



한국운동역학회지, 2003, 제13권 2호, pp. 175-183  
Korean Journal of Sport Biomechanics  
2003, Vol. 13, No. 2, pp. 175-183

## 퍼팅 스트로크의 충돌과정에서 나타난 퍼터헤드와 볼의 운동에너지 변화 분석

박 진\*(서울여자대학교)

### ABSTRACT

#### Changes of the Kinetic Energy of Putter Head and Ball Movements during the Process of Impact

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

Park, J. Changes of the Kinetic Energy of Putter Head and Ball Movements during the Process of Impact. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 13, No. 2, pp. 175-183. The purpose of this study was to analyze the kinetic energy of putter head and ball movements during the process of impact. Highly skilled 5 golfers(less than 1 handicap) participated in this study and the target distance was 3 m. Movements of ball and putter head were recorded with 2 VHS video cameras(60 Hz, 1/500 s shutter speed). Small control object(18.5 x 18.5 x 78.5 cm) was used in this study. Analyzing the process of impact, putter was digitized before 0.0835 s and after 0.0835 s of impact. Ball was digitized 0.1336 s after impact. The results showed that the maximum speed was appeared at impact and prolonged for a while. Contact point of the club head was within 0.7 cm to the z axis. After contacting the club head, the ball was moved above the ground level(slide) and returned to the ground with sliding and rolling. After contacting the ground, the speed of ball was relied on the surface of the ground. During impact, 70 % of kinetic energy of club head has been transferred to the ball.

**KEY WORDS :** putting stroke, impact, kinetic energy, translation, rotation

이 논문은 2003년도 서울여자대학교 교내 특별과제연구비에 의해 연구된 것임.  
2003년 7월 1일(화) 접수

\* 부교수, 139-774 서울시 노원구 공릉2동 126번지 서울여자대학교 체육학과  
연락처 : jpark@swu.ac.kr Tel : 02-970-5688

## I. 서론

퍼팅 스트로크는 목표지점인 홀(hole)에 볼을 정확하게 보내는 기술이다. 이를 위해서 퍼터 헤드는 정해진 방향으로, 목표거리에 알맞은 수준의 에너지를 볼에 전달하여야 한다. 퍼팅을 시도할 때 주로 사용되는 전략은 흔히 두 가지로 구분해 볼 수 있다. 첫 번째 방법은 방어적인(defensive) 퍼팅이다. 이것은 거리가 멀거나 혹은 난이도가 높은 경우에 볼이 홀드(holed)되는 것을 목적으로 하지 않고, 홀의 주변에 있게 함으로써 다음 퍼팅에서는 반드시 성공시키는 것을 목적으로 한다. 두 번째 방법은 공격적인(aggressive) 퍼팅이다. 이것은 거리가 적절하게 짧거나 난이도가 낮은 경우에 시도하는 것으로서, 실패의 경우를 생각하지 않고 볼이 홀드 되는 것을 목적으로 한다(Mahoney, 1982). 두 방법 중에서 어느 것을 선택한다 하더라도 중요한 것은 볼의 진행방향과 운동에너지이며, 스트로크의 결과는 클럽헤드와 볼이 어떻게 충돌(impact)하느냐에 달려있다.

두 물체의 충돌에 관한 고전적 이론은 에너지와 운동량 보존의 법칙으로 설명되며, 구체적인 탄성체의 변형에 관계없이 충돌 전 속도의 크기로 충돌 후의 속도를 예측할 수 있다(Maw, Barber, & Fawcett, 1981). 퍼팅의 경우에도 이러한 이론적인 접근이 가능하나, 충돌의 결과로 나타나는 볼의 움직임은 병진(translation)과 회전(rotation)이 동시에 나타나기 때문에 볼의 운동에너지를 얻고자 할 때는 두 가지를 모두 고려해야 한다(Mahoney, 1982).

