

# 골프공 회전 무게중심 검출 시스템

이재웅\* · 현웅근\* · 오준호\*

\*호남대학교 전자공학과, \*\*에이스골프

A development of automatic detecting equipment for rotation axis of golf ball

Jae-woong Lee\* · Woong-keun Hyun\*\* · Jun-ho Oh\*

\*Dept. of Electronics Engr. Honam University , \*\* ACE Golf Co. LTD

E-mail : wkhyun@honam.ac.kr , 92jwlee@naver.com

## 요 약

본 연구에서는 딤플공의 회전축을 찾아가는 상태를 측정하는 영상 기반 시스템을 개발하였다. 공기압으로 골프공을 부양시키면 표면에 딤플이 있는 골프공은 자이로의 원리에 의해 강하게 회전하면서 부양하고 47g의 골프공 무게에 의해 일정 높이에서 정지하면서 무게중심 회전축을 중심으로 일정하게 회전하게 된다. 본 장치는 공기 중으로 부양하면서 회전하는 골프공이 고정된 회전축을 찾기까지의 시간을 검출하는 장치 및 최적의 공기압을 찾아내는 시스템이다.

## ABSTRACT

Many golf balls have wrong rotation axis owing to bad production and scratch. A flying golf ball makes sliced or curved motion mainly to owing the wrong rotation axis of golf ball. Dimples of golf ball make a golf ball higher and more straight flying. When we hit a golf ball by driver or iron club, the dimpled ball flies straight and rotates as well. While the ball flying, the rotating axis of the ball convergence. And this makes the ball motion curved. If we hit a golf ball in direction of the rotation axis, the flying ball makes straight motion. In this paper, we develop a control system to detect convergence axis and time of flying golf ball based on vision system. To show validity of the developed system, We experimented several case for dimpled golf balls.

## 키워드

골프공, 딤플 공, 회전축, 영상기반 검사장치

## I. 서 론

현재 골프공중 일부는 생산과정의 불량이나 골프공의 흠집 등에 의해서 무게중심이 변형 되어 있다. 딤플구조를 가진 골프공은 딤플 구성을 통해서, 공의 회전효과를 극대화시키고, 동시에 골프공이 부양되는 양력을 향상시킨다. 골프공을 드라이버나 아이언으로 쳤을 경우 딤플효과에 의해 회전하며 부양능력이 향상되며 공의 직진성이 증가 한다. 또한 딤플에 의해 강하게 회전 하는 바중심이 틀어져 있는 볼은 회전축이 흔들 리면서 진행하다가 회전축이 일정하게 축의중심을 잡아 가면서 진행한다. 본 연구에서는 딤플공의 회전축을 찾아가는 상태를 측정하는 영상 기반 시스템을 개발한다. 공기압으로 골프공을 부양시키면

표면에 딤플이 있는 골프공은 자이로의 원리에 의해 강하게 회전하면서 부양하고 47g의 골프공 무게에 의해 일정 높이에서 정지하면서 무게중심 회전축을 중심으로 일정하게 회전하게 된다.

본 장치는 공기 중으로 부양하면서 회전하는 골프공이 고정된 회전축을 찾기까지의 시간을 검출하는 장치 및 최적의 공기압을 찾아내는 시스템이다.

## II. 본 론

### 2.1 System 전체구성

전체 시스템의 블록도는 그림 1에서 보이는 바와 같다. 시스템은 PC, 화소 960 X 720 및 auto-focus가 가능한 카메라, 공압 제어 시스템, MPU 기반 공압시스템 제어부로 구성된다. PC는 영상인식 시스템을 사용하며, 공압 제어 및 회전축을 찾기까지의 시간 검출을 검출한다.

공기압시스템은 10bar까지의 공급이 가능한 compressor, 공기압 측정 및 공기압 제어를 위한 전공레귤레이터(ITV3050-214BS2), 2중 air filter (AF40-04-A, AF40-04-A) 및 air solenoid Valve(VXZ240)등으로 구성된다. 본 실험에서 10 bar 출력의 compressor 출력은 7bar 정도의 에어를 출력으로 사용하였으며, 70Um, 30Um 의 compressor 및 필터를 거쳐 전체를 통합제어 하는 시스템은 HW적으로는 PC, SW적으로는 영상인식 SW 기반으로 한다.

