한국운동역학회지, 2007, 제17권 2호, pp. 31-40
Korean Journal of Sport Biomechanics
2007, Vol. 17, No. 2, pp. 31-40

클럽의 길이 변화에 따른 골프 스윙의 지면반력 변화

Changes of Ground Reaction Forces by the Change of Club Length in Golf Swing

성낙준*(호서대학교)
Sung, Rak-Joon*(Hoseo University)

ABSTRACT

R. J. SUNG, Changes of Ground Reaction Forces by the Change of Club Length in Golf Swing. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 17, No. 2, pp. 31-40, 2007. Proper weight shifting is essential for a successful shot in golf swing and this could be described by means of the ground forces between the feet and ground. It is assumed that the ground forces would different according to the club used because the length and swing weight of each club is different. But, in present, it is not clear what changes are made by the change of clubs and this affect the swing motion. Therefore this study focused on the investigation of the changes of the ground forces and ground reaction forces (GRF) by the change of club length.

The subjects were three professional male golfers. Four swings (driver, iron 3, iron 5, and iron 7) for each subject were taken by two high speed video cameras and two AMTI force platforms were used to measure the GRF simultaneously. Kwon GRF 2.0 and Mathcad 13 software were used to post processing the data. Changes of the three major component of GRF (Vertical, lateral, anterior-posterior force) at 10 predefined events were analyzed including the maximum. Major findings of this study were as follows.

1. Vertical forces; - There were no significant changes until the top of backswing. - Maximum was occurred at the club horizontal position in the downswing for both feet. The shorter club produced more maximum forces than longer ones in the left foot, but reverse were true for the right foot. - Maximum forces at impact shows the same patterns.

2. Lateral forces; Maximum was occurred at the club horizontal position for both feet, but there were no lateral forces because the direction of two forces was different. Maximum force pattern by different clubs was same as the vertical component.

3. Anterior-posterior forces; - This component made a counter-clock wise moment about a vertical axis located between two foot until the club vertical position was reached during the backswing, and reverse moment were produced when the club reached horizontal at the downswing. - Also this component made a forward moment about a horizontal axis located in the CG during the fore half of the downswing, and a reverse moment until the club reached vertical at the follow through phase. Maximum was occurred at the club vertical in the downswing for both feet. The longer club produced more maximum forces than shorter ones for both feet.

KEYWORDS : CLUB LENGTH, GROUND REACTION FORCE, MOMENT

이 논문은 2005년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임.
* rjsung@hoseo.edu

Ⅰ. 서 론

일반적인 골프 스윙 이론은 스윙중 적절한 체중의 이동을 매우 중요시하고 있으며, 좋은 스윙을 하기 위해서는 적절한 체중 이동이 필수적임을 강조하고 있다.

일반적으로 설명되고 있는 스윙 중의 체중의 이동 형태는 준비자세(setup)에서 양발에 거의 균등하게 체중을 분배하며, 백스윙(back swing)에서 오른발(뒷발, 목표에서 먼 발)로 체중을 이동하였다가, 다운스윙(down swing)에서 다시 왼발(앞발, 목표 쪽 발)로 체중을 이동하면서 공을 치라는 것이다. 그러나 데이비드 리드베터(2002)를 비롯한 많은 골프 코치들은 스윙 중 지면과 발 사이에 작용하는 수직력이 체중을 초과하지 않는다고 생각하고 있으며, Calsoo (1967)가 오래 전에 강조한 수직축에 대한 몸의 회전을 결정하는 전후방향 수평성분의 힘에 대해서는 전혀 고려하지 않고 있다. 따라서 적절한 골프 교습과 기량향상을 위해서는 스윙 중 지면반력 변화 특성에 대한 정확한 지식이 선행될 필요가 있다.

스윙 중의 지면반력의 변화를 연구한 최초의 논문은 Carlsoo(1967)에서 찾을 수 있으며, 이후 국내외적으로 약 30편 정도의 논문이 발표되어 왔다. 그 동안 연구된 논문들의 결과를 종합해 보면, 스윙 중 지면반력의 변화 특성과 스윙 동작간의 관계를 이해하는데 상당히 도움이 되고 있지만, 연구 결과 간에 불일치와 상반된 결과도 있어 명확한 결론을 내리기 어려운 것도 많이 있다. 특히 골퍼라면 누구나 한번쯤 가져 보았을 의문인 '사용하는 클럽에 따라 지면 반력에 어떠한 변화가 있는지'에 대한 해답은 얻기 힘들다.

골프의 일반 이론은 "모든 스윙에서 몸동작은 다 똑같이 한다"(호건, 2000; 리드베터, 2002; Haney, 2002; Sorenstam, 2005)는 것인 반면, 일반 골퍼들은 클럽이 길어지면 스윙을 더 힘차고 강하게 해야 한다고 생각하는 경향이 있다. 그러나 역학적 원리로 보면, 골퍼가 똑같이 움직여도 클럽의 길이에 비례하여 헤드의 속도가 빨라지므로 지면반력은 별 변화가 없을 것이며, 만일 클럽이 길어질수록 스윙을 더 강하게 해야 한다면 그에 따라 지면 반력도 더 커지게 될 것이다. 그러나 이 문제에 대한 확실한 답을 줄 수 있는 선행 연구는 없다.

선행 연구를 살펴보면, 여러 종류의 클럽들에 대해 지면반력을 연구한 논문은 국내외적으로 많지 않다. 드라이버와 3번, 7번 아이언의 세 가지 클럽의 스윙을 분석한 논문에는 Cooper, Bates, Bedi, & Scheuchenzuber (1974)와 Koenig, tamres & Mann (1994) 연구가 있으며, 드라이버와 5번 아이언의 두 가지 스윙을 분석한 연구로는 Barrentine, Fleisig,, Johnson & Woolley (1994)가 있다. 그러나 이들의 연구는 그 초점을 숙련자와 비숙련자의 차이에 두고 있어, 클럽 간 지면반력의 차이에 대해서는 명확히 알 수 없다. 국내의 경우 허유진, 문건필, 임정(2005)이 4가지 클럽의 스윙에 대해 분석한 논문이 있으나, 자료해석 상의 오류로 인하여, 클럽 간 지면반력 변인의 차이는 알기 어려웠다.

