

골프 스윙 시 클럽 헤드의 운동에너지에 대한 신체 분절의 기여도

장재관¹ · 류지선² · 윤석훈³

¹경희대학교 체육대학 골프경영학과 · ²한국체육대학교 스포츠건강복지학부 스포츠건강관리 ·

³한국체육대학교 사회체육학부 사회체육학과

The Contribution of Body Segments to the Club Head's Kinetic Energy in the Golf Swing

Jae-Kwan Chang¹ · Ji-Seon Ryu² · Suk-Hoon Yoon³

¹Department of Golf Management, College of Physical Education, Kyunghee University, Suwon, Korea

²Sport & Health Management Major, School of Sport Health & Welfare, Korea National Sport University, Seoul, Korea

³Department of Community Sport, School of Community Sport, Korea National Sport University, Seoul, Korea

Received 10 September 2010; Received in revised form 18 September 2010; Accepted 26 September 2011

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the contributions of body joints to the kinetic energy of the clubhead in the golf swing. Three dimensional swing analysis was conducted on the seven KPGA golfers. The subjects were asked to swing with 45 inches of driver. The work done by body joints were computed by utilizing the inverse dynamics method. The order of work done by the body joints was lumbar > left hip > right shoulder > left wrist > right wrist > right hip at the first phase. At the second phase, the order of work done by the body joints was trunk > left elbow > right wrist > right shoulder > left wrist > right wrist. At the third phase, the order of work done by body joints was lumbar > right shoulder > left shoulder > left elbow > right wrist > right elbow. The sum of the work done by the body joints was lumbar > shoulder > wrist on the average. The kinetic energy of the club head was 430.11 ± 24.35 J and the subject's swing efficiency was shown as $31.82 \pm 4.86\%$ on the average. The contributions of body joints to the kinetic energy of the clubhead was the order of lumbar > upper right shoulder > left elbow > right wrist during the down swing.

Keywords : Golf, Work, Kinetic Energy, Swing Efficiency, Contribution

I. 서론

골프(golf)는 공을 가급적 멀리 의도한 방향으로 날려서 목표 지점인 홀에 근접하게 하거나 홀에 넣어 타수를 줄이는데 있다 (Korea Golf Association, 2008).

골프 경기는 공, 클럽, 스윙, 파워, 타이밍, 기술력 등과 같은 여러 요인에 의해 영향을 받지만, 이중 스윙부분이 근본적인

영향을 미친다. 골프 스윙을 국면별로 세분화하면 어드레스 (address), 백스윙(backswing), 다운스윙(downswing), 임팩트(impact), 그리고 팔로우 드로우 (follow-through)의 동작으로 구분된다 (Budney & bellow, 1978; Mibum, 1982).

골프 스윙은 어깨-팔-손-클럽의 회전운동으로, 이들을 각기 다른 축을 중심으로 회전하는 지레라고 생각하면, 클럽이라는 지레는 손을 지나는 축을 중심으로 회전하고, 어깨-팔-손으로 결합된 지레는 수평면에 약간 기울어진 몸통을 지나는 축을 중심으로 회전하는 것으로 비유될 수 있다(Hay, 1985; Hur, Moom & Lim, 2005).

스윙 동작 중 역학적인 특성이 가장 많이 관여하는 국면은 다운스윙에서 임팩트 순간까지로 임팩트 순간에 최대의 힘을

이 논문은 장재관(2010)의 박사학위논문 중 일부를 발췌한 논문임.
Corresponding Author : Jae-Kwan Chang
Department of Golf Management, College of Physical Education, Kyunghee University,
322 Seocheon-dong, Giheung-gu, Yougin, Kyungki-do, Korea
Tel : +82-31-201-2705 / Fax : +82-31-204-8117
E-mail : jchanggolf@khu.ac.kr

발휘하기 위해서는 신체 분절들의 순차적인 회전운동과 각 관절과 연결된 분절들의 원활한 협응 동작, 그리고 안정적이고 균형 잡힌 자세가 유지되어야 하는 것으로 보고하고 있다(Ryu, 1992). 따라서 골프 스윙의 목적은 신체의 회전운동을 통하여 클럽 헤드에 최대의 운동량을 전이시켜 공을 의도한 목표방향으로 멀리 보내는 것이다.

스윙을 통해 공의 비거리를 늘리기 위한 방법과 관련된 선행연구를 살펴보면, McLean(1992)과 McTeigue(1994)는 스윙 시 백스윙의 탑에서 어깨선과 골반선의 상대적인 회전각인 X-Factor의 차이가 클수록 임팩트 시 클럽 헤드에 최대의 힘을 전달할 수 있으며, DeNunzio(2007)는 상체와 고관절의 회전각 차이가 상체의 회전속도를 증가시키고, 다운스윙 시 클럽 헤드의 선속도 증가에 큰 영향을 주는 것으로 보고하고 있다. 또한 Burden, Grimshaw와 Wallace(1998), Mayers et al.(2008)에 의하면 고관절과 어깨의 순차적인 회전운동은 임팩트 시 클럽에 큰 토크(torque)를 발생시켜 클럽 헤드의 각속도와 선속도를 얻을 수 있는 것으로 보고하고 있다.

이처럼 지레운동에서 신체의 원위분절이 선속도를 얻기 위해서 Adrian과 Copper(1989)는 신체의 회전에 의해 관절에 발생되는 모멘트가 필요하며, 모멘트에 의한 신체관절의 선속도는 손목이 70%, 어깨가 20% 그리고 고관절과 척추가 5%의 비율을 보이면서 원위관절의 속도가 크게 발생하는 것으로 보고하고 있다. 뿐만 아니라 Hay(1985)는 테니스의 포워드 스윙동작과 골프의 다운스윙 동작은 매우 유사한 동작이기 때문에 다리와 고관절 그리고 동체의 근력이 클럽 헤드의 최대 속도에 공헌하는 것으로 보고하였다. Jorgensen(1994)도 클럽 헤드의 최대 속도를 얻기 위해서는 임팩트 시 클럽 헤드에 적어도 14.9 kw 이상의 일률과 14.5 kg의 근육 양이 필요한 것으로 보고하면서, 신체 내에서 많은 근육이 존재하는 부위는 팔과 어깨 부위의 근육이 아니라 다리와 고관절 그리고 몸통(lumbar and thoracic) 부위의 근육으로, 골프 스윙은 이들 큰 근육을 사용하여 신체를 회전시키며, 회전 시에 한 일(work)은 운동에너지로 변환되어 클럽 헤드의 최대 속도를 만든다고 하였다.

