

# 골프 스윙 분석 알고리즘 개념 정리표

Ver.7

발주사 요구사항 13개 파라미터에 대한  
완전한 개념 정리 및 구현 가이드



볼 데이터 6개



클럽 데이터 7개



95% 정확도

# 개발 요구사항 전체 개요

발주사 계약서상 개발 요청 13개 파라미터 및 하드웨어 사양

## 볼 데이터 (6개)

- 볼속도 (Ball Speed) ↔ 좌우방향각
- 발사각 (탄도각) ↺ 백스핀
- 사이드스핀 ↻ 스핀축

## 클럽 데이터 (7개)

- 어택앵글 ↻ 클럽페이스앵글
- 클럽패스 ↻ 클럽스피드
- 로프트앵글 ↻ 페이스투패스
- 스매쉬팩터

## 하드웨어 시스템

- 카메라 구성: 세로형 스테레오 (상하 배치)
- 프레임레이트: 250fps
- 해상도: 1920×1080 (Full HD)
- 조명: IR LED 800nm
- 인식 영역: 40×40cm (볼)
- 동기화: ±1ms 정확도

## 성능 목표

- 목표 정확도: 95% 이상
- 처리 시간: 100ms 이내
- 허용 오차: ±1도 (각도), ±1m/s (속도)
- 실시간 처리: OpenCV 기반

# 볼 데이터 파라미터 (1/2)

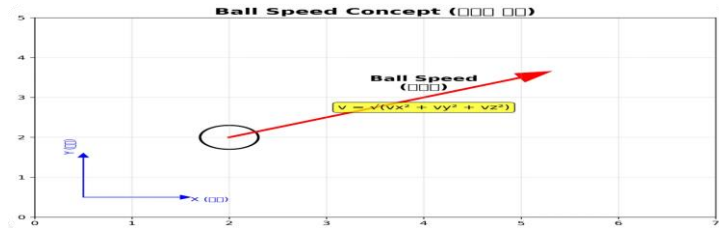
볼 속도, 좌우방향각, 발사각에 대한 개념과 측정 방법

## 1. 볼 속도 (Ball Speed)

개념: 임팩트 직후 볼이 날아가는 3D 속도

$$\text{공식: } v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

정확도: 99% ( $\pm 1$  m/s)



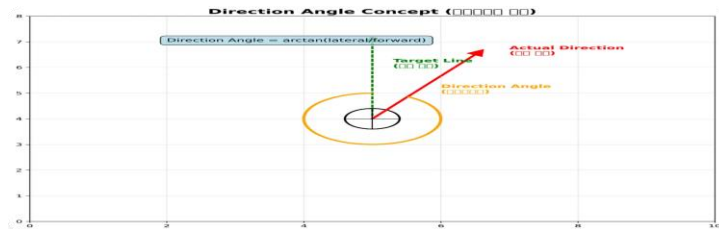
볼 속도 개념도

## 2. 좌우방향각

개념: 타겟 방향 대비 볼의 좌우 편차 각도

$$\text{공식: } \text{angle} = \arctan(\text{lateral}/\text{forward})$$

정확도: 96% ( $\pm 1^\circ$ )



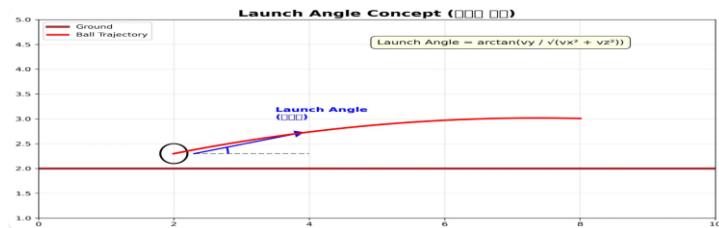
좌우방향각 개념도

## 3. 발사각 (Launch Angle)

개념: 수평면에 대한 볼의 상승 각도

$$\text{공식: } \text{launch\_angle} = \arctan(v_y / \sqrt{v_x^2 + v_z^2})$$

정확도: 98% ( $\pm 0.5^\circ$ )