Koenig 등(1994)은 클럽별로 체중이동 형태가 달랐다고 보고하고 있으며, Cooper 등(1974), Koenig 등(1994), Barrentine 등(1994)은 드라이버의 경우 다른 채에 비해 다운스윙 중 왼발이 가장 큰 수직력을 발휘하였다고 보고하고 있어, 드라이버가 아이언에 비해 더 큰 힘이 지면에 가해지는 것으로 판단된다. 그러나 길이가 다른 아이언(iron) 끼리 그리고 롱(long) 아이언과 드라이버 간에는 어떠한 차이가 있는지는 구체적으로 알 수 없다. 더구나 전후, 좌우 수평성분에는 어떠한 차이가 있는지는 더 알기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 롱 아이언(long iron), 미들(middle) 아이언, 숏(short) 아이언 등으로 클럽(club)이 바뀜에 따라 지면반력에 어떠한 변화가 있는지를 규명해 보고자 한다.

Ⅱ. 연구방법

그동안의 연구들은 주로 지면반력 측정기(force platform)를 이용하여 지면 반력을 측정해 왔으며, 최근에는 족저 압력 측정기를 이용하여 각 발의 하중 분포와 수직력 변화를 연구한 것들도 많아지고 있다 (Kawashima, 1997; 이중숙, 이동기, 2005). 그러나 족저압 측정기는 수직력 만을 측정할 수 있으며, 신발 바닥

표 1. 피험자의 특성

Subject	Height (cm)	Weight (kg)	Career (year)	Handicap
s1	173	85	12	0
s2	183	98	12	0
s3	170	77	13	2

에 설치하는 센서의 비용 때문에 연구 목적 외에는 사용하기가 어려운 근본적인 한계가 있다. 따라서 상하, 전후, 좌우의 세 힘 성분과 양 발이 지면에 가하는 발의 압력 중심 위치도 측정할 수 있는 포스 플랫폼(force platfform)을 이용하였다. 피험자는 세미프로 1명을 포함한 프로 골퍼 3명으로 하였으며, 이들의 특성은 <표 1>과 같다.

스윙동작의 측정은 2대의 지면반력 측정기(AMTI force platform)가 바닥에 고정 설치된 실험실에서 하였으며, 스윙 동작은 두 대의 고속비디오 카메라(Photron PCI 500)를 전면에 설치하여 촬영하였다. 촬영 속도는 125 프레임, 노출시간은 1/1000초로 하였으며, 플랫폼의 자료는 1000 Hz로 샘플링 하였다. 플랫폼과 카메라의 동조를 위해 동조 장비(비솔(www.visol.co.kr))를 이용하였다. 이 장비는 자료 수집을 위해 버튼을 누르면 플랫폼의 13번 채널에 전압을 거는 동시에 촬영 위치의 바닥에 놓은 엘이디(LED)가 점등되도록 하였다.

클럽 헤드(head)의 속도를 측정하기 위해 헤드에 반구형의 반사 마커((reflective marker)를 부착하였으며, 피험자의 발에도 3개의 반사 마커를 부착하여 발의 위치를 계산할 수 있도록 하였다. 골프 클럽의 샤프트(shaft)와 솔(sole) 부분은 조명에 의한 반사를 방지하기 위해 검은 색 페인트를 스프레이로 도포하였다.

지면반력의 측정과 분석은 Kwon GRF 2.0 (www.kwon3d.com)을 이용하였다. 플랫폼의 자체 좌표계는 케이블의 반대방향이 Y축, 지면아래 수직방향이 Z축으로 되어 있으나, 분석의 편의를 위해 스윙이 진행되는 목표 방향을 Y축, 수직 상방이 Z축이 되도록 좌표 변환을 하여 분석하였다<그림 1>. 따라서 스윙하는 골퍼를 기준으로 좌우방향은 Y축이며 좌측이 + 방향, 전후는 X축이며 앞이 + 방향이 된다. 고찰에서는 오른손잡이를 기준으로 목표 쪽의 앞발은 왼발, 반대편 뒷발은 오른발로 지칭하였다.

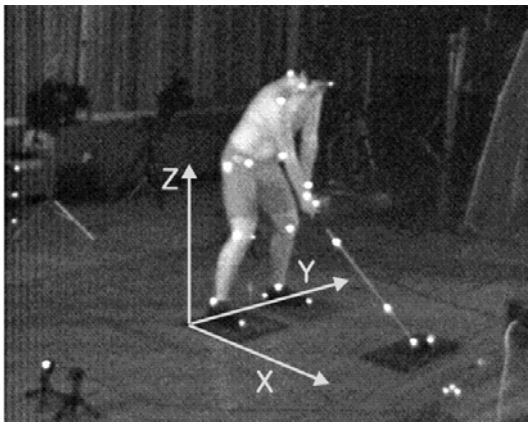

그림 1. 실험 장면과 분석 좌표계

실험에 사용된 클럽은 드라이버와 아이언 3, 5, 7번 클럽이었으며, 피험자들은 모두 같은 클럽을 이용하여 샷(shot)을 하였다. 스윙은 짧은 클럽부터 긴 클럽 순으로 하였으며, 피험자 별로 각 3회씩 스윙하여 피험자가 가장 만족하는 동작을 선택하여 분석하였다.

스윙 동작은 클럽이 90도를 회전할 때 마다의 시점에 대해 분석하였으며, 이에 따라 설정한 이벤트(event)는 다음과 같다(Heuler O., 1996; 성낙준, 2004).

