

## 고속CCD카메라를 이용한 비행골프공의 데이터 측정 시스템

### The Flight Data Measurement System of Flying Golf Ball Using the High Speed CCD Camera

김기현, Kihyun Kim\*, 조재익, Jaeik Jo\*\*, 윤창욱, Changok Yun\*\*, 박현우, Hyunwoo Park\*\*,  
주우석, Woosuk Joo\*\*, 이동훈, Donghoon Lee\*\*, 윤태수, Taesoo Yun\*\*\*

**요약** 최근 체감형 스포츠 게임이 늘어나면서 실제 사용자의 동작을 인식하는 연구가 활발히 진행 중이다. 그 중에서도 골프에 관한 연구가 활발하다. 본 논문에서는 고속CCD카메라를 이용하여 골프공의 비행데이터를 측정한다. 고속CCD카메라는 촬영 시, 한 장의 이미지에 여러 번의 노출을 이용하여 고속으로 촬영하여 획득한 영상은 영상처리과정을 통하여 촬영된 공의 위치를 측정한다. 계산된 골프공의 위치는 물리공식을 이용하여 골프공의 비행데이터인 속도, 날아가는 방향을 계산한다. 본 시스템은 향후 비행하는 골프공뿐만 아니라, 야구, 테니스 등과 같은 타격 스포츠에서 체감형 게임 형태로 적용이 가능하다.

**Abstract** Recently, while 3D sports game increases, the research that it recognizes the operation of the real user actively progresses. Most of all, the research about the golf is active. In this paper, the image acquiring in a high-speed CCD camera measures the flight data of the golf ball through the image processing. While photographing, the high-speed camera, using this system, exposes an image at regular intervals. And line scan camera checks whether the golf ball passed or not. After the location information of the calculated golf ball calculates a speed and a direction by using the physical formula, it applies the golf simulation.

**핵심어:** Line Scan Camera, High Speed CCD Camara, The Flight Data Measurement System, Golf ball, Tangible Game

#### 1. 서론

최근 체감형 스포츠 게임이 늘어나면서 실제 사용자의 동작을 인식하는 연구가 활발히 진행 중이다. 그 중에서도 골프에 관한 연구가 활발하다[1]. 일반인이 골프채(드라이버)를 이용하여 골프공을 타격하였을 때, 일반적인 속도는 100km/h 이상이다[3]. 또한 세계적인 골프선수인 타이거우즈가 공을 치는 속도는 250km/h이다. 이를 초단위로 환산하여 1초에 몇mm를 가는지 환산해보면, 1초에 약 69444.44mm

를 간다는 계산 결과가 나온다. 골프공의 지름은 약 42.67mm이므로 공이 지나갈 때의 감지 속도를 비례식을 이용하여 계산하면 약 0.6ms마다 1프레임을 찍을 수 있어야 한다. 일반 웹캠이 30fps라면 1초에 30장을 찍으므로 약 33ms의 속도로 찍기 때문에 지나가는 골프공을 촬영할 수 없고, 촬영되었다 하더라도 골프공 모습이 흐리게 촬영된다. 그리고 고속 카메라는 수천만 원대의 고가의 장비들이기 때문에 시스템으로 사용하기엔 적합하지 않다. 본 논문에서는 1000fps 이상의 고속카메라에서 획득한 영상과 같은 목적의

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

\*주저자 : 동서대학교 디자인&IT전문대학원 영상콘텐츠학과 석사과정 email: [khkim@dit.dongseo.ac.kr](mailto:khkim@dit.dongseo.ac.kr)

\*\*공동저자 : 동서대학교 디지털콘텐츠학부 게임학과 email: [dream21cc@empal.com](mailto:dream21cc@empal.com)

\*\*공동저자 : 동서대학교 디자인&IT전문대학원 영상콘텐츠학과 박사과정 email: [coyun@hanmail.net](mailto:coyun@hanmail.net)

