



퍼터헤드 회전중심점 위치 관점에서 본 남자프로골퍼의 10.94 m 퍼팅동작의 진자운동 여부

Is Male Professional Golfers' 10.94 m Putting Motion a Pendulum Motion? From a Point of View of the Location of the Center of Putter Head Rotation

박영훈* · 염창홍 · 서국웅(부산대학교)

Park, Young-Hoon* · Youm, Chang-Hong · Seo, Kuk-Woong(Pusan National University)

ABSTRACT

Y. H. PARK, C. H. YOUM, and K. W. SEO, Is Male Professional Golfers' 10.94 m Putting Motion a Pendulum Motion? From a Point of View of the Location of the Center of Putter Head Rotation. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 17, No. 2, pp. 217-226, 2007. Putting score counts about 43 % of the golf score. The dominant idea of the putting motion to amateur golfers as well as to many professional golfers is a pendulum-like motion. If a golfer's putting stroke motion is a pendulum-like motion, the putting motion should be straight-back-and-through, the same backswing, downswing, and follow through length and period, and a swing with a fixed hinge joint. If the putting motions of the human are different from the pendulum motion, there could be confusion in understanding and teaching golf putting. The purpose of this study was to examine the center of rotation(COR) of the putter head to reveal whether professional golfers really putt like a pendulum. Thirteen male professional golfers were recruited for the study. Each golfers executed 10.94 m putts six times on an artificial grass mat. Putter head position data were collected through a 60 Hz three-dimensional motion analysis system and low pass filtered with cut-off frequency of 6 Hz. COR of the putter head was mathematically acquired. Each golfer's last five putting motions were considered.

The results show that the COR of the putter head was neither fixed nor located inside of the golfer. The medio-lateral directional component of the COR of the putter head fluctuated in the range of 10 cm during downswing and follow through. The anterior-posterior directional component of the COR of the putter head was fixed from the beginning of the downswing through impact. Just after impact, however, it moved to the target up to 60 cm. The superior-inferior directional component of COR of the putter head moved in a superior direction with the beginning of the downswing and showed peak height just prior to impact. During the follow through, it moved back in an inferior direction. The height-normalized peak value of the COR of the putter head was 1.4 ± 0.3 height. Technically speaking, male professional golfers' 10.94 m putting motion is not a pendulum-like motion. The dominating idea of a pendulum-like motion in putting might come from the image of the flawless, smooth motion of a pendulum.

KEYWORDS : GOLF, PUTTING, CENTER OF ROTATION

I. 서론

골프 한 라운드가 72 점일 경우 퍼팅점수가 차지하는 비율은 산술적으로 50%(36=18홀x2putt)이며 실제 경기에서는 40~45%(Martino, 2002; Pelz, 2000)이다. 이렇게 점수에 큰 영향을 미치는 퍼팅에 관한 연구는 심리(Beilcock, Afremow, Rabe, & Carr, 2002; Wegner, Ansfield, & Pilloff, 1998), 운동학습(Taylor, & Shaw, 2002) 등 분야에서 활발한 반면, 운동역학적인 측면에서 연구는 활발하지 않다. 이는 공을 멀리 똑바로 보내야 하는 골프의 풀스윙 동작에서는 역학적 원리가 중요하지만 퍼팅동작은 인체 여러 분절을 동원하거나 큰 힘을 순간적으로 발휘하는 동작이 아니므로 운동역학적 원리가 큰 역할을 하지 않는 것으로 여기기 때문인 것으로 생각되어진다.

퍼팅에 관한 과학적인 연구는 Cochran, & Stobbs(1968)부터 시작된 것으로 받아들여지고 있으며, Pelz(2000)에 의하여 과학적인 실험결과에 의한 퍼팅방법과 자세가 대중화 되었다. 그러나 아직도 많은 프로 골퍼들(Nicklaus, 2002; Woods, 2001)이 퍼팅에서는 느낌(feel)과 터치(touch)가 중요하다고 하고 있으며 이들은 퍼팅에 필요한 기본자세와 일정하게 반복수행 가능한 기계적 퍼팅동작을 운동신경과 연습을 통하여 몸에 익힌 세계 정상급 프로선수들로 일반 골퍼와는 접근 방법이 다르다. Cochran, & Stobbs(1968)는 영국 최고수준 프로골퍼 16명의 퍼팅동작을 분석한 결과 공과 머리 위치 이외에는 공통점을 찾을 수 없었다고 하였다.

퍼팅 동작은 퍼터헤드를 움직이는 방법에 따라 진자형(pendulum model) 혹은 직선형(straight-back-and-through), 회전형(rotation model) 혹은 곡선형(in-out-in), 복합형(in-out-square)으로 크게 세 가지 형태로 구분한다(Brooks, 2002; Pelz, 2000; Utley, 2006).

