



## 퍼팅 스트로크에서 퍼터의 선 운동량 크기에 따른 볼의 이동 속도 변화에 관한 연구

### Ball Velocity Changes Depending on the Different Linear Momentum of Putter Head during the Putting Strokes

박진\* (서울여자대학교)

Park, Jin\* (Seoul Women's University)

---

#### ABSTRACT

**J. PARK, Ball Velocity Changes Depending on the Different Linear Momentum of Putter Head during the Putting Strokes.** *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol. 17, No. 4, pp. 83-88, 2007. The purpose of this study was to investigate the ball velocity changes depending on the different linear momentum of putter head. For this study, two different moving conditions (25cm free fall and 35cm free fall) of putter head were set. And two different types of ground conditions were used which are artificial grass green (180cm x 600cm x 1cm) and glass green (40cm x 130cm x 1cm). Movements of putter head and ball were recorded with 2 HD video cameras (60 Hz, 1/500s shutter speed). Small size control object (18.5cm x 18.5cm x 78.5cm) was used in this study. Ball and putter head velocities were calculated by the First Central Difference Method (Hamill & Knutzen, 1995). Linear momentum of ball and putter head were calculated with mass and its velocities. Before impact, the velocity of the putter head of 35cm free fall was about 30% greater than that of the putter head of 25cm free fall. Linear momentum of putter head of 35cm free fall was about 0.355-0.364 kg · m/s and 25cm free fall was 0.251 kg · m/s. After impact, putter head lost its linear momentum about 14-19% and adjusting time of putter head after impact would be 0.1 second. After 0.1 second, putter moved the route same as before impact. Maximum ball velocities were appeared 0.08s-0.10s after impact no matter what the ground conditions are. Ball velocities struck by 35cm free fall were 30% faster than 25cm free fall. Linear momentum of ball struck by putter head was greater than that of expected amount because the moving ball has translational energy and rotational energy. Future study must treat three things. One is ball must struck by the different putters with different materials. Another is two-piece ball and three-piece ball should be used for the same condition studies. The other is height of center of rotation of club should be changed. In this study, the height of center of rotation of club head is 71cm from the ground. But recently many golfers used the long putter. Therefore next study should apply the different height of center of rotation of club head.

KEYWORDS : LINEAR MOMENTUM, PENDULUM PUTTING MACHINE, PUTTING STROKE, VELOCITY, MASS

---

## I. 서론

퍼팅 스트로크에서 볼의 이동거리는 퍼터가 갖고 있는 운동량의 크기에 따라 결정된다. 이때 퍼터의 선 운동량(linear momentum)은 퍼터의 질량(mass)과 속도(velocity)의 곱(product)으로 나타낼 수 있다. 움직이는 퍼터가 갖고 있는 운동량은 볼과의 충돌을 통하여 볼에 전달되며, 이 후에 퍼터와 볼의 운동량으로 분산되어 나타난다. 결과적으로 볼의 이동 거리는 질량이 일정한 퍼터 보다는 변화하는 헤드의 이동 속도에 더 큰 영향을 받게 된다. 이러한 일련의 과정은 운동량 보존의 법칙으로 설명이 가능하며, 볼이 어디로 얼마만큼 이동할 것이라는 추측이 가능하다. 두 물체가 충돌하는 스포츠인 퍼팅 스트로크의 경우 두 물체의 충돌 후 변화를 바르게 예측하는 것은 스포츠 능력을 향상시킬 수 있는 중요한 변인이라 할 수 있다.

