

운동량 보존 법칙을 이용한 골프공의 속도 측정 방법

신성윤*, 이현창**, 이양원*

Method for Measuring of Golf Ball's Speed Using The Law of Conservation of Momentum

Seong-Yoon Shin *, Hyun-Chang Lee **, Yang-Won Rhee *

요약

본 논문에서는 골프채 헤드가 골프공을 일정속도로 움직여 치고 난 후 골프채의 헤드는 같은 방향으로 일정 속도로 움직일 때 골프공을 치고 날아가는 골프공의 속도를 구한다. 골프공을 치기 전의 속도가 각각 다를 경우의 골프공의 속도를 각각 구한다. 골프를 칠 때 헤드의 속도, 골프공의 질량, 임팩트, 임팩트 후의 날아가는 속도, 그리고 임팩트 후의 이동 방향 등을 쉽게 알아보도록 하는 것이 본 논문의 목적이다. 실험 결과는 표와 그림으로 자세히 나타나 있고 본 연구와 기존 연구와의 비교 평가 결과와 시사점 및 향후 연구 방향도 제시하였다. 본 연구 결과는 다른 연구와 달리 몇 가지 요소들의 측정으로 우수하게 골프공의 속도를 측정함을 알 수 있다.

▶ Keywords : 운동량, 질량, 골프 클럽 헤드, 골프공, 상호작용

Abstract

In this paper, the golf club head hit the golf ball moves at a constant velocity, then move in the same direction at a constant velocity of the golf club head, the velocity of the golf ball was hitting and flying the golf ball is calculated. If velocity is different before you hit the golf ball, each of the velocity of the golf ball is calculated. The purpose of this paper is to make it easy to find out the velocity of a club's head, the mass of a golf ball, the velocity or the direction of a golf ball after impact in playing golf. The results of the experiment are represented in tables and figures. And we also propose the comparison analysis between our research and other traditional ones, the implications, and futhur studies in the future. The results of this study, unlike other studies, it was can be seen that measurements of several factors superior to the measurement of the velocity

•제1저자 : 신성윤 •교신저자 : 이현창

•투고일 : 2013. 6. 13, 심사일 : 2013. 8. 16, 게재확정일 : 2013. 8. 21.

* 군산대학교 컴퓨터정보공학과(Dept. of Computer Information Engineering, Kunsan National University)

** 원광대학교 정보·전자상거래학부(Division of Information and Electronic Commerce, Wonkwang University)

of the golf ball .

▶ Keywords : Momentum, Mass, Golf Club Head, Golf Ball, Interaction

I. 서론

“운동량”이란 것은 움직이는 물체의 무게(질량) 곱하기 속도로 계산되어 진다. 다시 말해 질량 2킬로그램인 물체가 초속 10미터로 움직인다면 운동량은 20이 되는 것이다.

“운동량 보존의 법칙”이란 두 물체가 부딪힐 때 두 물체의 운동량의 합은 부딪히기 전이나 부딪힌 후나 일정하게 유지된다는 것을 말한다. 그러므로 골프클럽의 헤드가 공에 부딪혀서 임팩트가 일어날 때, 골프클럽의 속도는 임팩트 전에 비해 임팩트 후에는 조금 줄어들게 된다. 왜냐하면 골프클럽 헤드의 운동량이 일부분 골프공에 전달되었기 때문이다. 전달된 양이 얼마냐에 따라서 골프공이 날아가는 속도가 다르게 된다. 이 말을 뒤집어 말한다면 같은 속도로 움직이는 무거운 클럽헤드와 가벼운 클럽헤드가 있다면 무거운 클럽헤드의 경우 공의 날아가는 속도가 빠르다는 말이다.

임팩트 순간으로 돌아가 보면, 골프클럽 헤드가 공에 접근한다. 공과 초기 접촉을 일으킨다. 공이 찌그러지기 시작한다. 0.01초미만의 짧은 시간이지만 공은 찌그러진 이후 다시 원형으로 돌아간다. 마침내 공이 클럽헤드에서 떨어진다. 공이 앞으로 날아가기 시작한다. 이상이 대략의 임팩트 순간에 일어나는 개략적인 설명이다.

아래 그림 1은 골프 클럽으로 골프를 칠 때의 모습을 보여 주고 있다. (a)는 아이언으로 칠 때이고, (b)는 드라이버로 칠 때이다.