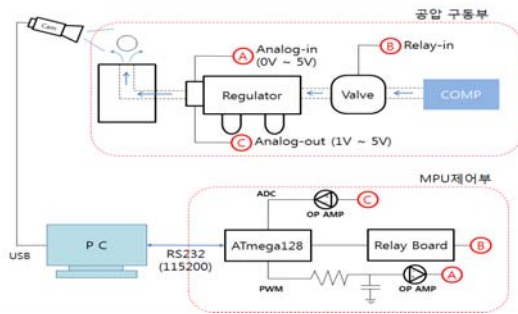


그림1. 전체 시스템 구성도

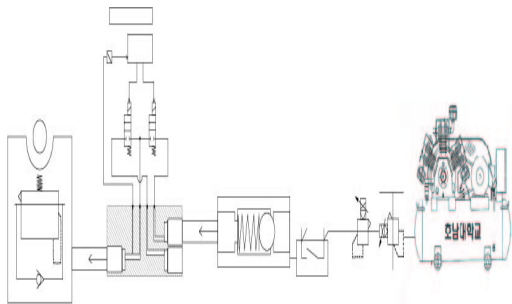


그림 2. 공기압 구동 제어 부 구성도

시스템의 동작은 프런트패널에서 검출 START 버튼을 누르면 통신설정 창이 뜨고 설정 후 직렬통신으로 공기압시스템 제어보드인 128MPU에 명령을 내리고, 128MPU 제어보드에서는 릴레이를 통해 공기압을 개폐하고 공기압을 compressor로부터 방출한다. 이를 기반으로 골프공이 부양하며

일정 회전 후 중심을 찾아 가는 바, 회전 수렴 순간을 영상인식을 통해 PC가 검출하며 그 순간의 시간을 찾아내는 것이 검출 장치의 기능이다. 영상 인식 및 검출 알고리즘은 다음과 같다.

## 2.2 영상 기반 골프공 회전중심 검출 시스템

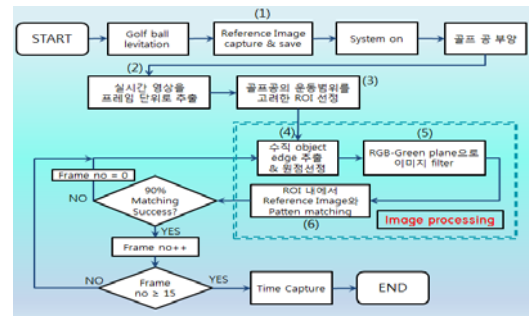


그림 3. 골프공 회전중심 검출 알고리즘 순서도

- (1) Reference Image capture & save
- (2) 실시간 영상 프레임 capture
- (3) 골프공 최대 동작범위를 고려한 원형 ROI(Region of Interest) 선정
- (4) 영상 프레임에서 원점 선정
  - 수직 object 검출 및 기준점 선정
- (5) 전처리 이미지 filtering
  - RGB-green Plane filtering
- (6) 검출비교 ROI에서 Reference image와 Pattern matching 비교 및 판단

### Step 1: Reference Image 및 회전 골프공 실시간 영상 프레임 capture

Reference Image는 조명이나 장소에 따라 변화하는 것을 고려하여 실험을 진행하기 전에 실험환경을 Setting하고 기구 부를 작동시켜 현재 환경에 맞는 Reference Image를 capture 후 저장경로에 저장을 시킨다.

골프공 회전 실시간 영상은 30fps(frame per second)로 획득한다. 이에 (3) ~ (6)까지의 처리 시간은 33msec 내에서 진행된다.

