



## 충돌 후 지면 조건에 따른 다양한 볼의 속도변화에 관한 연구

### Changes of Various Balls Velocity under the Different Surface Conditions after Impact

박진\* (서울여자대학교)

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

---

#### ABSTRACT

J. PARK, Changes of Various Balls Velocity under the Different Surface Conditions after Impact. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 17, No. 1, pp. 91-97, 2007. The purpose of this study was to investigate the changes of various balls velocity under the different surface conditions after impact. For this study, four different balls were used which are golf ball, tang-tang ball, table tennis ball, and iron ball. And two different types of ground conditions were used which are artificial grass green and glass green. 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. To transfer the same amount of kinetic energy to the ball, pendulum putting machine was used. Analyzing the process of impact and the ball movement, a putter was digitized the whole movement but the ball was digitized within the 50cm movement. Velocities were calculated by the first central difference method(Hamill & Knutzen, 1995). Putter head velocities were about 112.2cm/s-116.2cm/s at impact. Maximum ball velocities were appeared 0.08s-0.10s after impact no matter what the ground conditions are. Table tennis ball recorded higher ball velocities than the other ball velocities and iron ball recorded the lowest ball velocity in this group. But Table tennis ball was influenced with the frictional force and immediately was decreased at the artificial grass green condition. If an object is received the kinetic energy under the static condition( $v=0\text{cm/s}$ ), the object recorded the maximum velocity shortly after the impact and then decreased the velocity because of the frictional force. The ball distance from the start position to the peak velocity position is about 6cm-10cm under the 112.2cm/s-116.2cm/s putting velocity with putter. 0.25 seconds later after impact balls were placed 40cm distance from the original position except iron ball. In this study, ball moving distances were too short therefore it was not possible to investigate the reactions after the translational force is disappeared. Rotational force would play a major role at the end of the ball movement. Future study must accept two things. One is long distance movement of ball and the other is balanced ground. Three-piece ball is a good item to investigate the golf ball movement on the different surface conditions.

KEYWORDS: IMPACT, COLLISION, PENDULUM PUTTING MACHINE, PUTTING STROKE, SWEET SPOT

---

## I. 서론

‘충돌’이란 두 물체가 짧은 시간동안 강한 상호작용을 하는 경우를 일컫는다. 이때 상호작용하는 동안의 시간은 충분히 짧아서 충돌전과 충돌후로 나누어 생각할 수 있다(Benson, 1995). 충돌의 과정에서 물체들은 대부분 운동에너지를 잃는다. 이렇게 운동에너지가 감소하는 충돌을 비탄성충돌(inelastic collision)이라 하고, 반면에 운동에너지가 손실되지 않고 보존되는 것을 탄성충돌(elastic collision)이라 한다(Bueche & Jerde, 1996). ‘힘’이란 밀고 당기는 어떤 것이다. 그 중에서 ‘마찰력’이란 물체들이 운동할 때 접촉면 사이에 작용하는 힘에 붙여진 이름이다(Hewitt, 1997). 원형의 물체가 평지와 만드는 마찰은 구름마찰(rolling friction)로써, 물체의 질량, 지름, 접촉면의 변형정도와 마찰계수에 의해 영향을 받는다(Hall, 1991).

퍼팅 스트로크는 퍼터의 헤드와 볼이 만들어내는 충돌현상이다. 이것은 충돌 중에서도 비탄성충돌이며, 그 시간은 매우 짧아서 긴 퍼팅의 경우에 약 0.00075s 이고 짧은 퍼팅은 0.0005s이다(Cochran & Stobbs, 1968). 충돌 후 볼은 지면을 구르며 구름 마찰력에 영향을 받게 된다. 흔히 골프경기에서 마찰력이 작은 그린을 “유리 같은” 그린으로 비유된다. 즉, 그린의 잔디 길이가 길 경우에는 마찰력이 크게 작용할 것이고, 잔디의 길이가 짧은 경우에는 작게 작용한다는 가정에서 유래된 것으로 풀이된다.

골프경기를 준비할 때 진행위원회에서는 볼의 구름 현상을 검사하는 것이 일반적이다. 그 이유는 골프장 그린의 표면이 퍼팅의 결과에 많은 영향을 미치기 때문이다. 그러나 아직까지 학문적으로 그린에서 나타나는 볼의 움직임 현상(Gobush, 1996)과 퍼터와 볼의 충돌(Mahoney, 1982; Holmes, 1991; Johnson & Lieberman, 1996; 박진, 2003)에서 나타난 속도 변화요인 등에 대한 연구는 미미한 실정이다. 따라서 본 연구는 다양한 볼이 구를 때 지면의 조건에 따라 속도의 변화가 어떻게 나타나는지를 연구하는 것이 주된 목적이다.