(a) 아이언 스윙
(a) Iron Swing



(b) 드라이버 스윙
(b) Driver Swing
그림 1. 골프클럽의 스윙
Fig. 1. Swing of Golf Club

우리는 골프를 치면서도 골프 스윙의 속도와 골프 클럽이 공이 맞아서 나가는 속도를 모르면서 그냥 스윙만 크게 하려 한다. 현실적으로 헤드의 속도, 골프공의 질량, 임팩트, 임팩트 후의 날아가는 속도, 임팩트 후의 이동 방향 등을 쉽게 알아보도록 하는 것이 본 논문의 목적이다. 다음 장의 관련연구에서는 골프공을 치는 것과 관련된 연구도 있지만 대부분은 다른 법칙들과 관련되어 연구가 수행되고 있다. 하지만 본 논문에서는 골프를 칠 때의 상황을 그대로 나타내어 필요한 정보를 표현하고자 한다.

본 논문에서는 골프채 헤드가 골프공을 일정속도로 움직여치고 난 후 골프채의 헤드는 같은 방향으로 일정 속도로 움직일 때 골프공을 치고 날아가는 골프공의 속도를 구한다. 그리고 골프공을 치기 전의 속도가 각각 다를 경우의 골프공의 속도를 각각 구하도록 하는데, 2장에서는 관련연구를 살펴보고, 3장에서는 운동량 보존의 법칙과 골프공의 속도에 대해 알아 보며, 4장에서는 실제 실험을 통하여 골프공의 속도를 측정해 보고, 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제를 알아보도록 한다.

II. 관련 연구

비거리는 클럽헤드 스피드에 의해서 결정되지만 그것만으로는 설명하기 힘들다. 비거리는 올바르게 적용된 클럽헤드의 속도에 의해서 결정된다는 말이 더욱 맞는 표현이다. 그리고

기술이 확실해야 클럽헤드의 속도를 올바르게 적용할 수 있다. 따라서 공을 멀리치고 클럽헤드의 속도를 높이기 위해 스윙을 빠르게 하는 것은 매우 바보 같은 것이다. 스윙을 빠르게 하면 일관성과 컨트롤을 잃게 되므로 비거리와 정확도마저 나빠지기 때문이다. 클럽헤드의 속도를 늘려서 공을 멀리 치려면 여러번의 스윙은 더욱 발전되어야 한다. 이처럼 골프 칠 때 비거리를 늘리거나 운동량 보존의 법칙에 관련된 연구로는 다음과 같은 것들이 있다.

먼저 골프에 관련된 연구를 살펴보면, [1]에서는 체감형 가상현실 스크린 골프 게임 개발에 필요한 도구로 골프공의 궤적과 속도를 실시간으로 표시하고 분석하는 시뮬레이터를 설계하고 구현하였다. [2]에서는 유한요소해석을 통해서 클럽과 골프공이 충돌할 때를 실제와 비슷하게 묘사하고 이를 통해 충돌 메커니즘을 보다 정확하게 규명하였다. 또한 [3]에서는 운동량 보존 법칙에 의한 운행방향 결정하는 연구를 수행하였다.

다른 이론이나 법칙과 연관된 운동량 보존의 법칙에 관련된 연구로는, [4]에서는 와이어의 양 끝을 서로 다른 물질에 연결하여 변화를 살펴보는 연구를 수행하였고, [5]에서는 뉴턴의 운동 제 2 법칙이 겹으로는 원자나 분자 수가 엄청 많은 계의 움직임을 설명하기 위한 더 나은 근사보다 일반적인 법칙에 의해 대체된다는 새로운 관점을 제안하였다. [6][7][8][9][10]에서는 힘의 Lorentz 규칙 문제로서 특수 상대성과 운동량 보존과 호환성에 대하여 설명하고 있다.

그 밖에도 [11]에서는 금속 스파이크가 다른 플라스틱 스파이크보다 퍼팅 그린의 잔디 마모와 볼 스피드에 더 부정적인 영향을 미쳤다고 발표하였고, [2]에서는 유한요소해석을 통하여 충돌을 조금 더 정확히 해석하고 공의 회전 원리를 규명하며 이러한 해석을 바탕으로 여러 가지 상황에서 충돌을 해석 골프 클럽과 공의 충돌을 해석한 것이다. [12]에서는 임팩트 시 신체 무게 중심과 골프공의 상대적 거리, 손목 관절 중심과 골프공의 상대적 거리, 타겟 방향 발의 지면반력 값, 골반과 몸통의 타겟 방향에 대한 열린 정도, 클럽 헤드의 수직 성분 진입 각도, 클럽 페이스의 로프트 각도, 그리고 백스윙 탑에서 왼손의 높이, 다운스윙 미들에서 왼 손목의 코킹 정도 등을 단순히 분석하였다.