### Step 2: 골프공 최대 동작범위를 고려한 ROI (Region of Interest) 선정

영상처리의 목적은 골프공의 회전 상태를 검사하는 것이므로 카메라 영상화면 전체를 이미지 프로세싱 하는 것보다는 골프공의 동작범위 내에 면적을 처리하여 처리시간 및 메모리를 줄이고, 검출의 정확도를 높일 수 있다. 이와 같이 그림 4는 전체 이미지에서 골프공의 동작범위를 고려하여 ROI를 설정하는 것을 보여주고 있다.



그림 4. ROI 선정

**Step 3: 영상 프레임에서 원점 선정**

그림 5 (가)와 (나)는 전체 이미지에서 원점 좌표를 선정하기 위한 작업으로 처음 그림 (가)는 Edge detecting을 하는 사진이며, 기구부에 붙어 있는 V자형 가이드를 기준으로 detecting 하였다. (이유 : 골프공 근처에 항상 존재하며, 위치가 변동 되지 않는다. 또한 물체가 희미하지 않고 뚜렷하며, 음영 표시가 정확하여 detecting에 적합.) 다음으로 그림 (나)는 Edge detecting을 통해 얻은 Edge point를 영상좌표계의 원점으로 설정하는 Set Coordinate 단계이다. 이렇게 원점을 설정하게 되면 영상이 흔들리거나 각도가 변화 하여도 원점은 일정하여 다른 이미지나 ROI, Matching Image 등을 찾아낼 수 있게 된다.



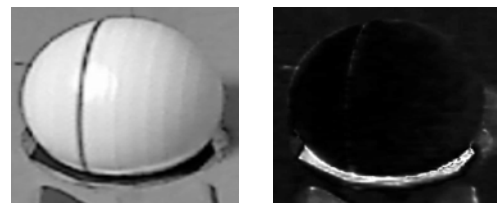
(가) (나)

그림 5. (가) Edge detecting (나) Set coordinate

**Step 4: 이미지 filter( RGB-Green Plane) 및 ROI에서 reference image 와 pattern matching 비교 및 판단**

본 연구에서 사용한 Pattern matching은 8-bit Gray level 기반 매칭이므로 RGB 배열 값으로 얻어지는 원본 이미지를 변형하여야 한다. 이에 대

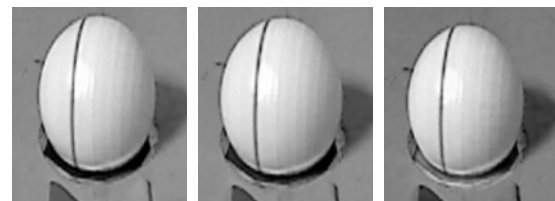
해 필요한 영상 변환 작업이 크게 두 가지의 경우가 있는바 이는 그림 6에서의 (가)RGB 방법과 (나)HSL 방법이 있다. RGB방법은 Red, Green, Blue 각각의 세 가지의 색중에 선택한 색을 제외한 나머지 색의 값을 0으로 만들어 이미지 변환을 하는 방법이고, HSL 방법은 색조(Hue), 채도(Saturation), 명도(Luminance) 값의 따라 이미지를 변환하는 방법이다. 본 연구에서는 골프공이 회전할 때 수렴선을 찾는 것에 주 목적을 두고 있는바 HSL은 색의 변화보다는 물체의 윤곽을 찾는 데 용이하여 수렴선을 찾는 데 부적합을 보이므로 본 연구에서의 filter는 RGB방식을 사용한다.



(가) (나)

그림 6. (가) RGB filter (나) HSL filter

또한 선 처리 방식에서 Green Plane filtering을 사용하였다. 이는 가시광선 스펙트럼에서 파장이 길수록(적색) 어두운 조명에서 용이하게 사용되고, 파장이 짧을수록(자색) 밝은 조명에 용이하게 사용 되는데 이 결과에 따르면 Red plane은 어두운 환경에서 용이하고, Blue plane은 밝은 환경에서 용이하다고 볼 수 있다. Green plane은 Blue와 가까운 가시광선이지만 Blue plane보다는 좀 더 어두운 환경에 용이하다 볼 수 있다. 위 연구는 실내에서 조명을 이용하여 밝기를 조절한 환경에서 진행되는 것을 고려하여 filtering 실험을 한 결과 Green plane이 이미지의 뚜렷함과 이미지 밝기 면에서 가장 적합하다.