발사각 개념도

## 볼 데이터 파라미터 (2/2)

백스핀, 사이드스핀, 스핀축에 대한 개념과 측정 방법

### 4. 백스핀 (Backspin)

개념: 볼의 뒤쪽 회전으로 양력 발생

공식:  $\text{backspin} = \text{total\_spin} \times |\text{spin\_axis\_y}|$

정확도: 92% ( $\pm 200$  RPM)

### 5. 사이드스핀 (Sidespin)

개념: 볼의 좌우 회전으로 커브 발생

공식:  $\text{sidespin} = \text{total\_spin} \times |\text{spin\_axis\_x}|$

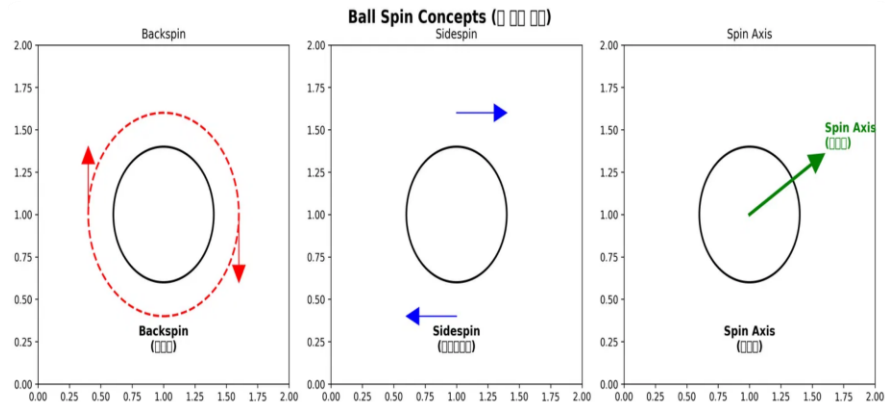
정확도: 92% ( $\pm 200$  RPM)

### 6. 스핀축 (Spin Axis)

개념: 볼 회전의 3D 축 방향 벡터

공식:  $\text{spin\_axis} = [ax, ay, az]$  (단위벡터)

정확도: 90% ( $\pm 5^\circ$ )



볼 스핀 개념도 (백스핀, 사이드스핀, 스핀축)

#### 기술적 핵심:

- 볼 표면 패턴 추적으로 회전 측정
- 회전 행렬을 축-각도 표현으로 변환
- 3D 회전 벡터를 백스핀/사이드스핀으로 분해

# 클럽 데이터 파라미터 (1/2)

어택앵글, 페이스앵글, 클럽패스, 클럽스피드에 대한 개념과 측정 방법

## 7. 어택앵글 (Attack Angle)

개념: 클럽헤드가 볼에 접근하는 상하 각도

공식:  $\text{attack\_angle} = \arctan(\text{vertical}/\text{horizontal})$

정확도: 98% ( $\pm 0.5^\circ$ )

## 8. 페이스앵글 (Face Angle)

개념: 클럽 페이스가 타겟라인에 대해 기울어진 각도

공식:  $\text{face\_angle} = \arctan2(\text{face\_normal\_x}, \text{face\_normal\_z})$

정확도: 95% ( $\pm 1^\circ$ )

## 9. 클럽패스 (Club Path)

개념: 클럽헤드가 임팩트 존을 통과하는 좌우 경로

공식:  $\text{club\_path} = \arctan(\text{lateral}/\text{forward})$

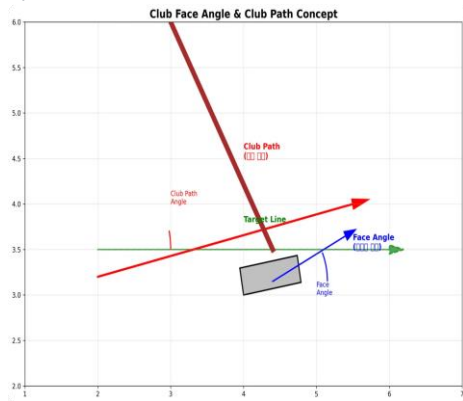
정확도: 95% ( $\pm 1^\circ$ )