본 연구와 관련된 기존 연구는 사실 엄청나게 많지만 관련된 기존 연구들을 보면 대부분 운동량 보존의 법칙이 아닌 다른 고차원적인 법칙들과 합성하여 수행한 연구가 대부분이다.

본 논문의 기존의 관련 연구를 보더라도, 골프를 칠 때의 헤드 속도, 공의 질량, 임팩트 후의 속도, 그리고 이동 방향에 대한 분석이 부족하며, 단순히 충돌 메커니즘과 임팩트 후의 방향만을 결정하였으며, 물질의 변화와 뉴턴의 운동 제 2 법

칙, 그리고 특수 상대성 이론과의 관계문제 등을 설명하고 있다. 즉, 현실적으로 스윙 할 때의 데이터보다는 다른 메커니즘과 연결성 문제를 다루고 있다.

III. 운동량 보존 법칙과 골프공의 속도

3.1 운동량 보존의 법칙

운동량이란 운동 물체가 지닌 힘($F=ma$)과 대비하여 물체의 운동 정도를 나타내는 양으로 방향성을 내포한 벡터(vector)량이다. 운동량의 정의는 질량×속도이며, 질량은 스칼라량이고 속도는 벡터 량이므로 운동량의 방향은 물체의 속도 방향이 된다. 우리가 운동량이라고 표현하는 것은 엄밀하게 말해 직선운동을 하는 선형운동량을 의미한다. 만일 원운동과 자전하고 있는 지구와 같은 물체는 선형운동량이 아닌 각 운동량으로 표현된다.

운동량은 질량을 가진 두 물체가 충돌 등에 의해 상호작용을 할 때 물체의 운동에 관한 매우 중요한 정보를 제공한다. 다시 말해서 두 물체가 충돌할 경우 물체의 질량과 충돌 전후 속도를 알면 두 물체 충돌 시 충격량 또는 충격시간을 알아낼 수 있다. 운동량의 개념을 사용할 때 가장 큰 효용성은 운동량 보존에 관한 법칙이 성립하는데 있다. 두 물체가 충돌을 할 때 충돌 전후의 운동량의 합이 보존된다는 운동량 보존법칙은 교통사고 재현에 있어서 비슷한 무게의 차량끼리 충돌할 경우 유용한 속도 분석 근거 자료이다.

운동량 보존의 법칙은 두 물체가 충돌하기 직전과 직후의 운동량이 외력이 없는 상황에서 보존이 되는 법칙이다. 이는 탄성이든 비탄성이든 관계없이 항상 성립하는 법칙이다. 쇠슬과 같은 탄성을 가진 된 두 물체의 충돌 경우는 충돌 전 후 물체의 변형이 없다. 만일 충돌 후 전혀 변형이 발생하지 않는다면 두 물체는 탄성충돌을 하였다고 하며, 이 경우 물리학자들이 충돌전후의 물체의 운동량 합이 완전하게 보존됨을 실험과 이론으로 밝혀냈다.

우리 주변에서 쉽게 이런 현상을 볼 수 있는 것이 당구장과 볼링장에서이다. 당구 게임을 할 수 있는 근본적인 원리가 충돌 전 후 두 당구공의 운동량이 보존되기 때문이다. 소성물체의 경우도 충돌 전 후에 운동량의 합은 보존된다. 예로 투수가 공중에 매달려 있는 진흙덩어리에 공을 던져 진흙 가운데로 정확하게 맞춰 떨어뜨린다면 진흙과 공은 함께 날아가는 것이다. 공은 충돌 전에 운동하고 진흙은 충돌 전 정지 상태이지만 충돌 후에는 두 물체가 한 덩어리가 되어 날아가는데, 충돌 후

공은 속도를 일정부분 잃게 되고, 진흙은 속도를 얻게 된다. 즉, 충돌전후의 공과 진흙의 운동량 합은 변함이 없다.