1. 백 스윙 시작(INI; Initiating), 2. 백 스윙에서 샤프트 수평(SHB; Shaft Horizontal at Back swing), 3. 백 스윙에서 샤프트 수직(SVB; Shaft Vertical at Back swing), 4. 스윙의 정점(TB; Top of Back swing), 5. 다운 스윙에서 샤프트 수직(SVD; Shaft Vertical at Down swing), 6. 다운 스윙에서 샤프트 수평(SHD; Shaft Horizontal at Down swing), 7. 임팩(IP; Impact), 8. 팔로우 스윙에서 샤프트 수평(SHF; Shaft Horizontal at Follow swing), 9. 팔로우 스윙에서 샤프트 수직(SVF; Shaft Vertical at Follow swing), 10. 스윙 끝(FIN; Finish).

플랫폼 자료에서 각 이벤트의 시점을 찾기 위해 먼저 비디오 자료에서 각 이벤트의 프레임 시간을 측정한 후, 이를 근거로 플랫폼 자료에서 각 이벤트의 자료를 찾는 방법을 사용하였다. 즉 각 기기의 시간을 시작 시점 INI를 0 시간으로 한 상대 시간으로 변환한 후, 변환된 비디오 자료의 이벤트 시간들에 해당하는 플랫

폼 자료의 값을 선택하였다. 선택하여 분석한 변인은 전후, 좌우의 수평력과 수직력, 발바닥 압력중심(Center of pressure)위치의 수직축에 대한 프리 모멘트(free moment)이다. 골퍼가 자신의 움직임을 이해하기에는 반작용력보다 작용력이 더 직관적이므로, 수평 성분들과 프리모멘트는 작용력과 작용력에 대한 프리모멘트로 방향을 변환하여 분석 고찰하였다. 프리모멘트는 발의 압력 중심 위치에 있는 수직축에 대한 모멘트이므로, 작용력에 의한 이 모멘트는 발이 비틀리는 방향과 크기를 알려준다.

힘 자료는 피험자의 체중으로 나누어 정규화(normalize)하였으며, 모멘트 자료는 체중으로 나눈 후 1000을 곱하여 정규화 하였다. 각 클럽별로 10개의 이벤트 값을 평균하여 구한 후, 이를 그래프로 그려 클럽별 차이를 비교하였다. 이러한 자료처리 작업은 수학 전용 프로그램인 Mathcad(2005)를 이용하였다.

피험자가 3명이므로 변인들의 차이 값에 대한 통계적 검증은 하지 않았다. 통계 검증은 추후 연구에서 사례수를 충분히 확보한 후 실시할 계획이다.

Ⅲ. 연구결과 및 논의

1. 지면반력

대표적인 지면 반력의 변화 형태는 <그림 2>와 같았다 전체적인 변화 형태는 Barrentine, Fleisig, Johnson & Woolley(1994)가 제시한 대표적인 힘 변화 형태와 유사하였다. 피험자별 지면반력의 변화 형태는 피험자 별로 구별되는 특성이 있었으나, 동일 피험자의 변화 형태는 클럽에 관계없이 일관성이 있었다. 숙련된 선수들의 이러한 일관성은 Carlsoo(1967), Cooper 등(1974), Richards, Farrell, Kent & Kraft(1985), Wallace 등(1990), Williams & Sih(1998) 등에도 마찬가지로 보고되고 있다.

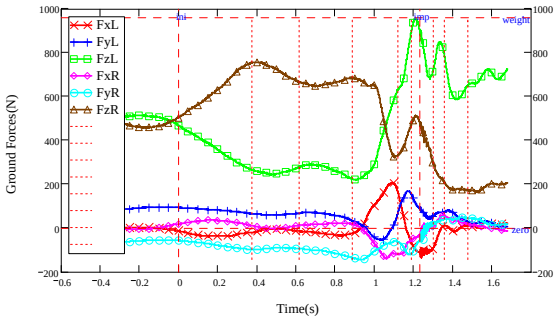

그림 2. 양발의 지면반력 변화. 수직력은 반작용력, 수평력은 작용력이다. 수직 점선은 이벤트 시점을 나타낸다. 변수명 뒤의 L과 R은 각각 왼발과 오른발을 나타낸다.

1) 수직 방향의 힘 변화

이벤트별 좌우발의 수직력 변화는 <그림 3>과 같으며, 두 힘을 합한 전체 수직력의 변화는 <그림 4>와 같았다. 그림의 수직력은 피험자들의 평균체중으로 나누어 정규화한 값(%BW; % Body Weight)이며, 클럽을 포함한 피험자들의 평균 체중은 853.8N 이었다.

준비(EN 0)에서는 양발의 체중이 거의 균등 분배되어 있다. 백스윙 시작(EN 1)에서 왼발로 약간 체중이 이동되었다가, 클럽이 수평이 되는 시점(EN 2)에서 오른발의 힘이 크게 증가한다. 이때 오른발에 걸리는 수직력은 볼의 비거리와 높은 상관이 높은 것으로 보고되고 있는데(Williams 등, 1988), 본 연구에서는 클럽에 관계없이 일정하게 체중의 0.8배 정도를 유지하고 있다.

백스윙 탑(EN 4)까지는 클럽 별 차이가 거의 없으나 이후에 다소간의 차이가 나타난다. 오른발의 힘은 클럽이 수평이 되는 시점(EN 6)에서 최대가 된다. 왼발은 다운스윙에서 클럽이 수직이 되는 시점(EN 5)까지 오른발과 대칭을 이루는 형태를 보이지만, 이후 급격히 증가하여 클럽이 수평이 되는 시점(EN 6)에서 최대가 된다. 즉 EN6에서 두발 모두 최대 수직력을 보

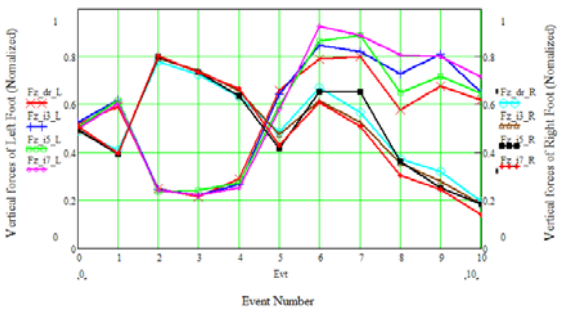

그림 3. 좌우발의 수직 방향 평균력의 변화

인다.

