

휴대용 레이더 골프 구질분석 시스템 개발

2017. 01. 26

(주) 티디지

문화체육관광부

2. 제출문

제 출 문

문화체육관광부 장관 귀하

이 보고서를 “휴대용 레이더 골프 구질분석 시스템 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2017년 01월 26일

주관연구기관명 : (주) 티디지

주관연구책임자 : 김 진 모

연 구 원 : 박 경 수

연 구 원 : 최 준 원

연 구 원 : 유 주 영

연 구 원 : 권 수 진

연 구 원 : 김 정 한

연 구 원 : 김 혜 선

참여기업명 : (주) 유원시스템즈

대표자 : 이 종 필

연 구 원 : 조 재 옥

3. 보고서 요약서

보고서 요약서

과제번호	S07201507032015	지원분야	스포츠과학	기술분야	HE1305
과제명	휴대용 레이더 골프 구질분석 시스템 개발				
연구기간	2015년 12월 30일 ~ 2016년 12월 29일				
연구책임자	김진모	참여연구원수	전체 : 9명 내부 : 7명 외부 : 2명	연구개발비	정부: 198,521천원 기업: 87,817천원 합계: 286,338천원
주관연구기관명 (소속부서명)	(주) 티디지 (연구개발부)		참여기업명 (대표자)	(주) 유원시스템즈 (이종필)	
위탁연구기관명 (소속부서명)			연구책임자		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	
<p>휴대용 레이더 골프 구질 분석시스템은 휴대용 레이더센서와 구질분석 소프트웨어로 구성되어 있다. 휴대용 레이더센서(하드웨어)는 10GHz대역의 안테나개발을 통해 비용 절감 및 구현이 용이 해졌으며 RF송수신 모듈, 제어 및 신호처리모듈 및 전원모듈의 집적화를 통해 보다 컴팩트한 장비를 개발하였다. 또한 하드웨어 자체로 파라메터 추출 알고리즘을 개발하여 레이더센서를 이용하여 골프 클럽과 골프공의 움직임에 따른 위치, 속도, 회전량 등의 역학적인 파라미터 값을 추출하도록 하였다. 구질분석 소프트웨어는 구질분석 알고리즘 및 Trajectory Optimizer 알고리즘을 개발을 통해 추출 파라미터를 이용하여 3D로 클럽의 스윙 궤적 및 골프공의 구질을 생성하고 전시하도록 개발 하였다. 정확성이 우수하고 휴대성이 용이한 본 시스템은 외산장비에만 의존해 온 레이더센서 구질분석시스템을 순수국내기술로 개발한 것에 의의가 있으며 향후 사업화를 통해 수입대체효과를 넘어 수출이 가능하도록 할 것이다.</p>					
색인어 (각 5개 이상)	한글	휴대용, 레이더, 골프, 구질, 분석			
	영어	Portable, Radar, Golf, Trajectory, Analysis			

4. 요약문

요 약 문

I. 제목 : 휴대용 레이더 골프 구질 분석 시스템 개발

II. 기술개발의 목적 및 필요성

1. 최종목표 : 정확성이 우수한 레이더방식의 휴대용 골프 구질분석 시스템 개발

(1) 정확한 측정이 가능한 휴대용 레이더(Radar)센서 개발

- 1) 국내 스크린 골프에 사용되는 카메라 및 적외선센서 방식은 오락성위주로 정확성이 떨어짐
- 2) 레이더센서는 클럽의 움직임, 볼의 출발부터 착지까지 모든 과정을 추적하여 측정하기 때문에 정확성이 매우 뛰어남
- 3) 레이더센서는 카메라, 레이저, 적외선센서와 달리 어떠한 날씨 조건에서도 실측이 가능하여 측정데이터의 신뢰가 높음
- 4) 집적화 기술을 통해 330*300*70 이내의 휴대 및 이동설치가 가능한 레이더센서를 개발

(2) 다양한 골프 구질 데이터를 제공하는 구질분석 소프트웨어 개발

- 1) 발사체 추적 기술을 활용한 골프 구질분석 알고리즘 개발
- 2) Trajectory Optimizer 알고리즘 개발을 통한 정확한 탄도 궤적 구현
- 3) 구질 전시 3D엔진 개발을 통한 실감적인 구질 전시
- 4) 스윙 전시 3D엔진 개발을 통한 실감적인 스윙 전시
- 5) 자료저장 및 DB 구축 모듈 개발을 통한 골퍼의 구질, 스윙, 샷 정보 등을 저장 및 자료 DB 구축
- 6) 사용자 중심의 운용 프로그램 개발

(3) 레이더방식의 골프 구질분석 시스템 시장 진출 및 산업육성

- 1) 국내 최초의 레이더방식의 골프 구질분석 시스템 개발
- 2) 국내 개발을 통한 고가의 외산장비 수입 대체 효과
- 3) 국내 개발을 통한 정확성이 우수한 골프 구질분석 시스템 대중화 기여 및 골프 인구의 실력향상 증대
- 4) 레이더방식의 골프 구질분석 산업 육성 및 고용 창출 기여
- 5) 레이더방식의 골프 구질분석 시스템 해외 시장 개척의 기반 마련

III. 기술개발의 내용 및 방법

1. 도플러 센서 개발

(1) 3D 위상배열 안테나 개발

(2) RF 송신 모듈 개발

(3) 저 잡음 수신 모듈 개발

1) 3D 위상배열 안테나, RF 송신 모듈 및 저잡음 수신 모듈은 하나의 인쇄회로기판에 직접화하여 성능 증대, 사이즈 감소 및 비용 절감

(4) Baseband 신호 선택 및 증폭 모듈 개발

1) Baseband 신호 선택 및 증폭 모듈에서 원하는 신호만을 증폭할 수 있도록 클립 과 공의 신호를 분리하여 증폭

(5) 고해상도 신호처리 모듈 개발

1) 획득된 Baseband 신호를 디지털화 하여 골프공 구질 분석에 필요한 데이터 획득 및 계산

2. 골프 구질 분석 알고리즘 및 소프트웨어 개발

(1) 발사체 추적 기술을 활용한 골프공 구질 분석 알고리즘 개발

1) 고해상도 신호처리 모듈로부터 획득한 데이터 및 탄도 방정식을 이용하여 골프공 구질 분석 알고리즘 개발

(2) 구질 분석 전시 소프트웨어 개발

2) 리얼타임 샷 정보를 전시해주는 3D 엔진 개발

(3) 관리 및 서비스 프로그램 개발

IV. 연구개발결과

1. 레이더센서 하드웨어 개발 및 골프 구질분석 소프트웨어 개발

(1) 레이더센서 개발

1) 고이득 평면 위상배열안테나 개발

2) RF 송수신 모듈 개발

3) 제어 및 신호처리 모듈 개발

4) 골프 구질 파라미터 추출 모듈 개발

5) 전원공급 모듈 개발

6) 케이스 디자인 및 제작

(2) 골프 구질분석 알고리즘 및 소프트웨어 개발

1) 발사체 추적 기술을 활용한 골프 구질분석 알고리즘 개발

2) Trajectory Optimizer 알고리즘 개발

3) 구질 및 스윙 전시 3D엔진 개발

4) 자료 저장 및 DB 구축 모듈 개발

5) 운용 소프트웨어 개발

V. 연구개발결과의 활용계획

1. 활용분야 및 활용방법

기존 센서 방식 보다 과학적이고 정확한 레이더센서 방식의 골프 구질분석 시스템을 국내기술로 개발하여 보급함으로서 수입 대체 효과를 얻고 과학적이고 정확한 골프 구질 분석을 바라는 골프 스포츠 산업 및 불과 타격, 발사체가 있는 모든 스포츠에 활용 할 수 있다.

(1) 골프 스포츠 산업

1) 골프 피팅 산업.

(주)티디지가 개발한 클럽 측정 복합장비 및 FMS프로그램과 연계하여 실측에 의한 골프공 구질 데이터로 골프클럽 맞춤 시스템을 구성하여 손쉬운 클럽 피팅이 가능 하여 골프 클럽 피팅 산업 활성화에 활용한다.

- 과학적이고 정확한 골프 구질 분석을 통해 생산성 증대
- 객관적인 데이터 제공을 통해 소비자의 신뢰 확보 증대
- 피팅 마스터 프로그램과 연동하여 피팅 제작시방서를 제공하여 결과 적용 및 재분석이 가능하여 소비자에게 즉각적인 클럽 제작 및 제공 가능
- 골프 클럽 매장에서 피팅 마스터 프로그램과 연동하여 고객에 맞는 기성 클럽을 추천하여 고객 만족 서비스를 제공하는데 활용

2) 골프 연습장

포화 상태인 오락성 위주의 스크린 골프 및 연습장을 업그레이드 시킬 수 있는 차별화된 서비스 제공 및 시장 개척

- 과학적이고 정확한 골프 구질 분석을 통해 스크린골프 레슨 서비스 제공
- 스크린 골프 레슨 서비스를 통해 손님이 없는 주간 시간대에 골프 레슨을 병행하여 수익 창출 기대
- 스크린골프를 게임을 즐기면서 플레이어의 구질 분석 저장 및 체계화된 분석 데이터를 제공하여 연습효과 증대

3) 개인 휴대 및 이벤트 진행

- 휴대가 용이하고 설치가 간단하여 건물 옥상등의 개인 타구 연습시설에서 사용가능 (무선 인터페이스로 설치 및 보관이 용이함)
- 휴대성을 이용하여 골프장이나 호텔 등의 이용객을 위한 이벤트 진행

4) 골프선수 트레이닝 및 교육에 활용

- 실내 및 실외에서 정확한 구질 분석 데이터를 바탕으로 골프 꿈나무 및 프로선수,

국가대표 등을 대상으로 트레이닝 및 교육에 활용하여 보다 정교하게 스윙을 교정하고 효율적으로 교습이 이루어 질 수 있도록 활용

(2) 기타 스포츠 산업에 기여

1) 야구 스포츠 산업

- 스크린 골프 연습장과 같은 오락성이 추가된 스크린 야구 산업에 활용
- 기술 지도를 위한 배트 스윙 분석, 볼 구질 분석 산업에 활용
- 야구 용품 제조사의 야구 용품 성능 검증에 활용

2) 양궁 연습장

- 스크린 골프 연습장과 같은 오락성이 추가된 스크린 양궁 산업에 활용
- 양궁 레슨 및 트레이닝에 활용

3) 기타

- 테니스 등

5. 영문 요약서

S U M M A R Y

I . The development of portable radar golf ball analysis system

II . Purpose and necessity of technology development

1. Final goal: Development of radar-based portable golf ball analysis system with high accuracy

(1) Development of a portable radar sensor capable of accurate measurement

- 1) Cameras and infrared sensors used in domestic screen golf are for recreation and are less accurate
- 2) The radar sensor is very accurate because it measures and tracks every move from the start of the ball to the landing of the ball.
- 3) Unlike cameras, lasers, and infrared sensors, radar sensors can be measured under any weather conditions, so that the reliability of measurement data is high
- 4) Developed radar sensor capable of portable within 330 * 300 * 70 through integration technology

(2) Development of a golf ball flight analysis software for various golf ball trajectory data

- 1) Development of algorithm to analyze golf ball using projectile tracking technology
- 2) Accurate Trajectory through Trajectory Optimizer Algorithm Development
- 3) Exhibiting realistic display through 3D engine development
- 4) Swing display through 3D swing display engine development
- 5) Data storage and database building module to develop golfer's ball flight, swing, shot information, etc.
- 6) User-oriented operation program development

(3) Entering and promoting the radar system analysis system in the golf ball flight analysis system

- 1) Developed Korea's first radar-based golf ball analysis system
- 2) Replacement of imported high-priced foreign equipment through domestic development

- 3) Contributing to the popularization of golf and increasing the ability of golf population
- 4) Contribution to fostering radar-based golf ball flight analysis industry and job creation
- 5) Radar-based golf ball flight analysis system Establishing the basis for overseas market development

III. Technology development and method

1. Development of Doppler sensor

- (1) Development of a 3D topology array antenna
- (2) Development of RF transmission module
- (3) Development of low noise receiving module

1) 3D phased array antenna, RF transmit module and low noise receive module are integrated into one printed circuit board to increase performance, reduce size and reduce cost

(4) Baseband signal selection and amplification module development

1) Baseband Signal Selection and Amplification Separate the signals from the club and the ball so that the module can amplify only the desired signal.