3.2 골프공의 속도 측정

골프공을 설명하기 전에 먼저 두 물체가 충돌할 때 외력이 작용하지 않으면 충돌 전후의 운동량의 총합은 일정하게 보존된다[13]는 사실을 확실히 알도록 한다.

질량 M인 물체 A와 질량 m인 물체 B가 각각 속도 v1, v2 로 운동하고 있다. 물체 A와 B가 일직선상에서 운동하고 충돌 후에도 같은 일직선상을 운동하는 경우를 생각해 보자. 충돌 후 물체의 속도가 물체 A는 v1', 물체 B는 v2'이 되었다면 충돌 전후 운동량의 변화를 살펴보도록 한다.

두 물체가 충돌을 할 때 두 물체는 서로에게 힘을 작용한다. 두 물체가 접촉하였다가 떨어질 때까지의 짧은 시간을 t 라 하고 그 동안 A가 B에 가하는 힘을 F라고 하면, 작용·반작용의 법칙에 따라 B가 A에 가하는 힘은 크기가 같고 방향이 반대인 -F가 된다. 이 경우 물체 B가 받은 충격량은 Ft , 물체 A가 받은 충격량은 -Ft 이다. 한편, 물체가 받은 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같으므로 A, B 각각에 대해서, A의 경우 :

$$Mv1' - Mv1 = -Ft \tag{1}$$

B의 경우 :

$$mv2' - mv2 = Ft \tag{2}$$

식이 성립한다. 그러므로 이 두 식에서

$$-(Mv1' - Mv1) = mv2' - mv2 \tag{3}$$

가 성립한다.

이 식에서 좌변 Mv1' - Mv1 부분은 A의 운동량의 감소량(음의 값으로서 A는 충돌 후 속력이 감소하므로 운동량이 감소하기 때문이다.)이고 우변 mv2' - mv2 은 B의 운동량의 증가량이다(양의 값으로서 B는 충돌 후 속도가 증가하므로 운동량이 증가하기 때문이다.).

즉, A의 운동량이 감소한 만큼 B의 운동량이 증가한다. 즉, 운동량이 전체적으로 보존되고 있다는 것을 의미한다. 이 식을 다시 정리하면 Mv1 + mv2 = Mv1' + mv2' 가 된다. 역시 충돌 전후의 운동량의 총합은 일정하게 보존됨을 알 수 있다. 이를 운동량 보존의 법칙이라고 한다.

한편, 이러한 운동량 보존의 법칙은 일직선상에서 일어나는 충돌뿐만 아니라 이차원, 삼차원에서도 성립하며, 분열, 폭발 등 어느 경우에도 성립한다. 이는 위의 유도 과정에서 보듯이 운동량 보존의 법칙이 작용·반작용의 법칙에서 유래되기 때문이다.

이는 골프에서도 마찬가지다. m1g의 골프채 헤드와 m2g의 골프공을 치기 전에 각각 v1xm/s, v2xm/s, v3xm/s, v4xm/s, v5xm/s의 속도로 움직이고 있었고 골프공을 치고 난 후에는 골프채 헤드가 같은 방향으로 v1'm/s의 속도로 움직였고 골프공 치고 나서 날아가는 골프공의 속도를 구해보도록 한다.

운동량 보존의 법칙에 따라

$$m1v1 + m2v2 = m1v1' + m2v2' \tag{4}$$

이다.

다시 말해서

$$\begin{aligned} & A\text{물체의 질량} * A\text{물체의 속도} \\ & + B\text{물체의 질량} * B\text{물체의 속도} \\ & = A\text{물체의 질량} * \text{충돌 후 } A\text{물체의 속도} \\ & + B\text{물체의 질량} * \text{충돌 후 } B\text{물체의 속도} \end{aligned} \tag{5}$$

가 된다.

이를 알고리즘으로 표현하면 표1과 같이 나타낼 수 있다.