직선형은 Pelz(2000)에 의하여 다양한 실험 데이터와 장점이 강조되고 있으며, Kite, Janzen, Elkington 등 선수들이 사용하고 있다. 최근에는 미국프로골퍼이자 퍼팅강사인 Utley가 주장하는 곡선형 퍼팅이 미국프로골퍼들에게 큰 영향을 미치고 있다(McLean, 2005). 곡선형 퍼팅은 Woods, Faxon, Player 등 선수가 사용하

고 있다. 복합형은 백스윙 시에는 퍼터헤드를 퍼팅목표선 안쪽으로 움직이지만 임팩트 구간 이후에는 목표선을 따라 퍼터헤드를 움직이는 퍼팅 타입으로 직선·곡선형 보다 복잡하지만(Brooks, 2002) 골프역사상 가장 뛰어난 퍼터들로 알려진 Locke, Crenshaw 등 선수가 사용한다(Jacobs, 1999; Martino, 2002; Peper, Frank, Anderson, & Andrisani, 1997).

해부학적 관점에서 볼 때 퍼팅 시 퍼터헤드를 직선으로 움직이는 것은 적합하지 않고 긴 퍼팅동작에서는 어색하지만(Brooks, 2002), 진자(pendulum) 리듬을 가진 직선형 퍼팅개념이 일반 골퍼뿐 아니라 프로골퍼들에게 주도적인 역할을 하고 있다(McLean, 2005).

단순진자는 고정된 축을 중심으로 무게가 없는 줄에 매어 달린 진자가 일정한 주기 동안 일정한 거리를 중력의 힘만으로 반복 운동한다. 이 진자운동은 동작리듬이 일정하고 지면에 투영된 궤적이 직선을 이루는 등 여러 가지 특징들을 포함하고 있어 골퍼퍼팅 동작의 이상적인 모델로 간주되고 있다(Jacobs, 1999; Martino, 2002; McLean, 2005; Nicklaus, 2002; Pelz, 2000; Peper, Frank, Anderson, & Andrisani, 1997; Woods, 2001). 반면에 실제 퍼팅 동작은 인체근력을 사용하고 다운스윙 시 가속을 중요시하며(Toski, & Flick, 1984), 백스윙, 다운스윙, 팔로우스루 구간의 시간이 각기 다르고(박진, 2001; 박태진, 2007; Delay, Nougier, Orliaguet, & Coello, 1997) 퍼터헤드 궤적도 직선이 아닌 경우가 많다(McLean, 2005; Woods, 2001). 따라서 골퍼 퍼팅 동작을 진자동작이라고 하기 어렵다.

그러나 실제 퍼팅 지도현장에서는 여전히 어깨-팔-손-퍼터가 일체(one-pieced)로 인체 특정부위를 중심으로 진자처럼 움직이는 것이 이상적인 퍼팅동작 모델로 간주되고 지도되고 있다(McLean, 2005). 만약 실제 퍼팅 동작이 진자운동과 다르다면 이러한 지도법과 퍼팅 이미지는 혼란을 초래하고 바람직하지 않는 결과를 할 것이다. 따라서 전역좌표 관점에서 볼 때 프로골퍼들의 퍼팅 동작의 진자운동 여부를 밝힐 필요가 있다.

이 연구는 남자프로골퍼들의 퍼팅동작을 퍼터헤드 회전중심점의 위치 관점에서 분석하여 퍼팅동작의 진자운동 여부를 밝히는 것을 목적으로 한다.

II. 연구방법

이 연구는 부산·경남 지역에서 프로골퍼로 활동 중인 남자프로골퍼 중 연구의 취지를 이해하고 참여를 원하는 13명(25.5±7.3세, 171.7±5.7cm, 71.5±7.8kg, 8.6±4.9년 경력)을 대상으로 하였다. 이들은 모두 오른손잡이로 진자운동을 이상적인 퍼팅동작으로 생각하고 직선형 퍼팅동작을 수행하는 프로골퍼들이다.

퍼팅거리는 2005년 미국프로골프투어(www.pgatour.com/ststs/r)의 'proximity to hole'에 따라 10.94m로 하였다.

실내체육관 내에 폭, 길이, 높이가 각각 2m, 12m, 0.2m 인 목재 구조물을 설치하고 그 위에 무방향성 인조잔디를 가능한 평평하게 접착한 인조 퍼팅 판을 설치하였다. 퍼팅 판 한쪽 끝 부위에 공 위치를 표시 후 10.94m 떨어진 지점에 목표선을 설치하였다.

영상분석을 위해 폭, 길이, 높이가 각각 1m, 2m, 2m 인 통제점들을 퍼팅 판위에 설치 후 33개의 통제점을 퍼팅 판 가장자리와 평행하게 배치하고 어드레스 자세를 취했을 때 인체 전·후(anterior-posterior, A-P) 방향을 x 축, 인체 좌·우(medio-lateral, M-L)방향이며 공이 굴러가는 방향을 y 축, x-y 평면에 수직인 방향을 z 축, 피험자의 오른쪽 뒤 아래 부분을 전역좌표계의 원점으로 설정하였다. 퍼팅동작 수행 시 퍼터움직임 관찰이 용이한 6곳에 60Hz로 영상을 분해 가능한 디지털비디오카메라(Sony VX-2100)를 설치하고 셔터스피드 우선모드, 셔터스피드 1/1500s, 수동초점으로 카메라를 세팅하였다. 카메라 간 영상 동조를 위하여 A/D 박스(Visol VSAD-102-32C), 소형마이크, LED 6개로 구성된 동기신호 발생시스템을 설치하였다. 공과 퍼터헤드가 임팩트 되는 순간 발생하는 타격음을 소형마이크를 통하여 A/D 박스에 입력시키면 A/D 박스는 이 신호에 따라 6개 LED를 동시에 50ms 동안 점등시키고 각 카메라는 점등된 LED를 동시에 촬영하므로 영상분석 시 각 카메라 영상에서 LED가 점등되는 순간을 동일 시점으로 일치시켰다.