(5) Development of high-resolution signal processing module

1) Acquisition and calculation of data required for golf ball analysis by digitizing acquired baseband signal

2. Algorithm and software development of golf ball flight analysis

(1) Development of Golf Ball flight Analysis Algorithm using Projectile Tracking Technology

1) Developed golf ball analysis algorithm using data obtained from high-resolution signal processing module and ballistic equation

(2) Development of exhibition Golf Ball flight analysis software

1) Developed 3D engine to display real time shot information

(3) Development of Management and Service Programs

IV. R & D results

1. Development of radar sensor hardware and golf ball flight analysis software development

(1) Development of radar sensor

- 1) Development of high gain planar phased array antenna
- 2) Developed RF transmit / receive module

- 3) Development of control and signal processing module
 - 4) Development of golf ball parameters extraction module
 - 5) Development of power supply module
 - 6) Case design and production
- (2) Golf ball flight analysis algorithm and software development
- 1) Development of golf ball analysis algorithm using projectile tracking technology
 - 2) Trajectory Optimizer Algorithm Development
 - 3) Development of 3D engine for ball flight and swing
 - 4) Data storage and DB development module development
 - 5) Development of operating software

V. Plan to utilize R & D results

1. Application field and application method

- (1) Golf sports industry
- 1) Golf Fitting Industry
 - 2) golf driving range
 - 3) Personal carrying and event proceeding
 - 4) For golf player training

(2) Contributing to other sports industry

- 1) Baseball sports industry
- 2) archery practice field
- 3) Tennis sports industry

6. 영문 목차

CONTENTS

Chapter 1 Overview of Technology Development Project

Section 1 Necessity of Technology Development

1. Necessity and Purpose of Technology Development
2. Configuration of portable radar sensor and golf ball filght analysis system

Chapter 2 Current Status of Technology Development in Korea and Abroad

Chapter 3 Technologies Development Contents, Method and Result

Section 1 Portable Radar Sensor

1. Background technique and theory
2. Configuration and main design of radar sensor
3. Experimental and analysis results
4. Conclusion

Section 2 Golf ball flight Analysis Software

1. Detailed software design
2. Software DB design / development
3. Design of analysis algorithm
4. Golf ball flight analysis algorithm Production / Testing
5. Trajectory Optimizer Algorithm Design
6. Trajectory Optimizer Algorithm Production / Testing
7. Define the GUI data communication with the sensor
8. Define and process incoming data
9. Communication between software sensors
10. Defining Measured Display Values
11. DB connection structure
12. Interlocking test

Section 3 R & D Results and Achievements

1. Verification of accuracy
2. Research Achievements

Chapter 4 Achievement of goal and contribution to related field

Section 1 Quantitative Item Performance Indicators

Section 2 Production Item Performance Indicators

Chapter 5 Plan for Utilization of Research and Development Results

Section 1 Utilization Plan

1. Application field and application method
2. Expectations
3. Commercialization plan

Chapter 6 Overseas science and technology information collected during the technology development process

Chapter 7 References

Chapter 8 Attached document

7. 목 차

목 차

제1장 기술개발과제의 개요

1절 기술개발의 필요성

1. 기술개발의 필요성 및 목적
2. 휴대용 레이더센서 및 롤프 구질 분석 시스템의 구성

제2장 국내외 기술개발 현황

제3장 기술개발 내용, 방법 및 결과

1절 휴대용 레이더센서

1. 배경 기술 및 이론
2. 레이더센서의 구성 및 주요 설계
3. 실험 및 분석 결과
4. 결론

2절 구질분석 소프트웨어

1. 소프트웨어 상세설계
2. 소프트웨어 DB 설계/개발
3. 구질 분석 알고리즘 설계
4. 구질분석 알고리즘 제작/시험
5. Trajectory Optimizer 알고리즘 설계
6. Trajectory Optimizer 알고리즘 제작/시험
7. 센서와 GUI 데이터 통신 정의
8. 수신 데이터 정의 및 처리
9. 소프트웨어 센서 간 통신
10. 측정 전시 값 정의
11. DB 연결 구조
12. 연동시험

3절 연구개발 결과 및 성과

1. 정확성 검증

2. 연구 성과

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1절 정량적항목 성과지표

2절 제작항목 성과지표

제5장 연구개발결과의 활용계획

1절 활용방안

1. 활용분야 및 활용방법
2. 기대성과
3. 사업화 계획

제6장 기술개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제7장 참고문헌

제8장 별도 첨부 자료

제1장 기술개발과제의 개요

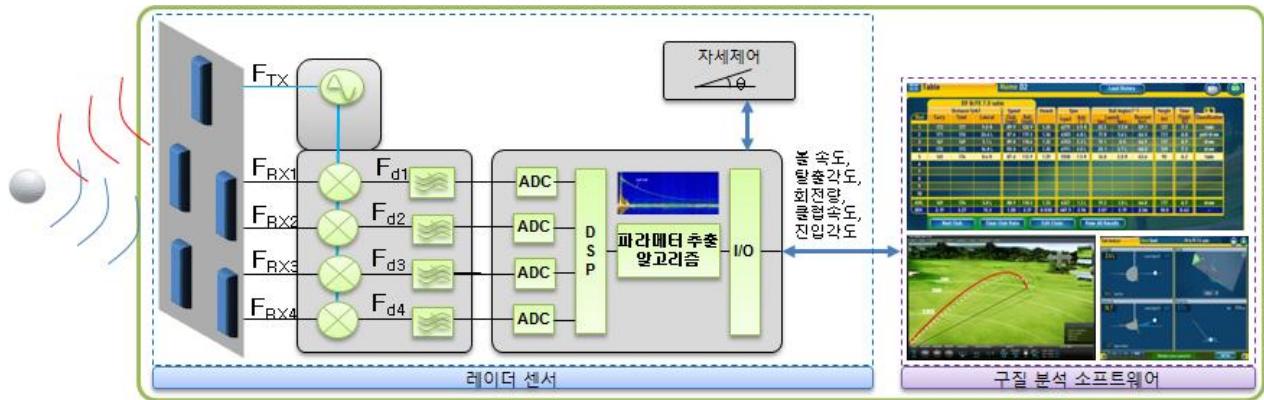
1절 기술개발의 필요성

1. 기술개발의 필요성 및 목적

- 가. 최근 박인비, 쇠경주등의 세계적인 골프 스타 배출, 골프 중계 미디어 및 스크린골프 연습장의 등장으로 골프에 대한 관심과 골프를 즐기는 인구가 급격히 증가하였다. 골프 인구의 증가에 따라 골프 산업도 비약적으로 증가하였으며, 특히 아마추어의 골퍼의 실력 향상에 도움을 줄 수 있는 장비(구질분석기, 스윙분석기, 밸런스측정기 등)들의 도입이 최근 증가하고 있다. 이러한 장비는 대체로 고가의 장비이며 해외에서 수입하여 사용되고 있어 클럽을 피팅해주는 피팅샵과 일부 실내 연습장에만 설치되어 극히 일부의 골퍼들만이 이용 가능한 문제를 가진다.
- 나. 국내 기술로 레이더센서 및 이를 이용한 레이더방식의 골프 구질분석 시스템을 개발하면 보다 많은 피팅샵과 실내·외 연습장에 설치가 가능하여 많은 골퍼가 과학적이고 정확한 구질분석 데이터를 바탕으로 클럽제작과 레슨이 가능하여 골퍼의 실력 향상에 이바지 할 것이다.
- 다. 국내 도입된 구질분석기는 대부분이 수입제품으로 국내 기반 기술이 거의 없고 외화 낭비 요소가 많다. 따라서 국내 관련 산업 활성화와 외화 절감이 가능한 레이더방식의 구질분석 시스템 개발이 필요하다.
- 라. 레이더방식의 구질분석 시스템 기술개발을 추진하고 기술 국산화를 통하여 외화 절감 및 해외 수출이 가능한 제품 개발을 목표로 한다.
- 마. 이를 위해서는 레이더센서 장비 개발과 센서 장비로부터 획득된 데이터를 이용하여 스윙 시 볼 속도, 백스핀, 탈출각도, 클럽 속도 등의 데이터를 추출하는 알고리즘의 개발이 요구되며,
- 바. 또한 하드웨어로부터 획득된 볼과 클럽의 정보를 이용하여 골프 볼의 구질을 분석하는 구질 분석 엔진, 분석된 구질을 시각적으로 전시해주는 구질 전시 엔진 및 구질분석 데이터 관리 등의 운용 소프트웨어의 개발이 필요하다.
- 사. 휴대 및 설치가 용이한 구질분석 시스템을 개발하여 회원제 골프 연습장 뿐 아니라 건물 옥상 등의 개인소유 연습장에 설치가 가능해져 보다 많은 골퍼에게 서비스 제공이 가능하여 골프 산업 증진에 도움을 줄 수 있다.
- 자. 국내기술로 레이더센서 방식의 구질분석 시스템 장비가 개발된다면 기존 적외선센서, 카메라 센서 방식의 장비보다 정확도가 우수하고 설치 및 유지보수 비용이 적게 들어 스크린골프 시장에 적용이 가능하여 새로운 방식의 스크린골프 시장 개척 및 고용 창출에 용이하다.

2. 휴대용 레이더센서 및 골프 구질 분석 시스템의 구성

가. 휴대용 레이더센서 및 골프 구질분석 시스템은 레이더센서(하드웨어)와 골프 구질분석 프로그램(소프트웨어)로 구성된다.



[그림 1 레이더방식의 휴대용 골프 구질분석 시스템 개발 개념도]

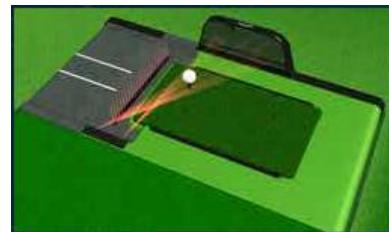
제2장 국내외 기술개발 현황

구분	내용	관련 기술 사진
	<p>○ 타구분석기</p> <ul style="list-style-type: none"> • 굿샷 : 골프나인틴(주)에서 개발된 실내 전용 타구분석기 <ul style="list-style-type: none"> • 타구분석기술 특허로 타석과 타켓에 설치된 음향 센서를 이용하여 타구에 의해 출발한 공의 속도, 방향, 탄도의 측정으로 날아간 공의 비거리 및 방향을 측정하여 표시 • 피팅을 위한 탄도 분석용으로 사용하기에는 한계가 있어 보임 	
	<p>○ 지능형 센서 제어기가 내장된 골프공과 타구분석시스템</p> <ul style="list-style-type: none"> • (주)로직아이텍: 골프공에 다수의 압력센서를 부착하여 전달된 압력을 측정하여 동시에 클럽헤드와 골프공간에 접촉된 시간을 측정하여 충격량을 산출할 수 있는 지능형 압력센서 제어기가 내장된 골프공을 이용한 타구분석시스템 <ul style="list-style-type: none"> • 별도의 골프공을 제작해야 하는 문제가 있어 기존 연습장에서 도입하기에는 한계가 있어 보이고 상용화 안 됨 	[그림2 타구분석 원리]
국내 기술 현황	<p>○ 골프 볼 및 헤드정보 분석 시스템</p> <ul style="list-style-type: none"> • (주)알디텍: PCB 보드부 바닥면에 일정 간격으로 여러 개의 광센서가 직선으로 배열되고 상기 광센서가 배열된 바닥면을 비추도록 상기 바닥면 상단에 설치된 광원으로부터 빛을 입력받아 볼 또는 클럽헤드의 움직임에 따른 그림자를 감지하여 볼의 공간상의 위치 좌표를 구하는 방식 <ul style="list-style-type: none"> • 레이저 방식의 일반적인 내용으로 실내 전용으로만 사용이 가능하고 구조물을 설치해야 하고 이동성 및 유지보수가 어려움 	
	<p>○ 모의 골프시스템의 센서장치 및 이를 이용한 센싱 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • (주) 골프존: 레이저 센서를 한쪽은 발광부 반대쪽은 수광부로 구분하여 공을 감지하는 	

국외 기술 현황

방식의 기술 내용으로 아주 일반적인 센싱 방법이라고 할 수 있다. 기술특허에 특징이 있는 제품은 아니나 국내에서 가장 많은 싸이트를 보유하고 있는 업체의 기술

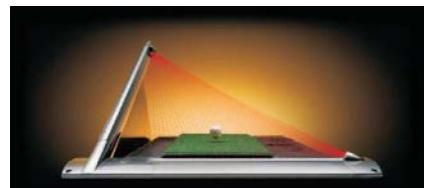
- 실내 전용 및 스크린 골프용 탄도센서 이고 피팅 탄도분석 장비로 사용 하고 있지 않음