\*\*공동저자 : 동서대학교 RIC 센터 연구원 email: [phw1010@gdsu.dongseo.ac.kr](mailto:phw1010@gdsu.dongseo.ac.kr)

\*\*공동저자 : 동서대학교 일반대학원 영상콘텐츠학과 교수 email: [savrang@dongseo.ac.kr](mailto:savrang@dongseo.ac.kr)

\*\*공동저자 : 동서대학교 일반대학원 영상콘텐츠학과 교수 email: [dhl@dongseo.ac.kr](mailto:dhl@dongseo.ac.kr)

\*\*\*교신저자 : 동서대학교 일반대학원 영상콘텐츠학과 교수 email: [tsyun@dongseo.ac.kr](mailto:tsyun@dongseo.ac.kr)

영상을 획득할 수 있는 고속CCD카메라를 이용하여 골프공의 비행데이터를 측정한다. 먼저 골프공이 지나가는 순간을 알기 위하여 라인스캔카메라를 이용하고, 공의 지나감을 판단한 라인스캔카메라는 고속CCD카메라가 공을 촬영할 수 있도록 트리거 신호(Trigger Signal)를 보낸다. 고속CCD카메라는 촬영 시, 한 장의 이미지에 여러 번의 노출을 이용하여 고속으로 촬영하여 획득한 영상은 영상처리과정을 통하여 촬영된 공의 위치를 측정한다. 계산된 골프공의 위치는 물리공식을 이용하여 골프공의 비행데이터인 속도, 날아가는 방향을 계산한다. 본 시스템은 향후 비행하는 골프공뿐만 아니라, 야구, 테니스 등과 같은 타격 스포츠에서 제각형 게임 형태로 적용이 가능하다.

## 2. 시스템 구성

그림 1은 본 논문에서 사용하는 카메라 시스템의 구성도이다. 카메라 시스템은 천정에 설치하여 바닥을 바라보게 한다. 카메라 시스템에서 중간에는 라인스캔카메라를 설치하고 공의 비행여부를 판단한다. 이 때, 골프공의 영상을 보다 확실하게 얻기 위하여 각 카메라 사이에 조명을 설치한다. 그리고 양쪽에는 고속CCD카메라를 설치하여 골프공의 비행상태를 측정한다.

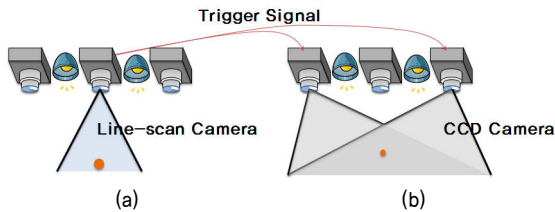


그림 1. (a) 라인스캔카메라를 이용한 골프공의 비행판단, (b) 고속 CCD 카메라를 이용한 비행 상태판단

그림 1은 본 논문에서 사용하는 카메라 시스템의 구성도이다. 카메라 시스템은 천정에 설치하여 바닥을 바라보게 한다. 시스템의 중간에 라인스캔카메라를 설치하고, 양쪽에는 고속카메라를 설치하여 골프공의 비행 상태를 측정한다. 이 때, 골프공의 영상을 보다 확실하게 얻기 위하여 각 카메라 사이에 조명을 설치한다. 고속 카메라의 경우 형광등을 조명으로 사용할 경우, 형광등의 깜빡임 때문에 조도가 일정치 않게 된다. 그래서 본 논문에서는 100W의 할로겐램프 두 개를 조명으로 사용한다.

그림 2는 본 논문에서 사용하는 카메라의 시스템 흐름도이다. 먼저 라인 스캔 카메라를 이용하여 골프공의 비행여부를 판단한다. 골프공이 비행했다고 판단되면 골프공의 비행모습을 촬영할 수 있는 고속 카메라에 트리거 신호를 보낸다. 트리거 신호를 받은 고속 카메라는 한번 촬영에 일정한 속도로 노출을 반복한다. 이 때 고속 카메라에서 입력 받은 영상에 골프공이 존재하지 않다면 라인스캔 카메라에서 잘못된 판단이라 여기고 다시 라인 스캔 카메라로부터 골프공의 비행 여부를 판단한다. 카메라에서 받은 영상은 영상처리과정을 거쳐 비행 속도 및 비행 방향, 그리고 골프공의 회전속도를 측정한다.