대부분의 선행 연구들은 임팩 시점의 왼발의 최대 수직력과 임팩 순간의 수직력을 비거리를 결정하는 주요 변인으로 보고 있다. 그러나 최대 수직력이 발생하는 시점과 왼발과 오른발의 수직력 변화 형태는 매우 다양하다. 즉 최대 수직력의 발현 시점은 임팩 직전 Calsoo(1967)- 5번 아이언, Cooper 등(1974)- 드라이버, Richards 등(1985)- 5번 아이언 등이 있으며, 임팩 순간은 Okuda 등(2002)-드라이버, 임팩 후 Cooper 등(1974)- 아이언 3,5번으로 보고되고 있다. 이러한 임팩 시의 수직력에 대한 불일치는 크게 1. 피험자의 문제, 2. 임팩 시 양발의 수직력 분배 형태, 3.임팩 시점을 정확히 잡지 못한데서 기인하는 것의 세 가지로 생각해 볼 수 있다.

선행 연구들의 대부분이 숙련 비숙련자 비교이므로 비숙련자의 경우 다양한 형태를 나타낼 수 있다. 또한 수직력 분배 형태의 경우, Lim(2004)은 숙련자의 경우도 임팩 시 양발의 수직력이 앞발에 많이 실리는 형(FFS)과 뒷발에 많이 실리는 형(RFS)의 두 가지 형태가 있다고 보고하고 있어, 다양한 형태가 있을 수 있음을 시사한다. 본 연구의 피험자들 중 RFS형은 없었으나, 한 명은 임팩 전후에 양발에 거의 균등한 수직력이 나타나는 형태를 보였으며, 최대력도 임팩 직전, 임팩 순간, 임팩 직후로 다양하게 나타났다. 한 피험자는 왼발의 피크(peak)가 임팩 이후에 또 한번 나타나는 형태를 보였다<그림 2>.

임팩 전후의 최대력도 중요하지만 그 힘이 나타나는 순간도 중요하므로, 본 연구에서는 왼발 최대 수직력 대신에 이를 대치할 수 있는 이벤트의 두 곳 즉, 임팩 바로 직전인 클럽 수평상태(EN 6)와 임팩 순간(EN 7)의 수직력을 분석하였다. EN 6에서의 최대치를 실제 왼발의 최대치와 비교해 본 결과, 아이언 7번부터 드라이버 까지 각각 평균 0.960, 0.963, 0.918, 0.913이 나와 EN 6에서의 값보다 컸지만, 클럽이 길수록 수직력이 작은 형태를 보이는 것은 같았다. 따라서 EN 6에서의 값을 최대 수직력을 대신하는 지표로 사용하였다.

이벤트 값만을 보았을 때, 왼발의 경우 최고치가 나타나는 것은 다운스윙 클럽 수평 시점(EN 6)이며, 이 때부터 클럽별 지면반력의 차이가 있다.

다운스윙 클럽 수평 시점(EN 6)에서 왼발의 최대력은 아이언 7번(그림 레이블의 Fz_i7_L; ○)이 0.93(794 N), 5번(Fz_i5; □)이 0.86, 3번(Fz_i3; +)이 0.84, 드라이버(Fz_dr; X)가 0.79로서 클럽 길이가 길어질수록 오히려 작아지는 형태를 보이고 있으며, 임팩(EN 7)에서도 같은 결과를 보이고 있다. EN 6에서 왼발 수직력의 클럽 별 최대 차이는 0.137 (116 N)이며, 이 차이를 4로 나누면((.927-.790)/4*평균체중) 클럽별 차이는 약 29.2N이 된다. 따라서 한 클럽 당 차이는 약 10N이 된다.

임팩에서는 아이언 7번이 0.89(756 N), 5번이 0.89, 3번이 0.82, 드라이버가 0.80으로서 클럽 별 최대 차이는 0.089(75.9N)이며, 클럽별 차이는 약 18.9N이 된다. 따라서 한 클럽 당 차이는 약 6.3N이 된다.

반면에 오른발은 클럽 수평 시점(EN6)에서 아이언 5번(그림 우측의Fz_i5_R; ■)이 0.67(557.5N)로 최대이며, 드라이버가 0.65, 아이언 3번 0.62, 7번 0.61의 순으로 나타났다. 클럽 별 최대 차이는 0.062(52.9N)이며, 클럽별 차이는 약 13.2 N이 된다. 아이언 5번 값을 제외하면, 왼발과는 반대로 클럽이 길수록 힘이 크게 나타나는 특성을 보이고 있다. 임팩에서도 아이언 5번의 수직력이 0.65(557.5 N)로 최대이며, 드라이버가 0.57, 아이언 3번 0.52, 7번 0.51의 순으로 나타났다. 클럽 별 최대 차이는 0.145(123.8 N)이며, 클럽별 차이는 약 30.9 N이 된다. 따라서 한 클럽 당 변하는 힘은 10.3N이 된다.