골프에서 충돌에 관한 연구는 상당히 많이 그리고 다양한 형태로 이루어졌다. Cochran 과 Stobbs(1968)는 퍼팅에서 클럽헤드와 볼이 접촉하는 시간이 0.5 ~ 0.8 ms 인 것으로 보고하였다. Gobush(1990)는 압력판에 볼을 충돌시킨 후에 이 때에 나타난 접선력과 법선력을 측정하였다. 그 이외에도 Scheie(1990)는 충돌 후에 볼이 갖게 되는 가속도 값에 관하여 연구하였고, Iwata, Okuto and Satoh(1990)는 볼과 클럽헤드의 접촉시간을 재질을 고려하여 실험하였고, Ujishashi(1994)는 클럽의 질량에 따른 충돌의 영향에 관하여, Chou, Liang, Yang and Gobush(1994)도 클럽의 질량에 따른 충돌의 영향과 마찰계수의 크기에 관하여 연구결과를 보고하였다.

퍼팅 스트로크는 평평한 퍼터의 면과 둥그런 완전구형의 볼이 충돌하는 현상이다. 이때 퍼터는 자신이 갖고 있는 운동에너지를 볼에 전달하기 때문에 충돌과정을 분석하는 것은 퍼팅 스트로크를 이해하는데 매우 중요하다고 할 수 있다. 그러나 퍼터 헤드와 볼의 충돌과정에서 나타나는 운동에너지 변화에 관련된 연구는 아직 많이 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구는 퍼터 헤드와 볼이 충돌 과정에서 어떤 운동에너지의 변화를 보이는지 알아보는데 그 목적이 있다. 그리고 퍼팅에서 중요하게 고려해야 할 사항이 지면의 마찰이다. 만약 마찰의 크기를 최소화시킨다면, 볼이 받게 되는 운동에너지의 크기는 어떻게 나타날 것인가 하는 문제도 본 연구에서는 중요하게 다루어졌다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구대상

본 연구에 참여한 대상은 기량이 뛰어난 프로골퍼 5명이다. 피험자들은 모두 오른손잡이이며, 퍼팅 역시 같은 방향에서 수행하였다. 피험자들의 신체적인 조건과 특성은 신장이 175 cm ( $\pm 2.7$ ), 질량 71 kg ( $\pm 4.5$ ), 경력 7 yrs ( $\pm 2.5$ ), 핸디캡 1 str ( $\pm 1.6$ ) 이었다.

### 2. 실험내용

모든 실험은 S여대의 실내실험실에서 이루어졌다. 본 실험을 위하여 약 10 cm 높이의 스트로플판을 놓고 그 위에 인조잔디를 깔았다. 그리고 볼에서 3 m 되는 지점에 지름 10.8 cm, 깊이 10 cm 크기의 홈을 만들었다. 실험의 다른 조건인 마찰력이 최소화 된 상태에서의 충돌현상을 관찰하기 위하여 유리판(130 x 40 x 1 cm)과 식용기름을 준비하였다.

실험에 사용된 클럽은 국내산으로 전체질량이 447 g 이며, 헤드의 질량은 314 g 이었다. 볼은 미국골프협회의 인정을 받은 제품으로 완전구형이며 질량은 46 g 이다. 퍼터 헤드의 움직임을 관찰하기 위하여 스위트 스폿(sweet spot)으로부터 토(toe)와 힐(heel) 쪽으로 4 cm 떨어진 지점에 지름 1 cm 크기의 마커를 부착하였다. 따라서 퍼팅에서 가장 중요한 스위트 스폿의 움직임은 토와 힐 쪽에 있는 두 마커의 평균값으로 계산이 가능하게 하였다.

실험 전에 피험자들은 인조잔디의 특성을 파악하기 위하여 충분한 시간을 갖고 연습을 수행하였다. 연습이 끝난 후에 바로 실험으로 들어갔으며, 순서는 무순으로 하였다. 볼이 놓이는 지점에 통제점 틀(18.5 x 18.5 x 78.5 cm)을 놓고 두 대의 비디오카메라(Panasonic AG 456, 60 Hz)를 전면과 측면에 설치하고 촬영을 시작하였다. 이때 카메라의 노출시간은 1/500 s로 하였다. 약 2분간 통제점 틀을 녹화한 후에, 이것을 치우고 각 피험자들은 자신의 리듬으로 퍼팅을 3회 실시하였다.