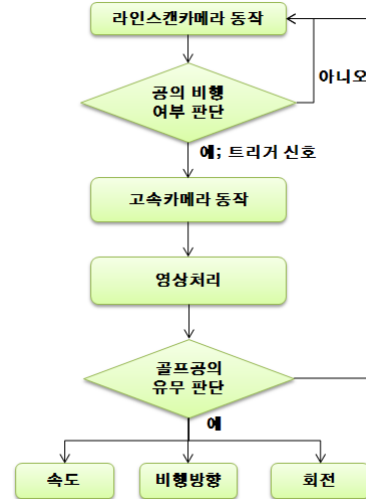


그림 2. 카메라 시스템의 흐름도

## 3. 카메라를 이용한 골프공의 비행 데이터 측정

### 3.1 라인스캔카메라 영상전처리

본 논문에서 사용하는 라인스캔카메라는 골프공의 지나감을 판단하기 위해 사용한다. 라인스캔 카메라는 1024×200의 크기로 흑백 영상이며, 25KHz의 Frame Rate로, 공이 지나가는 길목을 지속적으로 캡처하고 있기 때문에 골프공이 아무리 빠르다 하더라도 모두 캡처가 가능하다. 그림 3은 라인스캔 카메라에서 골프공이 지나가는 영상을 캡처한 것이다.

캡처한 영상은 골프공이 지나감의 여부를 재빠르게 판단하여 고속카메라가 촬영을 할 수 있도록 트리거 신호를 보내야 하기 때문에 간단하고 빠르게 영상전처리를 해야 한다. 그래서 영상을 다른 전처리 과정 없이 입력된 영상의 값이 40보다 큰 값이 300개 이상이면 골프공이 지나갔다는 것을 판단하고 트리거 신호를 고속 카메라에 전송한다.



그림 3. 라인스캔카메라에서 공이 지나갈 때의 영상

### 3.2 고속CCD카메라 영상전처리

본 논문에서 사용하는 고속 카메라는 우리가 일반적으로 알고 있는 한 컷 당 한 장의 이미지를 촬영할 수 있는 고속 카메라와는 달리 한 장의 이미지에 여러 컷의 이미지를 중복 시킨다. 본 연구에서 사용하는 고속카메라는 Trigger신호가 들어오면 영상을 촬영하기 시작한다. 이 때 Sensor Exposure값은 Exposure Numbers, Exposure Duration, Exposure Interval에 의해 정의된다. 여기서 Exposure Numbers의 값은 Trigger 신호가 한번 들어왔을 때 몇 장의 이미지를 촬영할지를 정의한다. 그리고 Exposure Duration

은 영상을 촬영하는 노출시간을 의미하며 Exposure Interval 은 다음 이미지를 촬영할 때까지의 기다리는 시간을 의미한다(그림 4 참조).

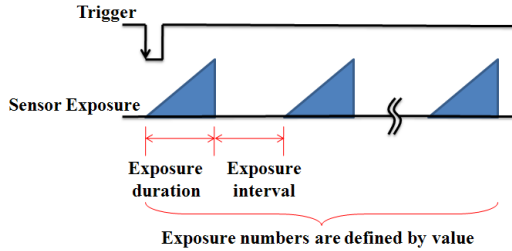


그림 4. 고속 CCD 카메라의 촬영 방법

그림 6.(a)는 골퍼가 드라이버를 이용하여 골프공을 친 다음, 본 논문에서 사용하는 카메라를 이용하여 비행하는 골프공을 촬영한 영상이며, 이 영상은 영상 전처리 과정을 거친다(그림 5 참조).