(가) (나) (다)

그림 7. RGB-Plane (가) Red plane (나) Green plane (다) Blue plane

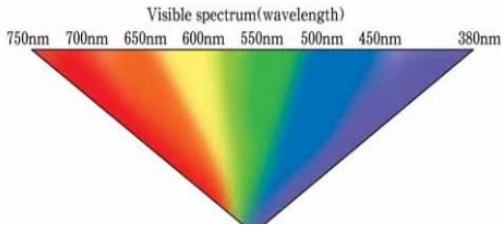
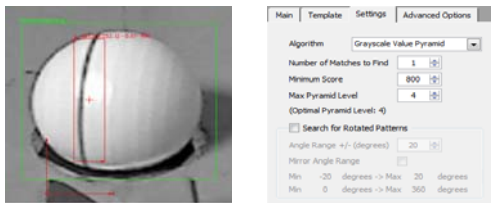


그림 8. 가시광선 스펙트럼

Pattern matching이란 원본 이미지에 매칭 시켜려는 대상의 Reference image를 찾는 방법이다. 본 연구에서는 Reference image를 직접 저장경로에 저장을 시켜두는 방식으로 진행됨으로 매칭의 대상인 Reference image를 저장경로에서 가져와 실시간 영상에 설정된 ROI내에서 Matching 작업을 수행한다. 또한 Pattern matching을 실행 하는데 있어 설정하는 값들이 있는데 Matches Find와 Match Score가 있다. Matches Find는 몇 개의 Pattern을 찾을 것인지에 대한 설정이고, Match Score는 0-1000까지의 범위를 가지고 Pattern 형태의 점수를 정하는 값이다. 이 값이 높을수록 Matching을 견고하게 수행하게 된다. 위 연구에서는 Matches Find를 1로 설정하고, Match Score는 800으로 설정하여 진행되었다. 이는 비교 영역의 80% 일치율을 의미한다.



(가)

(나)

그림 9. (가) Pattern matching (나) Matching Setting

### III. 실험 및 결과



그림 10. 개발된 GUI에서 통신 설정모습



그림 11. Reference Image Capture & Save

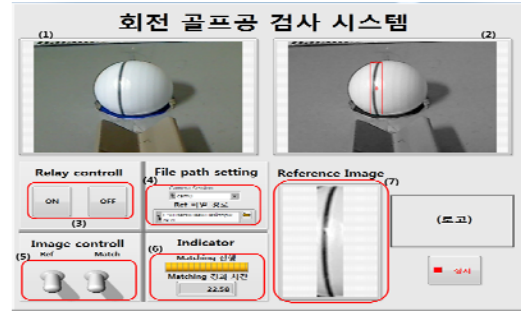


그림 12. 프론트패널 구성 및 실행

그림 10은 프로그램을 실행할 때 통신을 설정하는 과정이며, 그림 11은 Reference image를 capture와 저장하는 과정이다. 그림 12는 전체적인 프론트패널 구성과 Matching 실행 과정이며 구성은 7가지로 이루어져 있다.

- (1) 실시간 영상(골프공 회전 영상)
- (2) Matching 실시간 영상(filter 적용 영상)
- (3) Relay on/off control Button
- (4) Camera(cam) 설정 및 Reference 저장 경로
- (5) Reference capture 및 Match control Button
- (6) Match 진행 상황 및 진행 시간
- (7) Capture 후 저장된 Reference image



그림 13. 개발된 회전무게중심 검출을 위한 공압제어 및 영상검출 시스템 구성

초기각도	수렴시간(s)			
	1차	2차	3차	평균
0° (180°)	24.27	22.09	27.65	24.8
30°	27.96	21.96	30.93	29.5
60°	30.27	28.87	41.86	27.8
90°	20.54	24.5	50.57	58.5
120°	28.17	23.89	30.51	24.1
150°	24.4	30.86	27.2	27.5