## II. 연구방법

### 1. 실험내용

실험의 조건은 두 가지로 하였다. 하나는 지면의 차이이며 다른 하나는 다양한 볼이다. 지면의 조건은, 볼이 구를 때 거칠고 마찰력이 비교적 큰 인조 잔디(180cm x 600cm x 1cm)와, 매끄럽고 마찰력이 비교적 작은 유리판(40cm x 130cm x 1cm)으로 하였다.

다양한 볼의 조건은, 크기와 질량이 서로 다른 4 종류의 볼로 하였다. 첫 번째는 골프경기에서 일반적으로 많이 사용하는 두 겹(two-piece)의 골프볼이다. 두 번째는 지름이 골프 볼 보다는 약간 작고 탄성이 좋은 탱탱볼이다. 세 번째는 골프볼보다 지름이 작고 매우 가벼운 탁구볼이다. 네 번째는 골프볼보다 지름이 아주 작고 무거운 쇠볼이다<표 1>.

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.

볼의 이동자료를 수집하기 위하여 18.5cm x 18.5cm x 78.5cm 크기의 통제점틀을 사용하였고, 두 카메라를 동조시키기 위하여 램프 인디케이터를 이용하였다. 볼은 항상 동일한 위치에 놓일 수 있도록 진자를 멈춘 후에 볼의 위치를 고정하였다. 볼에 동일한 크기의 충격을 주기 위하여 진자퍼팅기(박진, 2006)를 활용하였다.

실험의 방법은 진자퍼팅기의 최저점에 볼을 놓고 퍼터를 후방으로 35cm 이동시킨 다음에, 퍼터를 자유낙하 시켜서 볼에 충격을 가하는 방식을 활용하였다. 모든 실험은 동일하게 진행되었고, 지면조건의 실험순서

표 1. 볼의 종류

볼의 종류	구분		
	지름(cm)	질량(g)	표면의 형태
골프볼	4.3	46	울퉁불퉁함
탱탱볼	4.1	40	매끈함
탁구볼	3.7	4	매끈함
쇠 볼	2.4	60	매끈함

는 잔디에서 먼저 한 다음에 유리에서 실험을 하였다.

다양한 볼 조건의 순서는 골프볼, 탱탱볼, 탁구볼, 쇠볼 순으로 하였다. 각각의 실험은 5회씩 반복하였다.

자료의 수집은 퍼터의 경우 자유낙하를 시작하는 시점부터 방향을 바꾸기 직전까지로 하였으며, 볼은 움직이기 직전부터 통제점들 내에서의 움직임 한계인 50cm 이내로 하였다.

## 2. 자료처리

각각의 실험에서 얻은 두 카메라의 자료를 램프 인디케이터의 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.

# III. 결과 및 논의

## 1. 충돌 시 퍼터의 이동속도

운동량을 전달하는 퍼터의 일정한 이동속도는 본 실험의 신뢰도를 높이는 중요한 요소이다. 따라서 박진(2006)이 최근 개발한 진자퍼팅기를 활용하였다. <표 2>는 퍼터가 볼과 충돌 할 때 속도의 크기를 나타낸 것이다. 진자퍼팅기를 사용하였기 때문에 볼은 매우 유사한 속도로 퍼터의 스위트 스폿에서 충돌하였다.

## 2. 충돌 후 볼의 최대속도

퍼터 헤드와 충돌한 후 볼의 최대속도 크기는 <표 3>과 같다. 그리고 지면의 조건에 따른 다양한 볼의

표 2. 퍼터 헤드가 볼과 충돌 시 속도 (cm/s)

지면조건 \ 볼 종류	볼 종류				
	골프볼	탱탱볼	탁구볼	쇠볼	
잔디	M	113.0	113.3	116.2	113.4
	sd	0.71	0.96	1.79	1.82
유리	M	112.2	113.2	114.0	112.0
	sd	2.59	1.64	2.12	3.54

