단계부터 팔로우스루(FT)까지 구간에서 발생된 오른쪽 무릎 굴곡/신전 토크와 비거리 간 상관관계가 나타나지 않았다($r=-.408$, $p=.131$). 또한 오른쪽 무릎 내전/외전 토크와 비거리 간 상관관계가 나타나지 않았으며($r=.206$, $p=.462$), 오른쪽 무릎 내/외측 회전 토크와 비거리 간 상관관계가 나타나지 않았다($r=.014$, $p=.961$). 다운스윙(DS) 시작 단계부터 팔로우스루(FT)까지 구간에서 발생된 왼쪽 무릎 굴곡/신전 토크와 비거리 간 상관관계가 나타

Table 2. Kinematics variables during driver swing

Smash factor	Club head speed (mph)	Ball speed (mph)	Driver's distance (yards)	X-factor (degree)
1.48 ± 0.03	104.09 ± 6.0	154.23 ± 8.45	282.91 ± 16.71	60.52 ± 7.14

Table 3. Results of correlation between kinematics variables and driver's distance during driver swing

	Kinematics variables							
	Smash factor		Ball speed		Club head speed		X-factor	
	r	p	r	p	r	p	r	p
Driver's distance	.199	.478	.924**	.000	.800**	.000	-.585*	.022

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

나지 않았다($r=.458, p=.086$). 그리고 왼쪽 무릎 내전/외전 토크와 비거리 간 상관관계가 나타나지 않았으며($r=-.372, p=.173$), 내/외측 회전 토크와 비거리 간 상관관계가 나타나지 않았다($r=.157, p=.576$).

드라이버 비거리와 골프 스윙 시 발생된 지면반력 간 상관관계 결과는 (표 5)와 같다. 다운스윙(DS) 시작 단계부터 팔로우스루(FT)까지 구간에서 발생된 전후 방향의 왼쪽 지면반력($r=.070, p=.804$), 오른쪽 지면반력($r=.212, p=.449$), 통합 지면반력($r=.334, p=.224$)과 비거리 간 상관관계가 나타나지 않았다. 또한 좌우 방향의 왼쪽 지면반력($r=.126, p=.656$), 오른쪽 지면반력($r=.212, p=.448$), 통합 지면반력($r=.195, p=.811$)과 비거리 간 상관관계가 나타나지 않았다. 골프 스윙 시 발생된 왼발 지면반력과 비거리 간 통계적으로

유의한 정적 상관관계가 나타났으나($r=.528, p=.043$), 오른발 지면반력과 비거리 간 상관관계가 나타나지 않았다($r=.068, p=.811$). 그리고 두 발에서 발생된 통합 지면반력과 비거리 간 통계적으로 유의한 정적 상관관계가 나타났다($r=.561, p=.029$). 골프 스윙 시 지면으로부터 수직축 방향의 트위스트 회전력에 대한 반작용으로 나타나는 왼발의 자유회전력($r=.017, r=.952$), 오른발의 자유회전력($r=-.060, p=.832$)과 비거리 간 상관관계가 나타나지 않았다.

4. 논의

본 연구는 골프 드라이버 스윙 시 운동학적 및 운동역학적 요인들이 비 거리에 미치는 영향을 분

Table 4. Results of correlation between knee joint moments and driver's distance during driver swing
Unit: N/m

	Peak joint moments	Driver's distance	
		r	p
Right knee joint moments	Flexor/Extensor	-.408	.131
	Adductor/Abductor	.206	.462
	Internal/external rotator	.014	.961
Left knee joint moments	Flexor/Extensor	.458	.086
	Adductor/Abductor	-.372	.173
	Internal/external rotator	.157	.576

* $p<.05$

Table 5. Results of correlation between ground reaction variables and driver's distance during driver swing
Unit: N/BW

Direction	Ground reaction forces	드라이버 비거리	
		r	p
Anterior/Posterior	Left foot	.070	.804
	Right foot	.212	.449
	Combined	.334	.224
Medial/lateral	Left foot	.126	.656
	Right foot	.212	.448
	Combined	.195	.486
Vertical	Left foot	.528*	.043
	Right foot	.068	.811
	Combined	.561*	.029
Free moments (M_z')	Left foot	.017	.952
	Right foot	-.060	.832

* $p<.05$

석하는데 목적이 있었다. 골프는 목표하는 거리에 따라 다양한 클럽을 이용하여 스윙한다. 특히, 드라이버는 골프 클럽 중 가장 길고 헤드가 큰 것이 특징이며, 볼을 멀리 보내기 위해 사용한다. 드라이버 비거리는 동적인 신체 회전 운동에 의해 발생된 강력한 에너지를 클럽 헤드에 전달하는 과정을 통해 이루어지며[18], 이러한 신체의 유기적인 회전 운동은 임팩트 시점에서 볼에 강력한 운동량을 전달시켜 볼의 비행거리를 증가시키는 요인이다[19].