실험 시 34인치 핑 엔서(Ping Answer) 퍼터를 사용하였으며 영상분석 시 퍼터헤드 관찰을 용이하게 하기

위하여 반사테이프가 부착된 직경 1cm 반구형 마커를 퍼터헤드페이스 중앙 위 부분, 샤프트 소켓, 그립 아래 부분에 각각 부착하였다.

피험자는 퍼팅수행에 적절한 운동복과 골프화를 착용 후 체육관 다른 부분에 설치된 인조잔디에서 실험에 필요한 동작을 충분히 연습할 시간을 가졌다. 본 실험은 퍼팅 판을 가능한 수평상태로 유지하기 위하여 퍼팅 판과 같은 높이로 평행하게 설치된 발판 위에 올라가 퍼팅동작을 수행하였다. 퍼팅 판 모서리와 평행한 가상의 선을 퍼팅 목표선으로 설정하고 이 목표선을 따라 2인 1조로 각 피험자가 10.94m 퍼팅을 교대로 각 6회씩 수행하게 하였다.

Kwon3D 영상분석프로그램(비솔, 경기도 광명)을 이용하여 퍼팅동작 중 퍼터헤드의 3차원 공간좌표를 산출하였다. 퍼팅 전과정 동안 6대 카메라를 통하여 퍼터헤드페이스 마커식별이 용이하였으므로 프로그램의 사전·사후 interpolation 기능과 소프트웨어 Gen-lock 기능은 사용하지 않았으며 3차원 실공간재구성 오차는 0.35cm 이었다. 범용 수치해석 프로그램 Complexity(Laxtha, 대전광역시)를 이용하여 산출된 퍼터헤드 3차원 공간좌표 65 세트(=13명x5회)의 주파수를 분석한 결과 데이터 파워(power)의 95%를 차지하는 SEF(spectral edge frequency) 95% 주파수 8.56±9.39Hz를 확인하였다. 영상분석에서 광범위하게 사용하는 차단주파수 6Hz, 2nd order Butterworth 저역필터를 사용하여 퍼터헤드 위치데이터의 노이즈를 제거 후, 아래와 같은 수학적 방법으로 퍼터헤드 회전중심점을 산출하였다. 상·하 방향까지 고려할 때 퍼터헤드는 곡선운동을 하므로 곡선운동중인 점의 회전중심점 산출 관계식을 사용하였다.

힘과 운동량을 무시할 때 곡선운동중인 점의 회전중심점 위치벡터 \vec{R} (식3)는 점의 위치벡터 \vec{r} (식1), 이 점의 회전반경 ρ (식2, 상세내용은 첨부 1), 이동 궤적의 접선 단위벡터 \vec{e}_t , 접선벡터의 법선 단위벡터 \vec{e}_n 을 이용하여 산출할 수 있다(Greenwood, 1988).

$$\vec{r} = x \vec{i} + y \vec{j} + z \vec{k} \quad (1)$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\sqrt{(\ddot{x}y - \dot{x}\ddot{y})^2 + (\ddot{x}z - \dot{x}\ddot{z})^2 + (\ddot{y}z - \dot{y}\ddot{z})^2}}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (2)$$

$$\vec{R} = \rho \cdot \vec{e}_n + \vec{r} \quad (3)$$

(단, $\vec{e}_t = \frac{d\vec{r}}{ds}$, $\vec{e}_n = \frac{d\vec{e}_t}{ds}$)

퍼팅 동작이 시작되는 구간과 퍼터헤드의 운동방향이 바뀌는 구간에서는 1/60s 동안 퍼터헤드 움직임이 0에 가까워 위 식에 따라 계산 시 회전중심점 위치가 무한대로 계산된다. 따라서 이 연구에서는 백스윙 탑에서 피니쉬까지 구간에서 퍼터헤드 회전중심점을 산출하였으며 각 피험자의 6회 퍼팅동작 중 첫 번째를 제외한 나머지 5회 동작의 평균데이터를 분석하였다.

III. 결과 및 논의

남자프로골퍼 13명을 대상으로 인조잔디에서 10.94m 퍼팅 수행 시 퍼터헤드 궤적을 3차원 영상분석 기법으로 도출한 다음 이 실험 데이터를 이용하여 수학적 방법으로 퍼터헤드의 회전중심점 위치를 계산한 결과는 다음과 같다.

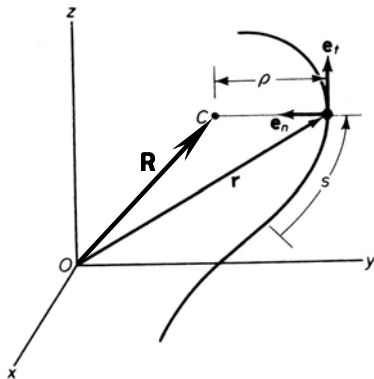


그림 1. 곡선운동 중인 점과 회전반경, 회전중심점 관계. r은 점의 위치벡터, e_t는 접선벡터, e_n은 접선벡터의 법선벡터, ρ는 회전반경, R은 회전 중심점의 위치벡터를 의미한다(Greenwood, 1988).