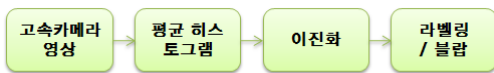


그림 5. 영상 전처리 과정

획득한 영상은 이진화를 하기에 적합한 계수를 찾기 위해 평균 히스토그램의 과정을 거친다. 여기서 구해진 계수를 기준 값으로 영상을 이진화 한 후 라벨링/블랍 과정을 거쳐 다섯 개의 공을 하나씩 분류한다. 이 때, 블랍 된 영상은 오른쪽부터 차례로 라벨링되는 것이 아니기 때문에 선택정렬을 이용하여 공을 다시 오른쪽부터 왼쪽의 순서로 차례로 열거하였다. 처리된 영상(그림 6. (b)참조)은 선택정렬을 이용하여 공을 다시 오른쪽부터 왼쪽의 순서로 차례로 열거한다.

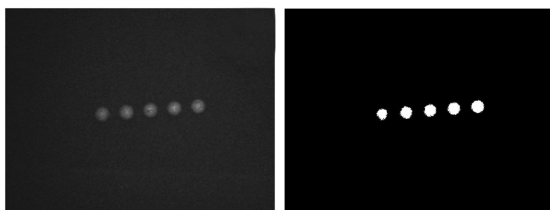


그림 6. (a) 고속카메라로 촬영한 영상  
(b) 영상처리후의 영상

### 3.3 획득한 영상에서의 예외처리

고속 CCD 카메라의 Sensor Exposure설정 값에 따른 영상 획득 시, 고속 CCD 카메라의 Sensor Exposure설정 값보다 공이 빠른 경우, 고속 CCD 카메라의 Sensor Exposure설정 값보다 느린 경우가 있다. 이는 골퍼가 골프공을 잘못 치거나 혹은 골프공과 홀과의 거리, 위치에 따라 공을 치는 골

프채와 방법이 틀려져 골프공의 속도와 연관되기 때문이다.

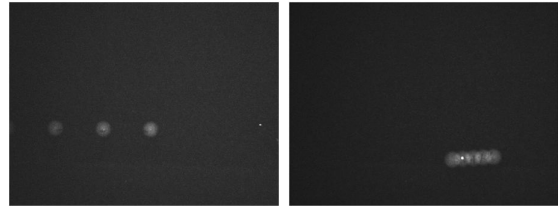


그림 7. (a) 고속 CCD 카메라의 Sensor Exposure설정 값보다 빠른 경우, (b) 고속 CCD 카메라의 Sensor Exposure설정 값보다 느린 경우

첫 번째, 골프공이 고속 CCD 카메라의 Sensor Exposure 설정 값 보다 빠른 경우에는 공이 5개가 촬영 되지 않는다(그림 7.(a) 참조). 이와 같은 경우는 (오른쪽을 기준으로) 처음의 골프공과 두 번째의 골프공과의 시간과 거리를 이용하여 계산하기 때문에 속도 및 각도를 산출 할 수 있다.

두 번째, 골프공이 고속 CCD 카메라의 Sensor Exposure 설정 값보다 느린 경우에는 골프공의 중첩된 영상을 획득한다(그림 7.(b) 참조). 영상이 중첩 되었을 때 그림 5와 같은 영상 전처리 과정을 거치는 경우 블랍된 영상은 하나의 길쭉한 모양으로 처리된다(그림 8참조).