[그림3 골프존 센서]

○ ACHIEVER

- Focaltron Corporation, USA: 레이저 시스템을 이용한 샷 분석 장비
- 볼스피드의 경우 0.25%, 발사각도의 경우 0.1도 이내의 오차율로 실시간 샷 분석을 하는 론치모니터이며 인도어, 아웃도어 겸용으로 사용 가능
- 국내에 가장 많이 유통이 되고 있는 제품



[그림4 Achiever]

○ Trackman

- ISG A/S 텐마크: 현존하는 샷분석 장비 중 가장 첨단의 장비로 평가
 - 도플러 (Doppler)레이더 방식을 이용하여, 클럽의 움직임부터 볼의 론칭, 비행, 랜딩의 순간을 리얼타임으로 3D 영상으로 재현해 주는 샷 분석기
 - 2007년 US OPEN과 THE OPEN에 참가 프로들의 샷 모니터링과 분석 장비로 공식 채택 (2008년부터 일본 투어 선보임)
 - 레이더 장치에 의한 리얼타임 샷 분석이 가능하여 인도어부터 거리가 긴 드라이빙 레인지에까지의 활용이 가능하며, 장소를 옮기더라도 기계의 세팅이 매우 간단한 특징레이더 방식으로 , 클럽움직임 , 볼의 론칭, 비행, 랜딩을 3D로 재현 설치 및 이동 간단 론치모니터 중 가장 고가이며 실내외 가격 다름



[그림5 TrackMan]

○ Kudu

- EDH 남아프리카공화국: 3차원 마이크로웨이브, 디지털 시그널 프로세싱, 디지털 이미지 프로세싱의 3가지 중심기술을 이용하여 3차원 레이더 시스템을 생산·개발하는 특화된 회사이며 독자기술을 가지고 있음
 - 1989년 회사를 설립하여 전 세계 20여국에 군사용 방산 장비를 공급하고 있고, 군사용으로 사용되던 발사체 추적기술을 스포츠에 적용하여 크리켓, 테니스, 골프에 활용하고 있으며, 향후 축구와 야구에도 활용할 계획
 - 2009년 이동이 편리하고 사용성을 극대화 시킨 쿠두 무선 버전을 발표했는데 이는 배터리내장 및 블루투스 기술을 이용하여 노트북이나 PC를 연결하여 사용
 - 세계에서 처음으로 3차원 도플러효과를 이용한 볼 추적 레이더 시스템 위상배열 마이크로웨이브 (3D Phased Array Microwave) 방식
 - 레이더 추적기술의 특허를 바탕으로 3D 롤치모니터, 실제상황과 가장 근접하다는 평가 (실내외 겸용)



[그림6 Kudu]

○ Zelocity PureLaunch System

- Zelocity Corporation, USA: 트랙맨과 유사한 도플러 (Doppler) 레이더 방식을 채택하여 샷의 구체적인 비행 기록을 분석하여 피팅에 활용하는 첨단 분석 장비
 - 설치와 이동이 매우 간편하고 실내외 겸용으로 사용할 수 있으며, 기계 하나로 좌우 겸용 분석 가능



[그림 7 Zelocity]

제3장 기술개발 내용, 방법 및 결과

본 과제에서 개발하고자 하는 시스템은 레이더센서를 이용하여 골프 클럽과 골프공의 움직임에 따른 위치, 속도, 회전량 등의 역학적인 파라미터 값을 추출하는 **휴대용 레이더센서(하드웨어)**와 추출 파라미터를 이용하여 클럽의 스윙궤적 및 골프공의 구질을 생성하고 전시해주는 구질분석 소프트웨어로 구분된다.

1절 휴대용 레이더센서

본 과제에서 개발하고자 하는 휴대용 레이더센서는 군에서 사용하는 레이더기술을 응용한 제품으로 클럽의 움직임에서부터 공의 랜딩까지 추적하여 측정한 데이터를 분석함으로써 최고의 정밀도 구현이 가능하고 장소에 구애받지 않고 설치 및 이동이 간편한 것이 특징이라고 할 수 있으며, 골프 클럽과 골프공의 움직임에 따른 위치, 속도, 회전량 등의 골프공의 역학적 파라미터 값을 추출하는 알고리즘을 포함한다.



그림 8 제작된 휴대용 레이더센서

레이더센서의 블록도 및 제작 규격을 그림9 와 표4 에 나타내었다.

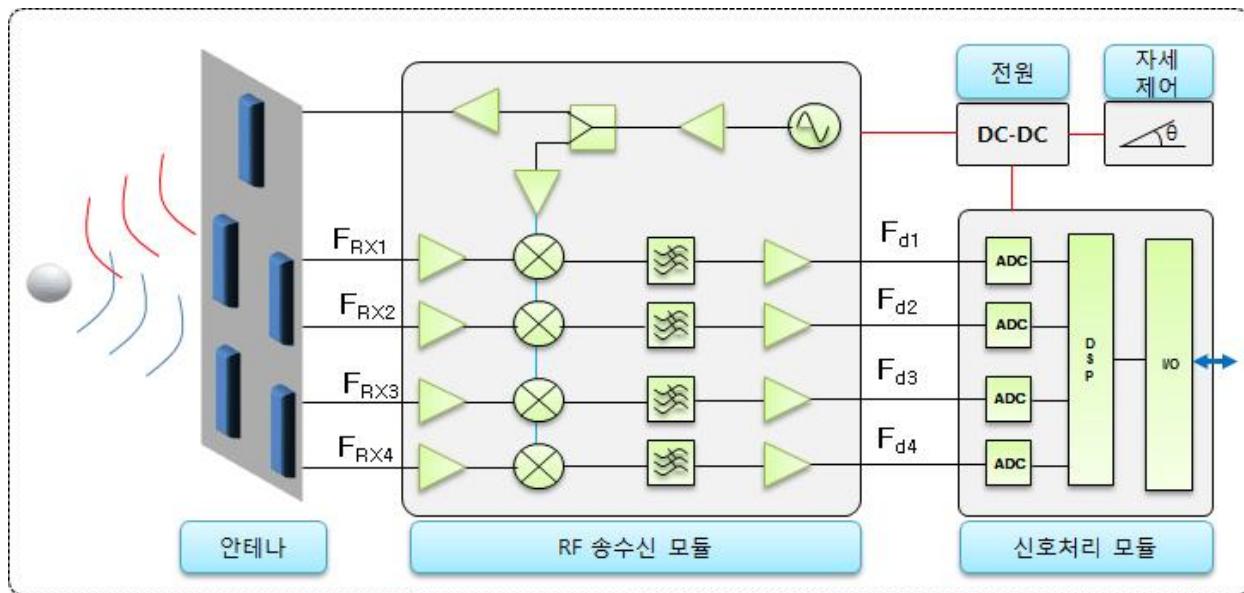


그림 9 레이더센서 블록도

표 3 레이더센서 제작 규격

항목	제작 규격	제작 규격	단위	비고
주파수	10.5 ~ 10.6	10.5 ~ 10.6	GHz	만족
송신 출력	33, max	33, max	dBm	만족
입력 전원	60(12V/5A)	18(9V/2A)	Watt	만족
통신	USB 2.0이상	USB 2.0이상		만족
사이즈	330(W)*300(H)*70(D) 이하	270(W)*300(H)*55D) 이하	mm ³	

1. 배경 기술 및 이론

가. 배경 기술

탄도 분석기를 이용하여 선수들의 훈련이나, 골프클럽 맞춤제작에 이용하기 위해서는 골프공의 비행관련 데이터를 정확하게 측정하여야 한다. 골프공의 비행은 비행 중에 많은 영향을 주는 바람, 온도, 기압등과 같은 대기상태 뿐만 아니라 골프공의 임팩트 시에 발생되는 공의 발사속도, 방위각, 고각 및 회전량 또한 매우 중요한 파라미터이다. 골프공의 임팩트 시 정보를 보다 정확하게 얻기 위해서는 탄도분석기의 센서의 선택이 매우 중요하다.

적외선 센서는 적외선 발광부와 수광부 사이를 통과하는 골프공의 그림자가 수광부에 비쳐지는 그림자의 크기 및 위치, 속도를 측정하여 데이터를 산출하는 방식으로 그림자 센서

라 불리기도 한다[1].

적외선 센서의 동작원리는 발광부와 수광부를 통과하는 골프공의 정보를 수광부 센서가 감지하여 표현하는 방식으로서 그림 10(a)의 A지점에서부터 B지점을 통과한 볼의 속도를 바닥 센서로부터 측정하여 거리를 계산하고, A' 지점과 B' 지점의 그림자의 크기 차이에 따라 볼의 고각을 계산한다. 또한 방위각은 그림 10(b)에서와 같이 A' 지점과 B' 지점을 통과 할 때 센서 중심으로부터 떨어진 거리를 이용한 원리를 이용하여 얻어진다.

이러한 방식의 적외선 센서는 수광부에 나타난 그림자의 크기로 고각과 방위각을 산출해야 하므로 정확한 고각 계산이 매우 어렵다. 또한 A지점과 B지점을 통과하는 속도도 기울기 값이 적용된 속도를 산출해야 하는데 정확한 고각과 방위각 측정이 어렵기 때문에 속도보정이 정확히 이루어 질 수 없게 된다.

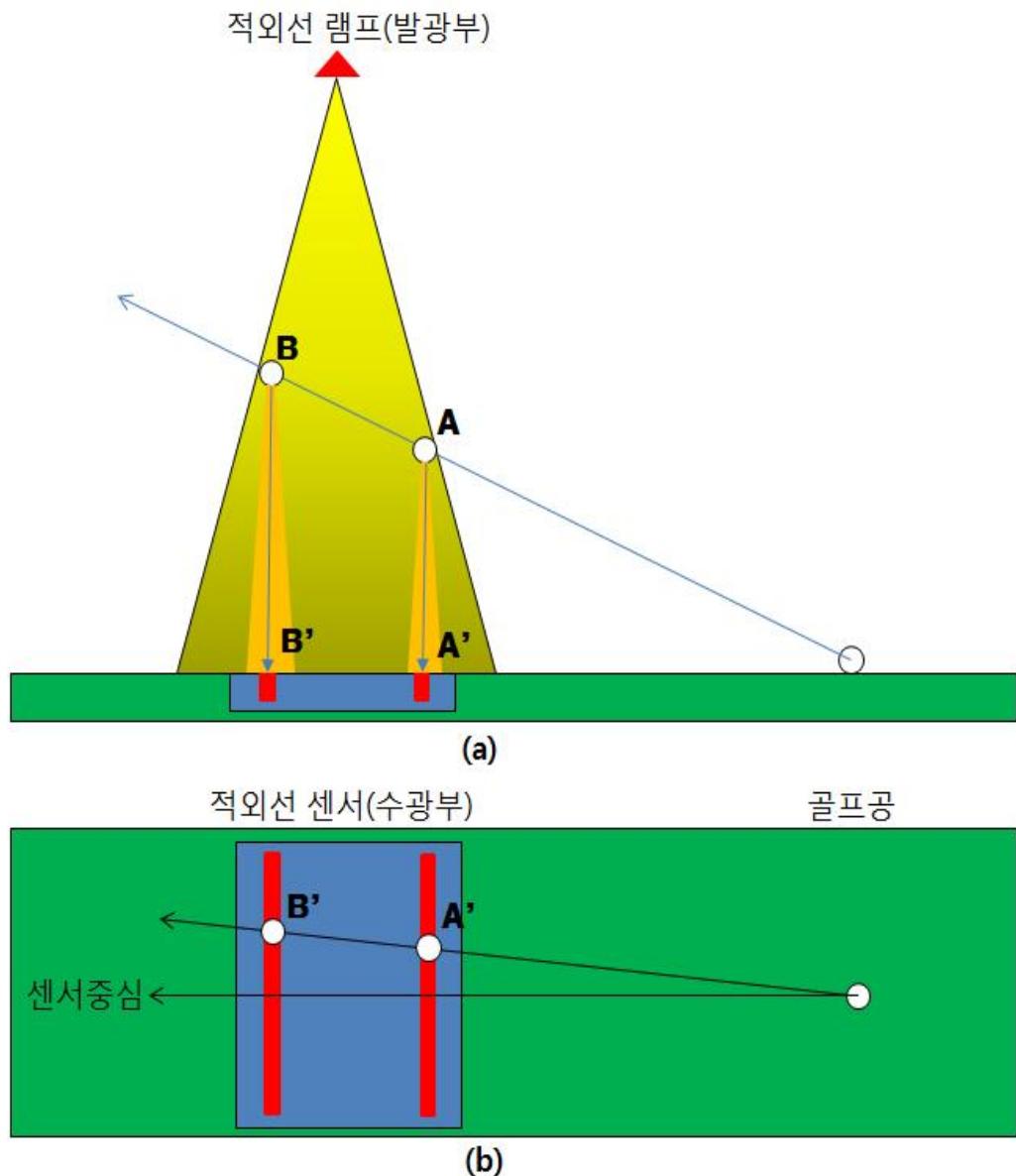


그림 10 적외선 센서를 이용한 속도, 고각 및 방위각 측정 원리

나. 레이더 센서 기술

본 연구에서 사용된 레이더 센서 방식은 무선 RF신호를 골프공 비행방향으로 송신하여 비행하는 골프공에 의해 반사되어 수신안테나에 입사되는 RF신호(이하 ‘반사 신호’)를 분석함으로써 공의 속도 및 비행방향 예측이 가능하다. 공의 속도는 송신 주파수와 수신주파수의 차이가 공의 속도에 따라 변하는 도플러 주파수 측정을 통하여 계산한다. 공의 비행방향에 해당하는 골프공 탈출각 계산은 수신안테나를 방위각 방향으로 2개, 고각 방향으로 2개를 배치하여 비행하는 공의 방향에 따라 안테나에 수신된 신호의 시간차를 측정함으로써 가능하다.