속도 크기 변화는 <그림 1>과 같다. 본 연구결과에 의하면 지면의 조건에 관계없이 그리고 볼의 종류에 관계없이 볼의 최대속도는 퍼터와 접촉한 후 약 0.08s-0.10s 사이에 나타났다. 선행연구(박진, 2003)에 의하면 퍼터헤드가 약 130cm/s-145cm/s의 속도로 골프볼을 가격하였을 때 약 0.05s-0.07s 사이에 최대속도가 나타나는 것으로 보고하고 있다. 즉, 운동에너지를 받은 볼은 정지 상태에서 최대속도로 갈 때 받은 운동에너지의 크기가 크면 짧은 시간에 다다를 수 있고, 받은 운동에너지의 크기가 작으면 그 시간이 길어지는 것으로 사료된다. 또한 최대속도에 다다르는 시간은 지면의 조건과 볼의 종류는 크게 영향을 안 미치는 것으로 나타났다. 그 이유는 퍼터의 로프트 때문인 것으로 판단된다. 실험에서 사용한 진자퍼팅기의 퍼터는 볼과 접촉하는 최저점에서 약 3도 가량의 로프트를 갖게 되고, 충돌 시 축이 고정되어있기 때문에 볼을 지면으로부터 띄우는 것이 가능하다. 즉, 골프볼, 탱탱볼, 탁구볼은 퍼터와 접촉부위가 하단으로 정지 상태에 있다가 투사되는 형태의 스트로크가 일어나기 때문에 마찰력의 영향이 크게 감소되었으리라 판단된다. 상대적으로 지름이 작은 쇠볼은 접촉부위도 다른 볼 보다는 상대적으로 위쪽이며, 질량이 큰 관계로 투사되지 못하고 처음부터 마찰력을 견뎌내야 되기 때문에 어려움은 있으나 최대속도에 이르는 시간은 동일하게 나타났다.

## 3. 지면의 종류에 따른 다양한 볼의 속도 크기 변화

골프볼의 지면에 따른 속도크기변화는 <그림 2>와 같고, 탱탱볼의 지면에 따른 속도크기변화는 <그림 3>과 같고, 탁구볼의 지면에 따른 속도크기변화는 <그림 4>와 같고, 쇠볼의 지면에 따른 속도크기변화는 <그림 5>와 같다. 골프볼의 경우 최대속도에 이르는 지점까

표 3. 퍼터와 총돌 후 볼의 최대 속도 (cm/s)

지면조건 \ 볼 종류	볼 종류				
		골프볼	탱탱볼	탁구볼	쇠볼
잔디	M	211.8	206.8	235.8	135.6
	sd	3.83	5.50	6.53	5.32
유리	M	220.4	215.4	243.2	157.6
	sd	2.30	3.71	3.56	2.51

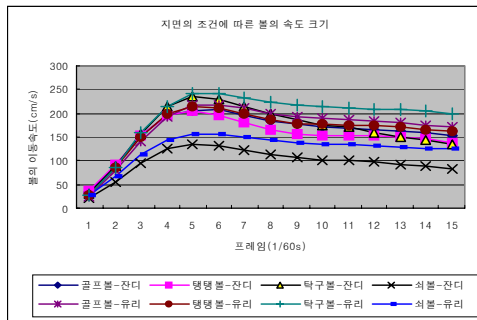


그림 1. 두 지면 조건에서 다양한 볼의 속도 변화

지는 지면에 관계없이 매우 유사한 속도의 변화를 보였다. 그러나 최대속도를 나타낸 다음부터는 지면이 유리인 경우에는 완만하게 속도가 줄어든 반면에, 잔디인 경우에는 비교적 빠르게 속도가 줄어들었다. 탱탱볼의 경우에도 골프볼과 매우 유사한 형태로써 최대속도에 이르는 지점까지는 지면에 관계없이 매우 유사한 속도의 변화를 보였고, 최대속도를 나타낸 다음부터는 지면이 유리인 경우에는 완만하게 속도가 줄어든 반면에 잔디인 경우에는 비교적 빠르게 속도가 줄어들었다. 탁구볼의 경우에는 최대속도에 이르는 지점까지는 지면에 관계없이 매우 유사한 속도의 변화를 보였으나, 최대속도를 지난 다음부터 유리에서는 완만한 속도의 감소를 보였으나 잔디에서는 급격한 속도의 감소를 보였다. 쇠볼의 경우에는 최대속도에 이를 때에도 지면의 영향을 받아 유리에서 비교적 급격한 속도의 증가를 보인 반면에, 잔디에서는 완만한 속도의 증가를 보였다. 최대속도를 지난 다음부터 유리에서는 비교적 완만한 속도의 감소를 보였으나, 잔디에서는 비교적 급격한 속도의 감소를 보였다. 네 종류의 볼을 비교해 볼 때 지면에 영향을 많이 받는 것은 탁구볼과 쇠볼인 것으로 사료된다.