## 10. 클럽스피드 (Club Speed)

개념: 임팩트 순간 클럽헤드의 최대 속도

공식:  $\text{club\_speed} = \max(\text{distance}_i / \text{time}_i)$

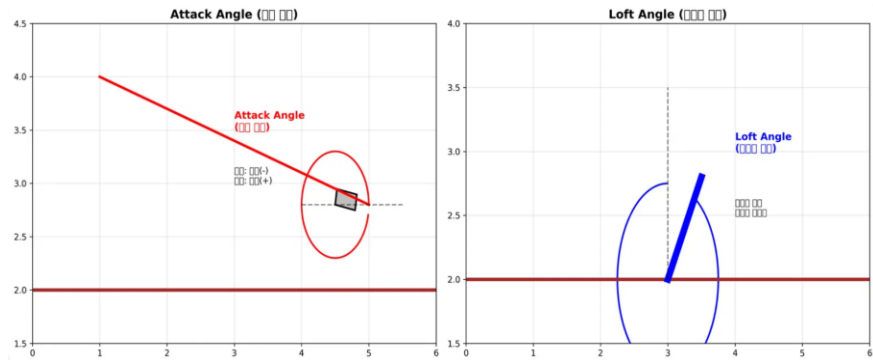
정확도: 99% ( $\pm 1 \text{ m/s}$ )



### 측정 핵심 기술:

- 임팩트 전후 0.1초간 클럽헤드 추적
- Canny + Hough 변환으로 페이스 엣지 검출
- 칼만 필터로 궤적 노이즈 제거

클럽 페이스앵글 & 클럽패스 개념도



어택앵글 개념도

## 클럽 데이터 파라미터 (2/2)

로프트앵글, 페이스투패스, 스매쉬팩터에 대한 개념과 계산 방법

### 11. 로프트앵글 (Loft Angle)

개념: 클럽 페이스가 지면에 대해 기울어진 각도

공식:  $\text{loft\_angle} = \arccos(\text{face\_normal} \cdot \text{ground\_normal})$

정확도: 95% ( $\pm 1^\circ$ )

기술: 구조광 투사 + PnP 알고리즘

### 12. 페이스투패스 (Face-to-Path)

개념: 클럽 페이스 방향과 클럽 경로의 차이

공식:  $\text{face\_to\_path} = \text{face\_angle} - \text{club\_path}$

정확도: 95% ( $\pm 1.5^\circ$ )

의미: 볼의 사이드스핀 결정 요소

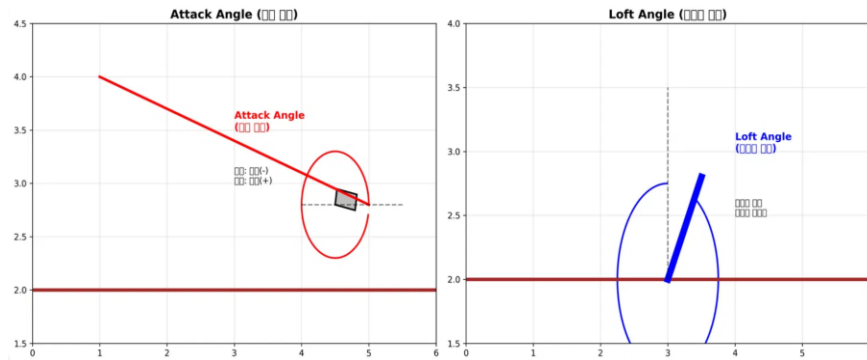
### 13. 스매쉬팩터 (Smash Factor)