신호처리모듈에서 골프공의 이동속도 계산을 위해서는 먼저 반사 신호의 도플러 주파수 $F_{Doppler}$ [Hz]를 측정하고, 측정된 도플러 주파수를 이용하여 골프공의 이동속도를 계산할 수 있다. 반사 신호의 도플러 주파수 값을 얻기 위해서는 안테나로 수신된 신호의 FFT 수행 결과를 누적 처리하여 최대주파수를 획득한다. 골프공의 이동속도 v [m/s]는 식 (1)과 같이 계산된다.

$$v = \frac{F_{Doppler} \times c}{2 \times \cos(\theta) \times F_{Tx}} \quad (1)$$

여기서 F_{Tx} [Hz]는 레이더 송수신 주파수, c [m/s]는 전파 속도이며 θ [deg]는 반사신호와 안테나 법선방향이 이루는 입사각이다.

골프공 반사신호에 의한 도플러 주파수를 측정함으로써 골프공의 속도는 식 (1)과 같이 계산이 된고, 골프공과 센서의 설치거리에 따른 속도 보정이 이루어져야 더 정확한 골프공의 속도를 측정할 수 있다. 속도보정의 설치거리와 골프공의 발사각에 의해서 보정되며 식 (1-1)과 같이 계산된다.

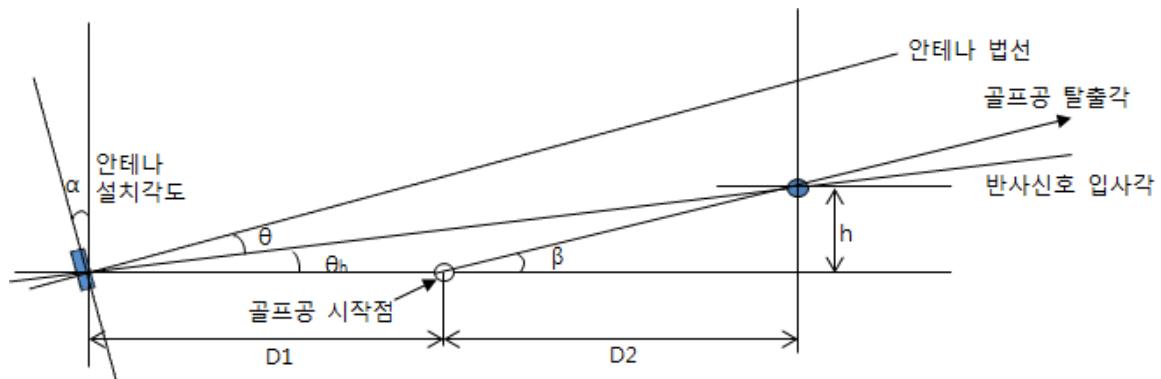


그림 11 골프공 탈출각도에 따른 골프공 속도보정

$$\text{보정속도 } v' = \frac{v}{\cos(\theta - \text{atan}(\frac{\text{수평이동거리} \times \tan(\theta)}{\text{설치거리} + \text{이동거리}})))} \quad (1-1)$$

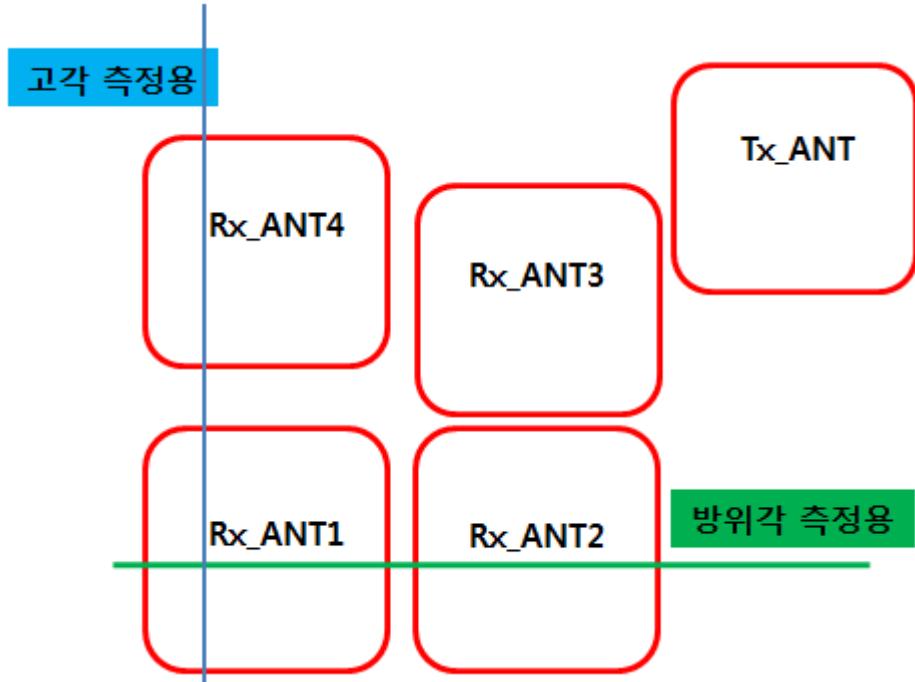


그림 12 송/수신 안테나 배치

골프공의 탈출각은 반사 신호가 수신안테나로 입사될 때 발생되는 시간차에 의해서 계산된다[2][3].

위상배열 안테나는 그림 12와 같이 송신용 안테나 1개와 수신용 안테나 4개로 구성되며, 수신용 안테나는 방위각 측정과 고각 측정을 동시에 수행할 수 있다. 수신안테나 1번과 4번의 위상차에 의해서 고각을 계산하고, 1번과 2번의 위상차를 이용하여 방위각이 계산된다.

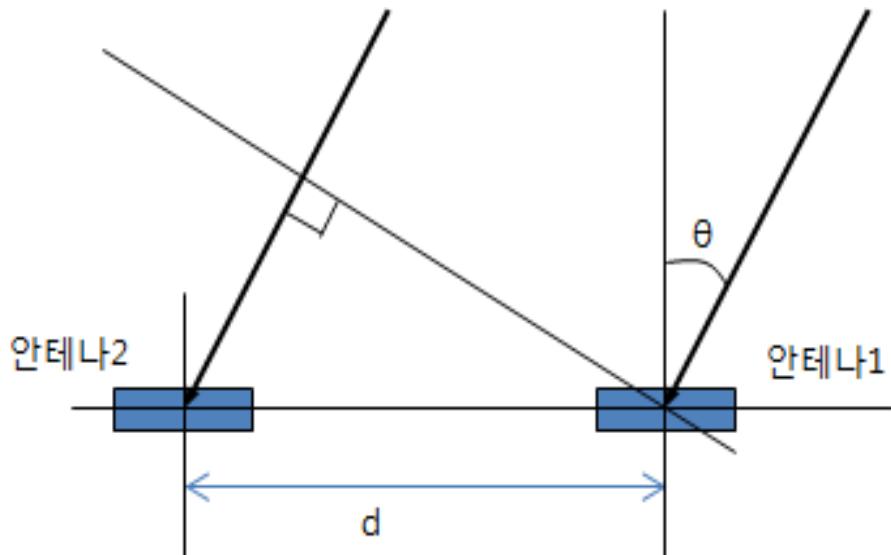


그림 13 안테나 배치에 따른 반사 신호의 위상차

이 원리를 자세히 설명하면 다음과 같다. 그림 13과 같이 골프공에 반사되어 안테나로 수신되는 반사 신호는 안테나와 신호의 입사각에 따라 두 안테나 간 시간차이가 발생된다. 이때의 시간차는 RF송/수신 주파수에 따라 위상차로 표현됨으로써 두 입력신호의 위상차를 측정한 후 입사각을 계산하면 골프공의 발사각을 알아낼 수가 있다[4]. 반사 신호의 안테나 입사각 θ [deg]는 식 (2)에 의해 얻어진다.

$$\theta = \arcsin\left(\frac{\phi \times \lambda}{2\pi \times d}\right) \quad (2)$$

여기서 λ [m]은 송/수신 주파수의 파장이고, d [m]은 안테나 간 이격된 거리, ϕ [rad]은 안테나에 각각 수신된 신호의 위상차이다.

이때 골프공의 초기 위치와 안테나 설치위치가 다르기 때문에 추가적인 각도보정이 필요하게 된다. 그림 14는 골프공의 고각을 계산을 설명하기 위한 그림으로서, 골프공이 놓여지는 점을 기준으로 D1의 거리에 안테나를 설치하고, 비행하는 골프공을 지향하기 위해 α 만큼 기울어진 상태로 골프공 비행방향을 지향한다. 골프공 비행거리와 식 (2)에서 계산된 입사각의 관계의 의해서 골프공 고각 β [deg]이 식 (3)에 의해 구해진다.

$$\beta = \arctan\left(\frac{(D1 + D2) \times \tan(\alpha + \theta)}{D2}\right) \quad (3)$$

여기서 $D1$ [m]은 안테나 설치거리, α [deg]는 안테나 설치 기울기, $D2$ [m]은 안테나 간 이격된 거리이고 h [m]은 골프공 비행 높이이다. 그림 4에서의 입사각 α 는 안테나 법선 기준으로 아래쪽은 ‘-’ 부호, 위쪽은 ‘+’ 부호를 갖는다.

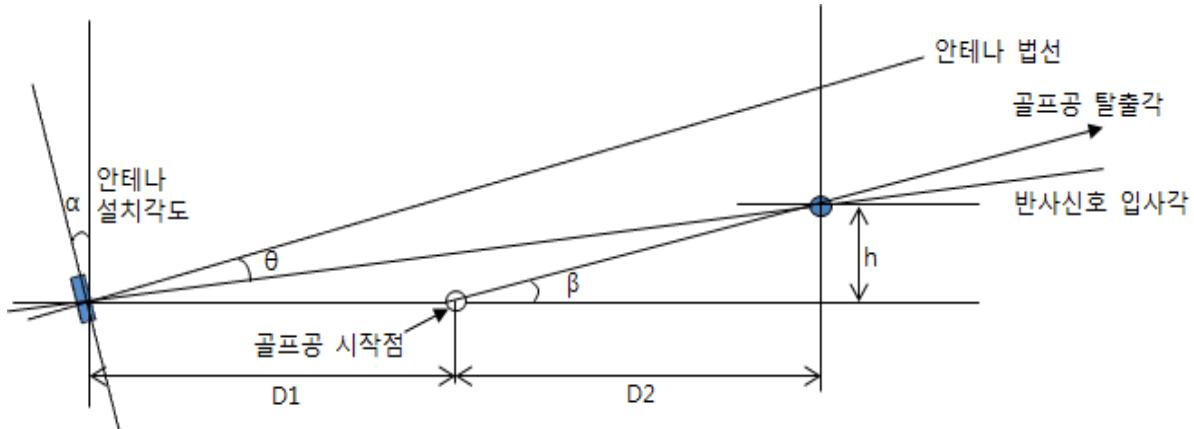


그림 14 안테나와 볼 위치에 따른 각도 보정

2. 레이더센서의 구성 및 주요 설계

앞(1. 배경기술 및 이론)에서 사용된 이론들을 바탕으로 하여, 본 연구에서는 10GHz 대역의 무선신호의 반사파를 이용함으로써 빛의 밝기에 따른 제한 없이 사용할 수 있는 탄도

분석기를 설계하였다. 송신안테나에서 방사된 RF신호가 골프채 및 골프공에 부딪혀 반사되어 수신된 신호를 디지털 변환한 후 실시간 처리하여 골프공의 비행관련 파라미터를 추출한다.