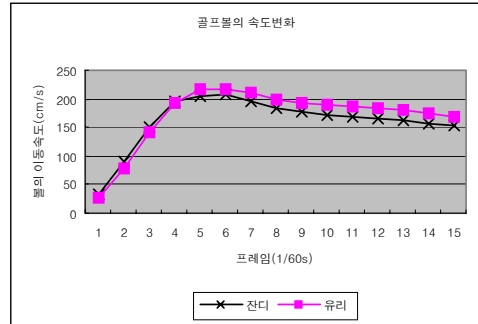


그림 2. 골프볼의 속도 변화

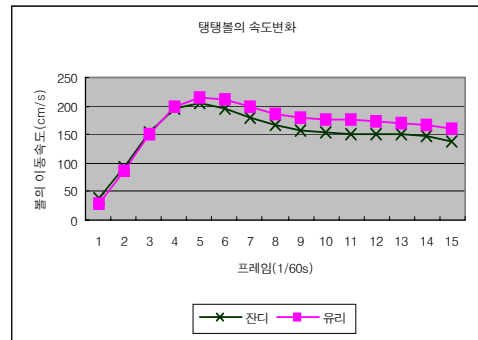


그림 3. 탱탱볼의 속도 변화

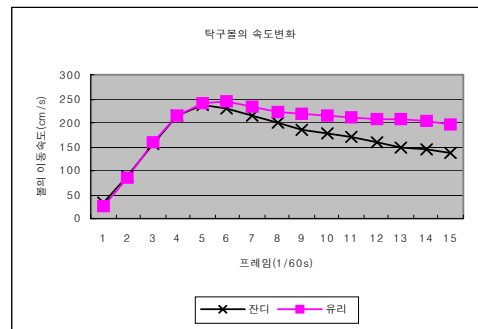


그림 4. 탁구볼의 속도 변화

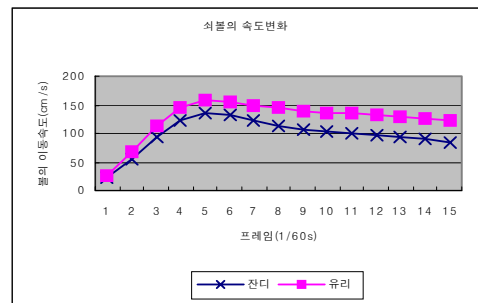


그림 5. 쇠볼의 속도 변화

표 4. 퍼터와 충돌 후 볼이 최대속도에 이르는 지점까지의 거리 (cm)

지면조건 \ 볼 종류		골프볼	탱탱볼	탁구볼	쇠볼
잔디	M	9.8	10.2	10.3	6.0
	sd	1.06	0.94	0.57	0.34
유리	M	9.1	9.6	10.1	7.3
	sd	1.24	0.91	0.91	0.90

표 5. 퍼터와 충돌 0.25초 후 이동거리 (cm)

지면조건 \ 볼 종류		골프볼	탱탱볼	탁구볼	쇠볼
잔디	M	39.3	37.6	40.6	23.9
	sd	0.57	0.78	1.30	0.27
유리	M	41.6	40.5	46.6	30.4
	sd	1.18	2.41	1.05	0.57

4. 퍼터와 충돌 후 최대속도에 이르는 지점까지의 이동거리 그리고 충돌 0.25초 후까지의 이동거리

퍼터와 충돌한 후 최대속도에 이르는 지점까지의 이동거리는 <표 4>와 같고, 퍼터와 충돌한 후 0.25초까지의 이동거리는 <표 5>와 같다.

평균 113cm/s의 퍼터헤드 속도로 볼에 충격을 줄 경우에 골프볼, 탱탱볼, 탁구볼은 약 10cm 이동했을 때 그리고 충돌 후 약 0.08s-0.10s 가 지난 다음에 최대속도가 나타났으며, 지면에 의한 차이는 거의 없었다. 그러나 상대적으로 질량이 크고 지름이 작은 쇠볼은 충돌 후 비교적 짧은 6-7cm 부근에서 그리고 충돌 후 약 0.08s-0.10s 가 지난 다음에 최대속도를 보였다.