1. 회전중심점의 전·후방향 성분

퍼터헤드 회전중심점의 전·후(A-P)방향 위치는 <그림 2>와 같다. <그림 2>에서 x축은 1/60 s 간격, y 축은 임팩트 순간을 0 cm로 표준화한 값, x, y 교점이 임팩트 순간이다. y축 범위는 <그림 3> 좌·우(M-L)방향 위치와 동일 척도로 비교하기 위하여 80cm로 설정하였다.

10.94m 퍼팅 중 퍼터헤드 회전중심점의 A-P 방향 위치는 <그림 2>에서와 같이 임팩트 순간을 기준으로 10 cm 범위 내에서 움직이고 있는 것으로 나타났다. 그러나 <그림 2>는 피험자 13명의 5회 동작(총 65회)을 평균한 것으로 실제 <그림 2>처럼 임팩트 순간을 중심으로 A-P 방향 회전중심점이 뒤로 이동 후 다시 앞으로 이동하는 것을 의미하지는 않는다. 이 현상은 평균값이 가지는 해석상의 문제와 수학적 방법에 의한 회전중심점 산출의 문제로 보여 진다. 즉, 각 피험자들의 A-P 방향 회전중심점 위치는 다운스윙 처음부터 계속하여 뒤로 이동하는 타입, 계속하여 앞으로 이동하는 타입, 전·후로 위치가 변동하는 타입으로 구분되었다. 퍼팅 동작은 A-P 방향 이동보다 M-L 방향 이동이 더 큰 동작이므로 1/60s 동안 A-P 방향 변위가 너무 작아 (최대 Δx = 0.33cm, 최소 Δx = 0.00cm) 수학적 측면에서도 이렇게 A-P 방향 회전중심점 위치가 불규칙하게 변하는 것으로 나타났다고 판단되어진다.

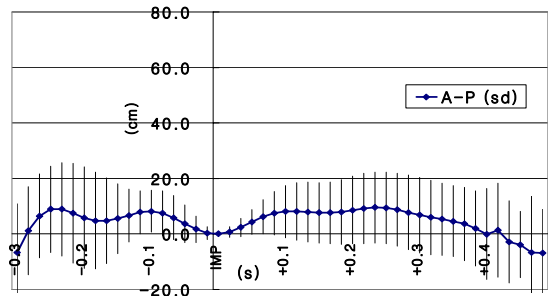


그림 2. 퍼팅 중 퍼터헤드 회전중심점의 A-P 방향 위치. x 축은 1/60 초 간격, y 축은 임팩트 순간을 0 cm로 표준화 위치, x, y 교점이 임팩트 순간이다. 퍼팅동작 중 퍼터헤드의 A-P 방향 회전중심점 위치가 10 cm 내외로 움직이고 있음을 보여주고 있다.

<그림 3>은 실험에 참여한 전형적인 한 피험자의 퍼터헤드 회전중심점 위치를 나타낸다. 이 피험자의 A-P 방향 회전중심점은 다운스윙 시작부터 계속하여 뒤로 움직이는 것을 보여주고 있다.

2. 회전중심점의 좌·우방향 성분

퍼터헤드 회전중심점의 M-L 방향 위치는 <그림 4>와 같다. <그림 4> 양식은 <그림 2>와 동일하다.

10.94m 퍼팅 중 퍼터헤드 회전중심점의 M-L 방향 위치는 <그림 4>에서와 같이 임팩트 순간까지는 고정되어있지만 임팩트 후에는 급격히 목표방향으로 이동

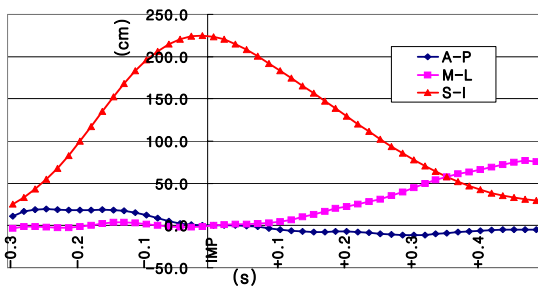


그림 3. 전형적인 한 피험자의 10.94 m 퍼팅 중 퍼터헤드의 방향성분별 회전중심점 위치. A-P, M-L 방향 성분값은 임팩트 순간을 0으로 변환한 상대적인 위치인 반면 상·하(Superior-Inferior, S-I) 방향은 절대값이다. 퍼팅 동작 중 퍼터헤드의 회전중심점 위치가 변하고 있으며 임팩트 순간 회전중심점은 인체외부에 있음을 나타내고 있다. 연구대상자 13명의 모든 퍼팅 동작(65회=13명 x 5회)에서 위 그림과 동일한 M-L, S-I 패턴이 관찰되었다.