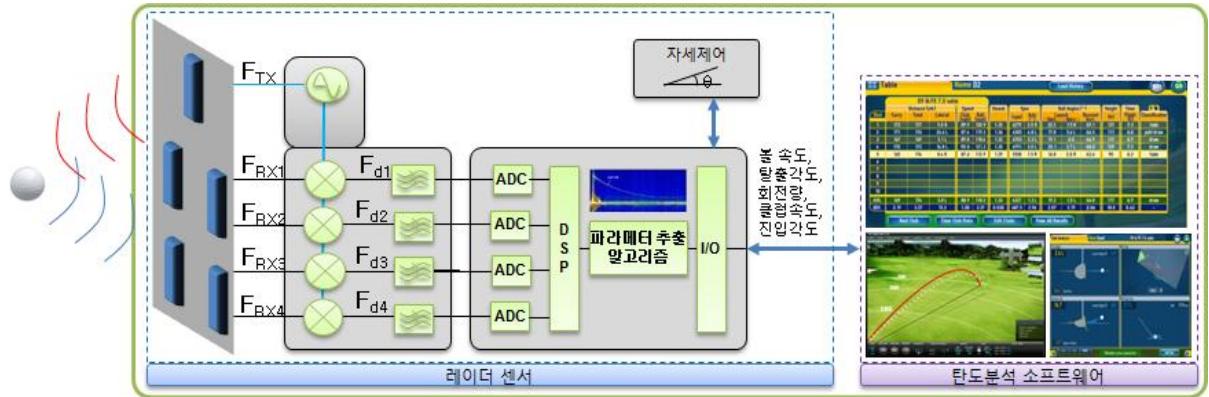


그림 15 레이더방식의 휴대용 골프 탄도분석 시스템 블록도

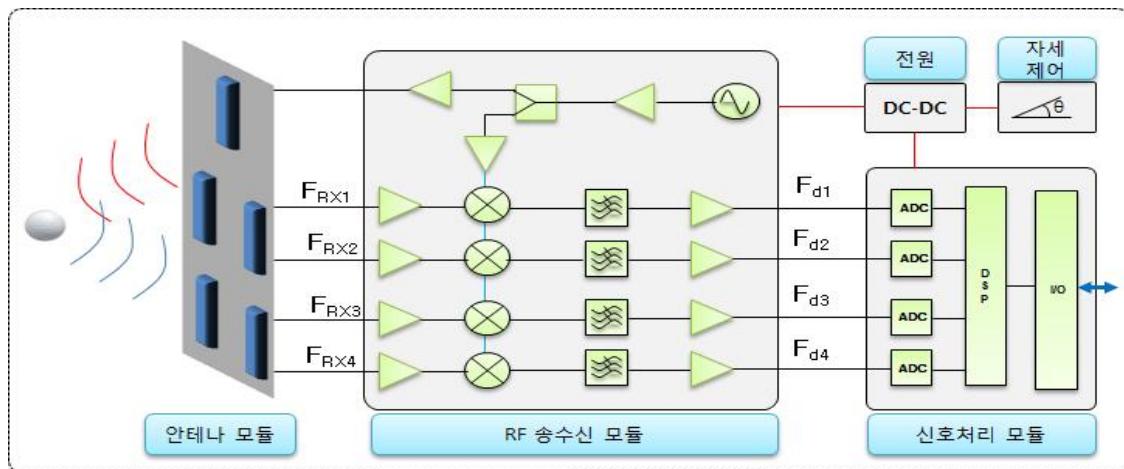


그림 16 레이더센서 블록도

제안된 레이더 방식의 탄도분석기는 그림 15에 보이는 바와 같이 하드웨어 구성품인 레이더 센서와 탄도비행 알고리즘이 포함된 탄도분석 소프트웨어로 구성되어있다. 탄도분석 소프트웨어는 골프 클럽과 골프공의 움직임에 의한 골프공의 비행관련 데이터를 계산하는 탄도비행 알고리즘과 처리결과를 3D 전시해주는 3D 엔진 및 골프공 속도, 방위각, 고각 및 비행거리 등과 같은 골퍼의 실시간 샷 정보를 시각적으로 전달하고 자료를 저장 분석하는 모듈로 구성되어 있어 보다 과학적인 골프 스윙을 분석할 수 있는 시스템이다.

본 연구에서는 탄도분석기의 성능에 지대한 영향을 주는 레이더 센서에 대한 연구수행 결과를 기술하였다. 레이더 센서는 골프공의 비행에 관련된 주요 파라미터인 골프공 속도, 고각 및 방위각을 추출한 후 그 정보를 탄도분석 소프트웨어로 보내어 정확한 샷 정보를 분석할 수 있도록 한다.

본 연구에서 설계된 레이더 센서는 그림 16에서와 같이 RF신호 송수신을 담당하는 안테

나 모듈, RF신호 발생 및 주파수변환/증폭을 하는 RF송수신 모듈, 골프공 비행 파라미터 추출을 담당하는 신호처리 모듈로 크게 3개의 주요 모듈로 구성된다. 그 외에 안테나 설치 높이 및 기울기를 조절하는 자세제어 모듈과 전원 모듈이 포함된다.

가. 안테나 모듈 설계 - 참조: 별첨1_안테나

안테나 모듈은 레이더 센서의 눈과 같은 역할을 수행하는 모듈로서 평면 위상배열 안테나 형태로 제작한다. 평면 위상배열 안테나는 마이크로스트립 형태로 제작되어 소형, 경량화에 유리하고 저렴한 가격에 제조할 수 있다[5]. 본 연구에서 개발된 평면 위상배열 안테나(이하 ‘위상배열 안테나’)는 4×4 배열로 Microstrip 인쇄회로기판에 직접화되어 성능향상, 비용 절감 및 제작크기 감소의 효과를 얻을 수 있다. 그림 17은 위상배열 안테나의 설계도면과 시뮬레이션 결과이다.

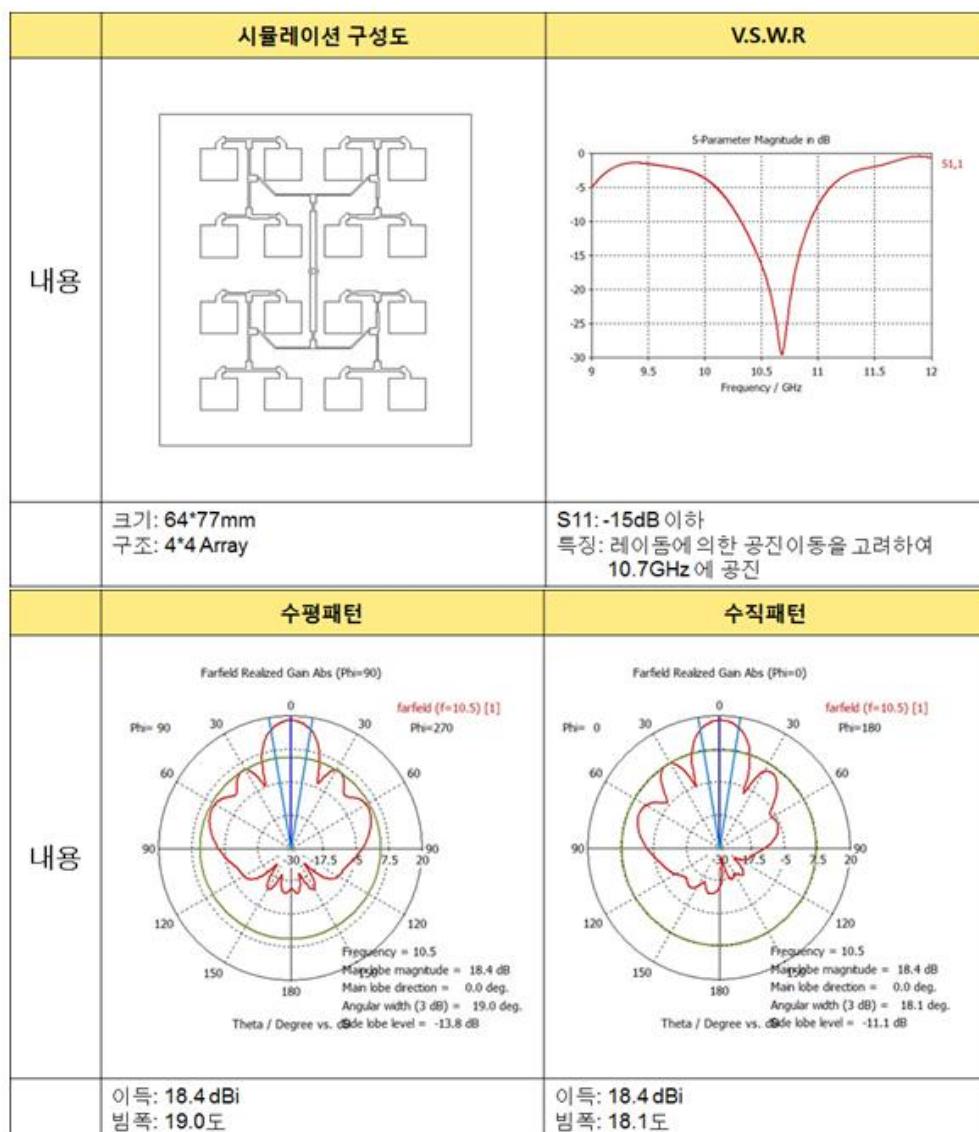


그림 17 평면 4×4 위상배열 안테나 설계

설계된 위상배열 안테나는 그림 18과 같이 송신용 안테나 1개와 수신용 안테나 4개로 구성되며, 수신용 안테나는 방위각 측정과 고각 측정을 동시에 수행하기 위하여 그림 12와 같은 형태로 배치하였다.

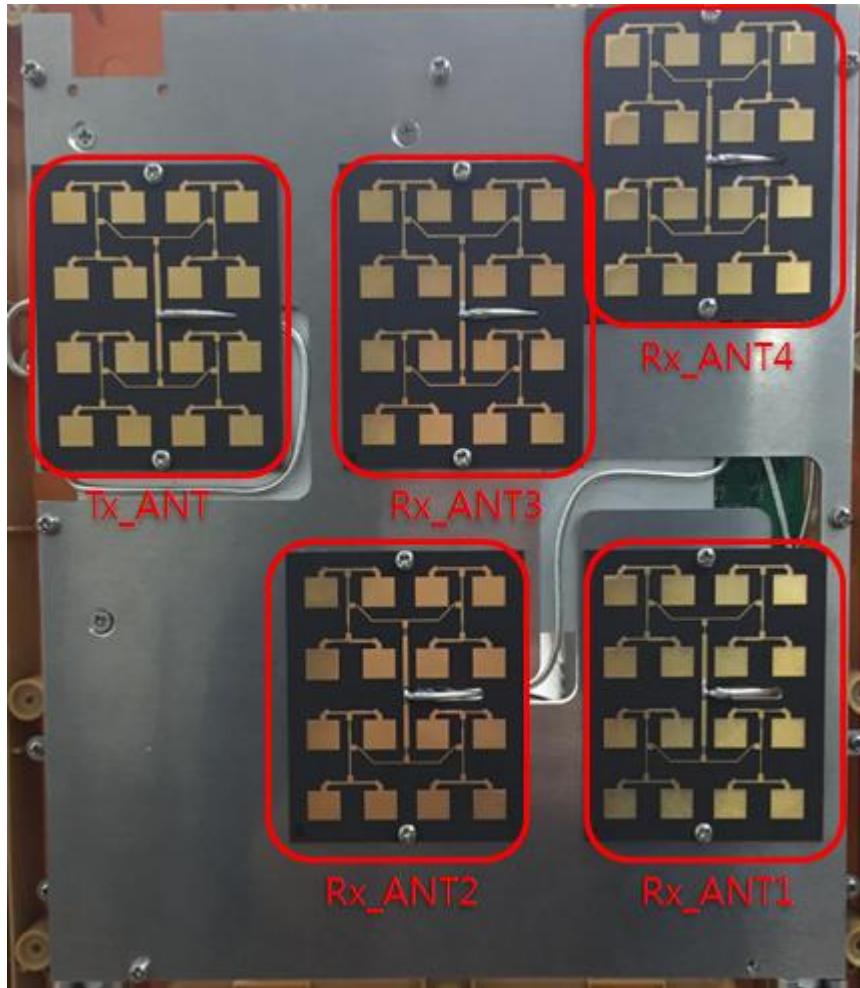


그림 18 개발된 위상배열 안테나 배치

Rx_ANT1과 Rx_ANT2, Rx_ANT3과 Rx_ANT4를 이용하여 방위각을 얻을 수 있으며, Rx_ANT1과 Rx_ANT2와 Rx_ANT3을 이용하여 고각을 얻을 수 있다. 여기에서 수신 안테나 이격거리정보는 방위각 및 고각의 연산을 위한 중요한 파라미터이다.