충돌 0.25초가 경과한 지점까지의 거리변화를 보면 골프볼과 탱탱볼은 평균거리차이 2.3-2.9cm로 지면에 약간의 영향을 받는 반면에 탁구볼과 쇠볼은 평균거리 차이 6.0-6.5cm로 지면에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 충돌한 볼이 0.25초 경과한 다음 이동한 거리를 비교해보면 쇠볼이 다른 세 종류의 볼보다 느린 속도로 이동하였음을 알 수 있다. 이러한 결과는 지면에 관계없이 잔디와 유리 모두에서 동일한 결과를 보였는

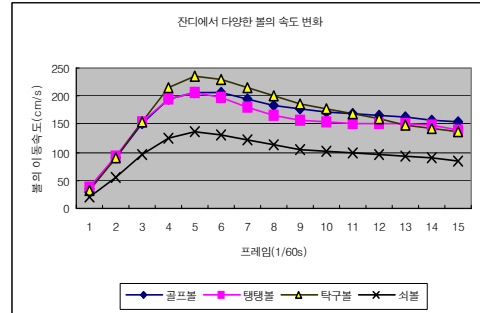


그림 6. 잔디에서 다양한 볼의 속도 변화

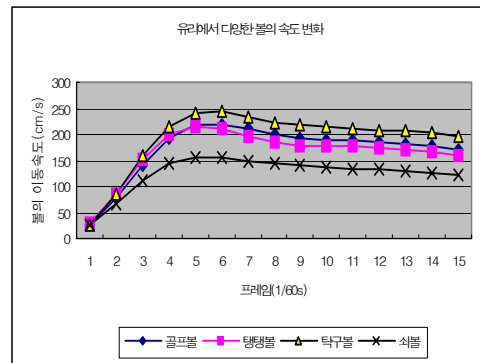


그림 7. 유리에서 다양한 볼의 속도 변화

데, 그 원인은 충격의 크기와 접촉의 방법 등에 있는 것으로 판단된다.

5. 잔디와 유리에서 다양한 볼의 속도변화

잔디에서 다양한 볼의 속도변화는 <그림 6>과 같고, 유리에서 다양한 볼의 속도변화는 <그림 7>과 같다. 지면이 잔디인 경우에 골프볼과 탱탱볼, 그리고 탁구볼은 비슷한 크기의 속도 변화를 보여주었다. 다만 탁구볼이 다른 볼보다는 큰 최대속도를 나타내다가, 비교적 빠르게 속도가 감소하여 충돌 후 0.2초가 지나는 지점부터는 오히려 골프볼과 탱탱볼보다도 속도가 감소하는 현상을 나타내었다.

쇠볼은 다른 볼에 비하여 비교적 느린 최대속도를 보였으며, 속도감소의 형태는 다른 볼들과 매우 유사한 경향을 보였다. 지면이 유리인 경우 역시 골프볼과 탱탱볼, 그리고 탁구볼은 비슷한 크기의 속도의 변화를

보여주었다. 탁구볼의 경우에 지면이 잔디인 경우와는 다르게 속도의 감소가 다른 볼보다 오히려 완만하게 나타났다. 이러한 결과는 질량이 작은 물체가 마찰력에 더 많은 영향을 받았기 때문인 것으로 사료된다. 쇠볼은 다른 볼에 비교하여 비교적 느린 최대속도를 보였으며, 속도감소의 형태는 다른 볼들과 매우 유사한 경향을 보였다. 지면의 조건에 관계없이 속도의 크기는 0.08s-0.10s 사이에서 최대를 나타내고, 이 후에 점차적으로 줄어드는 경향을 나타내었다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구는 다양한 볼이 구를 때 지면의 조건에 따라 속도가 어떻게 변화하는지를 연구하는 것이 주된 목적이다. 이를 위해서 다양한 볼의 종류로는 골프볼, 탱탱볼, 탁구볼, 그리고 쇠볼을 선정하였다. 다양한 지면의 조건으로는 인조잔디와 유리판을 이용하였다. 모든 실험에 사용된 볼에 동일한 조건의 운동에너지를 전달하기 위하여 전자퍼팅기(박진, 2006)를 이용하였다 두 대의 60 Hz HD 비디오카메라를 이용하여 볼과 클럽헤드의 움직임을 기록하고, Kwon3d 3.0 프로그램을 이용하여 3차원 좌표값을 산출하였다. Hamill 과 Knutzen(1995)이 제시한 First Central Difference Method 방법으로 퍼터헤드와 볼의 속도를 계산하고, 이들의 평균과 표준편차를 구한 후 비교분석하였다.