실험거리는 홈을 바로 공략하며, 공격적인 퍼팅이 가능한 3 m 로 하였다. 인조잔디에서의 실험이 끝난 후에, 실험자는 미리 준비한 유리판을 실험지역에 설치하고 마찰력을 최소화시키기 위하여 볼이 구르는 지점에 식용기름을 바른 다음, 통제점 틀을 녹화한 후에 동일한 실험을 반복적으로 실시하였다. 유리판에서의 실험순서는 인조잔디에서의 실험순서와 동일하였다.

### 3. 자료분석 및 처리

퍼팅 스트로크가 기록된 테이프에 타임코드기(Horita SR-50)를 이용하여 시간을 넣고 녹화하였다.

자료 분석은 3회의 시기(trial) 중 성공한 1회를 선택하여 APAS(Ariel Performance Analysis System) 분석프로그램으로 클럽의 토와 힐 부분 그리고 볼을 디지털화 하였다. 3차원의 좌표 값은 두 대의 카메라에서 얻어진 2차원의 좌표를 분석프로그램에 내장되어있는 DLT 방법으로 구성하였다. 연구 과정에서 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위하여 디지털 필터링을 실시하였으며, 이때 차단주파수는 6 Hz로 하였다. 클럽과 볼의 움직임 방향 설정은 퍼팅라인 방향으로의 이동을 x축, 퍼팅라인과 상하로 이동을 y축, 퍼팅라인과 전후로 이동을 z축으로 하였다. 디지털화 된 지점의 좌표 값에 대한 신뢰도(reliability) 검사는 각 시기마다 정지하고 있는 볼을 50회 반복한 자료를 이용하여 평균과 표준편차를 구하고, 각각의 피험자들이 실시한 시기(trial)에 대한 편차평균을 구하였다. 그 결과 x축으로는 0.28 cm, y축으로는 0.10 cm, 그리고 z축으로는 0.09 cm의 오차가 발생하였다. 본 실험에 사용된 볼의 지름이 4.26 cm 이므로 각 축 방향으로의 오차 값은 x축으로 7%, y축으로 2%, 그리고 z축으로 2% 이었다. 따라서 이들 오차 값들은 실험결과에 영향을 크게 안 미칠 것으로 판단되었다. 분석구간은 퍼터의 경우에 볼과의 충돌이 일어나기 전 0.0835 s에서 충돌 후 0.0835 s까지로 하였으며, 볼은 클럽과의 충돌 후 0.1336 s까지 하였다.

퍼터 헤드의 운동에너지는  $E_h = 1/2 mv^2$  로 구하였다. 이때 질량 m은 샤프트와 그립은 제외된 순수한 헤드의 질량이며, v는 퍼터 헤드 중 스위트 스폿의 속도이다. 구르는 볼의 운동에너지는 Mahoney(1982)가 제시한 방법을 사용하였다. 속도 v를 갖고 구르는 볼은 병진운동에너지와 회전운동에너지<그림 1>를 동시에 갖는다. 따라서 총 운동에너지  $E_b$ 는 다음과 같이 표기할 수 있다.

$$E_b = 1/2 Kv^2 \text{ ----- (1)}$$

이때

$$K = m + 4J/d^2 \text{ ----- (2)}$$

위 식에서 J는 볼의 관성모멘트를 말하며, d는 볼의 지름이다. 완전한 구형의 경우에

$$J = md^2 / 10 \text{ ----- (3)}$$

이다. 따라서 (3)을 (2)의 공식에 대입하여 풀면, 총 운동에너지는  $E_b = 0.7 mv^2$  이 된다.