그림 19와 20은 본 연구에서 개발된 위상배열 안테나의 방사패턴을 측정한 결과이며, 이로부터 표 5와 같이 목표 설계규격을 만족시키도록 구현되었음을 확인할 수 있다.

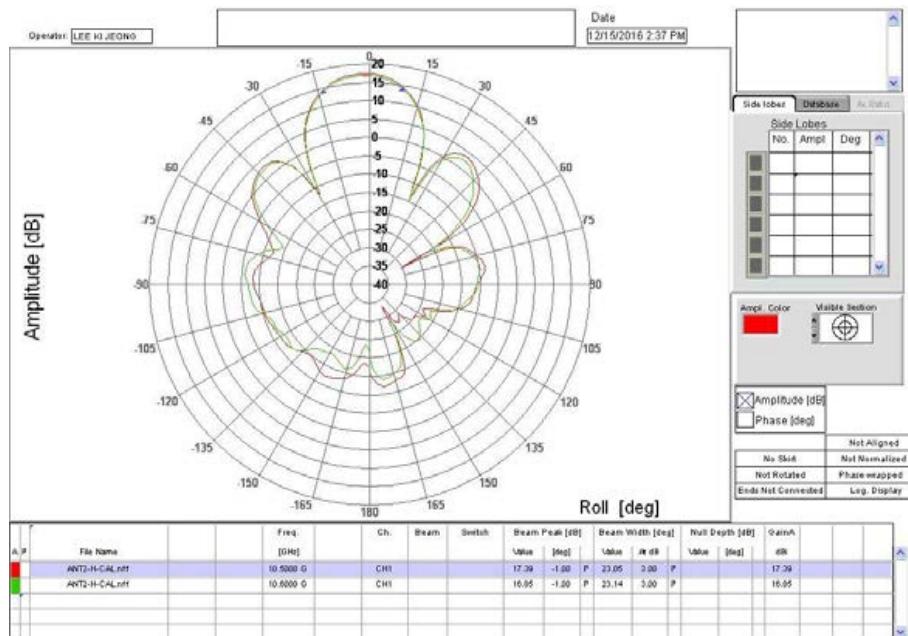


그림 19 수평방사패턴 및 이득

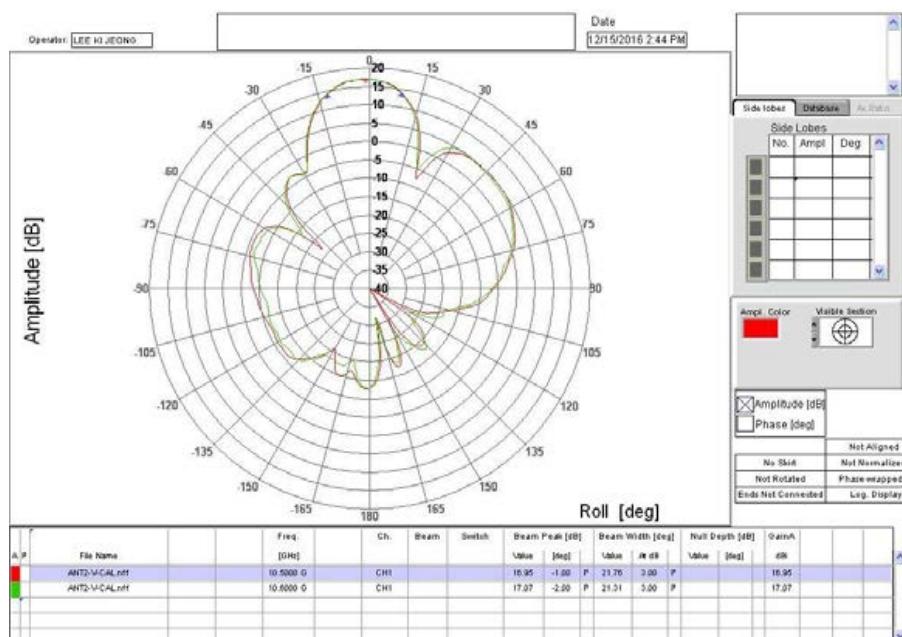


그림 20 수직방사패턴 및 이득

표 4 안테나 주요 규격 및 제작 결과 비교

항목	설계 규격	제작 결과	단위	비고
주파수	10.5 ~ 10.6	10.5 ~ 10.6 이상	GHz	만족
이득	16 이상	- 수평 : 16.85 - 수직 : 16.95	dBi	만족
3dB 빔폭	- 수직 : 18 이상 - 수평 : 18 이상	- 수직 : 21.31 - 수평 : 23.14	deg	만족
정재파비	2 : 1 이하	1.5 : 1 이하		만족

나. RF 송수신 모듈 - 참조: 별첨2_RF 송수신 모듈

RF 송수신 모듈의 블록도는 다음과 같다.

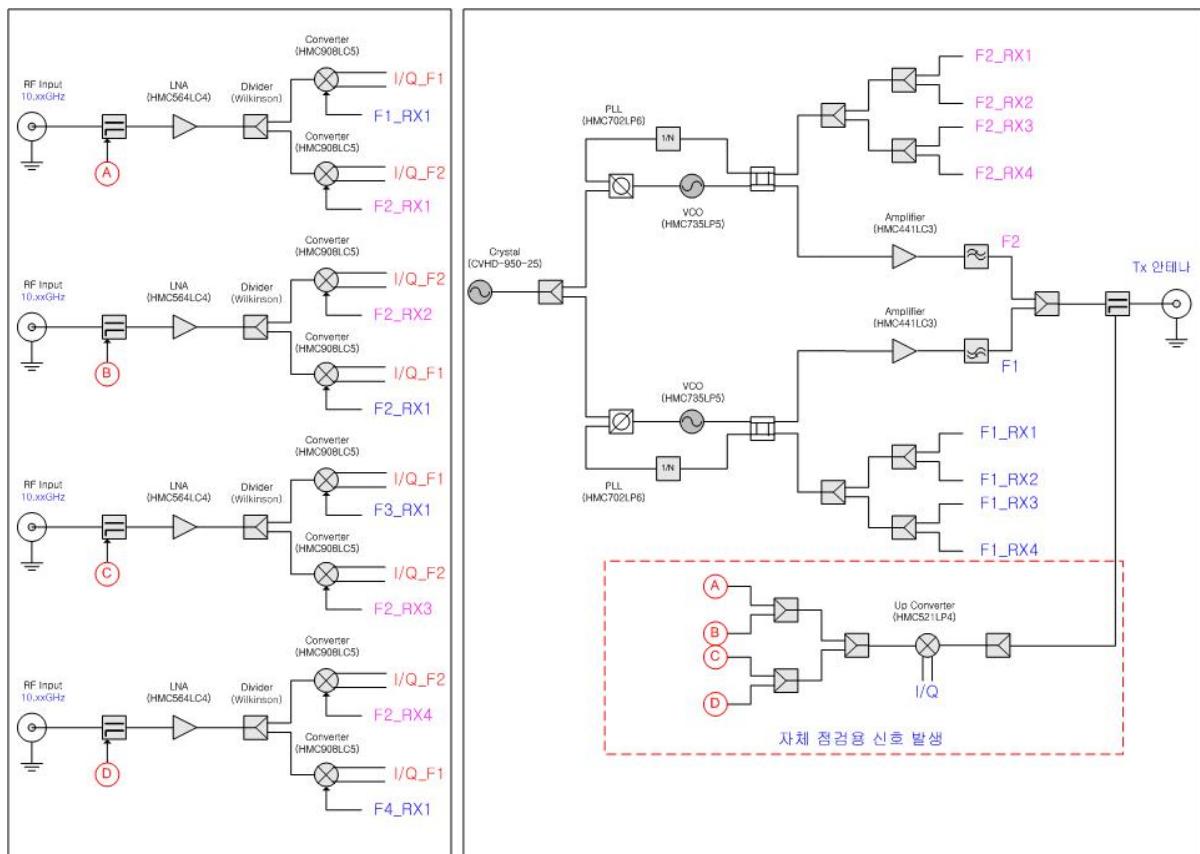


그림 21 RF 송수신 모듈 블록도

그림 21과 같이 구현된 RF 송수신 모듈은 10.5GHz대역의 주파수를 발생 및 증폭하는 송신 모듈과 수신 안테나를 통해 수신된 10.5GHz대역 주파수를 저잡음 증폭 및 주파수 하향 변환하여 도플러 주파수(클립 및 볼의 움직임 정보 포함)를 추출 및 증폭하는 수신 모듈로 구성된다.

국부발진기(LO: Local Oscillator)에서 저위상 잡음(Low Phase Noise) 특성을 갖는 주파수를 발생하여 송신단과 수신단으로 전력 분배한 후 전력증폭기를 거쳐 송신안테나로 전송한

다.

송신안테나에서 복사(Radiation)된 주파수신호는 물체(골프 볼 및 클럽)에 부딪혀 반사되며, 반사된 주파수 신호는 4개의 수신 안테나를 통해 수신경로로 입력된다. 수신안테나 입력되는 반사된 주파수 신호는 전력이 매우 낮으므로 저잡음 증폭기(LNA: Low Noise Amplifier)로 증폭한 후 송신부에서 사용한 주파수 신호로 혼합(Mixer)하여 움직이는 물체에 의한 신호(도플러 신호)를 분리해 낸다. 분리된 IF(도플러)신호는 우리가 원하지 않는 신호도 포함되어 있어서 필요한 신호만 분리하여 증폭하는 과정을 거쳐야 한다. 골프 탄도분석에 필요한 신호인 수백 Hz(클럽의 움직임에 의한 주파수)~수 kHz(볼의 움직임에 의한 주파수)만을 선택하여 증폭하는 회로를 설계하여 오동작을 최소화하고 정확한 신호를 분석 할 수 있다.

그림 22는 이와 같은 원리를 따라 구현된 RF 송수신 모듈 제작 형상이며, 개발된 RF 송수신 모듈의 성능을 관련 파라미터별로 측정한 결과는 표 2와 같이 목표규격을 만족시키도록 구현되었음을 확인할 수 있었다.