Ryu(1992)는 전신의 질량중심 속도에 손과 팔꿈치의 상대속도 + 팔꿈치와 어깨의 상대속도 + 어깨와 몸통 중심의 상대속도로 모델링한 운동방정식을 사용하여 클럽 헤드의 속도에 대한 분절의 기여도를 분석한 결과 임팩트 시 손목관절>신체중심에 대한 동체>동체의 질량중심>주관절>대퇴>어깨관절의 순으로 클럽 헤드의 속도에 영향을 주는 것으로 보고하였다. Nesbit와 Serrano(2005)는 아마추어 골프선수들을 대상으로 LifeMod 프로그램을 이용하여 신체관절이 한 일(work)을 분석한 결과 다운스윙 시에 요추>고관절>팔꿈치>어깨의 순으로 일(work)이 이루어지는 것으로 보고하였다.

선행연구들은 크게 두 가지 연구 분야로 하나는 선속도를

가지고 기여도를 분석한 것과 나머지 하나는 관절이 한 일 가지고 기여도를 분석한 것이다.

Ryu(1992) 연구의 기여도 분석은 분석변인을 선운동인 관절의 선속도로 계산하여 기여도를 산출한 결과, 원위 분절인 손이 클럽 헤드 속도에 가장 큰 기여를 하는 것으로 보고 하였지만, 골프 스윙은 선운동과 회전운동의 복합적인 운동으로, 클럽 헤드 속도에 대한 선운동의 공헌도는 미미하고, 회전운동이 주된 역할을 한다고 보는 것이 타당하다고 볼 수 있다. 이는 신체가 목표방향으로 움직이는 신체의 선 운동 방향과 체중의 중력 가속도 방향이 거의 직각으로 교차하기 때문에 일의 개념으로 보아서는 한 일이 거의 없으며, 굴곡 되는 팔(오른쪽) 분절만이 약간의 일을 수행한다고 보아야하기 때문이다. 따라서 골프 스윙 시 분절의 회전운동은 회전력이 해준 일인 모멘트와 회전각도로 해석하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

따라서 신체를 상지(upper extremity)와 몸통(trunk) 그리고 하지(lower extremity)로 구분하여 역동역학(inverse dynamics)방법을 각각 적용하면, 각 관절이 다운스윙 시에 행한 일과 클럽 헤드의 에너지 변화를 살펴볼 수 있다. 특히 신체관절의 순간 가속도나 힘을 분석한 연구는 스윙 시 임팩트 시점의 단면만을 보여주지만, 신체관절이 한 일의 총 합과 클럽 헤드의 운동에너지 변화와의 관계를 살펴보면, 스윙 전체구간에서의 속도 혹은 에너지 변화를 관찰할 수 있는 이점이 있다.

특히 골프스윙은 상지만으로 스윙하는 것이 아니라 하지를 기반으로 골반에서부터 시작되어 척추와 팔의 회전운동으로 연결되기 때문에 신체의 모든 관절이 어떻게 사용해야 하는지를 알기 위해서는 상지와 하지관절 그리고 몸통을 포함한 기여도 분석은 필수적이라고 할 수 있다. 뿐만 아니라 임팩트 시 최대의 스윙 속도를 내기 위해서는 신체의 힘의 근원과 속도 전달 체계를 통한 큰 분절의 효과적 이용이 필수적이며 신체 모든 분절의 기여도 순서를 정립할 필요가 있다.

따라서 이 연구는 관절이 한 일과 운동에너지의 관계를 이용한 신체관절의 기여도 분석을 통해 분절 사용에 대한 효율성을 평가하고, 각 관절에 작용하는 힘과 모멘트를 역동역학 방법을 적용하여 각 관절이 한 일을 분석하여 신체 분절의 스윙 메커니즘을 재조명하는데 있다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

이 연구는 K 대학에 재학 중인 골프 경력이 7년 이상인 남자 프로 선수 7명을 대상으로 선정하였으며, 피험자의 평균 연령은 23.4±3.4 year, 신장 176.4±4.3 cm, 체중 693.7±47.0 N, 경력 10.1±2.3 year이다.

2. 실험 장비

이 연구에 사용된 실험장비와 분석장비는 <Table 1>에 제시한 것과 같이 Qualisys Ins.의 카메라 8대와 Kistler Type 9286AA의 지면반력기 2대를 이용하였으며, 역학적 변인 산출은 Matworks Ins.의 Matlab 6.5를 이용하여 분석하였다.

Table 1. Experimental equipment

	Equipment	Product	Manufacturer
Instrument	Camera	ProReflex MCU500	Qualisys
	NLT	60×45 type	Qualisys
	Marker	Reflection Marker	Qualisys
	Force plate	Kistler 9286AA	Switzerland
Analysis	Computer	PentiumIV	Samsung
	Program	Track Manager	Qualisys
		Visual3D	C-motion
		Matlab 6.5	Matworks

3. 실험 절차

이 연구에 사용된 카메라는 500 Hz로 촬영할 수 있는 ProReflex MCU500 적외선 카메라 8대를 사용하였으며, 촬영속도는 500 Hz로 설정하였다. 카메라 설치의 진행 방향으로 카메라를 전, 후 측면과 좌, 우 측면에 총 8대의 카메라(ProReflex MCU)를 설치한 다음 NLT(nonlinear transformation) 방법을 이용하여 기준좌표계를 설정하였다. 촬영 범위는 피험자가 어드레스에서 피니쉬 동작까지로 설정하였으며, 실험 전 피험자들에게 실험내용 및 주의사항을 주지시킨 후 서면동의를 구하였다.

본 연구를 수행하기 위하여 14개 분절로 구성된 인체모델을 사용하였으며 스윙 동작시 각 분절의 움직임을 확인하기 위하여 총 77개의 마커가 인체에 부착되었다.

모든 피험자들은 충분히 워밍업을 시킨 후에 45 인치 길이의 캘러웨이(callaway) 드라이버를 사용하여 한 사람씩 인조 고무티 위에 놓여져 있는 실제 공 사이즈의 구멍이 있는 플라스틱 골프볼을 타켓 방향으로 치도록 하였으며, 연구자와 본인이 만족하는 스윙동작을 선택하였다. 역학적 변인들을 산출하기 위해 각 분절과 관절에 마커를 부착하고 클러스터를 착용하였다(Figure 1).