수직력이 스윙 전체에 미치는 영향을 이해하기 위해서는 양발의 수직력을 합한 전체수직력의 변화도 중요하다. <그림 4>를 보면 백스윙 탑 (EN 4)까지는 거의 체중과 같은 힘이 작용하며, 이후 다운스윙이 시작되는

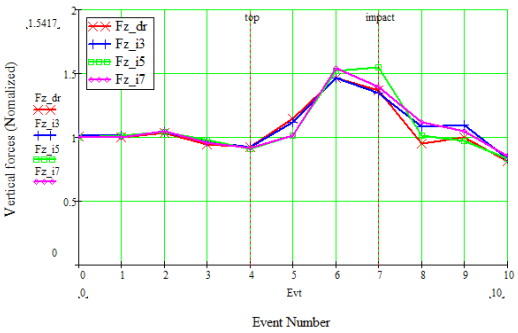

그림 4. 수직 방향의 평균력 합 변화

직후부터, 지면을 아래로 미는 수직력이 크게 증가한다. 최대력은 클럽이 수평이 될 때(EN 6)나오며, 아이언 7번이 최대 체중의 약 1.54배 (1311.5 N)의 힘을 나타내고 있다. 다른 클럽은 그 크기 순으로 아이언 5번이 1.51, 3번은 1.46, 드라이버는 1.46으로 클럽이 길수록 수직력이 작았다.

임팩에서는 아이언 5번이 최대 1.54배(1311.5 N)으로 최대이나, 아이언 7번, 드라이버, 아이언 3번의 순으로 값이 크므로 역시 긴 클럽의 수직력이 작은 형태이다. 따라서, 양발의 수직력을 합한 결과도, 임팩 때 아이언 5번(그림의 □)의 값을 제외하면, 왼발의 수직력 변화 형태와 같이, 클럽이 길수록 오히려 수직력이 작은 형태를 보여주고 있다.

이러한 본 연구의 결과는 여러 논문의 발표 결과와 다른 것으로 생각될 수 있다. 즉 왼발의 수직력과 관련하여 Williams 등(1983)은 드라이버 스윙 시 왼발 최대 수직력이 아이언 5번 보다 컸다고 보고하고 있으며, 임팩 때 왼발에 가해지는 수직력에 대해서 Cooper 등(1974)은 드라이버 1.50 BW, 아이언 3번은 1.33 BW, Koenig 등(1994), Barrentine 등(1994)은 "드라이버가 다운스윙 중 가장 큰 힘을 발휘", Okuda 등(2002)은 드라이버 스윙 시 1.42 BW로 보고하고 있어, 본 연구의 결과와는 상반된다.

그러나 Calsoo(1967)는 5번 아이언 스윙을 분석한 결과 임팩 때 왼발의 수직력은 0.88 BW, 두발에 가해지는 수직력은 1.17 BW로 보고하고 있는 반면, 같은 클럽에 대한 본 연구결과의 값은 각각 0.89배와 1.54배로서 왼발에 걸리는 수직력은 비슷하나, 전체 수직력은 본 연구의 피험자들이 더 크다. 또한 허유진 등(2005)의 자료에서는 드라이버, 아이언 4, 7번, 피칭의 경우 임팩 때 왼발의 수직력이 각각 0.63, 0.84, 0.95, 0.56 BW, 전체 수직력은 각각 1.04, 1.00, 1.15, 0.84 BW이었으며, 최대수직력은 각각 0.93, 1.26, 1.13, 1.20 BW, 전체 최대 수직력은 각각 1.32, 1.45, 1.39, 1.66 BW로 나타나고 있어 본 연구와 같은 결과를 보이고 있다. 이중숙 등 (2005)도 프로의 스윙시 드라이버, 아이언 7번, 피칭의 경우 임팩 때 왼발의 수직력이 각각 60.2, 64.6, 64.0 kg으로 보고하고 있어, 본 연구 결과와 마찬가지로 클럽이 짧을수록 수직력이 커지는 경향을 보이고 있다.

이러한 결과는 "짧은 클럽은 찍어 치고, 긴 클럽은 쓸어 친다"(리드베터, 2002; Haney, 2002; Sorenstam, 2005)는 일반적 이론과 부합되는 결과로 볼 수 있다. 즉 클럽의 길이가 길어질수록 라이각(lie angle)이 크며, 그에 따라 스윙 평면이 더 평평하게(flat) 되므로 (Haney, 2002; 성낙준, 2004), 클럽이 길어질수록 수직력이 작은 것이 역학적으로 더 타당성이 있다. 따라서 임팩 전후의 수직력의 변화 형태는, 일반적인 생각과는 달리, 클럽 길이가 길수록 작아지는 것이 타당한 것으로 볼 수 있다.

2) 좌우 방향의 힘의 변화

좌우 방향의 평균력 변화는 <그림 5>와 같으며, 서로 상쇄되는 힘을 빼고, 인체의 무게 중심에 작용하는 순 좌우 작용력을 보기 위해 양발의 평균력을 더한 값의 변화는 <그림 6>과 같았다.

준비 자세에서 왼발과 오른발은 서로 반대로 약 40 N 정도의 힘을 가하고 있다. 좌우로 미는 힘은 그 방향이 반대인 경우 서로 상쇄되므로, 이때 몸의 중심에 가해지는 좌우방향의 힘은 없다<그림 6 참조>. 직후에 백스윙이 시작되면서 왼발의 좌로 미는 성분은 순간적으로 체중의 약 10%(80 N) 정도로 증가되며, 오른발은 우로 미는 성분은 급격히 감소한다. 이는 백스윙 시작 시의 클럽을 목표 방향으로 살짝 밀었다가 백스윙을 시작하는 반동 동작에 기인하는 것이다(리드베터, 2002; Haney, 2002).

왼발이 좌로 미는 최대 힘은 아이언 7번의 0.14(120.3 N)이며, 아이언 5번, 3번, 드라이버의 순으로

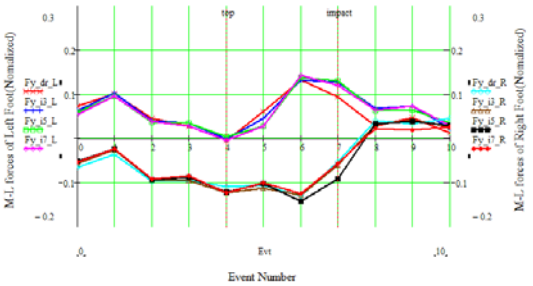

그림 5. 좌우 방향의 평균력 변화

클럽이 길어질수록 작은 값을 갖고 있다. 다운스윙에서 왼발의 왼쪽으로 미는 힘이 증가하는 것은 왼발로의 체중이동에 의한 것으로서, 몸이 목표 방향인 왼쪽으로 밀리는 것을 막아주는 효과가 있다. 그러나 클럽 간 최대차이는 0.01(8.5 N)로서 클럽별 차이는 크지 않았다. Koenig 등(1994)도 좌우 방향의 힘은 숙련자가 비숙련자보다 작은 것으로 보고하고 있어, 이는 적절한 현상으로 보인다.