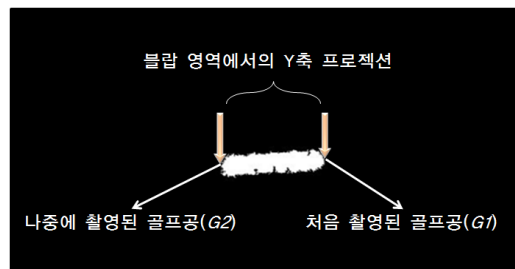


그림 8. 영상 전 처리한 후 y축 프로젝트선 기법을 이용하여 공의 좌표를 구함

이와 같은 경우, Exposure Numbers의 설정 값을 알고 있으므로 한 블랍의 크기 안에 몇 개의 골프공이 겹쳐져 있는지 가정 할 수 있다. 여기서 Y축 프로젝트선기법을 이용하여, 블랍의 오른쪽과 왼쪽에서의 Y좌표를 구하였다. 하나의 블랍인 경우, 골프공의 진행 방향을 알 수 없을 뿐만 아니라 골프공의 대각선 성분에 대해 거리를 알아야 속도를 구할 수 있기 때문이다. 이 때 Y축 프로젝트선에서 가장 처음 만나는 값이 Y축에서의 공의 중심으로 가정한다.

### 3.4 골프공의 비행 데이터 측정

고속 카메라의 영상은 그림 6에서 본 것과 같이 그림 9와 같은 모델을 그릴 수 있다.

공의 위치는 영상에서의 1pixel당 실제거리(P)의 비를 이용하여 계산 한다. 여기서 R은 카메라 뷰 영역에서의 실제 가로 길이 이며, W는 카메라 영상의 가로 길이이다.

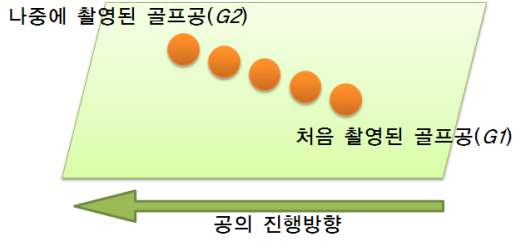


그림 9. 고속카메라에서 얻어오는 영상 모델

$$P = \frac{R}{W} \quad (1)$$

거리 S는 처음 촬영된 골프공의 중심점 좌표를 G1(G1x, G1y)이라 하고 가장 나중에 촬영된 골프공의 중심점 좌표를 G2(G2x, G2y)라 한다면,

$$S = P \times \sqrt{\{(G2_x - G1_x)^2 + (G2_y - G1_y)^2\}} \quad (2)$$

식 1에서 구한 P값을 곱하여 식 2를 이용하여 실제 이동 거리를 구한다. 공이 날아간 거리를 구하면 속도와 시간의 공식을 이용하여 속도를 구할 수 있다. 공의 날아간 거리S는 속력V와 시간T의 곱이므로 그 계산은 식 3과 같다.

$$S = V \times T \quad V = \frac{S}{T} \quad (3)$$

골프공의 비행방향은 삼각함수 공식을 이용하여 구할 수 있다. 골프공의 비행방향의 각을 라고 한다면 계산은 식 4와 같다.

$$\theta_x = \tan^{-1} \frac{G2_x - G1_x}{G2_y - G1_y} \quad (4)$$

#### 4. 실제 카메라 시스템

그림 10은 본 논문에서 제작한 카메라 시스템이다. 라인스캔카메라를 이용하여 공이 지나감과 동시에 고속 CCD 카메라에 트리거 신호를 발생시켜 공을 촬영하게 하였다. 이때 고속 카메라의 Exposure Numbers를 5로 정의하고, Exposure Duration을 0.5ms로 하였다. 그리고 Exposure Interval을 0.8ms로 정의하였다. 골프공의 비행하는 영상은 한 장의 이미지에 중복되어서 촬영되고 이를 영상처리 과정을 거쳐 여러 개로 촬영된 골프공을 하나씩 분리하였다. 그림 6에서 카메라의 영상의 가로 크기W는 640이고, 카메라의 뷰 영역에서 바라보는 실제의 가로 길이R은 1m이므로, 1pixel당 약 1.56mm의 크기가 계산된다. 그리고 가장 처음에 촬영된 공과 가장 나중에 촬영된 공의 좌표는 각각 (393, 134), (253, 118)로 공식 2, 3의 계산 결과 약 152.65km/h의 속도를 얻을 수 있었다. 또한 공의 진행 방향인 각도는

공식 4의 계산 결과 약 6.52°의 각도를 얻을 수 있었다.