표 1. 골프공의 속도 측정 알고리즘
Table 1. Golf Ball's Velocity Measurement Algorithm

1	충돌 전
1.1	A물체의 질량 파악
1.2	A물체의 속도 파악
1.3	B물체의 질량 파악
1.4	B물체의 속도 파악
2	충돌
2.1	충돌 후 A물체의 속도 파악
2.2	충돌 후 B물체의 속도 파악
3	식(5)를 충족
3.1	식(5)의 빈 영역 계산

IV. 실험

실험은 Window Vista 7에서 Visual C++ 2011을 이용하여, 골프존이 자체 개발한 최첨단 센서인 "비전센서

(Vision Sensor)를 이용하였다. 비전 센서는 고속 카메라를 이용해 마킹 없이 고속물체를 인식하고, 실시간 처리가 가능한 센싱 기술을 통해 매트 위에서 자유롭게 볼에 대한 타격이 가능한 센서로 스윙 속도가 나온다. 실험은 각 골프채를 잡고 스윙을 할 때의 속도 측정을 비전 센서로 측정을 하고 골프채 헤드의 질량을 달아서 입력하고, 골프공의 무게를 달아서 입력하여 결과 값이 나오도록 프로그래밍을 하였다.

다음 그림 2는 골프존이 자체 개발한 최첨단 센서인 비전 센서를 나타낸다. 플레이트 정면에 위치한 고속카메라 센서이다. 약간 조명처럼 생긴 이 카메라 센서가 드로우 샷, 페이드 샷, 로브 샷 등 다양한 기술 샷을 인식한다. 한쪽에 2개씩 총 4개의 고속카메라 센서가 천정에 부착되어 클럽 궤적, 임팩트, 볼의 움직임 까지 측정이 가능하다는 사실이다.



그림 2. 비전 센서
Fig. 2 Vision Sensor

다음 그림 3은 골프존에서 Royal Country Club을 로딩하여 게임하기 위한 화면을 말한다.



그림 3. Royal Country Club 로딩 화면
Fig. 3 Loading Screen of Royal Country Club

실험에서 m1은 골프채의 헤드 질량 300g을 말하고 v1은 골프채의 헤드 속도로 각각 20m/s, 25m/s, 30m/s, 35m/s, 40m/s의 속도를 나타내며, m2는 골프공의 질량 45g을 나타내고 v2는 골프공을 치기 전에 놓여 있었기 때문에 0의 속도를 나타낸다. v1'는 골프공을 치고 난후 골프채의 헤드 속도인 15m/s를 나타내고 v2'는 골프공을 골프채의 헤드로 치고 난 후 날아가는 속도, 즉, 구하고자 하는 값을 나타낸다. 자세한 내용은 그림 4에서 자세히 설명하고 있다.

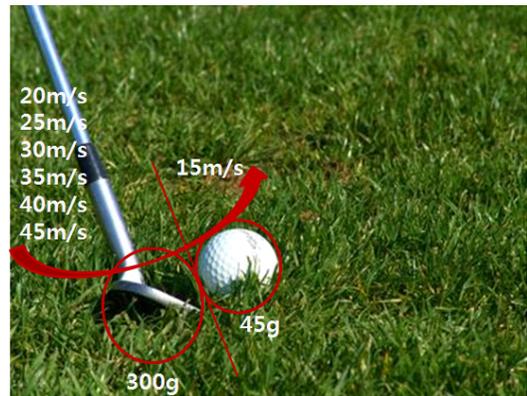


그림 4. 스윙 분석 환경 설정
Fig. 4 Configuration of Swing Analysis

이와 같은 환경에서 식 (5)의 좌측 항에 값을 대입하면, A물체의 질량은 300h를 나타내고 A물체의 속도는 20m/s를 나타낸다. 그리고 B물체의 질량은 골프공의 질량인 45g을 나타내고 B물체의 속도는 골프공을 치기 전에 놓여 있었기 때문에 0을 나타낸다. 식 (5)의 우측 항에 값을 대입하면, A물체의 질량은 그대로 헤드의 질량 300g을 나타내고, 충돌 후 A물체의 골프공을 치고 난 후 속도인 15m/s를 나타낸다. B물체의 질량은 그대로 골프공의 질량인 45g을 나타내고, 충돌 후 B물체의 속도는 구하고자 하는 속도이다.

따라서 이를 식으로 정리해 보면

$$\begin{aligned}
 300 * 20 + 45 * 0 &= 300 * 15 + 45 * v \\
 6000 &= 4500 + 45v \\
 45v &= 1500 \\
 v &= 1500 / 45 = 33.3333\text{m/s}
 \end{aligned}$$

골프채가 골프공을 치고 난 후의 속도는 결국 33.3333m/s가 된다.