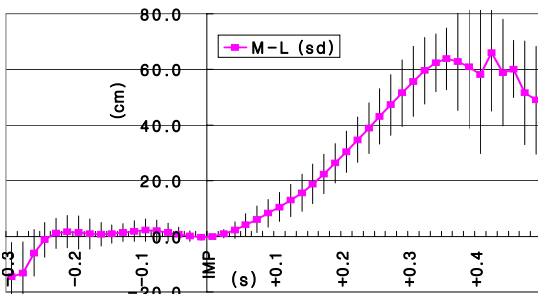


그림 4. 퍼팅 중 퍼터헤드 회전중심점의 M-L 방향 위치. x 축은 1/60 초 간격, y 축은 임팩트 순간을 0 cm로 표준화 위치, x, y 교점이 임팩트 순간이다. 퍼팅 동작 중 퍼터헤드의 M-L 방향 회전중심점 위치가 임팩트 후에는 목표방향으로 약 60 cm 이동하는 것을 보여주고 있다.

되어 최대 약 60cm까지 이동되는 것으로 나타났다. 이는 피험자 13명의 모든 퍼팅 동작에서 공통적으로 관찰되는 현상으로 임팩트 직후부터 왼 손목을 장축굴곡시키며 퍼터를 들어 올리는 것으로 해석할 수 있으며 퍼팅 동작의 인위적인 조작(manipulation)을 의미한다. 많은 골퍼들이 임팩트 직후부터 공을 진행방향으로 회전(forward rolling) 시키기 위하여 퍼터헤드를 위로 움직이며 임팩트시키고 있으며(Pelz, 2000; Penick, 1992) 본 연구 피험자들도 의식·무의적으로 이런 동작을 수행한 것으로 보여진다. 그러나 퍼팅 시 공에 의도적으로 진행방향 회전을 가하는 것은 방향이나 거리에 영향을 미치지 못한다는 것이 이미 1968년(Cochran, Stobbs, 1968)에 과학적으로 밝혀졌으며 Pelz(2000)도 일관성 없는 퍼팅의 원인이라 지적하고 있다. Nicklaus(2002)는 스파이크 자국 등으로 그런 상태가 좋지 않을 때는 의도적으로 퍼터헤드를 들어 올리며 임팩트시킨다고 하고 있다.

또 다른 원인은 임팩트 구간에서 퍼터헤드를 목표선과 직각으로 유지하기 위한 동작의 결과로 보여진다(Woods, 2000). 그러나 이를 위해서는 손 혹은 팔을 사용하지 않을 수 없으므로 오히려 퍼팅 동작을 더 복잡하게 만들 우려가 있다. 즉, 일반적으로 어깨-팔-손-퍼터가 일체가 된(one-pieced) 퍼팅 동작이 가장 안정되고 반복수행 가능하다고 하지만(Leadbetter, 1993; Martino, 2002; Pelz, 2000; Peper, Frank, Anderson, & Andrisani, 1997) 남자프로골퍼들은 10.94m 퍼팅 시 이런 퍼팅 동작을 수행하지 않거나 수행하지 못하고 있다는 것을 의미한다.

3. 회전중심점의 상·하방향 성분

퍼터헤드 회전중심점의 S-I 방향 위치는 <그림 5>와 같다. <그림 5> 양식은 <그림 2>와 동일하다.

10.94m 퍼팅 중 퍼터헤드 회전중심점의 S-I 방향 위치는 <그림 4>에서와 같이 다운스윙 시작과 함께 위로 움직이기 시작하여 임팩트 직전에 최대를 나타낸 후 다시 아래로 이동하는 것으로 나타났다. 이는 피험자 13명의 모든 퍼팅 동작에서 공통적으로 관찰되는 현상이다. 퍼터헤드 회전중심점의 S-I 방향 성분 최대값은

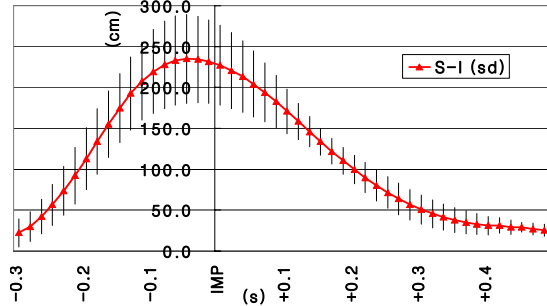


그림 5. 퍼팅 중 퍼터헤드 회전중심점의 S-I 방향 위치. x 축은 1/60 초 간격, y 축은 회전중심점의 높이, x, y 교점이 임팩트 순간이다. 퍼팅 동작 중 퍼터헤드의 S-I 방향 회전중심점 위치가 임팩트 직전에 가장 높으며 임팩트 순간 퍼터헤드 회전중심점 높이는 227.1±54.6cm로 회전중심점이 인체 외부에 있음을 보여주고 있다.

240.5±54.6cm로 임팩트 0.04±0.03s 전에 발생하였으며 임팩트 순간에는 227.1±49.0cm로 나타났다. 이를 각 피험자의 신장으로 표준화한 값은 각각 1.4±0.3HT(height), 1.3±0.3HT로 임팩트 구간에서 회전중심점이 인체 외부에 있음을 의미한다.

4. 구간별 퍼팅 소요시간, 퍼팅 스트로크 길이

10.94m 퍼팅 중 구간별 동작 소요시간 및 퍼터헤드 이동거리는 <표 1>과 같다.