실험결과에 따르면 퍼터헤드의 충돌 시 속도는 112.2-116.2cm/s로 비교적 일정하였다. 최대속도의 경우에 볼의 종류 혹은 지면에 관계없이 충돌 후 약 0.08s-0.10s 사이에서 나타났다. 볼이 충돌 후 최대속도에 이르는 지점까지의 수평거리는 약 6-10cm 였다. 그리고 0.25초 후까지 다다른 거리는 쇠볼을 제외하고 약 40cm 지점이었다. 볼의 최대속도는 지면에 관계없이 탁구볼이 가장 빠른 것으로 나타났고, 쇠볼이 가장 느리게 나타났다. 즉, 짧은 거리는 이동하는 볼의 속도는 지면의 종류보다는 질량의 크기에 영향을 받는 것으로 사료된다. 한편 골프볼과 탱탱볼이 지면의 영향을 적게 받는 반면에, 탁구볼과 쇠볼은 지면의 영향을 많이 받

는 것으로 나타났다. 이는 볼의 자체회전과 관련이 깊은 것으로 사료된다.

정지하고 있는 물체( $v=0\text{cm/s}$ )에 한 번의 운동에너지를 주게 되면, 에너지를 받은 물체는 약간의 시간이 경과한 다음에 최대의 속도를 내게 되고 그 다음부터는 마찰력에 의하여 속도가 서서히 감소하게 된다. 물체가 최대속도에 다다른데 소요되는 시간은 충격의 크기에 따라 차이가 나는 것으로 판단된다. 즉, 충격이 클 경우에는 최대속도가 빠르게 나타나는 반면에 충격이 작을 경우에는 최대속도가 상대적으로 느리게 나타난다.

본 실험에서는 볼의 이동거리가 비교적 짧아서 볼의 움직임 후반부 패턴을 관찰하지 못하였다. 볼은 병진과 자체회전운동을 하기 때문에 추진력이 떨어지면서 다양한 변화를 보일 것으로 판단된다. 따라서 앞으로의 과제는 퍼터헤드의 속도를 이번 실험과 동일하게 놓고 볼의 움직임 전 과정을 관찰하는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 지면의 완전한 수평이 필요하다고 볼 수 있다. 그리고 볼의 조건을 더욱 다양하게 하는 것이 바람직하다. 특히 골프의 경우에는 세 겹(three-piece ball)의 골프볼을 추가하는 것이 바람직하다.

#### 참 고 문 헌

- 박진(2003). 퍼팅 스트로크의 충돌과정에서 나타난 퍼터헤드와 볼의 운동에너지 변화분석. **한국운동역학회지**, 13(2), 175-183.
- 박진(2006). 퍼팅 스트로크 실험용 전자퍼팅기 개발. **한국운동역학회지**, 16(4), 147-152.
- Benson, H.(1995). *University Physics*, N.Y.. John Wiley & Sons, Inc.
- Bueche, F.J., & Jerde, D.A.(1996). *Principles of Physics*, N.Y., McGraw-Hill Inc.
- Cochran, A., & Stobbs, J.(1968). *The Search for the Perfect Swing*. Philadelphia, PA: B. Lippincott Co.
- Gobush, W.(1996). Friction coefficient of golf balls. *The Engineering of Sport*, ISBN 90 5410 822 3.
- Hall, S.J.(1991). *Basic Biomechanics*, Saint Louis,

Mosby Year Book.

- Hamil, J., & Knutzen, K.M.(1995). *Biomechanical Basis of Human Movement*, PA: Williams & Wilkins.
- Hewitt, P.G.(1997). *Conceptual Physics*, San Francisco, Addison-Wesley Publishing Co.
- Holmes, B.W.(1991). Putting: How a golf ball and hole interact, *American Journal of Physics*, 59(2), 129-136.
- Johnson, S.H., & Lieberman, B.B.(1996). Normal impact models for golf balls, *The Engineering of Sport*, ISBN 90 5410 822 3.
- Mahoney, J.F.(1982). Theoretical analysis of aggressive golf putts. *Research Quarterly*, 53(2), 165-171.

투 고 일 : 1월 31일

심 사 일 : 2월 6일

심사완료일 : 3월 7일