드라이버 비거리는 운동학적 관점에서 볼 스피드, 클럽 헤드 스피드, 그리고 클럽 헤드 스피드를 볼 스피드로 나눈 값인 스매쉬 팩터와 직접적인 관련이 있는 것으로 보고되었다[20]. 본 연구의 운동학적 변인 결과 스매쉬 팩터를 제외한 볼 스피드와 클럽 헤드 스피드는 드라이버 비거리에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히, 드라이버 비거리의 증가는 백스윙의 정점에서 어깨와 골반에 의해 결정되는 X-Factor와 연관이 있다[21]. 이와 관련된 연구들을 살펴보면, 51명의 미국 PGA 선수들과 46명의 시니어 투어 선수들의 X-Factor가 드라이버 비거리에 영향을 미치는 것으로 보고하였으며[22], 프로 골퍼와 아마추어의 드라이버 비거리를 조사한 결과 프로 골퍼 그룹에서 X-Factor와 헤드 스피드 수치가 상대적으로 크게 나타난 것으로 보고하였다[23]. 본 연구에 참여한 연구대상자들은 프로 선수로 매일 반복적인 연습으로 신체의 유기적인 회전운동이 강한 X-Factor를 발생시킨 것으로 생각되며, 이를 통해 클럽 헤드 스피드와 볼 스피드에 영향을 미치고 있는 것으로 생각된다. 하지만 본 연구 결과에서 스매쉬 팩터와 비거리 간 상관성을 도출하지 못하였다. 이와 같은 결과는 일정한 비거리를 유지하는 프로 선수만을 대상으로 한 그룹을 설정하여 그룹 내에서 변인들 간의 상관관계를 분석한 결과로 생각된다.

성공적인 골프 스윙은 운동학적 및 운동역학적 요인들의 상호작용에 의해 이루어진다. 게다가 드라이버를 이용한 골프 스윙은 비거리와 정확성을 동시에 요구하고 있어 이와 관련된 연구가 활발하게 진행되고 있다. 많은 선행연구 결과 드라이버 스윙 시 비거리와 정확성은 신체의 회전운동뿐만 아니라 병진운동에 의한 체중 이동(weight transfer) 또한 클럽 헤드 스피드를 상승시켜 비거리를 향상시키는 것으로 보고하고 있다[3]. 본 연구 결과 오른쪽을 제외한 왼쪽과 두 발에서 발

생된 combined 지면반력과 비거리 간 통계적으로 유의한 상관성을 나타내었다. 이에 대해 골프 스윙 시 지면반력은 임팩트 구간에서 80% 이상 왼발에서 발생한다고 보고하였으며, 이와 같은 현상은 백스윙의 정점에서 다운스윙으로 전환 시 체중이 목표 방향으로 이동하기 때문에 큰 힘이 작용한 것으로 보고되었다[3]. 그리고 프로 골퍼 선수와 상급자를 대상으로 한 연구에서 다운스윙 시 발생된 지면반력은 체중의 약 81~142% 이상 발생되며 이로 인해 발생된 힘은 임팩트 시 볼에 전달되어 비거리에 영향을 미치는 것으로 보고하고 있어[4, 24] 본 연구의 결과와 일치하는 것으로 나타났다.

본 연구의 가설 중 하나는 골프 스윙 시 무릎 모멘트는 비거리에 영향을 준다는 것이었다. 다운스윙 시 원활한 체중 이동을 위해 하지 관절의 역할이 무엇보다 중요하다. 이에 오른손잡이 골퍼 등은 다운스윙 시 체중의 약 110%가 왼쪽 무릎에 부하(load)되는 것으로 보고하였다[25]. 즉, 100% 이상의 부하율을 발생시키기 위해서는 하지의 회전 운동이 필수임을 알 수 있다. 하지만 본 연구 결과 무릎에서 발생된 모멘트는 비거리와 상관성이 나타나지 않았다. 스탠스 유형에 따른 무릎 모멘트 비교 결과, 왼발을 목표방향으로 회전 시킨 스탠스가 11자 유형의 스탠스에서 발생된 모멘트 보다 수치가 낮게 발생되었다[13]. 이와 같은 결과는 본 연구에 참여한 연구대상자들의 스탠스 유형이 ERS 유형과 같기 때문인 것으로 판단된다. 또한 스탠스 유형이 비거리의 조건인 클럽 헤드 스피드에 미치는 영향에 대한 연구 결과, 스탠스 유형에 따른 클럽 헤드 스피드의 차이는 나타나지 않았다[7].