위 <표 1>에서 보는 것과 같이 퍼팅 구간 별 소요시간은 백스윙(BS) 0.91±0.18s, 팔로우스루(FT) 0.46±0.07s, 다운스윙(DS) 0.33±0.03s 로 각 구간별로 통계적으로 차이가 있는 것으로 나타났으며(p<.001), 구간 별 퍼터헤드 이동거리 또한 FT가 BS, DS 보다 통계적으로 더 긴 것으로 나타났다(p<.001).

DS 소요시간을 기준으로 할 때 BS, DS, FT 소요시간 비율은 2.8 : 1.0 : 1.4로 이는 Delay, Nougier, Orliaguet, & Coello(1997)의 2.2 : 1.0 : 1.5, 박진(2001)

표 1. 퍼팅 구간별 소요시간 및 퍼터헤드 이동 거리 (n=65)

	BS	DS	FT	F-value	Scheffe
소요시간 (s)	0.91 ±0.18	0.33 ±0.03	0.46 ±0.07	490.95**	DS<FT<BS
이동거리 (cm)	33.51 ±5.83	36.16 ±6.23	53.84 ±9.68	143.00**	BS,DS<FT

***: p<.001

의 2.4 : 1.0 : 1.9와 유사한 경향이다. 진자운동은 주기와 진폭이 일정하므로 퍼터헤드 움직임 관점에서 볼 때 10.94 m 퍼팅동작은 진자운동이 아닌 것을 의미한다.

5. 퍼팅 동작

이상에서 알아본 바와 같이 퍼터헤드 회전중심점 위치 관점에서 볼 때 남자프로골퍼의 10.94m 퍼팅 동작은 진자운동이 아닌 것으로 해석된다. 또 일반적으로 알려진 것과 달리 퍼터헤드 회전중심점은 퍼팅 중 고정되어 있지 않고 움직일 뿐 아니라 임팩트 구간에서는 상·하방향 퍼터헤드 회전중심점은 신장보다 더 높은 곳에 있는 것으로 나타났다.

골프 퍼팅 수행 시 목이나 어깨 중심점을 중심으로 어깨-양팔-손-퍼터가 일체로 움직이는 것이 이상적인 퍼팅 동작처럼 보이지만 수행하기 어렵거나 실제로는 수행하지 않는 단순히 개념인 것으로 판단된다. 나아가 퍼팅 시 손을 사용하는 것은 일관성 측면에서 바람직하지 않은 것으로 알려져 있으나 실제 남자프로골퍼들은 임팩트 후에는 손을 사용하는 것으로 나타났다.

이 문제를 근원적으로 해결할 수 있는 방법은 인체의 기계적 구조에 따라 퍼팅동작을 수행하는 것으로 이론적으로(Brooks, 2002) 밝혀졌을 뿐 아니라 실제 퍼팅지도 현장(Utley, 2006)에서 사용되고 있다. 즉, 퍼팅 동작 수행 시 상체가 앞으로 기울어진 자세를 취하고 있으므로 어깨-양팔-손-퍼터가 일체로 움직이는 퍼팅동작은 자연스럽게 인체를 중심으로 원을 그리는 곡선형(in-out-in) 동작이 된다. 그러나 곡선형 퍼팅동작은 백스윙 시 클럽헤드 페이스가 목표선의 오른쪽을 향하고(오픈) 임팩트 구간에서는 점진적으로 목표선과 직각이 된 다음 임팩트 후에는 다시 목표선의 왼쪽을 향하게(클로즈드)되어 임팩트 구간에서 헤드페이스를 가능한 목표선과 직각으로 유지하려는 일반적인 퍼팅개념과 상충된다. 곡선형 퍼팅동작의 다른 문제점은 공의 위치로 공이 퍼터헤드 페이스가 목표선과 직각을 이루는 지점에 있지 않다면 완벽한 퍼팅동작에도 불구하고 공은 목표선에서 이탈할 것이다. 따라서 곡선형 퍼팅동작은 연습시간이 충분하고 언제나 동일한 자세와 동작을 취할 수 있는 뛰어난 감각을 가진 프로선수들에게 더

적합할지 모른다. 그러나 곡선형 퍼팅으로 최근 미국프로골퍼들에게 큰 영향을 미치고 있는 Utley(2006)는 직선형 퍼팅을 위해서는 손 혹은 팔을 사용해야하므로 직선형 퍼팅동작이 오히려 연습시간이 충분한 프로선수들에게 적합하다고 주장한다.

대부분 골프 지도서는 어떤 타입의 퍼팅동작을 취하던 그 동작으로 성공적인 퍼팅을 할 수만 있다면 퍼팅 타입은 중요하지 않다고 하고 있다. 실제로 짧은 거리 퍼팅은 방향이 중요하고 먼 거리 퍼팅은 거리가 더 중요하므로(Penick, 1992) Woods(2001)조차 5피트 이내 짧은 거리 퍼팅에서는 퍼터헤드를 직선으로 움직이고 5피트 이상 거리에서는 곡선형으로 퍼팅하고 있다.