골프채의 헤드 질량 300g일 때 골프채의 헤드 속도가 각각 20m/s, 25m/s, 30m/s, 35m/s, 40m/s로 다를 때의

골프공의 질량 45g에 대하여 골프공을 치고 난후 골프채의 헤드 속도가 15m/s로 줄었고 골프공을 골프채의 헤드로 치고 난 후 날아가는 속도를 구해보면 표 1과 같은 결과를 얻을 수 있다.

표 1. 헤드 속도별 공이 날아가는 속도
Table 1. Ball Flying Speed per Head Speed

골프채의 헤드 속도	골프공을 친후 날아가는 속도
20m/s	33.3333
25m/s	66.6667
30m/s	100
35m/s	133.3333
40m/s	166.6667

다음 그림 5는 헤드 속도에 따른 골프공의 비거리를 그래프로 나타낸 것이다. 좌측 옆은 비거리를 나타내고, 아래쪽 행은 골프 클럽 헤드의 속도를 나타낸다.

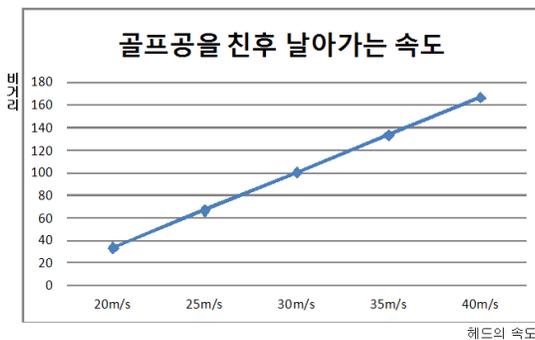


그림 5 공이 날아가는 속도 그래프
Fig. 5. Ball Flying Speed Graph

우리는 상기의 그래프에서 헤드 속도가 빠를수록 공이 멀리 날간다는 것을 알 수 있다.

본 논문에서의 이러한 실험과 결과를 바탕으로 기존 연구와의 차별성 내지 차이점을 나타내는 비교 평가 결과가 <표 2>에서 자세히 나타내고 있다. 정량적인 비교 평가는 기존 연구에서 실험 대상이 없어서 할 수 없었고, 정성적인 평가만 수행 하였다. 평가에서 본 논문의 연구와 실험은 시뮬레이션을 수행하는데도 적은 장비로 가능하고 그 유용성 또한 뛰어난 것으로 나타났다. 그리고 단순한 데이터 분석이 아닌 실제

데이터를 처리하여 데이터 사용률이 높은 것으로 나타났다.

표 2 기존 연구와 비교 평가
Table 2. Comparison and Evaluation of Related Research

구분	기존연구	본 논문
사용한 데이터	골프공의 궤적과 속도 (1-3) 신체 무게 중심과 골프공의 상대적 거리 등 데이터는 많으나 단순한 분석(13)	헤드의 속도, 골프공의 질량, 임팩트, 임팩트 후의 날아가는 속도, 임팩트 후의 이동 방향 등 실제의 데이터
다른 이론이나 법칙과 함께 사용	물질의 변화(4), 뉴턴의 운동 제 2 법칙(5), 특수상대성 이론(6-10), 금속과 플라스틱 스파이크의 차이(11), 유한요소해석(12)	운동량 보존의 법칙
시뮬레이션	가능하지만 많은 측정 장비 필요(1-13)	적은 측정 장비로 가능
유용성	유용성 저하(1-13)	매우 유용함

본 연구가 기존 연구보다 우수하다는 것은 골프를 칠 때 실제 데이터를 이용하여 실험하였으며, 복잡한 이론이나 법칙이 사용되지 않았다는 것이다. 그리고 적은 장비로서 쉽게 측정 가능하고 매우 유용하다는 장점이 있다.

V. 결론

본 논문에서는 골프채 헤드가 골프공을 일정속도로 움직여 쳤을 때의 상황을 나타내었다. 골프공을 치고 난 후 골프채의 헤드는 같은 방향으로 일정 속도로 움직일 때 골프공을 치고 날아가는 골프공의 속도를 구하였다. 골프채의 헤드 질량 300g일 때, 골프채의 헤드 속도가 각각 20m/s, 25m/s, 30m/s, 35m/s, 40m/s로 다를 때의 골프공의 질량 45g에 대하여 골프공을 치고 난후 골프채의 헤드 속도가 15m/s로 줄었고 골프공을 골프채의 헤드로 치고 난 후 날아가는 속도를 구해보았다. 또한 표와 그림으로 헤드 속도별 공이 날아가는 속도를 표현하였다.