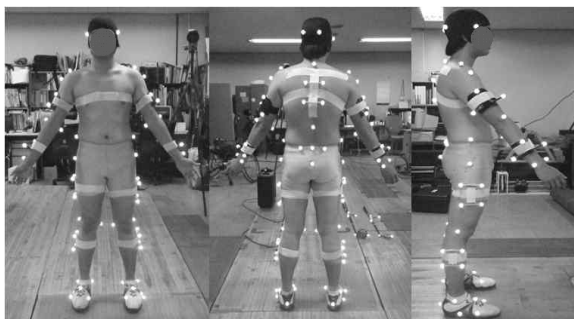


Figure 1. Marker attachment point of body joints and segments

4. 자료처리 및 분석 변인

8대의 카메라에서 들어온 2차원 평면상의 데이터는 NLT 방법에 의해서 3차원 공간상의 데이터로 변환되는데, 이렇게 얻은 데이터를 처리하는데 생긴 노이즈에 의한 오차를 제거하기 위하여 Butterworth 4th low-pass filtering method를 이용하여 smoothing하였다.

이때 cut-off frequency는 24 Hz(Coleman & Rankin, 2005)로 설정하였고, 얻어진 위치좌표를 이용하여 Matlab 6.5를 이용하여 분석변인을 산출하였다. 또한 3차원 좌표값이 산출된 후 각 대상자 간 데이터의 표준화를 위해 각 대상자 별 소요된 구간별 프레임 수를 구간별 소요시간으로 나눠 백분율로 나타냈다.

1) 연구의 제한점

골프스윙에서 양손은 서로 겹쳐 쥌 상태로 스윙동작을 수행하기 때문에 하나의 관절에서 운동이 일어나며, 관절 주변의 근육이 한 일을 관절이 한 일로 가정하였다. 또한 골프스윙에서 손의 역할은 손목을 기점으로 단순히 코킹(cocking)과 릴리스(release) 작용을 하며 신체의 다른 분절의 역할에 비해 기여도가 낮다는 가정을 전제로 좌 우 손목에 걸리는 힘의 비율을 50:50으로 가정하여도 골프스윙에서는 큰 무리가 없는 것으로 가정한 것이 이 연구의 제한점이다.

2) 하지 관절이 행한 일

운동역학적 변인인 관절의 힘(reaction force), 근모멘트 그리고 일을 산출하기 위한 과정은 다음과 같이 표시할 수 있다(Figure 2).

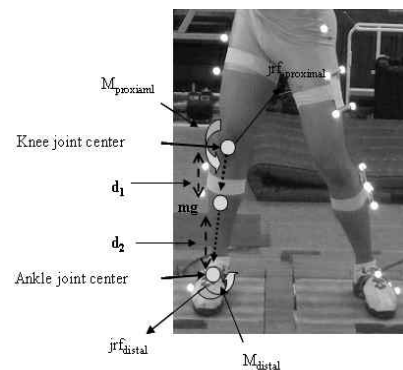


Figure 2. Free body diagram of lower extremity

$$\sum F = ma \quad \sum M = (I\omega)'$$

이때, m = 분절질량, a = 분절가속도, I = 관성모멘트, α = 각가속도를 나타낸다.

병진운동(translation) : 분절에 작용한 모든 힘의 합은 분절에

서 일어나는 선운동량의 변화율과 같다.

$$m\vec{a}_{cm} = m\vec{g} + \vec{jrf}_{proximal} + \vec{jrf}_{distal}$$

cm=center of mass, jrf=joint reaction force

회전운동(rotation) : 순 근모멘트는 관절을 구성하는 원위분절이 근위부에 작용하는 $\vec{j}m_{proximal}$ 로 구한다.

$$(\vec{I}\omega)' = \vec{d}_2 \times \vec{jrf}_{distal} + \vec{d}_1 \times \vec{jrf}_{proximal} + \vec{j}m_{distal} + \vec{j}m_{proximal}$$

d1=하퇴 분절 중심에서 무릎관절까지의 거리

d2=하퇴 분절 중심에서 발목관절까지의 거리

각 분절의 근위단과 원위단에서 에너지가 유입되거나 유출 되는데 내적 반력(internal reaction force = passive force)에 의한 파워와 순 근모멘트(active force)에 의한 파워로 이루어진다. 그러나 Nesbit와 Serrano(2005)에 의하면 각 관절에서는 상호 직선 운동(relative linear motion)이 일어나지 않으므로 선운동의 힘을 일을 할 수 없다. 그러므로 관절에서 일어나는 일은 다음과 같이 정의 할 수 있다. 각 관절이 한 일은 파워(power)를 시간 축 구간에서 적분하여 구할 수 있다.

$$W_{joint} = \int_{t1}^{t2} (\vec{\omega} \cdot \sum \vec{M}_i) dt$$

여기서 $\vec{\omega}_i$ 는 상대적인 각속도, \vec{M}_i 는 관절의 토크, i 는 관절의 x, y, z축으로의 움직임을 말한다. 또한 t₁ 과 t₂ 는 백스윙의 탑과 임팩트 시점을 말한다.

관절이 한 일은 운동역학 연구방법(Robertson, Caldwell, Hamill, Kamen & Whittlesey, 2004)에 의하여 다음과 같은 계산식으로 산출 할 수 있다.

$$W_{ankle} = \sum (\vec{\omega}_{ankle} \cdot \vec{M}_{ankle}) \Delta t$$

$$W_{knee} = \sum (\vec{\omega}_{knee} \cdot \vec{M}_{knee}) \Delta t$$

$$W_{hip} = \sum (\vec{\omega}_{hip} \cdot \vec{M}_{hip}) \Delta t$$

3) 상지 관절이 행한 일

상대 운동의 법칙(Beer & Johnston, 1984; Lim & Moon, 2005)에 의하여 관절력과 토크는 다음과 같이 도출하였다(Figure 3, 4).

흉곽분절의 질량중심의 가속도는

$$\vec{a}_{ut} = \vec{a}_{pel} + (\vec{\alpha}_{ut} \times \vec{r}_{ut}) + (\vec{\omega}_{ut} \times (\vec{\omega}_{ut} \times \vec{r}_{ut}))$$

여기서 \vec{a}_{pel} 은 골반의 직선 가속도이다.