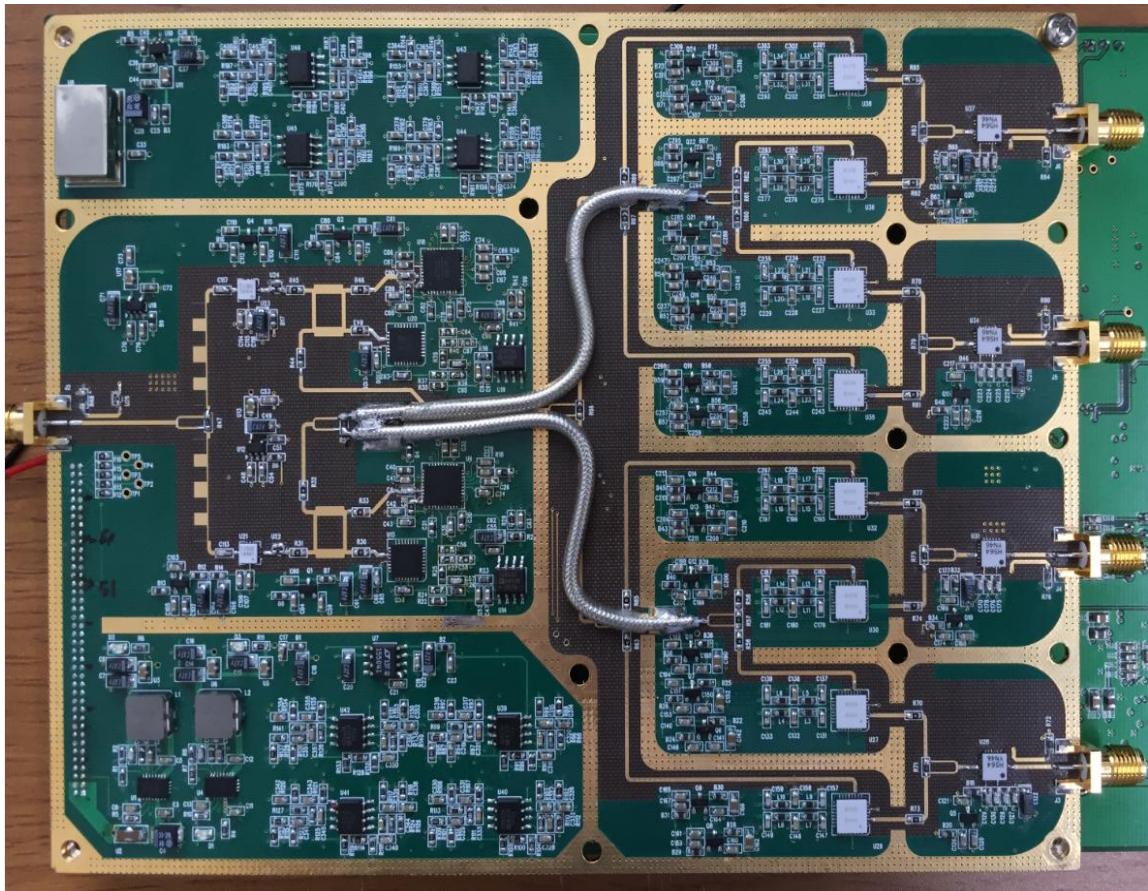


그림 22 RF 송수신 모듈 제작 형상

표 5 RF 송수신 모듈 주요 규격 및 제작 결과 비교

항목	단위	설계 규격	제작 결과
RF 주파수	GHz	10.3 ~ 10.7	10.3 ~ 10.7
송신 출력	dBm	16 이상	18.83
수신 채널	개	4	4
수신 이득	dB	60 이상	80
수신 감도	dBm	-100 이상	-105
IF 주파수	kHz	100 ~ 10000	100 ~ 10000

그림 23 ~ 27은 설계된 RF송수신 모듈의 송신 출력 세기 와 4개의 수신채널의 I 와 Q 신호의 출력특성을 나타낸다. 각 수신 채널의 I 와 Q 신호 품질과 수신 채널 간 신호세기가 유사함을 확인할 수 있다.

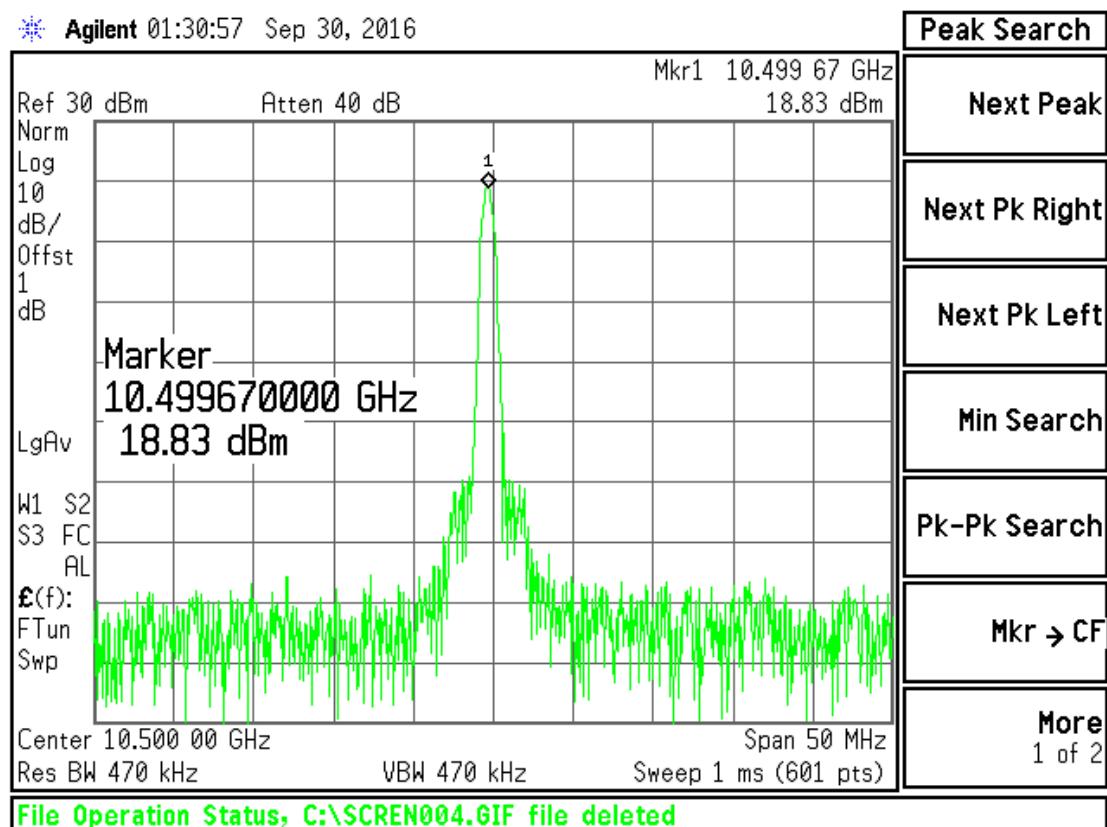


그림 23 RF 송수신 모듈 - 송신 출력

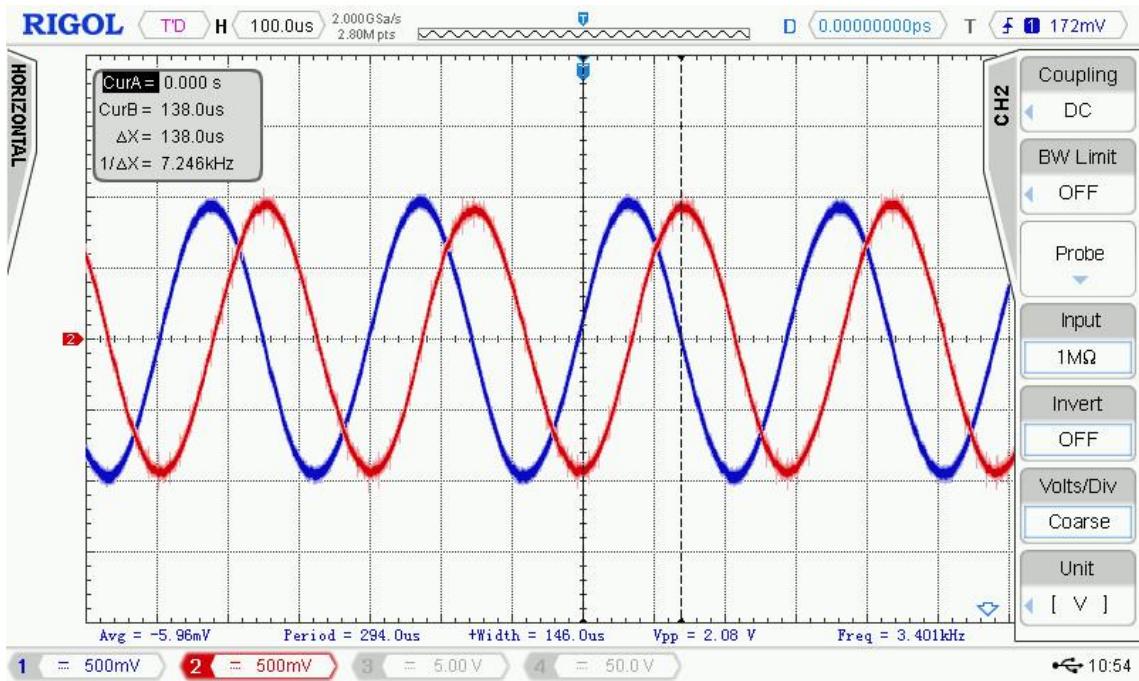


그림 24 RF 송수신 모듈 - 수신 CH1 I/Q 신호 출력(-80dBm입력)

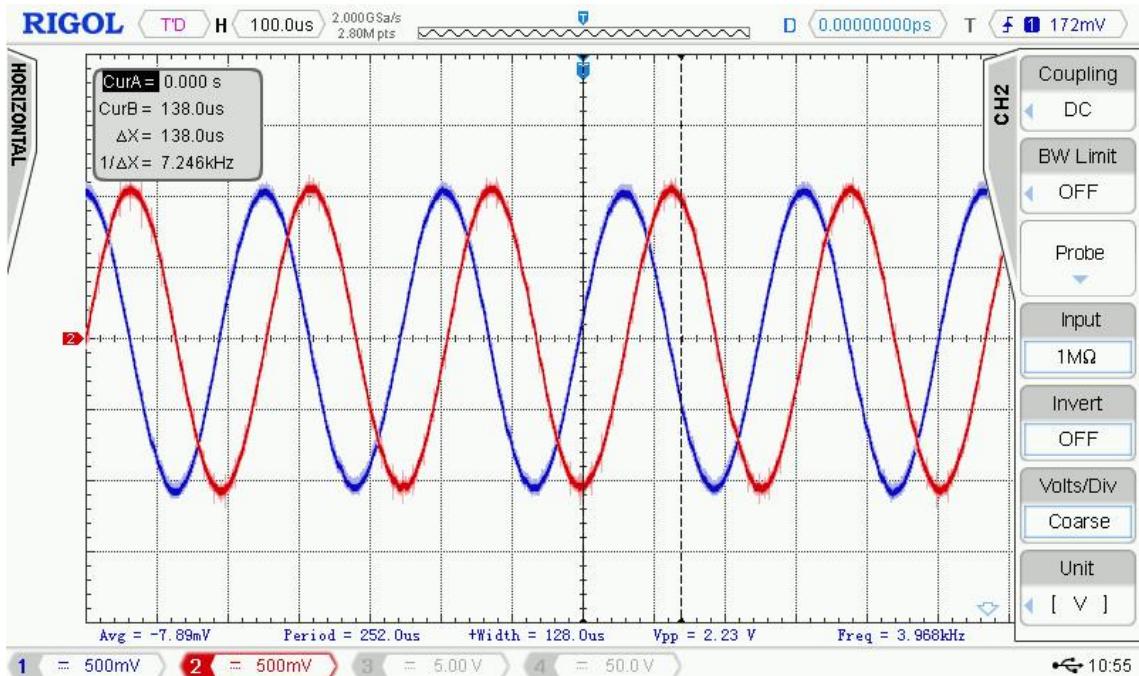


그림 25 RF 송수신 모듈 - 수신 CH2 I/Q 신호 출력(-80dBm입력)

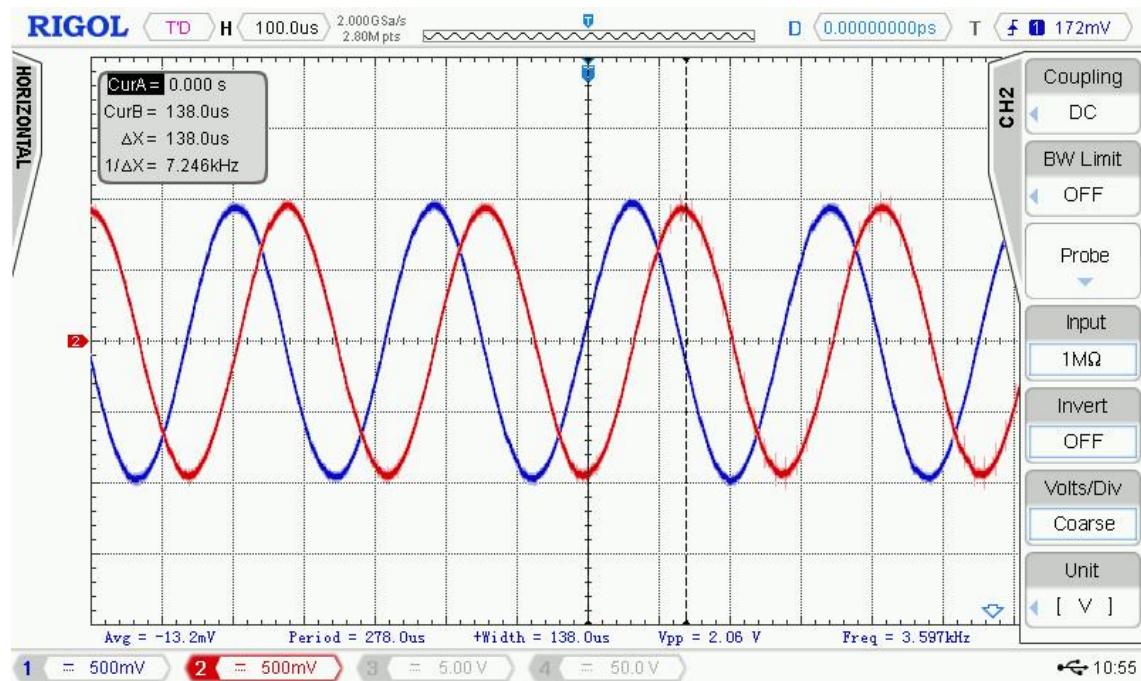


그림 26 RF 송수신 모듈 - 수신 CH3 I/Q 신호 출력(-80dBm입력)