골프에서 퍼팅 스트로크의 연구는 운동역학 분야에서 일반적으로 골퍼의 움직임을 운동학적(Bowen, 1968; Burden, Grimshaw, & Wallace, 1998; 정철수, 신인식, 은선덕 과 임비오, 1999; 박진, 2000; 김무영 과 김서영, 2004; 박태진, 염창홍, 박영훈, 손승, 서국웅, 서국은, 2007) 혹은 운동역학적(최성진 과 박종진, 2002) 관점에서 분석을 한다. 그러나 운동역학 이외의 분야에서도 여러 연구자에 의해 다양한 연구가 시도되었다. 예를 들어 Mahoney(1982)는 적극적인(aggresive) 퍼팅과 소극적인(defensive) 퍼팅에서 나타나는 볼의 변화 현상을 이론적으로 분석하였고, Delay, Nougier, Orliaguet, & Coello(1997)는 퍼팅 스트로크에서 충돌 과정 중에 힘이 어떻게 제어되는지에 관하여 연구하였다. 박승하(2006)는 골프 퍼팅을 수행할 때 나타나는 시선 행동과 퍼팅동작의 효율성간의 관계를 규명하였고, Penner(2002)는 경사면 상에서 볼이 구르는 마지막 구간에서 성공적인 수행이 되기 위한 충돌의 조건을 모델화하여 제시하였다. 그리고 Holmes(1991)는 볼이 홀에 접근했을 때 나타나는 볼과 홀과의 상호작용 현상을 컴퓨터를 이용하여 예측하였다.

한편 Cochran & Stobbs(1968)는 퍼팅 스트로크가 진자처럼 움직인다는 가정 아래 진자퍼팅장치를 만들어서 퍼팅에서 일어나는 볼 움직임의 다양한 현상을

규명하였다. Pelz(2000) 역시 Perfy라 명명된 진자퍼팅기를 이용하여 볼의 움직임뿐만 아니라 클럽의 충돌지점에 따른 볼의 결과에 관하여도 분석을 시도하였다. 박진(2006)도 진자퍼팅기(Pendulum Putting Machine, PPM)를 개발하여 동일한 조건에서 볼을 스트로크 하였을 때 나타나는 볼의 반응을 연구하였다. 이러한 연구의 장점은 반복 실험에 의한 오차가 비교적 적으면서, 퍼팅 스트로크에서 나타나는 역학적인 현상을 파악하는데 큰 도움을 준다는 것이다.

본 연구의 목적은 퍼터가 갖고 있는 운동량의 크기가 볼에 전달된 후에 볼에 나타나는 속도의 변화를 살펴보는 데 있다. 퍼팅 스트로크의 경우에는 움직이는 퍼터가 운동량을 갖고 있으며, 볼과의 충돌을 통하여 퍼터의 운동량이 볼에 전달된다. 이때 전달된 운동량의 크기에 따라 볼의 이동거리가 정해지게 되는데, 이러한 일련의 과정은 운동량보존의 법칙에 따라 증명된다. 즉, 퍼터가 볼과 충돌하면서 손실하게 되는 운동량의 크기는 약간의 마찰력을 제외하고는 그대로 볼에 전달되며, 볼이 어디로 얼마만큼 이동할 것인지에 대한 추측이 가능하다. 두 물체가 충돌하는 스포츠인 퍼팅 스트로크의 경우 두 물체의 충돌 후 변화를 바르게 예측하는 것은 스포츠 능력을 향상시킬 수 있는 중요한 변인이라 할 수 있다.

## II. 연구방법

### 1. 실험내용

본 실험에서는 반복되는 실험조건에서 클럽이 볼에 일정한 운동량을 전달하도록 진자퍼팅기를 활용하였다. 진자퍼팅기는 자체 개발한 것으로 지면에서의 크기는 75cm이고, 질량은 10kg, 지면에서 회전의 축까지 거리는 71cm이다. 축에는 베어링이 장착되어있어서 마찰력을 최대한 줄이면서 회전운동을 할 수 있다. 실험 시 볼과의 충돌에 의한 진자퍼팅기의 위치변화를 고려하여 약 20kg의 물체로 진자퍼팅기를 고정시켰다. 그리고 진자퍼팅기에 퍼터(전체질량 0.447kg, 헤드 질량

0.314kg)를 고정시킨 다음 볼(two-piece, 0.046kg)을 항상 동일한 지점에서 스트로크 하도록 하였다.