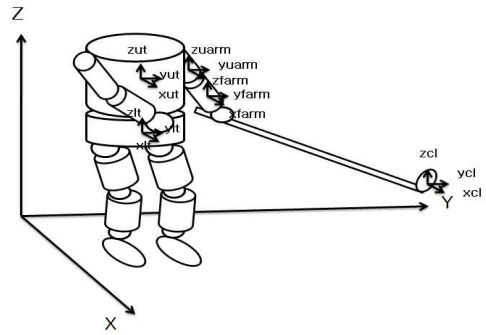


Figure 3. Local reference of upper extremity segment and club head(Lim & Moon, 2005)

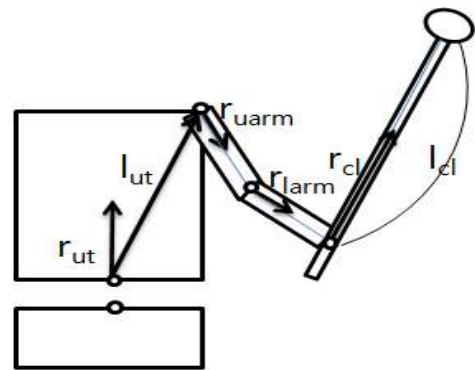


Figure 4. Vector definition of upper extremity segment(Lim & Moon, 2005).

상완의 질량중심의 가속도는

$$\vec{a}_{uarm} = \vec{a}_{sho} + (\vec{\alpha}_{uarm} \times \vec{r}_{uarm}) +$$

$$(\vec{\omega}_{uarm} \times (\vec{\omega}_{uarm} \times \vec{r}_{uarm}))$$

가 된다. 여기서 \vec{a}_{sho} 는 어깨의 직선 가속도이다.

전완의 질량중심의 가속도는

$$\vec{a}_{larm} = \vec{a}_{elb} + (\vec{\alpha}_{larm} \times \vec{r}_{larm}) + (\vec{\omega}_{larm} \times (\vec{\omega}_{larm} \times \vec{r}_{larm}))$$

가 된다. 여기서 \vec{a}_{elb} 는 팔꿈치의 직선 가속도이다.

클럽의 질량중심의 가속도는

$$\vec{a}_d = \vec{a}_{wri} + (\vec{\alpha}_d \times \vec{r}_d) + (\vec{\omega}_d \times (\vec{\omega}_d \times \vec{r}_d))$$

로 된다. 여기서 \vec{a}_{wri} 는 손목의 직선 가속도이다.

골프 클럽의 움직임에 의한 각 관절에서 발생된 관절력은 뉴턴의 일반함수($\sum F = ma$)를 이용하여 다음과 같이 계산하였다. 손목에서 발생된 관절력은

$$\vec{F}_{wri} = m_d \vec{a}_d + m_d \vec{g}$$

여기서 m_d 은 클럽의 질량이고 \vec{g} 는 중력가속도 벡터이다.

손목에서 발생된 관절 토크는

$$\vec{\tau}_{wri} = \vec{I}_d \times \vec{\alpha}_d - \vec{r}_d \times \vec{F}_{wri}$$

로 된다. $M_{wri} = \tau_{wri}$ 라 가정하면

손목 관절이 행한 일은

$$W_{wri} = \sum (\vec{\omega}_{wri} \cdot \vec{M}_{wri}) \Delta t \text{가 된다.}$$

여기서 $\vec{\omega}_{wri}$ 는 손목의 각속도이며

\vec{M}_{wri} 은 손목에서 발생된 관절 토크이다.

팔꿈치에서 발생된 관절력과 관절 토크는

$$\vec{F}_{elb} = m_{larm} \vec{a}_{larm} + m_{larm} \vec{g}$$

$\vec{\tau}_{elb} = \vec{I}_{larm} \times \vec{\alpha}_{larm} - \vec{r}_{larm} \times \vec{F}_{elb}$ 로 된다.

$M_{elb} = \tau_{elb}$ 라 가정하면

팔꿈치 관절이 행한 일은

$$W_{elb} = \sum (\vec{\omega}_{elb} \cdot \vec{M}_{elb}) \Delta t \text{가 된다.}$$

4) 클럽 헤드의 운동에너지

초기 위치(Event 1)에서의 클럽 헤드의 전체 에너지는 다음과 같다.

$$[E_{club}]_{E1} = [PE_{club}]_{E1} + [KE_{club}]_{E1} = mgH_d + 0$$

임팩트 순간에서의 클럽 헤드의 전체 에너지는 다음과 같다 (Figure 5).

$$[E_{club}]_{E4} = [PE_{club}]_{E4} + [KE_{club}]_{E4} = 0 + \frac{1}{2} m_d V^2$$

이 때, 각 관절이 한 일의 합은 초기 위치와 임팩트 순간의 클럽 헤드의 전체 에너지의 차이를 발생 시킨다. 그러므로 다음 식이 성립한다.

$$[E_{club}]_{E4} = [E_{club}]_{E1} + W_{golfer}$$

$$\text{따라서 } W_{golfer} = \frac{1}{2} m_d V_d^2 - m_d g H_d$$

이 때, W_{golfer} 는 각 관절이 한 일의 총 합일 부분이고, 그 값은 클럽 헤드의 운동에너지 변화와 같다.

$$W_{golfer} = \int_{swingtop}^{impact} (\vec{F} \cdot \vec{V} + \vec{\tau} \cdot \vec{\omega}) dt = \Delta KE_{club}$$

$$W_{golfer} = W_{ankle} + W_{knee} + W_{hip} + W_{lumbar} + W_{shoulder} + W_{elbow} + W_{wrist}$$

$$\Delta KE_{club} = \frac{1}{2} m_d V_d^2 - m_d g H_d$$

이때, m_d 는 클럽 헤드의 질량, g 는 중력가속도,

H_d 는 백스윙의 탑에서 클럽 헤드의 높이

5) 골프 스윙의 효율성

Nesbit와 Serrano(2005)는 골프 스윙의 효율성을 평가하기 위하여 클럽 헤드가 한 일의 총 합을 신체 관절들이 행한 일의 전체 합으로 나눈 값(club head's total work/total body work)의 백분율로 정의하였다. 본 연구에서도 Nesbit와 Serrano(2005)의

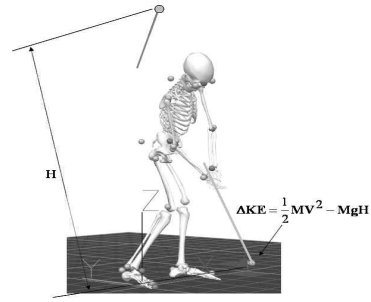


Figure 5. Club head of impact event

방법을 이용하여 각 관절이 한 일이 클럽 헤드가 한 일에 어느 정도 기여하였는지를 조사하여 골프 스윙의 효율성을 평가하였다.