따라서 손 혹은 팔을 사용해야하는 직선형 퍼팅의 장단점과 일정한 공위치가 중요한 곡선형 퍼팅의 장단점을 충분히 이해하고 이를 각 개인의 선호에 따라 선택하게 하는 것이 합리적인 퍼팅 지도방법일 것이다. 현실적으로 진자처럼 퍼팅을 수행하는 것은 어렵지만 진자 리듬과 이미지를 갖는 것은 효과적인 연습과 성공적인 퍼팅수행에 도움이 될 것이다.

IV. 결론

퍼터헤드 회전중심점 위치 관점에서 골프 퍼팅동작의 진자운동 여부를 밝히기 위하여 남자프로골퍼 13명의 10.94 m 퍼팅동작을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 퍼팅동작 중 퍼터헤드 회전중심점은 고정되어있지 않고 움직이므로 퍼터헤드 회전중심점 위치 관점에서 볼 때 퍼팅동작은 진자운동이 아닌 것으로 나타났다.
2. 퍼터헤드 회전중심점의 전·후방향 성분은 10 cm 범위 내에서 움직이는 것으로 나타났다.
3. 퍼터헤드 회전중심점의 좌·우방향 성분은 임팩트 순간까지는 변함이 없으나 임팩트 후에는 목표방향으로 약 60cm 까지 움직이는 것으로 나타났다.
4. 퍼터헤드 회전중심점의 상·하방향 성분은 다운

스윙 시작과 함께 위로 움직이기 시작하여 임팩트 직전에 최대를 나타낸 후 다시 아래로 이동하는 것으로 나타났으며 임팩트 구간에서 퍼터헤드 회전중심점 높이는 220 cm 이상으로 회전중심점이 인체 외부에 있는 것으로 나타났다.

참고 문헌

박진(2001). 퍼팅 스트로크에서 퍼터의 움직임에 관한 운동학적 분석. *한국운동역학회지*, 9(2), 184-193.

박태진(2007). *남자 프로골퍼들의 퍼팅 거리에 따른 퍼팅 동작의 운동학적 분석*. 미간행 석사학위논문. 부산대학교 대학원.

Beilcock, S. L., Afremow, J. A., Rabe, A. L., & Carr, T. H. (2002). Don't miss! The debilitating effects of suppressive imagery on golf putting performance, *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 23, 200-221.

Brooks, R.J. (2002). Is it a pendulum, is it a plane?-mathematical models of putting. In Eric Thain (Ed) *Science and Golf IV*, Proceedings of the World Scientific Congress of Golf. p 127-141. Padstow, GB: TJ International Ltd.

Cochran, A., & Stobbs, J. (1968). *Search for the perfect swing*. Chicago, IL: Triumph Books.

Delay, D., Nougier, V., Orliaguet, J.P., & Coello, Y. (1997). Movement control in golf putting. *Human Movement Science*, 16, 597-619.

Greenwood, D. Y. (1988). *Principles of Dynamics (2nd ed)*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.

Jacobs, J. (1999). *50 greatest golf lessons of the century*. New York, NY: Harper Collins Publishers, Inc.

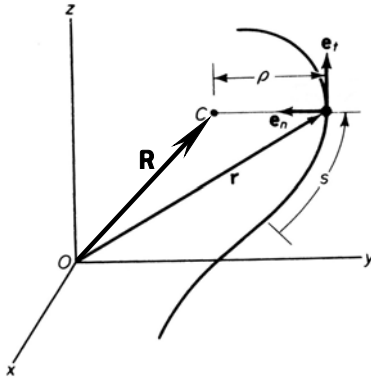
Leadbetter, D. (1993). *David Leadbetter's Faults and Fixes*. New York, NY: HarperCollins Publishers, Inc.

Martino, R. (2002). *The PGA manual of golf revised and updated*. New York, NY: Warner Books.

- McLean, J. (2005). *The 3 scoring clubs: how to raise the level of your driving, pitching, and putting*. New York, NY: Gotham Books.
- Nicklaus, J. (2002). *My Golden Lessons*. New York, NY: Simon & Schuster.
- Pelz, D. (2000). *Dave Pelz's putting bible*. New York, NY: Doubleday.
- Penick, H. (1992). *Harvey Penick's little red book*. New York, NY: Simons & Schuster.
- Peper, G. (2005). *The secret of golf*. New York, NY: Workman Publishing Company, Inc.
- Peper, G., Frank, J. A., Anderson, L., & Andrisani, J. (1997). *Golf magazine's complete book of golf instruction*. New York, NY: Harry N. Abrams, Inc.
- Taylor, J. A., & Shaw, D. F. (2002). The effect of outcome imagery on golf-putting performance, *Journal of Sports Science*, 20, 607-613.
- Toski, B., & Flick, J. (1984). *How to become a complete golfer*. Trumbull, CT; Golf Digest/Tennis, Inc.
- Utey, S. (2006). *The art of putting: revolutionary feel-based system for improving your score*. New York, NY: Gotham Books.
- Wegner, D. M., Ansfield, M., & Pilloff, D. (1998). The putt and the pendulum: Ironic effects of the mental control of action. *Psychological Science*, 9(3). p. 196-199.
- Woods, T. (2001). *How I play golf*. New York, NY: Warner Books, Inc.

투 고 일 : 4월 30일
심 사 일 : 5월 14일
심사완료일 : 6월 10일

Appendix.