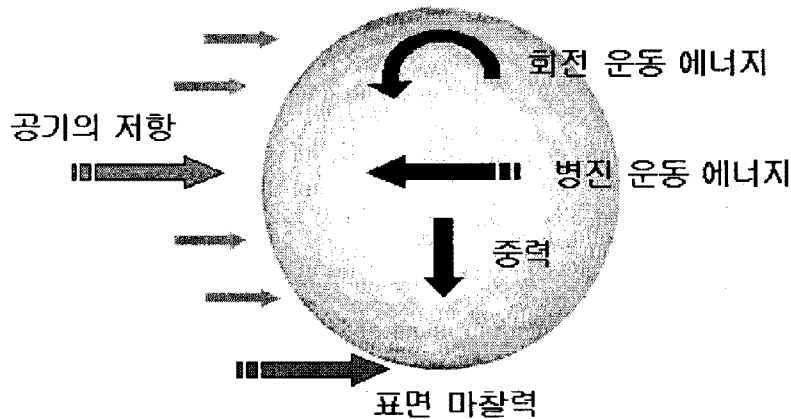


그림 1. 볼의 이동에 영향을 주는 요소

### III. 결과 및 논의

퍼팅 스트로크의 분석은 클럽헤드의 움직임, 클럽과 볼의 충돌, 그리고 볼의 이동으로 구분하여 살펴볼 수 있다. 본 실험에서 나타난 클럽헤드의 이동속도변화에 의하면<표 1>, 숙련된 골퍼들은 지면의 조건에 상관없이 임팩트 순간에 가장 빠른 속도(인조 잔디 1.31±.040 %, 유리판 1.43±.078%)를 나타냈다. 또한 임팩트 후에도 그 속도가 일정시간 유지되어, 골퍼는 지속적으로 볼에 운동에너지를 전달하려고 동작을 유지하는 것으로 사료된다. 일반적으로 충돌은 한 물체의 속도가 증가하면 다른 한쪽은 속도가 감소하게 된다. 그러나 퍼팅의 경우 볼의 속도는 급격하게 증가되었지만, 클럽헤드의 속도는 변화 없이 일정하게 유지되었다. 이러한 결과를 나타낸 가장 큰 원인은 퍼터헤드가 골퍼로부터 지속적으로 에너지를 전달받기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 임팩트 지역에서 일정 구간을 등속으로 운동하는 퍼터는 볼에 영향을 줄 때에도 일정한 양 만큼 에너지를 전달하게 되므로 골프에서 요구하는 일관성(consistency)에 부합하는 결과라고 할 수 있다.

표 1. 실험구간에서 클럽헤드의 속도변화

단위: %

	-0.835	-0.668	-0.501	-0.334	-0.167	Impact	.0167	.0334	.0501	.0668	.0835
인조 잔디	1.03 (.058)	1.11 (.073)	1.19 (.086)	1.25 (.072)	1.30 (.044)	1.31 (.040)	1.30 (.027)	1.31 (.065)	1.31 (.091)	1.29 (.095)	1.27 (.101)
유리판	1.13 (.091)	1.24 (.111)	1.33 (.105)	1.41 (.095)	1.43 (.086)	1.43 (.078)	1.41 (.076)	1.39 (.065)	1.37 (.061)	1.35 (.065)	1.34 (.054)

Cochran과 Stobbs(1968)는 헤드와 볼의 충돌이 스위트 스폿에서 일어날 때 클럽이 갖고 있는 에너지가 모두 볼에 전달되지만, 만약 그 지점을 벗어나게 되면 클럽을 회전시키는 쪽으로도 일부에너지가 쓰이기 때문에 거리에 손실을 가져온다고 보고하였다. <표 2>에 따르면, 스위트 스폿에서의 이탈 정도를 나타내는 z값의 경우에 절대 값으로 0.1~0.7 cm 가량 떨어졌으며, 이러한 차이는 퍼팅의 경우에 볼의 목표를 향한 이동에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. 한편, 임팩트 시 볼과 클럽이 접촉하는 부분은 대체적으로 어드레스 때 보다 토 쪽에서 일어나는 것으로 사료되며, 이러한 경향은 결국 골퍼가 다운스윙 과정에서 볼을 스트로크 할 때 양손을 몸 쪽으로 당기기 때문에 클럽 역시 몸쪽으로 끌려오면서 나타나는 결과라고 판단된다.