5. 분석 국면

이 연구를 수행하는데 있어서의 분석 국면은 4개의 이벤트와 3개의 국면으로 구분하여 분석하였다(Figure 6). 이벤트 설정은 백스윙 탑 자세(E1), 다운스윙 시 왼팔이 지면과 평행인 자세(E2), 다운스윙 시 샤프트가 지면과 평행인 자세(E3), 임팩트(E4)로 구분되며, 국면 설정에 있어서 제 1국면(P1)은 E1-E2, 제 2국면(P2)은 E2-E3, 제 3국면(P3)은 E3-E4까지 3개의 국면으로 구분하였다.

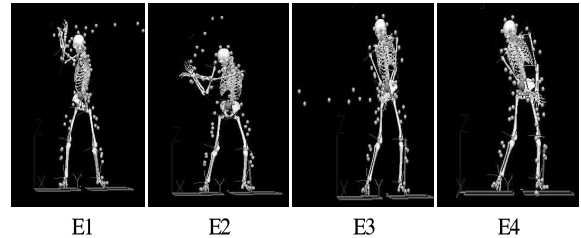


Figure 6. Event setup of golf swing

Table 2. Work done by each body joints(M±SD)

Joint				(unit: J)
	P1	P2	P3	Total
R wrist	18.2±6.3	79.2±31.9	50.8±29.7	148.1±59.0
R elbow	9.6±4.4	52.4±13.3	39.0±20.3	100.9±22.1
R shoulder	22.0±11.1	77.1±29.6	111.5±25.8	210.6±45.5
L wrist	19.3±6.9	65.2±28.6	34.0±22.8	118.5±51.4
L elbow	7.6±2.7	84.1±26.7	51.8±23.7	143.5±22.1
L shoulder	6.9±3.9	37.2±10.24	52.1±10.0	96.2±20.3
Lumbar	42.4±17.5	150.9±45.2	252.2±40.1	445.5±72.5
R ankle	0.1±0.1	0.3±0.4	0.7±1.0	1.1±1.1
R knee	1.4±0.8	1.6±1.2	2.0±2.0	5.0±3.5
R hip	15.4±11.5	8.9±7.8	5.7±2.4	29.9±11.1
L ankle	1.4±1.3	1.8±1.7	0.9±1.1	4.1±3.5
L knee	4.8±3.3	5.8±3.8	1.8±1.9	12.5±8.48
L hip	23.4±11.9	27.3±16.5	10.5±5.3	61.2±30.8

Table 3. Sum of work done by body joints of each subject ($M \pm SD$)

(unit: J)

Joint \ Subject	A	B	C	D	E	F	G	$M \pm SD$
Total	1005.6	1665.9	1368.3	1511.0	1368.9	1295.2	1424.1	1377.0±203.5
R wrist	78.3	222.3	135.5	219.2	173.3	84.0	124.2	148.1±59.0
R elbow	73.6	78.2	100.8	105.3	141.2	102.4	104.7	100.9±22.1
R shoulder	140.1	266.3	201.1	215.9	173.8	263.9	213.3	210.6±45.5
L wrist	74.5	198.4	113.7	180.7	98.0	65.3	99.2	118.5±51.4
L elbow	133.7	129.8	123.2	124.8	150.4	158.8	183.4	143.4±22.1
L shoulder	78.1	91.8	95.3	88.6	87.7	91.0	140.7	96.2±20.4
Lumbar	322.6	564.5	464.3	431.1	468.2	455.6	411.9	445.5±72.5
R ankle	0.2	0.3	2.9	0.6	1.3	2.3	0.3	1.1±1.1
R knee	1.2	3.5	5.2	2.7	12.2	5.2	4.9	5.0±3.5
R hip	21.0	50.0	30.7	15.2	33.4	32.9	26.4	29.9±11.1
L ankle	2.6	2.5	8.4	7.5	0.4	0.1	7.4	4.1±3.5
L knee	16.5	8.5	28.3	13.5	4.6	3.7	12.3	12.5±8.4
L hip	63.3	49.8	59.1	106.0	24.2	30.0	95.7	61.2±30.8

III. 결 과

1. 각 관절이 행한 일

<Table 2>는 국면별 각 관절이 행한 일에 대한 평균값을 나타낸 것이다. <Table 3>은 각 피험자들을 대상으로 백스윙의 탑에서 임팩트 시까지 국면별 각 관절이 행한 일을 나타낸 것이다.

<Table 2>에 제시된 제 1국면에서는 요추부위가 42.4±17.5 J로 가장 많은 양의 일을 하였으며, 좌측 고관절>우측 어깨>좌측 손목>우측 손목>우측 고관절 순으로 나타났다. 제 2국면에서는 요추부위가 150.9±45.2 J로 가장 많은 양의 일을 하였으며, 좌측 팔꿈치>우측 손목>우측 어깨>좌측 손목>우측 팔꿈치의 순으로 나타났다. 제 3국면에서는 요추부위가 252.2±40.1 J로 가장 많은 양의 일을 하였으며, 우측 어깨>좌측 어깨>좌측 팔꿈치>우측 손목>우측 팔꿈치의 순으로 나타났다.

전체 관절이 행한 일의 합에 대한 평균값은 <Table 3>과 같이 1377.0±203.5 J로 나타났으며, 각 관절에서 수행하는 일은 요추부위>우측 어깨>우측 손목 등의 순서를 보였다.

신체 관절 중 요추부위에서 가장 큰 값인 평균 445.5±72.5 J의 일을 하였으며, 상지 관절인 우측어깨가 평균 210.6±45.5 J 그리고 우측 손목과 좌측 팔꿈치 관절이 각각 평균 148.1±59.0 J, 평균 143.3±22.1 J의 일을 하는 것으로 나타났다. 하지 관절 중에는 좌측 고관절이 평균 61.2±30.8 J로 가장 많이 일을 하는 것으로 나타났다. 이상을 종합하면 다운스윙 시 각 관절이 하

는 일의 양은 요추부위를 제외하면 주로 상지 관절이 상대적으로 하지 관절보다 많은 일을 하는 것으로 나타났다.