본 연구는 골프공의 속도 측정을 수행한 논문으로, 헤드의 속도, 골프공의 질량, 임팩트, 임팩트 후의 날아가는 속도, 그리고 임팩트 후의 이동 방향을 데이터로 다루었다. 하지만 향후 본 연구의 수준을 뛰어넘어 골프 스윙에 대한 보다 철저한

분석이 이루어지길 바라고, 보다 좋은 스윙 연습기 및 교정기가 개발되기를 바란다. 또한 각종 센서에 대하여 처리할 정보들 좀 더 확보하여 실시간으로 보다 많은 데이터를 처리하였으면 좋겠다.

참고문헌

- [1] Sang-Hyuk Ahn, Eun-Ju Kim, Chang-Geun Song, "Investigation of a trajectory of a golf ball for Interactive 3D Golf Game," Proceedings of KIISE 2006(B), pp. 88-90, 2006.6.
- [2] Roh, Woo-Jin, Lee, Chong-Won, "A Study on Golf Ball Spin Mechanism at Impact," Transactions of the Korean society for noise and vibration engineering, Vol. 17, No. 5, pp. 456-463, 2007.1
- [3] Hong Seok Lee, Tae Hoon Kim, Geon Woo Joh, "Directional Analysis by Momentum Conservation Law," Proceedings of Korea Society of Forensic Science, pp. 331-331, 2005. 3.
- [4] Akio Saitoh, "Law of Conservation of Momentum Apparatus," The Physics Teacher, Vol. 44, Issue 8, pp. 546, Nov. 2006.
- [5] Graeme W Milton and John R Willis, "On modifications of Newton's second law and linear continuum elastodynamics," Proc. R. Soc. A 8, Vol. 463, No. 2079, pp. 855-880, March 2007.
- [6] CROSS, Daniel J., "Resolution of the Mansuripur paradox," arXiv preprint arXiv:1205.5451, 2012.
- [7] MCDONALD, Kirk T., "Mansuripur's Paradox," posted to <http://www.physics.princeton.edu/~mcdonald/examples/mansuripur.pdf>, 2012.
- [8] Vanzella, Daniel AT., "Comment on 'Trouble with the Lorentz Law of Force: Incompatibility with Special Relativity and Momentum Conservation'," Physical Review Letters 110.8, 2013: 089401.
- [9] Mansuripur, Masud, "Trouble with the Lorentz law of force: response to critics," SPIE NanoScience+ Engineering, International Society for Optics and Photonics, pp. 845512-845513, 2012.
- [10] Boyer, Timothy H., "Examples and comments related to relativity controversies," American Journal of Physics 80:962, 2012.
- [11] Po-Ryong Shim, Gyu-Yul Shim, "Effect of Different Golf Shoe treads on Wear and Ball Speed of Putting Green," Korean Journal of Turfgrass Science, Vol. 11, No. 3, pp. 205-210, 1997.
- [12] Jee Hoon Son, Ki Kwang Lee, Jae Jin Ryue, Seong Ha, "Kinematic Analysis of 7 Iron Low Trajectory Control Shot," Korean Journal of Sport Science, Vol. 22, No. 1, pp. 1685-1692, 2011.
- [13] <http://dlegongbuwarac.edupia.com/xmlView.aspx?sixid=055669>

저 자 소 개



신 성 운
2003년 2월 : 군산대학교
컴퓨터과학과 이학박사
2006년~현재 : 군산대학교
컴퓨터정보과학과 교수
관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전,
가상현실, 멀티미디어
Email : s3397220@kunsan.ac.kr



이 현 창
2001년 : 홍익대학교
컴퓨터과학과(공학박사)
2008년~현재 : 원광대학교
전자상거래학부 교수
관심분야: Semantic Web,
Image Processing,
Ubiquitous Computing
Email : hclglory@wku.ac.kr



이 양 원
1994년 : 송실대학교
전자계산학과(공학박사)
1979~1986 : 국방관리연구소 연구원
1986년~현재 : 군산대학교
컴퓨터정보공학과 교수
관심분야: Telematics,
Fuzzy Theory,
Image Processing
Email : ywrhee@kunsan.ac.kr