실험은 두 가지 방향에서 접근 하였다. 하나는 운동량의 차이이며, 다른 하나는 마찰력의 차이이다. 운동량의 차이를 두기 위해 퍼터헤드를 후방으로 이동 변위 25cm와 35cm 서로 다른 두 가지의 거리로 나누어서 실험하였다. 즉, 변위가 큰 35cm의 경우에는 진자운동을 하는 퍼터 헤드가 최저점에서 빠르게 움직이므로 큰 운동량을 갖은 상태에서 볼과 충돌할 것이며, 변위가 작은 25cm의 경우에는 퍼터 헤드가 최저점에서 작은 운동량을 갖고 볼과 충돌한다. 그리고 다른 하나는 마찰력의 차이를 두기 위해 볼이 구를 때 비교적 거칠고 마찰력이 큰 인조 잔디(180cm x 600cm x 1cm)와, 반면에 매끄럽고 마찰력이 비교적 작은 유리판(40cm x 130cm x 1cm)으로 하였다(박진, 2003).

모든 실험은 H대학교의 운동역학실험실에서 진행하였다. 두 대의 60 Hz HD 비디오카메라(HDV 1080i, Sony)를 정면과 측면에 설치하였다. 자료 수집 시 카메라의 노출시간은 1/500s로 하였다. 볼과 클럽 헤드의 이동자료를 수집하기 위하여 18.5cm x 18.5cm x 78.5cm 크기의 통제점들을 사용하였고, 두 카메라를 동조시키기 위하여 램프 인디케이터를 이용하였다. 볼은 항상 동일한 위치에 놓일 수 있도록 진자를 멈춘 후에 볼의 위치를 고정하였다. 실험의 방법은 진자퍼팅기가 정지 상태에 있는 최저점 앞에 볼을 놓고 퍼터를 후방으로 항상 25cm와 35cm 이동시킬 수 있는 고정물체를 놓은 다음에, 퍼터를 검지 손가락으로 가볍게 이동시킨 다음 자유낙하 시켜서 볼에 운동량을 전달하는 방식을 활용하였다. 모든 실험은 동일하게 진행되었고, 지면조건의 순서는 잔디에서 먼저 한 다음에 유리에서 실험을 하였다. 각각의 실험은 5회씩 반복하여 동일하게 진행하였다.

자료의 수집은 퍼터의 경우 자유낙하를 시작하는 시점부터 임팩트 직후 퍼터가 방향을 바꾸는 지점까지로 하였으며, 볼은 움직이기 직전부터 통제점들 내에서의 움직임 한계인 50cm 이내로 하였다.

## 2. 자료처리

각각의 실험에서 얻은 두 카메라의 자료를 램프 인

디케이터의 최초 불빛을 기준으로 동조시켰다. 두 대의 영상자료는 Kwon3d 3.0 프로그램을 이용하여 3차원 좌표값을 산출하였다. 디지털이징을 통하여 산출된 기본자료(raw data)는 퍼터의 스위트 스폿(sweet spot)의 움직임 전 구간과 볼의 약 50cm 움직임이다. 각각 5회 반복된 실험 자료를 Hamill 과 Knutzen(1995)이 제시한 First Central Difference Method로 볼과 퍼터헤드의 속도를 계산하였다. 그리고 평균과 표준편차를 계산하고 이를 비교, 분석하였다(박진, 2007).

## III. 결과 및 논의

### 1. 퍼터의 이동

볼에 운동량을 전달하는 퍼터 헤드의 일정한 이동속도는 본 실험의 신뢰도를 높여주는 중요한 요소이다. 따라서 박진(2006)이 최근 개발한 진자퍼팅기를 활용하였다. 진자퍼팅기는 동일한 지점에서 반복적으로 볼과 충돌 하였을 때 높은 속도반복의 일치성을 보여주었다.

<그림 1>은 퍼터가 충돌하기 전 5 프레임(약 0.08초)에서부터 충돌 후 10 프레임(약 0.17초)까지의 이동속도 변화를 나타낸 것이다. <표 1>은 퍼터를 25cm와 35cm 후방으로 이동시킨 다음, 자유낙하를 시켰을 때