2. 클럽 헤드의 운동에너지와 효율성

클럽 헤드의 운동에너지의 변화량은 다운스윙 시 백스윙 탑 시점(E1)에서 임팩트 시점(E4) 사이의 변화량을 말하며, <Table 4>에 제시된 클럽 헤드의 운동에너지는 $C > D > G > E > B > A > F$ 의 순으로 나타났으며, 평균 430.1±24.3 J의 운동에너지 변화를 보였다. 피험자 A가 40.8%로서 가장 효율적인 스윙을 하는 것으로 나타났으며, 피험자들은 평균 31.8±4.8%의 효율성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

Table 4. Kinetic energy of club head

Subject	Total Body Work(J)	Club Head Kinetic Energy(ΔKE_{club})	Efficiency (%)
A	1005.6	410.7	40.8
B	1665.9	411.3	24.7
C	1368.3	464.1	33.9
D	1511.0	452.3	29.9
E	1368.9	430.7	31.5
F	1295.2	398.4	30.8
G	1424.1	443.2	31.1
M	1377.0	430.1	31.8
SD	203.5	24.3	4.8

Table 5. Contribution of body joints to the club head's kinetic energy($M\pm SD$)

(unit: %)

Subject Order	A		B		C		D		E		F		G		$M\pm SD$	
	value	order	value	order	value	order	value	order	value	order	value	order	value	order	value	order
R wrist	7.8	4	13.4	3	9.9	3	14.5	2	12.7	3	6.5	6	8.7	5	10.5±3.1	4
R elbow	7.3	7	4.7	7	7.4	6	7.0	6	10.3	5	7.9	4	7.4	6	7.4±1.6	6
R shoulder	13.9	2	16.0	2	14.7	2	14.3	3	12.7	2	20.4	2	15.0	2	15.3±2.6	2
L wrist	7.4	6	11.9	4	8.3	5	12.0	4	7.2	6	5.0	7	7.0	7	8.4±2.6	5
L elbow	13.3	3	7.8	5	9.0	4	8.3	5	11.0	4	12.3	3	12.9	3	10.6±2.3	3
L shoulder	7.8	5	5.5	6	7.0	7	5.9	7	6.4	7	7.0	5	9.9	4	7.1±1.5	7
Lumbar	32.1	1	33.9	1	33.9	1	28.5	1	34.2	1	35.2	1	28.9	1	32.4±2.7	1
R ankle	0.0	13	0.0	13	0.2	13	0.0	13	0.1	12	0.2	12	0.0	13	0.1±0.1	13
R knee	0.1	12	0.2	11	0.4	12	0.2	12	0.9	10	0.4	10	0.3	12	0.4±0.3	11
R hip	2.1	9	3.0	8	2.2	9	1.0	9	2.4	8	2.5	8	1.9	9	2.2±0.6	9
L ankle	0.3	11	0.2	12	0.6	11	0.5	11	0.0	13	0.0	13	0.5	11	0.3±0.2	12
L knee	1.6	10	0.5	10	2.1	10	0.9	10	0.3	11	0.3	11	0.9	10	0.9±0.7	10
L hip	6.3	8	3.0	9	4.3	8	7.0	8	1.8	9	2.3	9	6.7	8	4.5±2.2	8

3. 각 관절이 클럽 헤드의 운동에너지에 미치는 기여도

<Table 5>은 백스윙 탑(E1)에서 임팩트 시점(E4)까지 전체 관절이 한일에 대한 각 관절이 한 일(각 관절이 한일/신체 관절이 한일의 총합)을 백분율을 통하여 각 관절이 기여하는 정도를 나타낸 것이다. 각 관절이 행한 기여도는 요추에서 32.4±2.7%로 가장 큰 값을 보였고, 상지관절은 우측 어깨가 15.3±2.6%, 좌측 팔꿈치가 10.6±2.3%, 우측 손목 관절이 10.5±3.1% 순으로 나타났다. 하지 관절 중에서는 좌, 우측 고관절이 각각 4.5±2.2%, 2.2±0.6%의 기여를 하는 것으로 나타났으며, 좌, 우 무릎관절은 각각 0.9±0.7%와 0.4±0.3%의 일을, 그리고 좌, 우 발목 관절은 각각 0.3±0.2%와 0.1±0.1%의 일을 하는 것으로 나타났다.

IV. 논의

신체 내에서 많은 근육이 존재하는 부위는 팔과 어깨 부위의 근육이 아니라 다리와 고관절 그리고 몸통 부위의 근육으로, 골프 스윙은 이들 큰 근육을 사용하여 신체를 회전시키며, 회전 시에 한 일은 운동에너지로 변환되어 클럽 헤드의 최대 스피드를 만든다고 하였다. 또한 클럽 헤드의 최대 스피드를 얻기 위해 임팩트 시 클럽 헤드에 적어도 14.9 kw 이상의 일율이 발생되어야 하며, 14.5 kg의 근육 양이 필요하다고 하였다(Jorgensen,

1994). 그러나 Ryu(1992)는 다운스윙 시 각 관절의 상대속도를 이용한 신체분절의 기여도 분석에서, 하지를 제외한 신체모텔링을 이용하여 손목 관절(10.78±4.94%), 신체중심에 대한 동체(4.25±5.08%), 동체의 질량중심(5.65±5.46%), 주관절(3.03±1.55%), 대퇴(2.56±0.56%), 어깨관절(1.18±1.16%) 순으로 영향을 주고, 분절의 비강체로 인한 오차의 기여도는 70.77±2%의 영향을 클럽 헤드 스피드에 주는 것으로 보고하였다. 또한 Nesbit와 Serrano(2005)는 LifeMod 프로그램을 이용한 일과 파워 분석에서 다운스윙 시에 신체관절이 한 일이 요추에서 68.7-71.8% 어깨와 팔꿈치에서 24.7-28.0% 그리고 무릎/다리에서 3.3-3.8%의 일이 기여하는 것으로 Ryu(1992)의 보고와는 서로 다른 결과를 보였다.

스윙에 참여되는 모든 신체관절이 한 일의 총합과 클럽 헤드의 운동에너지 변화와의 관계를 살펴보면, 각 관절이 행한 일이 클럽 헤드의 운동에너지에 대한 기여를 살펴볼 수 있다.