그림 10. 카메라 시스템

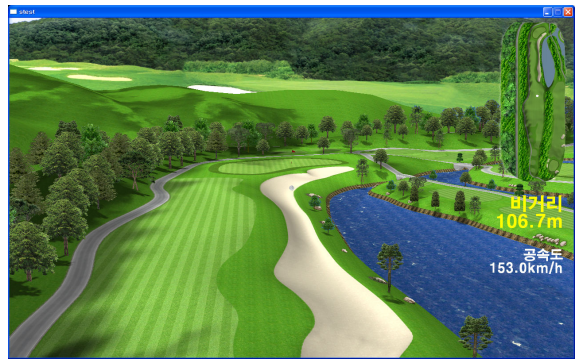


그림 11. 비행데이터를 물리 시뮬레이터에 대입

골프공의 비행을 완벽하게 구현하기 위해서는 골프공이 떠오르는 각과 공의 회전을 알아야 한다. 그 부분은 본 연구 이후로 진행할 내용이기 때문에 골프공의 떠오르는 각과 공의 회전은 구현하지 않았다. 그래서 공이 떠오르는 각도는 임의로 45°이고, 바람의 영향은 전혀 없으며, 회전은 0rpm을 주었고, 측정 데이터를 제작한 물리 시뮬레이션에 결과를 대입하였다(그림 11 참조). 골프공의 비거리는 그림 12와 같다.

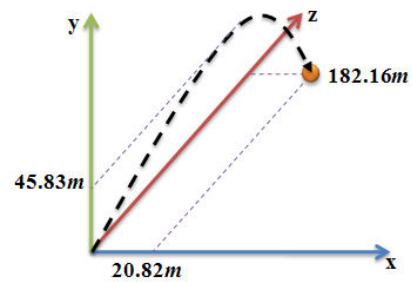


그림 12. 골프공의 비거리

#### 4. 결론 및 향후 과제

라인스캔카메라를 이용하여 골프공의 비행 유무를 판단하였고, 고속 CCD 카메라를 이용하여 골프공의 비행 상태를

촬영하였다. 그리고 영상처리 과정을 통하여 골프공의 진행 방향과, 속도를 구하였다. 그리고 나온 결과 데이터를 직접 제작한 물리 시뮬레이터에 적용하여 공의 물리적 요소와 맞는지를 확인하였다.

또한 그림 13에서 보는바와 같이 초고속카메라보다 저렴한 CCD 카메라를 이용하여 원하는 결과 영상의 목적과 동일한 영상을 얻을 수 있었다.

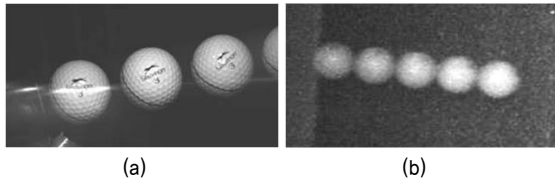


그림 13 (a) Vision Research, Inc 사의 Phantom 고속카메라 영상, (b) 본 논문의 시스템의 고속 CCD 카메라 영상

향후 골프공의 완벽한 비행 상태를 구현하기 위해 스테레오 매칭 알고리즘을 이용하여 골프공의 떠오르는 각의 구현과, 영상에 촬영된 공의 회전을 계산하는 방법에 대하여 연구할 계획이다.

## 참고문헌

- [1] 안상혁, “체감형 3D 골프 게임을 위한 시뮬레이터의 개발”, 한림대학교, 석사논문, 2006
- [2] 강기범, “물리기반 모델링을 이용한 골프 퍼팅의 구현”, 한림대학교 석사논문 2007
- [3] 김신용, “골프, 원리를 알면 10타가 준다.” : 대경북스
- [4] 박무영, “골프에서 드라이브 시 충돌 조건에 따른 골프공 탄도에 대한 실험적 측정”, KAIST, 석사논문, 2006
- [5] David M, Bourg, “Physics for Game Developers” : O’ Reilly