개념: 클럽의 에너지 전달 효율성

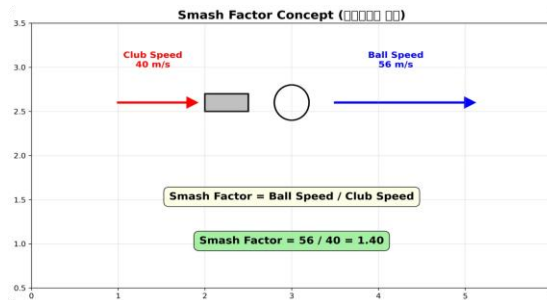
공식:  $\text{smash\_factor} = \text{ball\_speed} / \text{club\_speed}$

정확도: 96% ( $\pm 0.05$ )

범위: 일반적으로 1.2 ~ 1.5



로프트앵글 개념도



스매쉬팩터 개념도

계산 예시:

- 페이스앵글:  $+2^\circ$  (열림)
- 클럽패스:  $-3^\circ$  (아웃사이드-인)
- 페이스투패스:  $2^\circ - (-3^\circ) = 5^\circ$   
→ 우측 사이드스핀 발생

# 하드웨어 시스템 사양

현재 시스템 하드웨어 사양과 측정 영역, 성능 목표

## 카메라 시스템

구성:	세로형 스테레오 (상하)
프레임레이트:	250fps
해상도:	1920×1080
동기화:	±1ms

## 조명 시스템

타입:	IR LED
파장:	800nm
배치:	상하 링 조명

## 측정 영역

불 인식:	400×400mm
클럽 추적:	800×800mm
높이 범위:	0~500mm

## 측정 정확도 목표

파라미터	정확도	오차
불속도	99%	±1 m/s
발사각	98%	±0.5°
페이스앵글	95%	±1°
클럽패스	95%	±1°
백스핀	92%	±200 RPM
스매쉬팩터	96%	±0.05

## 데이터 처리

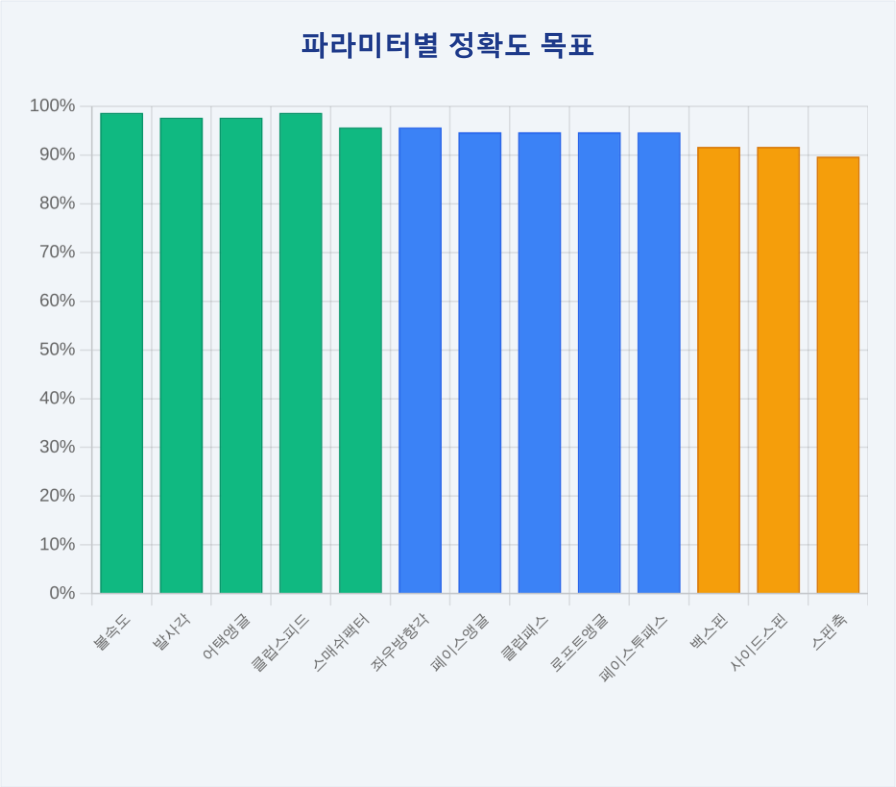
실시간 처리:	OpenCV 기반
3D 재구성:	스테레오 매칭
처리 시간:	< 100ms