이 연구는 선행연구의 방법과 달리 신체를 상지와 몸통 그리고 하지로 구분하여 역동역학 방법을 각각 적용하였다. 또한 이러한 방법은 각 관절이 다운스윙 시에 행한 일을 구체적으로 살펴볼 수 있고, 스윙 시 각 관절의 기여도를 산출할 수 있을 것으로 판단하였다. 이러한 문제의식을 바탕으로 각 관절이 한 일의 결과로 나타나는 클럽 헤드의 운동에너지를 이용하여, 각 관절이 한 일을 분석하였다. 그리고 신체관절의 기여도 분석은 각 관절의 사용에 대한 효율성을 평가하고 정량화하는데 그 의미를 두었다.

국면별 각 관절이 행한 일을 살펴보면, 제 1국면에서는 요추부위가 42.4 ± 17.5 J로 가장 많은 양의 일을 하였으며, 좌측 힙>우측 어깨>좌측 손목>우측 손목>우측 고관절 순으로 일을 하는 것으로 나타났다. 제 2국면에서도 요추부위가 가장 많은 양의 일을 하였으며, 좌측 팔꿈치>우측 손목>우측 어깨>좌측 손목>우측 팔꿈치의 순으로 나타났다. 이러한 현상은 Sprigings와 Mackenzie(2002)의 결과와 유사하게 나타났다. 또한 제 3국면에서는 요추부위가 가장 많은 양의 일을 하였으며 우측 어깨>좌측 어깨>좌측 팔꿈치>우측 손목>우측 팔꿈치의 순으로 나타났다.

이상을 종합해보면, 제 1국면에서는 요추와 고관절이 많은 일을 하는 반면에, 제 2국면과 제 3국면에서는 요추를 제외하면 상지관절들이 많은 일을 하는 것으로 나타났다. 제 1국면에서는 주로 체중 이동을 하기위하여 상지 관절들은 하지관절들과 비교해서 상대적으로 작은 양의 일을 하는 것으로 나타났는데, 이것은 다운스윙 초기에 체중을 왼쪽으로 이동시킨 후 클럽을 회전시키는 동작으로 판단된다.

관절이 행한 일은 요추에서 가장 큰 값인 평균 445.5 ± 72.5 J의 일을 하였으며, 우측 어깨가 210.6 ± 45.5 J 그리고 우측 손목과 좌측 어깨가 각각 148.1 ± 59.0 J, 143.5 ± 22.1 J의 일을 하는 것으로 나타났다. 하지 관절 중에는 좌측 고관절이 61.2 ± 30.8 J의 일을 하는 것을 관찰 할 수 있었다. 이는 핸디캡이 0 수준인 아마추어 피험자를 사용한 Nesbit와 Serrano(2005)의 결과와는 다르게 상지관절의 일 값은 조금 크게 나타났으나, 하지관절과 요추에서는 상대적으로 작은 값을 나타냈다. 이는 스윙하는 유형에 따라서 다르게 나타난 것으로, 본 연구의 피험자들은 주로 상지를 이용하는 스윙 스타일을 가지고 있는 것으로 판단된다. 그러나 각 관절이 행한 일의 총 합은 평균 1377.0 ± 203.5 J로 나타났으며, 이는 Nesbit와 Serrano(2005)이 보고한 값인 1452 J과 유사하게 나타났다. Nesbit와 Serrano(2005)에 의하면 경기력이 높은 골퍼일수록 관절의 일의 총 합이 크게 나타난 것으로 보고하였는데, 본 연구의 피험자들이 동양인 투어프로인 점을 감안하면 선행연구 결과와 유사한 것으로 판단된다.

클럽 헤드의 운동에너지는 430.1 ± 24.3 J로 Nesbit와 Serrano(2005)의 334 J보다 크게 나타났다. 효율성이란 클럽 헤드의 운동에너지를 각 신체 관절이 행한 일의 전체 합으로 나눈 값($\text{club head kinetic energy/total body work} = \Delta KE_{club} / \text{total body work}$)의 백분율로서 피험자 중에서 피험자 A가 40.8%로서 가장 효율적인 스윙을 하였으며, 피험자들은 평균 $31.8 \pm 4.8\%$ 의 효율성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 이는 선행연구인 Nesbit와 Serrano(2005)가 보고한 24.5%보다 큰 수치를 보였는데, 이는 클럽 헤드의 운동에너지와 마찬가지로 본 연구의 피험자들이 투어프로 선수인 반면에 선행연구는 프로 선수에 준하는 아마추어로서 클럽 헤드의 속도가 본 연구의 피험자들보다 작은 것이 요인이라 할 수 있다.

각 관절이 클럽 헤드의 운동에너지에 미치는 기여도는 요추(1)에서 $32.4 \pm 2.7\%$ 로 가장 큰 값을 나타냈으며, 상지관절은 우측 어깨(2)가 $15.3 \pm 2.6\%$, 좌측 팔꿈치(3)가 $10.6 \pm 2.3\%$, 우측 손목(4)이 $10.59 \pm 3.1\%$ 순으로 나타났다. 하지 관절 중에는 좌, 우측 고관절이 각각 $4.5 \pm 2.2\%$, $2.2 \pm 0.6\%$ 의 기여를 하는 것으로 나타났으며, 좌, 우 무릎관절은 각각 $0.9 \pm 0.7\%$ 와 $0.4 \pm 0.3\%$ 의 일을, 그리고 좌, 우 발목 관절은 각각 $0.3 \pm 0.2\%$ 와 $0.1 \pm 0.1\%$ 의 일을 하는 것으로 관찰되었다.

이상을 종합해보면 다운스윙 시에 관절의 기여는 주로 상지와 요추부분에서 일어나며 하지의 기여 정도는 좌, 우측 고관절을 제외하면 미미한 것으로 나타났다. 이는 요추(42.63%), 우측 고관절(20.45%), 좌측 고관절(8.68%), 우측 어깨(8.61%)의 순으로 보고한 Nesbit와 Serrano(2005)의 결과와는 다르게 나타났으나, 요추관절의 기여가 가장 크다는 점에서 유사한 결과를 보였다. 이것은 큰 근육을 사용하여 신체를 회전시키며, 회전 시에 한 일(work)은 운동에너지로 변환되어 클럽 헤드의 최대 스피드를 만든다고 보고한 Jorgensen(1994), Hay(1985), Cheetham, Mottram, Martin Laurent(2000)의 결론과 일치한다.