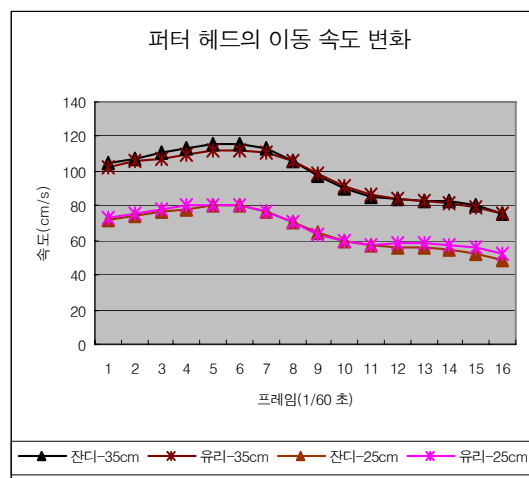


그림 1. 퍼터의 두 가지 이동조건에서 나타난 속도변화

표 1. 퍼터가 볼과 충돌 시 속도 (cm/s)

지면조건	이동거리	속도 (cm/s)	
		25cm 후방에서 자유낙하	35cm 후방에서 자유낙하
잔디	M	80	116
	sd	1.6	1.9
유리	M	80	113
	sd	4.0	1.1

표 2. 퍼터가 볼과 충돌 시 운동량 (kg·m/s)

지면조건	이동거리	운동량 (kg·m/s)	
		25cm 후방에서 자유낙하	35cm 후방에서 자유낙하
잔디	M	0.251	0.364
	sd	0.0049	0.0061
유리	M	0.251	0.355
	sd	0.0125	0.0034

볼과 충돌하는 시점에서의 속도 크기를 나타낸 것이다. 그리고 <표 2>는 충돌 시 퍼터헤드가 갖고 있는 운동량의 크기이다.

퍼터는 진자운동의 최저점에서 가장 큰 속도의 크기를 보여주었다. <그림 1>에 의하면 충돌 전 5 프레임에서 충돌 지점까지의 퍼터의 이동 속도 변화는 비교적 완만하게 증가하고 있으나, 충돌에서 충돌 후 5 프레임까지는 퍼터헤드의 속도가 급격히 감소하는 경향을 보여주고 있다. 이는 충돌 후에 퍼터의 운동량 일부가 볼로 전이되었음을 알 수 있다. 충돌 전 5 프레임(약 충돌 전 0.08초)에서의 속도크기는 최대속도의 90% 이던 것이, 볼과 충돌 후 5프레임(약 충돌 후 0.08초)에서 퍼터의 속도는 최대속도의 71-76%까지 저하를 보였다. 즉, 퍼터의 운동량 일부분이 볼에 전달되어 움직임을 일으켰다고 볼 수 있고, 이때 퍼터에서 손실된 운동량의 크기는 전체 퍼터헤드가 가지고 있는 운동량의 약 14-19% 가량이다. 물론 충돌시의 소리에너지와 열에너지에 의한 손실과 공기저항, 그리고 마찰력은 없는 것으로 가정된 상태에서의 결과 값이다.

퍼터가 최저점에서 갖는 볼과의 충돌 시 속도는 <표 1>과 같으며 선운동량을 산출하기 위하여 헤드의 질량(0.314kg)을 곱하여 산출한 퍼터의 최저점 운동량 즉, 퍼터헤드의 충돌 시 운동량은 <표 2>와 같다. 충돌이라는 동일한 시점에서 볼 때 35cm에서 자유낙하 한 퍼터가 25cm 보다 약 30% 정도 더 많은 운동량을 갖고 있는 것으로 사료된다. 따라서 동일한 질량의 볼

(0.046kg)에 영향을 미치는 경우에 35cm에서 자유낙하 한 퍼터가 더 큰 충격을 볼에 줄 수 있으며, 이동 역시 더 멀리 시킬 수 있다. 퍼터가 운동량을 전달하는 과정이 끝나면 원래의 움직임으로 돌아와서 다시 진자운동을 계속 하는 것으로 판단된다. 즉, 퍼터가 운동량을 볼에 전달하고 다시 원래의 운동 형태로 돌아오는데 약 0.1초가량 소요되는 것으로 판단된다.

## 2. 충돌 후 볼의 속도 변화

<그림 2>는 볼이 퍼터헤드와 충돌한 후부터 약 0.3 초 동안 진행된 볼의 속도 변화 양상을 나타내고 있다. <표 3>은 퍼터와 충돌 후 볼이 갖게 되는 최대속도의 크기를 보여주는 것이며, <표 4>는 충돌 후 볼이 가질 수 있는 최대운동량의 크기이다.