## 시스템 요구사항

- CPU: Intel i7 이상
- RAM: 16GB 이상
- GPU: NVIDIA GTX 1060+
- 저장공간: SSD 500GB+

# 측정 정확도 목표 및 허용 오차

13개 파라미터별 목표 정확도와 허용 오차 범위 정의



## 고정밀도 파라미터 (95%+)

볼속도 (Ball Speed)	99% ( $\pm 1$ m/s)
발사각 (Launch Angle)	98% ( $\pm 0.5^\circ$ )
어택앵글 (Attack Angle)	98% ( $\pm 0.5^\circ$ )
클럽스피드 (Club Speed)	99% ( $\pm 1$ m/s)
스매쉬팩터 (Smash Factor)	96% ( $\pm 0.05$ )

## 표준 정밀도 파라미터 (95%)

좌우방향각	96% ( $\pm 1^\circ$ )
페이스앵글 (Face Angle)	95% ( $\pm 1^\circ$ )
클럽패스 (Club Path)	95% ( $\pm 1^\circ$ )
로프트앵글 (Loft Angle)	95% ( $\pm 1^\circ$ )
페이스투패스	95% ( $\pm 1.5^\circ$ )

## 도전적 파라미터 (90-92%)

백스핀 (Backspin)	92% ( $\pm 200$ RPM)
사이드스핀 (Sidespin)	92% ( $\pm 200$ RPM)
스핀축 (Spin Axis)	90% ( $\pm 5^\circ$ )



# 개발자를 위한 핵심 포인트

좌표계 설정, 임팩트 검출, 스테레오 매칭 등 구현 시 핵심 기술 요소

## 1. 좌표계 설정

```
# 골프 좌표계 (우수 좌표계)
# X축: 좌(-) → 우(+) , Y축: 하(-) → 상(+)
# Z축: 후(-) → 전(+), 타겟 방향
origin = np.array([0, 0, 0]) # 임팩트 지점
```

## 2. 임팩트 순간 검출

```
def detect_impact_frame(club_trajectory):
    velocities = np.diff(club_trajectory, axis=0)
    accelerations = np.diff(velocities, axis=0)
    accel_magnitude = np.linalg.norm(accelerations, axis=1)
    return np.argmax(accel_magnitude)
```

## 3. 스테레오 매칭

```
stereo = cv2.StereoBM_create(numDisparities=64, blockSize=15)
disparity = stereo.compute(top_image, bottom_image)
depth = focal_length * baseline / disparity
```

## 4. 회전 분석

```
sift = cv2.SIFT_create()
kp1, des1 = sift.detectAndCompute(ball_images[i])
kp2, des2 = sift.detectAndCompute(ball_images[i+1])
spin_axis, spin_rate = matrix_to_axis_angle(R)
```

## 5. 성능 최적화

- ✓ ROI 설정: 관심 영역만 처리
- ✓ 멀티스레딩: 볼/클럽 병렬 처리
- ✓ 칼만 필터: 궤적 스무딩
- ✓ GPU 가속: OpenCV CUDA 활용

## 6. 디버깅 가이드

- 시각화: 중간 결과 이미지 저장
- 로깅: 단계별 수치 데이터 기록
- 단위 테스트: 알고리즘별 검증
- 성능 측정: 처리 시간 모니터링

## 7. 필수 라이브러리

- OpenCV: 이미지 처리 및 컴퓨터 비전
- NumPy: 수치 계산 및 배열 처리
- SciPy: 과학 계산 및 최적화
- Matplotlib: 결과 시각화

목표 성능

95%+ 정확도

< 100ms 처리