그러나 Nesbit와 Serrano(2005)의 피험자는 주로 요추와 고관절을 이용한 스윙을 하는 반면에 본 연구의 피험자들은 주로 요추와 상지 관절에 의존하는 스윙 유형을 보여주는 것으로 판단된다. 이는 스윙하는 스타일의 차이로 골프스윙을 지도하는 지도자의 영향을 많이 받은 것으로 판단된다. 국내의 선행연구인 Ryu(1992)의 결과는 손목관절(10.78±4.94%), 신체중심에 대한 동체(4.25±5.08%), 동체의 질량중심(5.65±5.46%), 주관절(3.03±1.55%), 대퇴(2.56±0.56%), 어깨관절(1.18±1.16%)의 순으로 클럽 헤드의 스피드에 영향을 주는 것으로 보고하였는데, 이는 본 연구의 결과인 요추>우측 어깨>좌측 팔꿈치의 기여순서와는 다른 결과를 나타냈다.

이러한 차이는 골프 스윙이 선운동과 회전운동의 복합적인 운동으로 일의 개념에서는 선운동의 기여도가 클럽 헤드의 스피드에 크게 공헌하지 못하고, 회전운동이 주된 공헌을 하기 때문이다. 또한 선행논문에서는 상대적인 선속도를 사용하였으나 인체 모델링 시에 하지를 제외한 몸통, 상지 그리고 클럽을 사용하여 기여도를 산출한 것이 이유인 것으로 판단된다.

V. 결론

이 연구는 골프 스윙 시 신체 각 관절에 작용하는 힘과 모멘트를 역동역학 방법을 이용하여 각 신체관절이 한 일이 클럽 헤드의 에너지에 기여하는 정도를 규명하고자 하였다. 각 국면별 각 관절이 행한 일을 살펴보면, 제 1국면에서는 요추부위가 가장 많은 양의 일을 하였으며, 좌측 고관절>우측 어깨>좌측 손목>

우측 손목>우측 고관절 순으로 일을 하는 것으로 나타났다. 제 2 국면에서도 요추부위가 가장 많은 양의 일을 하였으며, 좌측 팔꿈치>우측 손목>우측 어깨>좌측 손목>우측 팔꿈치의 순으로 나타났다. 그리고 제 3국면에서는 요추부위가 가장 많은 양의 일을 하였으며 우측 어깨>좌측 어깨>좌측 팔꿈치>우측 손목>우측 팔꿈치의 순으로 나타났다.

관절이 행한 일의 합은 요추>어깨>손목 등의 순서를 보였으며, 클럽 헤드의 운동에너지는 피험자 C > D > G > E > B > A > F 순으로 크기가 나타났고, 평균 31.8±4.8%의 효율성을 가지고 스윙하는 것으로 나타났다. 그리고 각 관절이 클럽 헤드의 운동에너지에 미치는 기여도는 요추(1)>우측 어깨(2)>좌측 팔꿈치(3)>우측 손목(4) 순으로 주로 요추 부분과 상지 관절에서 일어났다.

참고문헌

- Adrian, M. J., & Cooper, J. M.(1989). *The Biomechanics of Human Movement*. Benchmark, Indianapolis.
- Beer, F. P., & Johnston, E. R.(1984) *Vector Mechanics for Engineers*. New York: McGraw-Hill Press.
- Budney, D. R., & Bellow, D. G.(1978). *A Dynamic Model for the Golf Swing*. paper presented at the 5th international congress of sport science, Edmonton, Canada.
- Burden, A. M., Grimshaw, P. N., & Wallace, E. S.(1998). Hip and shoulder rotations during the golf swing of sub-10 handicap players. *Journal of Sports Sciences*, 16, 165-176.
- Chang, J. K.(2010). *ad's Knetic Energy in the Golf Swing*. Unpublished Doctoral Dissertation, Graduate School of Korea National Sport University.
- Cheetham, P., Mottram, R., Martin, P., & Laurent, B. St.(2000). *X-Factor Stretch*. www. skilltechnologies. com / xfactorstretch. htm.
- Coleman, S. G. S., & Rankin, A. J.(2005). A three-dimensional examination of the planar nature of the golf swing. *Journal of Sports Sciences*, 23, 227-234.
- DeNunzio, D.(2007). *Power up with the O-Factor*. Golf Magazine, April 170-181.
- Hay, J. G.(1985) *The Biomechanics of Sports Techniques*, New Jersey: Prentice-hall, Englewood Cliff.
- Hur, Y. J., Moom, G. P., & Lim, J.(2005). A study of ground reaction forces during professional golfer's swing with different golf clubs. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 15(2), 103-111.
- Jorgensen, T.(1994) *The Physics of the Golf Swing*. New York: API Press.
- Korea Golf Association(2008). *Decisions on the Rules of Golf*. Seoul: Nine Planning Publishers, inc.
- Lim, J., & Moon, G. P.(2005). An application of triple segmental system in golf swing through an inverse dynamics function. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 15(2), 56-67.
- Mayers, J., Lephart, S., Tsai, Y. S., Sell, T., Smoliga, J., & Jolly, J.(2008). The role of upper torso and pelvis rotation in driving performance during the golf swing. *Journal of Sports Sciences*, 26(2), 181-188.
- Mclean, J.(1992). *Widen the Gap*. Golf Magazine, December 49-53.
- McTeigue, M.(1994). *Spine and Hip Motion Analysis during the Golf Swing*. The World Scientific Congress of Golf, 48-58.
- Milburn, P. D.(1982). Summation of segmental velocities in the golf swing. *Medicine and Science in Sports and Exercises*, 14, 60-64.
- Nesbit, S. M., & Serrano, M.(2005). Work and power analysis of the golf swing. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4, 520-533.
- Robertson, G. E. D., Caldwell, G. E., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. N.(2004). *Research Methods in Biomechanics*. Human Kinetics, Urbana-Champaign, Illinois.
- Ryu, J. C.(1992). A Study of body segments Contribution and Ground Reaction Forces in the Golf Swing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 2(1), 37-74.
- Springs, E. J., & Mackenzie, S. J.(2002). Examining the delayed release in the golf swing using computer simulation. *Sports Engineering*, 5, 23-32.