3차원 공간에서 곡선운동 중인 점의 위치벡터 \vec{r} 의 회전반경 ρ

$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ 일 때, unit tangent vector \vec{e}_t 는

$$\vec{e}_t = \frac{d\vec{r}}{ds} \quad (\text{식 1})$$

$$\begin{aligned} &= \frac{d\vec{r}}{dt} \frac{dt}{ds} \\ &= (\dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k}) \frac{dt}{ds} \\ &= \frac{\dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}} \quad (\text{식 2}) \end{aligned}$$

$$(\because \vec{e}_t \cdot \vec{e}_t = 1 = (\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) \left(\frac{dt}{ds}\right)^2, \therefore \frac{dt}{ds} = \frac{1}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}) \quad (\text{식 3})$$

(식 1), (식 2), (식 3) 으로부터

$$\frac{d\vec{e}_t}{ds} = \frac{d\vec{e}_t}{dt} \frac{dt}{ds}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(\ddot{x}\vec{i} + \ddot{y}\vec{j} + \ddot{z}\vec{k}) \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} - (\dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k}) \frac{(2\dot{x}\ddot{x} + 2\dot{y}\ddot{y} + 2\dot{z}\ddot{z})}{2\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}}{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} \frac{1}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(\ddot{x}\vec{i} + \ddot{y}\vec{j} + \ddot{z}\vec{k})(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) - (\dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k})(\dot{x}\ddot{x} + \dot{y}\ddot{y} + \dot{z}\ddot{z})}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} (\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2)} \frac{1}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}} \end{aligned}$$

$\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2 = A$, $\dot{x}\ddot{x} + \dot{y}\ddot{y} + \dot{z}\ddot{z} = B$ 로 두면

$$\begin{aligned}
 \frac{d\vec{e}_t}{ds} &= \frac{A(\ddot{x}\vec{i} + \ddot{y}\vec{j} + \ddot{z}\vec{k}) - B(\dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k})}{A^2} \\
 \left| \frac{d\vec{e}_t}{ds} \right|^2 &= \left| \frac{A(\ddot{x}\vec{i} + \ddot{y}\vec{j} + \ddot{z}\vec{k}) - B(\dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k})}{A^2} \right|^2 \\
 &= \frac{1}{A^4} |(A\ddot{x} - B\dot{x})\vec{i} + (A\ddot{y} - B\dot{y})\vec{j} + (A\ddot{z} - B\dot{z})\vec{k}|^2 \\
 &= \frac{1}{A^4} \{ (A\ddot{x} - B\dot{x})^2 + (A\ddot{y} - B\dot{y})^2 + (A\ddot{z} - B\dot{z})^2 \} \\
 &= \frac{1}{A^4} \{ A^2(\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2 + \ddot{z}^2) - 2AB(\dot{x}\ddot{x} + \dot{y}\ddot{y} + \dot{z}\ddot{z}) + B^2(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) \} \\
 &= \frac{1}{A^4} \{ A^2(\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2 + \ddot{z}^2) - 2AB^2 + AB^2 \} \\
 &= \frac{1}{A^3} \{ A(\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2 + \ddot{z}^2) - B^2 \} \\
 &= \frac{1}{A^3} \{ (\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2)(\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2 + \ddot{z}^2) - (\dot{x}\ddot{x} + \dot{y}\ddot{y} + \dot{z}\ddot{z})^2 \} \\
 &= \frac{1}{A^3} \{ (\dot{x}^2\ddot{y}^2 - 2\dot{x}\ddot{x}\dot{y}\ddot{y} + \dot{y}^2\ddot{x}^2) + (\dot{x}^2\ddot{z}^2 - 2\dot{x}\ddot{x}\dot{z}\ddot{z} + \dot{z}^2\ddot{x}^2) + (\dot{y}^2\ddot{z}^2 - 2\dot{y}\ddot{y}\dot{z}\ddot{z} + \dot{z}^2\ddot{y}^2) \} \\
 &= \frac{1}{A^3} \{ (\dot{x}\ddot{y} - \dot{y}\ddot{x})^2 + (\dot{x}\ddot{z} - \dot{z}\ddot{x})^2 + (\dot{y}\ddot{z} - \dot{z}\ddot{y})^2 \} \\
 &= \frac{(\dot{x}\ddot{y} - \dot{y}\ddot{x})^2 + (\dot{x}\ddot{z} - \dot{z}\ddot{x})^2 + (\dot{y}\ddot{z} - \dot{z}\ddot{y})^2}{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2)^3} \quad (\text{식 4})
 \end{aligned}$$

(식 1)에서 $\frac{d\vec{e}_t}{ds} = \frac{d^2\vec{r}}{ds^2} = \frac{1}{\rho}\vec{e}_n$ 이므로

(ρ : 회전반경, \vec{e}_n : 회전중심점으로 향하는 단위 법선벡터)

식(4)에서

$$\therefore \frac{1}{\rho} = \left| \frac{d\vec{e}_t}{ds} \right| = \frac{\sqrt{(\dot{x}\ddot{y} - \dot{y}\ddot{x})^2 + (\dot{x}\ddot{z} - \dot{z}\ddot{x})^2 + (\dot{y}\ddot{z} - \dot{z}\ddot{y})^2}}{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2)^{\frac{3}{2}}}$$