표 1. 초기각도에 따른 골프공 회전축 수렴시간

각도	이미지	배칭 이미지	시간	평균 시간
0° (180°)		1 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 24.27	24.8
		2 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 22.49	
		3 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 27.66	

(a) 초기각도 0도인 경우

각도	이미지	배칭 이미지	시간	평균 시간
30°		1 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 27.56	29.5
		2 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 21.56	
		3 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 35.55	

(b) 초기각도 30도인 경우

각도	이미지	배칭 이미지	시간	평균 시간
60°		1 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 18.27	27.6
		2 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 23.37	
		3 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 41.35	

(c) 초기각도 60도인 경우

각도	이미지	배칭 이미지	시간	평균 시간
90°		1 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 20.54	33.8
		2 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 24.5	
		3 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 54.87	

(d) 초기각도 90도인 경우

각도	이미지	배칭 이미지	시간	평균 시간
120°		1 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 28.17	24.1
		2 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 23.69	
		3 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 20.51	

(e) 초기각도 120도인 경우

각도	이미지	배칭 이미지	시간	평균 시간
150°		1 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 24.4	27.5
		2 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 30.86	
		3 차	Indicator Matching 진행 Matching 완료 시간 27.2	

(f) 초기각도 150도인 경우

그림 14. 초기 각도에 따른 회전축 수렴 시간

골프공 회전축 수렴 시간을 찾는 조건은 입의 각도에 있는 골프공이 회전하면서 기준 수렴 영상인 그림9(가)와 일치하는 시간을 1.65초 (50 frame) 이상 유지하면 수렴한다고 정의하여 결정하였다. 비교 방법은 green filtering된 화면에 대하여 기준 수렴 영상과의 pattern matching 방법을 사용하였으며, 기준영상과 80% 일치할 경우 성공한 프레임으로 간주하였다. 다양한 초기위치에 따라 실험한 결과 수렴시간은 평균 20초 때의 시간으로 수렴하였으며, matching의 수렴 범위는 약간의 오차범위 내에서 문제없이 수렴함을 볼 수 있었다. 실험결과 및 표는 그림14 및 표1에 보인다.

#### IV. 결 론

비선형성 골프공의 운동성 분석 및 예측을 위한 영상 기반 회전골프공 중심 측정 장치를 개발하였다. 본 시스템은 수렴된 회전축을 갖는 회전골프공의 영상 matching 방법에 의해 골프공의 회전 상태, 시간 등을 측정하는 시스템을 개발하였다. 영상의 전처리로서 원 영상을 Green plane filtering 처리하였으며, 영상 matching 시간의 단축을 위하여 화면의 특정영역 ROI(region of interest) 을 선정하여 검색시간을 단축하였다. 영상 관련 모든 처리, 검출 및 판단은 30msec 이내에 이루어 졌다. 이로써 골프공 회전 구동 및 밸런싱 측정 기술, 회전 골프공의 밸런싱 분석 관련 자동화기기 개발 및 개발 노하우 보유를 확보하였다.

#### 참고문헌

- [1] USGA, 2004, Stimpmeter Intruction Booklet.
- [2] Werner, F.D., and Greig, R.C., 2000, How Golf Clubs Really Work and How to Optimize Their Design.
- [3] Penner,A.R., 2002, "The run of golf ball," Can.J.Phys.Vol.80,pp. 931-940
- [4] Daish,C.B., 2001, "The physics of golf: The optimum loft of a driver," Am.J.Phys. Vol.69,No.5,pp 563-568
- [5] Jong-hee Lee, Jin-when Kim, "Recognition of a New Car Plate using Color Information and Error Back-propagation Neural Network Algo-rithms", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Science, Vol. 5, No. 5, pp. 471-476, 2010
- [6] RedOne, "Development of a platform for a Golf ball collecting Robot", Final report in Technology Development for Regional Indu-stry, 2013. 3.
- [7] 박무영, "골프에서 드라이브 시 충돌 조건에 따른 골프 공 탄도에 대한 실험적 측정", KAIST, 석사논문, 2006

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2016년도 산학협력력 기술개발사업(기업부설연구소 신규설치)(No. C0267702)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.