5. 결론

본 연구 목적은 골프 드라이버 스윙 시 발생하는 운동학적 및 운동역학적 변인들이 드라이버 비 거리에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 본 연구를 통해 운동학적 변인(볼 스피드, 클럽 헤드 스피드, 엑스 팩터)과 운동역학적 변인(지면반력)이 드라이버 비 거리에 영향을 미치는 것을 알 수 있었지만, 스매쉬 팩터와 무릎 토크는 비거리와 상관성이 나타나지 않았다. 이는 임팩트 시 일정한 스매쉬 팩터가 형성되어 수치의 큰 변화가 없음을 의미하며, 무릎 토크는 어드레스 시 외측 회전된

왼쪽 발목에 의해 낮아진 부하로 인해 나타난 결과로 해석된다. 추후 어드레스 시 발목 회전에 따라 발생하는 토크와 비거리 간 상관성을 확인하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2019년도 건국대학교 KU학술연구비 지원에 의한 논문임

References

1. KOREA GOLF ASSOCIATION(2018). 2017 Korean Golf Index, 2015.
2. A. M. Burden, P. N. Grimshaw, E. S. Wallace, "Hip and shoulder rotations during the golf swing of sub-10 handicap players", *Journal of Sports Science*, Vol.16, No.2 pp. 165-176, (1998).
3. I. Okuda, C. W. Armstrong, H. Tsunozumi, H. Yoshiike, "Biomechanical analysis of professional golfer's swing: Hidemichi Tanaka", *Science and Golf IV*, pp. 18-27, (2002).
4. J. Richards, M. Farrell, J. Kent, R. Kraft, "Weight transfer patterns during the golf swing", *Research Quarterly for Exercise and Sport*, Vol.56, No.4 pp. 361-365.(1985).
5. C. W. Kim, "A case study of X-factor in the golf swing analysed by the level and the age", *The Korea Journal of Sports Science*, Vol.18, No.2 pp. 1357-1366, (2009).
6. M. C. Choi, K. K. Lee, J. H. Sohn, Y. T. Lim, "Comparison of X-factor and X-factor stretch from elite golfers in Korea", *Journal of Golf Studies*, Vol.4, No.2 pp. 1-4, (2010).
7. Y. T. Lim, M. S. Kwon, "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*, Vol.11, No.1 pp. 203-215, (2017).
8. M. K. Smith, "*Golf Science*", Ivy Press, (2019).
9. B. Toski, D. Love, "*How to feel a real golf swing*", New York. Three Rivers Press, (1998).
10. R. M. Queen, R. J. Butler, B. Dai, C. L. Barnes, "Difference in peak weight transfer and timing based on golf handicap", *The Journal of Strength & Conditioning Research*, Vol.27, No.9 pp. 2481-2486, (2013).
11. D. Leadbetter, R. Simmons, D. Cannon, "*David Leadbetter 100% Golf: Unlocking your true golf potential*", London: Harper Collinss, (2004).
12. J. S. Kim, M. D. Joo, "The analysis of the lower body joint moment on golf iron club downswing", *Korean Journal of Teacher Education*, Vol.32, No.1 pp. 125-138, (2016).
13. 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).
14. S. K. 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).
15. T. E. Hewett, G. D. Myer, K. R. Ford, R. S. Heidt, A. J. Colosimo, S. G. McLean, A. J. van den Bogert, M. V. Paterno, P. Succop, "Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a Prospective study", *American Journal of Sports Medicine*, Vol.33, No.4 pp. 492-501, (2005).
16. S. M. Sigward, C. M. Powers, "Loading characteristics of females exhibiting excessive valgus moments during cutting", *Clinical Biomechanics*, Vol.22, No.7 pp. 827-833, (2007).
17. R. M. Enoka, "*Neuromechanics of human movement*", Human Kinetics.(2008).
18. G. S. Gluck, J. A. Bendo, J. M. Spivak, "The lumbar spine and low back pain in golf: a literature review of swing biomechanics and injury prevention", *The Spine Journal*, Vol.8,

- No.5 pp. 778-788, (2008).
19. J. K. Chang, "The effect of X-Factor in club head speed", *The Korea Journal of Sports Science*, Vol.44, No.4 pp. 431-438, (2005a).
 20. U. Johansson, R. König, P. Brattberg, A. Dahlbom, M. Riveiro, "Mining trackman golf data", In 2015 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), IEEE, (2015).
 21. R. Martino, D. Wade, "The PGA Manual for Golf", New York: Dorling Kindersley, (2002).
 22. M. McTeigue, S. Lamb, R. Mottram, F. Pirozzolo, "Spine and hip motion analysis during the golf swing", In *Scientific and Golf II: Proceedings of the World Scientific congress of golf*, E & FN Spon: London, (1994).
 23. J. K. Chang, "A Study on the Effective X-Factor", *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol.15, No.3 pp. 153-159, (2005b).
 24. K. Williams, P. Cavanagn, "The mechanics of foot action during the golf swing and implications for shoe design", *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol.15, No.3 pp. 247-255, (1983).
 25. D. Leadbetter, "Leadbetter's Quick Tips: The Very Best Short Lessons to Fix Any Part of Your Game", New York, (2006).