오른발은 백스윙 시작부터 계속하여 체중의 10%가 넘는 힘으로 우측으로 밀며, 왼발과 마찬가지로 다운스윙 클럽 수평 시점(EN 6)에서 가장 큰 힘을 나타내고 있다. 이후에는 우로 미는 성분이 감소하며, 임팩 직후에는 좌우로 미는 성분이 거의 없어진다. 최대치는 아이언 5번(그림 우측의Fy_i5_R; ■)이 0.141(120.3N), 드라이버가 0.130, 아이언 3번 0.127, 7번 0.124의 순으로 나타났다. 따라서 아이언 5번 값을 제외하면, 왼발과는 반대로 클럽이 길수록 힘이 크게 나타나는 특성을 보이고 있지만, 왼발과 마찬가지로 클럽 간 최대차이가 0.02(14.5 N)로서 크지 않았다.

좌우 방향의 전체 힘 변화는 <그림 6>과 같았다. 준비에서 백스윙 시작 시에는 체중의 약 10%의 힘으로 좌측으로 밀었다가, 바로 우측으로 밀기 시작하여, 백스윙 탑(EN 4)에서 우측으로 미는 힘이 최대가 된다. 이 힘은 왼쪽으로의 반작용력을 만들므로 몸이 우측으로 밀리는 것을 막아준다. 이후 다운스윙에서 우측으로 미는 힘은 감소되어, 클럽 수평(EN 6)일 때는 중립이 된 후 다시 왼쪽으로 힘을 가하고 있다.

클럽 수평 이후는 임팩 순간을 포함하여 계속 왼편으로의 힘이 작용하며, 이 힘의 반작용은 몸이 목표 쪽으로 밀리는 것을 막아주는 반작용을 만든다. 따라서 임팩을 할 때 '몸 왼편에 벽을 쌓는' 동작과 부합된다. 특기할 것은 임팩 때의 이 힘이 백스윙 시작시의 반동동작에 필요한 것보다 작은 0.07(58.0 N)밖에 되지 않으며, 이후 팔로우 스로우 채 수직인 시점(EN 9)에서 발생하는 최대치도 0.116(99 N)에 불과하다는 것이다.

3) 전후방향 힘의 변화

전후 방향의 평균력의 변화는 <그림 7>과 같으며, 두 힘을 합한 변화는 <그림 8>과 같았다. 양발의 힘 변화 형태는 대칭을 이루고 있어 서로 반대 방향으로 밀고 있으며, 이는 선행 연구들에서도 대부분 일치하는 결과이다. 전반적으로 전후 방향의 힘의 변화는 수직력에 비해 전체적으로 편차가 매우 작은 특성을 보이고 있다.

전후 방향의 힘은 양발 사이에 위치하는 수직축에 대한 몸 전체의 회전에 영향을 주는 힘이며(Calsoo, 1967), 수직축은 백스윙에서 오른발로 그리고 임팩에서는 왼발 안쪽으로 이동한다(Okuda, 2002). 그러나 이러한 관점에서 이 힘을 해석한 연구는 많지 않으며,(Cooper 등, 1974; Williams & Cavanagh, 1983; Williams, Jones & Snow, 1988; Barrentine 등, 1994), 국내의 경우는 한편도 없다.

전체적 변화를 보면 준비(EN 0)에서의 힘은 중립이었다가, 백스윙이 시작되면서 왼발은 뒤쪽(X축 - 방향), 오른발은 앞쪽(X축 +방향)으로 힘을 가하게 된다. 이렇게 뒤와 앞으로 각각 작용하는 양발의 힘은 위에서 보았을 때 반시계 방향(좌측)으로의 모멘트를 만드는 짝

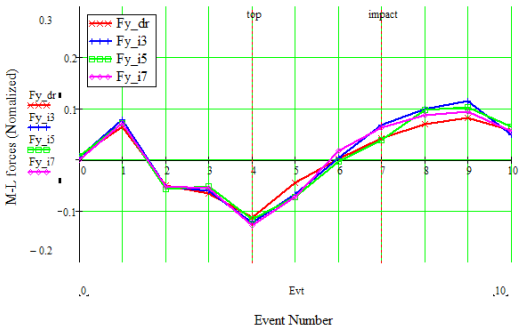

그림 6. 좌우 방향의 평균력 합의 변화

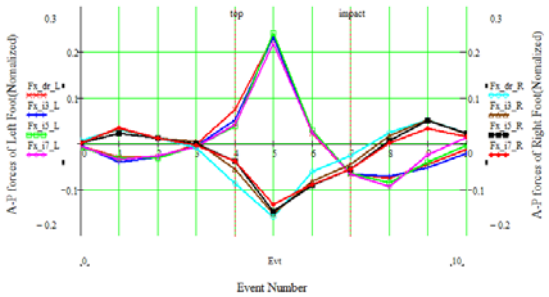

그림 7. 좌우 발의 전후방향 평균력의 변화

힘(force couple)이 되며, 이에 대한 각반작용으로 상체는 우측으로 회전하게 된다. 이는 백스윙 초기에 상체만 우로 돌고, 하체는 거의 그대로 있는 전형적인 스윙 동작과 부합된다.