표 2. 전두면(yz plane)에서 퍼터 헤드와 볼의 접촉 위치

단위: cm

축	잔디					유리				
	S1	S2	S3	S4	S5	S1	S2	S3	S4	S5
y	-4	-1	-2	-2	-2	0	+2	-1.0	-2+3	+1
z	+1	+3	-2	+6	+5	+3	-7	-1		+2

note: y축의 경우 어드레스를 기준으로 “+”는 수직 위쪽을 가리키며, “-”는 그 반대방향이다.  
z축의 경우 어드레스를 기준으로 “-”는 골퍼 쪽을 가리키며, “+”는 그 반대방향이다.  
S는 피험자를 가리킨다.

<표 3>은 퍼터 헤드와 접촉이 끝난 볼이 갖고 있는 속도의 크기를 시간의 변화로 나타낸 것이다. 본 실험은 60 Hz의 카메라로 촬영을 하였기 때문에 볼과 클럽이 접촉하는 즉, 임팩트 시점을 정확하게 잡아내지는 못하였다. 그러나 두 물체가 충돌을 한 후 0.0167초의 간격으로 나타난 볼의 속도 변화를 보면, 인조잔디와 유리판 모두에서 동일한 시간(0.0501초)이 경과한 후에 볼이 최대속도를 나타냈으며 그 이후에는 속도가 차츰 감소하는 것으로 나타났다. 임팩트 된 볼의 움직임은 일정시간동안(0.0501초)에는 지면의 재질상태 즉, 지면마찰력에 영향을 받지 않는 것으로 사료되며, 일정시간이 경과되면 그 때부터 지면의 마찰이 볼에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 Cochran과 Stobbs(1968)가 밝힌바와 같이 “퍼팅된 볼은 처음에는 전혀 구르지 않고 다만 미끄러진다.”라는 연구결과와 동일하였다. 그러나 미끄러지는 거리는 본 연구가 선행연구보다 훨씬 짧은 것으로 나타났다. 볼이 퍼팅된 후에 미끄러지는 원인은 퍼터의 구조와 스윙궤도, 그린의 상태, 그리고 볼과 퍼터의 접촉위치 때문일 것으로 사료된다. 일반적으로 퍼터는 약 5도 가량의 로프트를 갖고 있어서, 정상적으로 충돌이 일어난다면 일정구간 볼은 반드시 뜨게 된다. 특히 잔디에 볼이 놓여있는 경우에는, 볼이 잔디의 영향으로 딱딱한 지면에서 약간 떠있기 때문에 퍼터와 충돌 후 지면과 직접접촉을 하지 않고 날아가는 현상이 나타난 것으로 사료된다. 따라서 볼은 클럽과 접촉 후에 바로 구르는 것이 아니라, 일정구간을 미끄러지고 그 다음에 굴러가는 것이다.

0.0501초 후에 인조잔디에서는 속도가 급격하게 줄어든 반면에 유리판에서는 완만하게 줄어들어 지면의 재질이 볼의 움직임에 시간이 갈수록 상당한 영향을 미치는 것으로 판단된다. Delay, Nougier, Orliaguet and Coello(1997)는 인조잔디에서 나타나는 마찰계수의 크기는 0.69인 것으로 보고하였다. 따라서 그린의 재질에 따라 차이는 있겠지만  $\mu=0.69$ 의 마찰계수가 볼의 이동에 영향을 줄 것으로 사료된다. 지면에 마찰력이 없거나 상당부분 감소되었다면 볼은 퍼터와 충돌한 후에 바로 최대속도를 나타내야 한다. 그러나 본 실험에 의하면 볼은 충돌 후 약 0.05초의 시간이 경과한 후에 최대속도를 보였다. 이러한 결과가 나타난 원인은 볼 내부(볼 분자 간)의 진동전달시간이 관계하는 것으로 판단되나, 자세한 것은 다른 재질의 볼 즉, 배어링(분자 간 진동전달시간이 빠른 물체) 등 다양한 종류로 실험하여 결과를 비교하는 것이 필요하다고 사료된다.