볼은 충돌 후 초반에 급격한 속도의 증가를 보이며, 약 0.08-0.10초 지점에서 최대속도를 나타내고 그 후로 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 속도 감소는 25cm와 35cm 자유낙하의 경우 모두 유리가 잔디보다 마찰력의 영향을 덜 받는 것으로 나타났다.<그림 2>. 잔디 조건에서 25cm 자유낙하와 35cm 자유낙하를 비교하면, 25cm 자유낙하에 의해 타격된 볼이 35cm 자유낙하에 의해 타격된 볼보다 약 30% 정도 느린 최대속도로 이동하였다. 유리조건에서도 역시 25cm 자유낙하에 의해 타격된 볼이 35cm 자유낙하에 의해 타격된 볼보

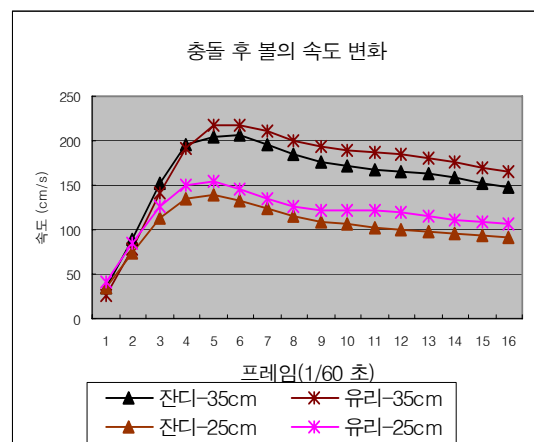


그림 2. 충돌이 일어난 후 볼의 속도변화

표 3. 충돌 후 볼의 최대속도 (cm/s)

지면조건 \ 이동거리		25cm 후방에서 자유낙하	35cm 후방에서 자유낙하
잔디	M	139	207
	sd	1.0	2.8
유리	M	154	218
	sd	2.1	2.4

표 4. 충돌 후 볼의 최대 운동량 (kg·m/s)

지면조건 \ 이동거리		25cm 후방에서 자유낙하	35cm 후방에서 자유낙하
잔디	M	0.064	0.095
	sd	0.0005	0.0015
유리	M	0.071	0.100
	sd	0.0011	0.0024

다 약 30% 정도 느린 최대속도로 이동하였다<그림 2>, <표 3>. 운동량도 질량과 속도의 관계이므로 동일한 운동량의 차이를 보였다<표 4>. 퍼터가 볼에 전달하는 운동량의 크기가 약 14-19% 가량일 경우 35cm 자유낙하의 경우 0.050-0.069kg·m/s이고 25cm 경우에는 0.035-0.048kg·m/s 이어야 하는데 실제 <표 4>에 나타난 최대운동량의 크기는 35cm 자유낙하의 경우에는 0.095-0.100kg·m/s, 25cm 자유낙하에서는 0.064-0.071kg·m/s의 운동량을 나타내었다. 이러한 결과는 볼이 구를 때 병진에너지만 갖고 있는 것이 아니라 회전운동 에너지도 동시에 갖고 있기 때문인 것으로 사료된다 (Mahoney, 1982).

#### IV. 결론

본 연구는 퍼터가 갖고 있는 선운동량의 크기 차이에 따라 볼의 이동속도가 어떻게 변화하는지를 연구하는 것이 주된 목적이다. 이를 위해서 실험을 두 가지 방향에서 접근하였다. 하나는 충돌 시 전달하는 운동량의 차이이며, 다른 하나는 마찰력의 차이이다. 퍼터의 운동량 차이는 자유낙하의 이동거리를 25cm와 35cm 두 가지로 하였으며, 마찰력의 차이는 지면의 조건을 인조잔디와 유리로 하였다. 두 대의 60 Hz HD 비디오 카메라를 이용하여 볼과 클럽헤드의 움직임을 기록하