백스윙에서 클럽이 수직이 되는 시점(EN 3)에서 양발의 힘의 방향이 반대로 바뀌며, 이는 임팩 직전 클럽 수평(EN 6)까지 이어진다. 이 구간에서 왼발은 지면을 앞으로 오른발은 뒤로 밀고 있으므로, 두 힘의 합쳐진 결과는 시계방향(우측)으로 회전하는 모멘트를 만든다. 따라서 이 모멘트에 대한 각반작용은 백스윙 후반에 상체의 회전을 느려지게 하는 동시에 관련 근육의 신장성 수축을 유발한다. 이 모멘트는 이어지는 다운스윙에서 상체의 강한 좌측회전을 유발함으로서 클럽의 속도를 증가시키게 된다. Willams(1988)가 "임팩 전 이 두 성분의 크기는 비거리와 강한 상관이 있다"고 한 것은 당연한 결과이다.

이러한 결과는 본 연구의 피험자들이 "백스윙이 끝나기 전에 이미 하체의 목표 쪽 회전을 시작"하고 있음을 보여주고 있으며, 우수선수들의 경우 일반적으로 이러한 형태를 나타내는 것으로 알려져 있다.

임팩 직전에 왼발이 앞으로 미는 힘은 뒤로 미는 힘으로 바뀌어, 양발 모두 지면을 뒤로 미는 힘이 작용하고 있다. <그림 8>을 보면 다운스윙 시작부터 클럽이 수평이 되기까지는 앞으로 최대 체중의 약 10% 정도(85.3 N)의 힘이 가해지며, 이후 임팩 전후에는 뒤로 체중의 약 10% 정도의 힘이 가해지고 있다. 따라서 다운스윙 전반은 몸이 앞으로 회전하는 모멘트가, 그리고 후반에는 몸이 뒤로 회전하는 모멘트가 발생한다. 임팩

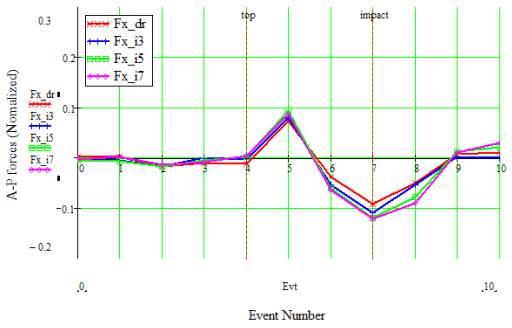

그림 8. 전후 방향의 평균력 합의 변화

전후 뒤로 미는 힘의 크기는 크지 않지만 그 반작용은 상체가 뒤로 돌아가게 하는 모멘트를 만들고, 이 모멘트는 임팩 때 상체가 일어서게 하므로, 임팩 전후에 클럽이 몸 쪽으로 당겨지게 한다. 이는 원운동에서의 구심가속도를 증가시켜 클럽헤드의 속도를 빠르게 할 수 있다. 임팩 이후 클럽 수평(EN 8)부터는 다시 힘의 방향이 반대로 바뀌어 백스윙 초기의 형태가 되며, 이때 전후력에 의해 발생하는 좌측 방향 모멘트는, 상체의 우측방향 모멘트를 유발함으로써, 스윙의 후반에서 몸의 회전이 느려지게 해 준다.

전후력의 최고치는 양발 모두 다운스윙에서 클럽이 수직이 되는 시점(EN 5)에서 나타났으며, 왼발의 최고치는 체중의 0.24배(204.9N), 오른발은 체중의 0.15배(128.0N) 정도로서 왼발보다 작다. 클럽별 크기는 왼발의 경우 아이언 5번(0.24), 드라이버(0.23), 아이언 3번(0.23), 7번(0.21)의 순, 오른발은 드라이버(0.16), 아이언 5번(0.15), 아이언 3번(0.14), 7번(0.13)의 순으로 양발 모두 클럽이 길어 질수록 더 큰 힘이 작용하는 형태를 보이고 있다. 이러한 결과는 Williams 등(1983)이 임팩 전 전후력은 드라이버와 아이언 3, 7번 간에 유의한 차이가 있었다고 한 것과 일치한다.

클럽의 길이가 길어질수록 임팩 시 힘이 작아지는 수직력과는 반대로 클럽이 길어질수록 더 큰 힘이 작용하는 이유는 수직력의 특성을 설명한 이유와 같다. 즉클럽의 길이가 길어질수록 라이각이 크며, 그에 따라 스윙 평면이 더 평평하게 되므로, 클럽이 길어질수록 수직축에 대한 회전 성분이 더 커지는 것이 타당하다.

양 발 모두 최대치 차이는 0.03(25.6N)으로 같으며, 클럽별 차이는 평균 0.01(8.5N)로 크지 않았다. 그러나 모멘트는 힘팔(moment arm)과 가해진 힘의 곱이므로, 힘팔의 크기에 따라 신체를 회전시키는 모멘트에는 상당한 차이가 있게 된다.

Ⅳ. 결 론

본 연구는 골프 스윙 시 클럽의 길이가 길어짐에 따라 지면에 가해지는 힘에 어떠한 변화가 있는지를 알

아보기 위해 수행되었다. 본 연구를 통해 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 수직 방향의 힘 변화

- 백스윙 탑까지는 클럽별 차이가 거의 없었다.
- 최대 수직력은 양발 모두 다운스윙 클럽 수평에서 발생하였다. 왼발은 클럽이 짧을수록 수직력의 최대치가 컸으며, 오른발은 클럽이 길수록 최대치가 커지는 상반된 경향이 있었다. 왼발과 오른발 최대치의 클럽 간 최대 차이는 각각 체중의 0.137 배(116 N)와 0.062 배(52.9N)였다.
-임팩 때 양발의 수직력도 같은 형태를 보였다. 임팩에서의 클럽 간 최대 차이는 왼 오른발이 각각 체중의 0.089 배(75.9N)와 0.145 배(123.8 N)였다.
- 전체 수직력의 최대치도 다운스윙 클럽 수평에서 발휘되었다. 전체 수직력도 클럽이 짧을수록 최대치가 컸다.