퍼팅 스트로크의 임팩트는 큰 질량의 퍼터 헤드가 작은 질량의 볼에 운동에너지를 전달하는 과정

이다. 본 실험에 사용된 볼의 종류와 동일한 투피스(two-piece) 볼을 이용하여 탄성을 실험한 Johnson 과 Lieberman(1996)의 연구결과에 따르면 골프 볼의 반발계수  $e=0.8094$  이다. 즉, 축구볼 ( $e=0.76$ ), 배구볼( $e=0.74$ ), 테니스볼( $e=0.67$ ) 보다 탄성이 좋으며(Hay, 1985), 따라서 전달된 에너지의 활용성도 높다. 본 실험의 결과<그림 2>에 의하면 인조잔디의 경우에는 클럽이 갖고 있는 운동에너지의 67%가 볼에 전달되었으며, 유리판의 경우에는 69%가 전달되었다. 즉, 지면의 재질에 관계없이 퍼터가 볼에 전달하는 에너지는 초기 움직임의 경우에 자신이 갖고 있는 에너지의 약 70% 가량이며, 나머지 클럽에 전달되지 않은 에너지는 헤드와 볼이 중심을 벗어난 상태에서의 충돌의 결과(Cochran 과 Stobbs, 1968), 클럽 면 방향의 마찰력, 소리에너지 등등으로 소멸된 것으로 사료된다. 따라서 퍼터에서 볼로 전달하는 에너지의 효율성을 높이기 위해서는 반드시 스위트 스폿에서 충돌이 일어나야 하며, 효율적으로 퍼팅이 이루어지면 동작의 크기가 감소하여 작은 동작으로도 동일한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

표 3. 임팩트 이후 시간에 따른 볼의 속도변화

단위: %

	Impact	.0167	.0334	.0501	.0668	.0835	.1002	.1169	.1336
인조잔디	1.67 (.123)	2.09 (.096)	2.32 (.054)	2.238 (.054)	2.33 (.066)	2.17 (.105)	2.08 (.078)	1.99 (.050)	1.87 (.078)
유리판	1.89 (.168)	2.31 (.150)	2.54 (.131)	2.61 (.127)	2.54 (.115)	2.48 (.107)	2.42 (.101)	2.38 (.113)	2.37 (.120)