고, Kwon3d 3.0 프로그램을 이용하여 3차원 좌표값을 산출하였다. Hamill 과 Knutzen(1995)이 제시한 First Central Difference Method 방법으로 퍼터헤드와 볼의 속도를 계산하고, 헤드의 질량과 볼의 질량을 이용하여 헤드와 볼의 운동량을 계산하였다. 본 실험의 결과에 따르면 충돌 시 퍼터의 운동량의 차이는 35cm 자유낙하가 25cm 자유낙하보다 약 30% 정도 더 큰 운동량을 갖고 있다. 퍼터는 볼과 충돌한 후 약 14-19%의 운동량을 손실하는 것으로 나타났다. 그리고 원래의 운동 형태로 돌아오는데 약 0.1초의 시간이 소요되었다. 충돌 후 볼의 속도는 퍼터의 운동량이 클수록 크게 나타났으며 그 차이는 약 30%로 퍼터의 운동량 차이와 일치하였다. 볼의 운동량은 퍼터로부터 받은 운동량보다 크게 나타났는데 볼의 움직임은 병진에너지 뿐만 아니라 회전에너지도 동시에 갖고 있기 때문이다.

#### 참 고 문 헌

김무영, 김서영(2004). 골프 퍼팅 스트로크에 대한 운동학적 변인 분석. **한국스포츠리서치**, 15(5), 1775-1784.

박승하(2006). 골프퍼팅에서의 시선 행동과 동작 제어. **체육과학연구**, 17(2), 72-83.

박 진(2000). 골프 퍼팅 스트로크의 구간별 소요시간 분석. **한국운동역학회지**, 9(2), 187-193.

박 진(2003). 퍼팅 스트로크의 충돌과정에서 나타난 퍼터헤드와 볼의 운동에너지 변화분석. **한국운동역학회지**, 13(2), 175-183.

박 진(2006). 퍼팅 스트로크 실험용 전자퍼팅기 개발. **한국운동역학회지**, 16(4), 147-152.

박 진(2007). 충돌 후 지면 조건에 따른 다양한 볼의 속도변화에 관한 연구. **한국운동역학회지**, 17(1), 091-1097.

박태진, 염창홍, 박영훈, 손승, 서국웅, 서국은(2007). 숏 퍼팅과 롱 퍼팅 시 퍼터헤드와 신체 정열의 운동학적 분석. **한국운동역학회지**, 17(3), 51-60.

정철수, 신인식, 은선덕, 임비오(1999). 전후면과 좌우면상

- 에서의 골프 퍼팅 동작이 정확성에 미치는 영향, *서울대학교 체육연구소논집*, 20(2), 13-18.
- 최성진, 박종진(2002). 골프 퍼팅 스윙시 성공과 실패에 따른 운동역학적 분석, *한국운동역학회지*, 12(2), 279-293.
- Bowen, R.T.(1968). Putting errors of beginning golfers using different points of aim, *The Research Quarterly*, 39(1), 31-35.
- Burden, A.M., Grimshaw, P.N., & Wallace, E.S.(1998). Comparing two putting styles for putting accuracy, *Perceptual and Motor Skills*, 76(2), 387-390.
- Cochran, A., & Stobbs, J.(1968). *The Search for the Perfect Swing*. Philadelphia, PA: J.B. Lippincott Co.
- Delay, D., Nougier, V., Oriaguet, JP, & Coello, Y.(1997). Movement control in golf putting. *Human Movement Science*, 16, 597-619.
- Hamil, J., & Knutzen, K.M.(1995). *Biomechanical Basis of Human Movement*, PA: Williams & Wilkins.
- Holmes, B.W.(1991). Putting: How a golf ball and hole interact. *American Journal of Physics*. 59(2), 129-136.
- Mahoney, J.F.(1982). Theoretical analysis of aggressive golf putts. *Research Quarterly*, 53(2), 165-171.
- Pelz, D.(2000). *Dave Pelz's Putting Bible*, NY: Doubleday.
- Penner, A.R.(2002). The physics of putting. *Canadian Journal of Physics*, 80, 1-14.

투 고 일 : 10월 31일  
심 사 일 : 11월 6일  
심사완료일 : 12월 3일