2. 좌우방향의 힘 변화

- 최대력은 양발 모두 클럽이 수평이 되는 시점에서 발생했지만, 그 방향이 반대이므로, 전체 좌우력은 없었다.
- 양발의 최대치 변화 형태는 수직력과 마찬가지로 왼발의 최대력은 클럽이 짧을수록 컸으며, 오른발은 클럽이 길수록 최대치가 커지는 경향이 있었다. 클럽 간 최대차이는 왼발 평균 8.5 N, 오른발 평균 14.5 N이었다.

3. 전후 방향의 힘 변화

- 이 힘은 백스윙 시작부터 클럽이 수직이 될 때 까지는 반시계 방향, 이후 다운스윙에서 클럽이 수평이 될 때 까지는 시계방향의 모멘트를 발생시켰다. 모멘트의 방향이 다시 바뀌는 것은 팔로우 스루의 클럽 수평 시점이었다.
- 양발의 전후력은 다운스윙 전반에서 몸이 앞으로 회전하는 모멘트를, 이후 팔로우에서 클럽 수직까지는 몸이 뒤로 회전하는 모멘트를 발생시켰다.
- 양발 모두 최고치는 다운스윙에서 클럽이 수직이 되는 시점에서 발생하며, 왼발의 최고치는 체중의 0.24 배(204 N), 오른발은 체중의 0.15배(128 N)이었다.
- 클럽별 크기는 양발 모두 클럽이 길수록 더 큰 힘이 발휘되는 형태를 보이고 있다. 양발 모두 클럽별 최대 차이는 체중의 0.01배(8.5N)였다.

본 연구 결과는 피험자의 수가 작아서 연구 결과를 일반화하기에는 무리가 있다. 그러나 본 연구에서 분석한 내용과 결과들은 골프 스윙을 분석 평가하는데 유용한 도구로 활용될 수 있는 가능성을 보여 주었다.

참 고 문 헌

리드베터, 데이비드 (2002). **골프 스윙**. 서울: 삼호 미디어.

성낙준 (2004). 골프 클럽·의 스윙궤도와 스윙면에 대한 고찰. **한국운동역학회지**, 14(1), 99-115.

이중숙, 이동기(2005). 프로와 아마추어 골프의 골프 스윙 동작시 족저압력 비교 분석. **한국 운동역학회지**, 15(2), 41-55.

허유진, 문건필 & 임정 (2005). 글럽별 골프 스윙시 지면반력 변화에 관한 연구. **한국운동역학회지**, 15(2), 103-111.

호건, 벤 (2000). **벤 호건 모던 골프** (편집부, Trans.). 서울: 전원 문화사.

Barrentine, S. W., Fleisig, G. S., Johnson, H., & Woolley, T. W. (1994). *Ground reaction forces and torques of professional and amateur golfers.* Paper presented at the 1994 World Scientific Congress of Golf.

Carlsoo, S. (1967). A kinetic analysis of the golf swing. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 7(0), 76-82.

Cooper, J. M., Bates, J. M., Bedi, J., & Scheuchenzuber, J. (1974). Kinematic and kinetic analysis of the golf swing. *Biomechanics*, IV.

Haney, H. (2002). **행크 헤니의 21세기 최고의 테크**

닉 (장석기 역). 경기도 파주: 한일 산업.

Heuler, O. (1996). *Golf swing basics*(E. Reinersmann, Trans.). New York: Sterling Pub.

Kawashima, K. (1997). *Kinematical analysis of foot force during the golf swing*. Paper presented at the XVIth ISB Tokyo Congress.

Kawashima, K., Meshizuka, T., & Takeshita, S. (1998). *A kinematic analysis of foot force exerted on the soles during the golf swing among skilled and unskilled golfers*. Paper presented at the 1998 World Scientific Congress of Golf.

Koenig, G., tamres, M., & Mann, R. W. (1994). *The biomechanics of the shoe-ground interaction in golf*. Paper presented at the 1994 World Scientific Congress of Golf.

Lim, Y. T. (2004). Categorization of two different swing styles using weight transfer patterns of golf swing. **한국운동역학회지**, 14(2), 179-186.

Mathsoft (2005). *Mathcad 12 user's guide*. Cambridge: mathsoft engineering & education.

Okuda, I., Armstrong, C. W., Tsunezumi, H., & Yoshiike, H. (2002). *Biomechanical Analysis of Proffessional Golfer's Swing: Hidemichi Tanaka*. Paper presented at the 2002 World Scientific Congress of Golf.

Richards, J., Farrell, M., Kent, J., & Kraft, R. (1985). Weight transfer patterns during the golf swing. *Res. Quarterly Exere. sport*, 56(4), 361-365.

Sorenstam, A. (2005). *Golf Annika's Way*(**소렌스탐의 파워골프**). 서울: 넥서스.

Wallace, E. S., Graham, D., & Bleakley, E. W. (1990). *Foot-to-ground pressure patterns during the golf drive: a case study involving a low handicap player and a high handicap player*. Paper presented at the 1990 World Scientific Congress of Golf.

Wallace, E. S., Grimshaw, P. N., & Ashford, R. L. (1994). *Discrete pressure profiles of the feet and weight transfer patterns during the golf swing*. Paper presented at the 1994 World Scientific Congress of Golf.

Williams, K. R., & Cavanagh, P. R. (1983). The mechanics of foot action during the golf swing and implications for shoe design. *Med. Sei. sports Exerc.*, 15(3), 247-255.

Williams, K. R., Jones, J., & Snow, B. (1988). Ground reaction forces during the golf swing in relation to hitting performance. *Journal of Biomechanics*, 21(10), 869.

Williams, K. R., & Sih, B. L. (1998). *Ground Reaction Forces in Regular-Spike and Alternative-Spike golf Shoes*. Paper presented at the 1998 World Scientific Congress of Golf.

투 고 일 : 4월 26일
심 사 일 : 5월 14일
심사완료일 : 5월 21일