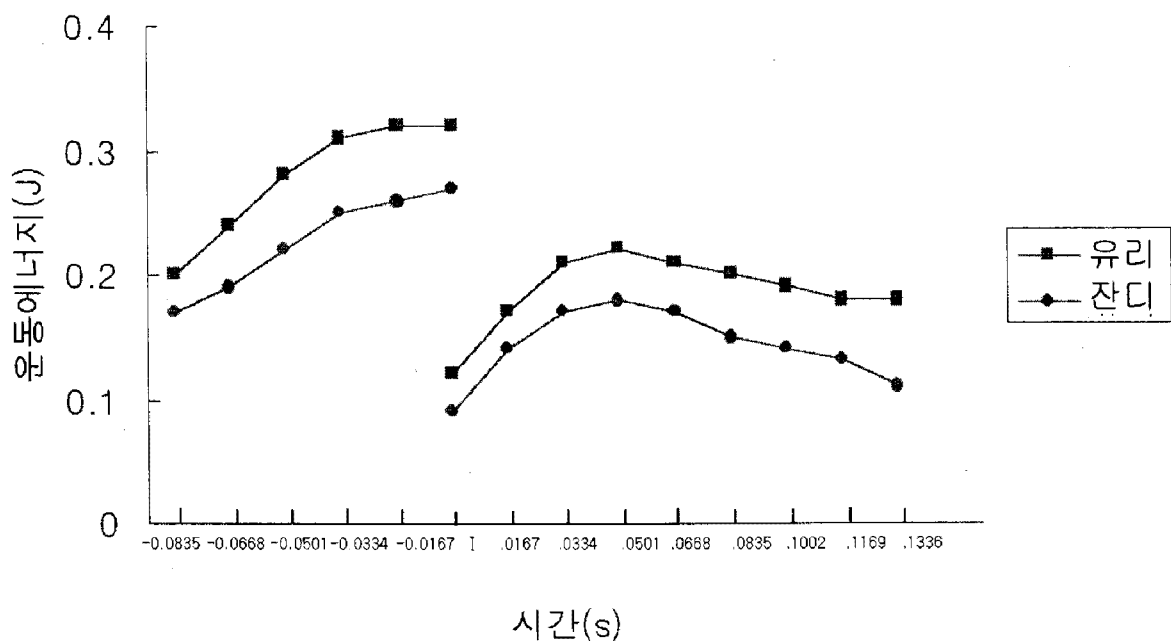


그림 2. 퍼터 헤드와 볼의 운동에너지 변화

## IV. 결 론

본 연구는 퍼팅 스트로크에서 퍼터헤드와 볼이 충돌하는 과정에서 나타나는 운동에너지의 변화를 분석하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 기량이 뛰어난 프로골퍼 5명이 피험자로 실험에 참가하였으며, 실험거리는 공격적인 퍼팅이 가능한 3 m로 하였다. 충돌 과정을 분석하기 위하여 퍼터의 분석구간은 충돌이 일어나기 전 0.0835 s에서 충돌 후 0.0835 s로 하였으며, 볼은 클럽과 충돌 후 0.1336 s였다. 실험을 통해 얻어진 결론은 다음과 같다. 퍼터 헤드는 임팩트 지점에서 가장 빠른 속도를 나타냈으며, 그 속도가 일정시간 유지되었다. 볼과 클럽이 충돌하는 지점은 헤드의 스위트 스폿에서 전후(z축)로 0.1~0.7 cm 이내였다. 충돌된 볼은 일정구간(약 0.05초)을 날아가며, 이것이 미끄러지는 형태로 나타난다. 미끄러짐이 끝난 볼은 지면과 접촉하여 미끄러짐과 구르는 현상이 동시에 나타나며, 지면의 상태에 따라 속도가 다르게 나타났다. 임팩트 전에 퍼터헤드가 갖고 있는 에너지의 약 70 %가 충돌의 과정에서 볼에 전달되었다.

## 참 고 문 헌

- Chou, P.C., Liang, D., Yang, J., & Gobush, W.(1990). Contact forces, coefficient of restitution and spin rate of golf ball impact. Science and Golf II. Ed Cochran and Farrally. E. & F.N. Spon.
- Cochran, A., & Stobbs, J.(1968). The Search for the Perfect Swing. Philadelphia, PA: .B. Lippincott Co.
- Delay, D., Nougier, V., Orliaguet, J.P., & Coello, Y.(1997). Movement control in golf putting. Human Movement Science, 16, 597-619.
- Gobush, W.(1990). Impact force measurements on golf balls. Science and Golf. Ed Cochran. E. & F.N. Spon.
- Hay, J.(1985). The Biomechanics of Sports Techniques, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.
- wata, M., Okuto, N., & Satoh, F.(1990). Designing golf clubs by finite element method analysis. Science and Golf. Ed Cochran. E. & E.N. Spon.
- Johnson, S.H., & Lieberman, B.B.(1996). Normal impact models for golf balls. The Engineering of Sport, 251-256.
- Mahoney, J.F.(1982). Theoretical analysis of aggressive golf putts. Rsearch Quarterly, 53(2), 165-171.
- Maw, N., Barber, J.R., & Fawcett, J.N.(1981). The role of elastic tangential compliance in oblique impact. Journal of Lubrication Technology, 103, 74-80.



- Scheie, C.(1990). The golf ball collision - 50000g's. Science and Golf. Ed Cochran. E. & F.N. Spon.
- Ujihashi, S.(1994). Measurement of dynamic characteristics of golf balls and identification of their mechanical models. Science and Golf II. Ed Cochran and Farrally. E. & F.N. Spon.