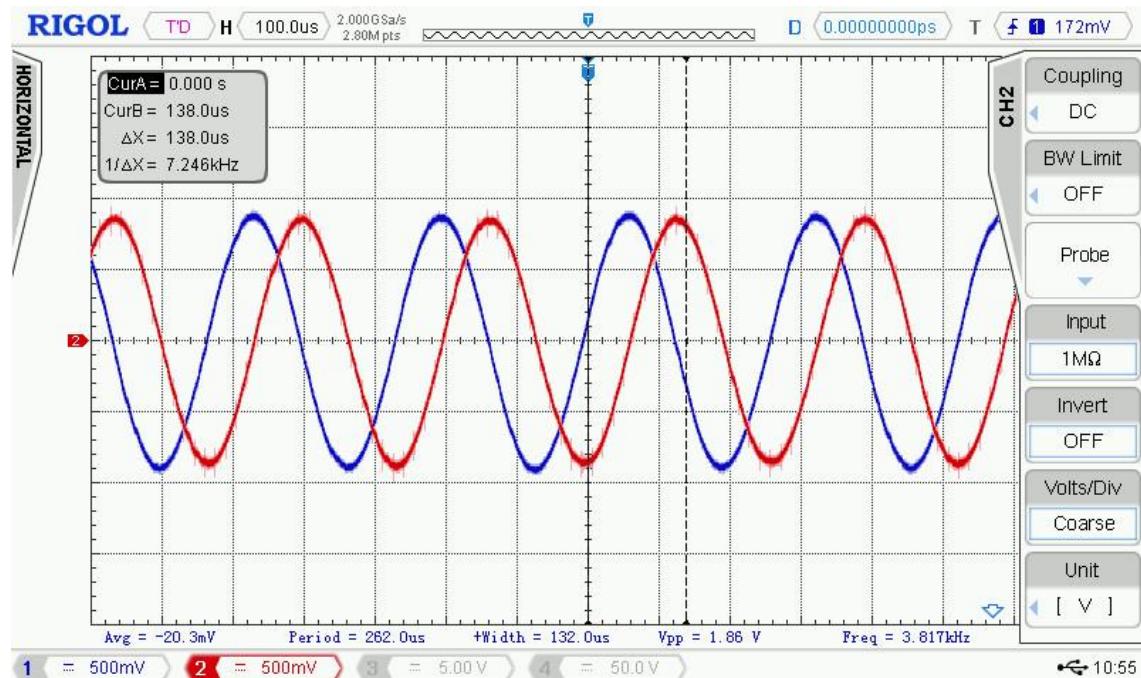


그림 27 RF 송수신 모듈 - 수신 CH4 I/Q 신호 출력(-80dBm입력)

다. 제어 및 신호처리 모듈 - 참조: 별첨3_제어 및 신호처리 모듈

제어 및 신호처리 모듈(이하 ‘신호처리 모듈’)의 블록도는 다음과 같다.

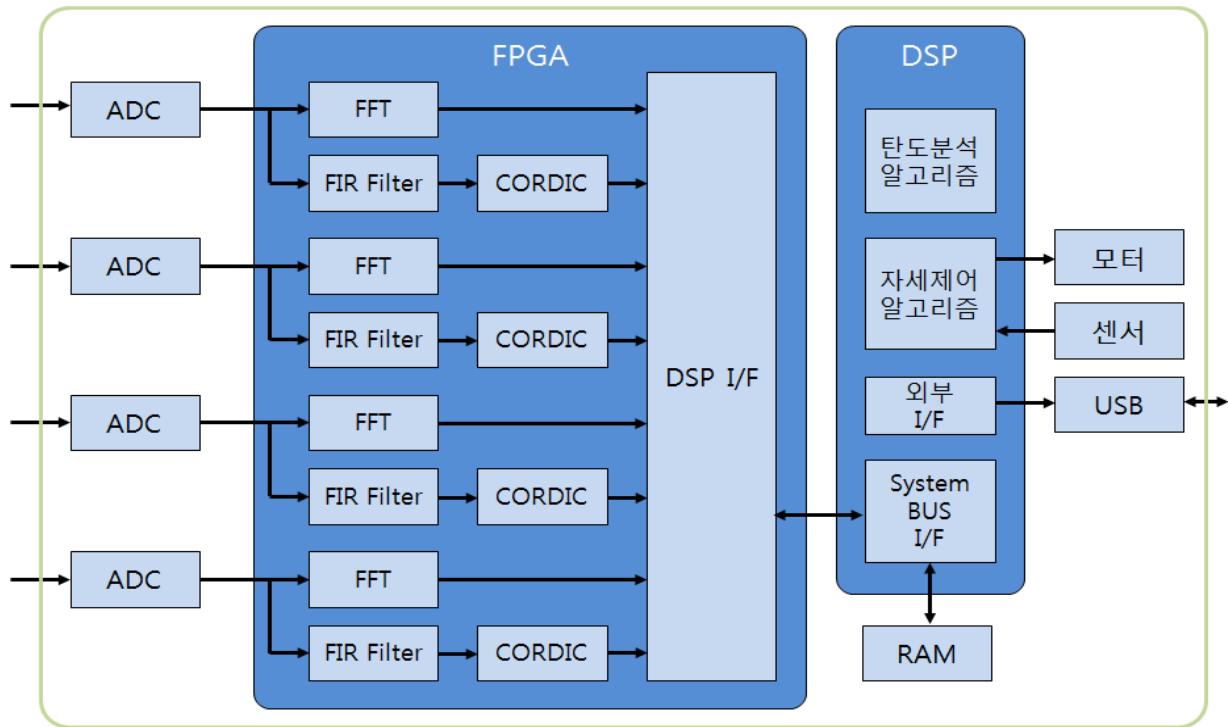


그림 28 신호처리 모듈 블록도

신호처리 모듈은 4개의 아날로그-디지털변환기(ADC: Analog-Digital Converter)를 사용하여 RF 송수신모듈로부터 각 수신채널 별로 선택 및 증폭된 기본대역 신호를 입력받아 디지털 신호로 변환하여 프로세서에 공급하고 프로세서에서 생데이터(raw data)를 분석하는 알고리즘을 통해 탄도 분석에 필요한 다양한 파라미터를 추출하여 운용프로그램에 전달한다.

24bit 고해상도 ADC처리를 하여 우수한 생데이터를 획득하고 파라미터 추출 알고리즘을 이용하여 프로세서에서 생데이터를 처리하면 구질 분석에 필요한 파라미터가 계산된다. 고성능 DSP(Digital Signal Processor)를 이용하여 다양한 파라미터를 분석하기에 적합한 알고리듬을 적용함으로써 정확도가 높은 탄도 분석 파라미터를 획득하며, 고속의 DSP를 사용함으로써 빠른 파라미터 추출 및 전송하여 운용 프로그램에서 실시간으로 샷 정보를 전시 가능하게 해준다.

신호처리 모듈은 아날로그 신호를 디지털로 변환하는 데이터 획득부와 파라미터 추출을 위한 신호처리부로 구성된다. 데이터 획득부는 4개의 수신안테나로부터 입력된 반사 신호는 주파수 하향변환 하여 얻어진 I(Inphase)/Q(Quadrature)신호로 분리됨으로써 8채널의 ADC를 이용하여 데이터를 획득할 수 있다. 획득된 신호는 골프채에 의한 반사 신호와 골프공에 의한 반사 신호를 분리하기 위하여 각각의 도플러 주파수 성분을 추출하여야 한다.

도플러주파수는 고속푸리에변환(FFT)를 수행하여 구한 후 능동형 필터의 차단주파수를 결정한다. 능동형 필터에 의해 분리된 골프공의 반사 신호의 수신안테나별 위상차를 이용하여 방위각과 고각을 계산한다. 이때 골프공과 레이더 센서 설치위치에 따른 차이를 보정하여 계산함으로써 보다 정확한 파라미터를 획득할 수 있다.

표 7은 레이더 센서의 신호처리 모듈의 주요 성능 및 구현된 모듈을 이용하여 얻어진 결과이다. 하드웨어적 관점에서 ADC는 4개의 수신안테나 신호를 동시 획득하기 위해 8채널을 보유하며, ADC 샘플링 클럭은 10kHz로 설정함으로써 골프공의 최대 속도에 따른 도플러 속도인 8kHz 이하의 신호를 측정할 수 있도록 하였다. 프로세서는 ADC로 획득된 데이터를 실시간으로 FFT 및 위상차 연산을 수행하기 위해 200MHz DSP 4개를 구성하였다. 그림 29는 제어 및 신호처리 모듈의 제작형상이다.

표 6 신호처리 모듈 주요 성능 및 구현 결과

항목	단위	제작 목표 규격	설계 결과
ADC 채널	채널	8	8
ADC 샘플링 주파수	kHz	20	20
ADC 분해능	bit	24	24
Processor	MHz	200	200
통신방식		USB 2.0 이상	USB 2.0

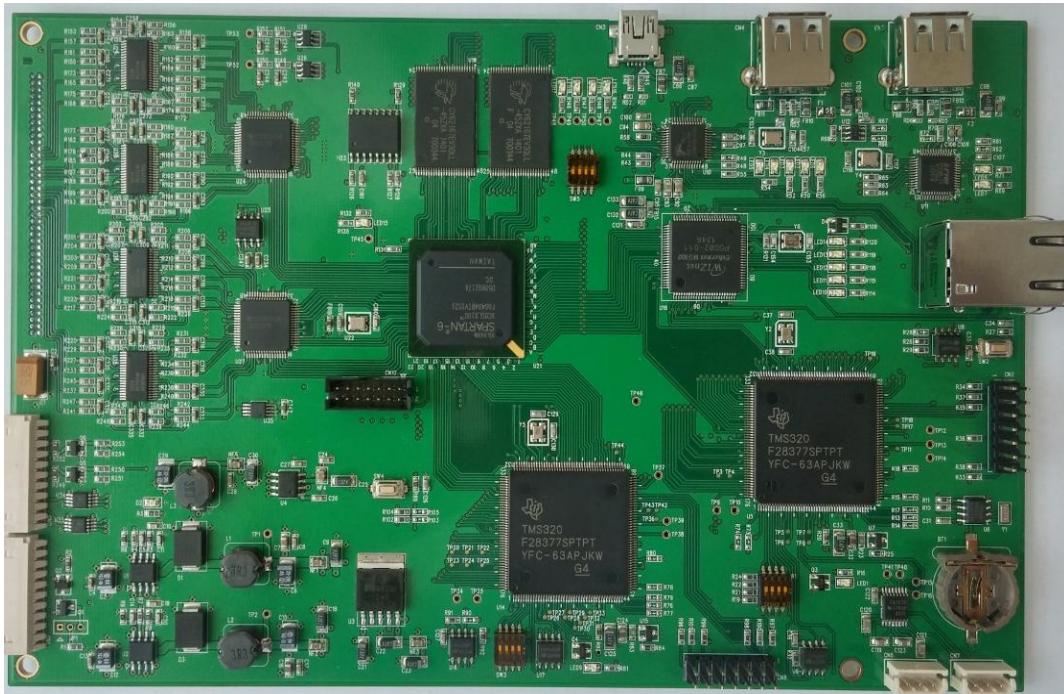


그림 29 신호처리 모듈 제작형상

3. 실험 및 분석 결과

개발된 탄도 분석용 레이더 센서의 성능을 검증하기 위하여 표 8과 같이 골프공 레이더 센서 실험조건으로 설치한 후 실험을 진행하였다. 골프공의 타격은 로프트 각이 10.5도인 드라이버를 이용하여 30회 타격하여 골프공의 속도, 고각, 방위각을 각각 측정하고 이를 실제 파라미터 값으로 가정하고, 본 연구에서 제작된 장비의 성능비교를 위해 사용하였다.

표 7 골프공 탄도 분석용 레이더 센서 실험 조건

항목	단위	값
전파속도	m/s	299,792,458
RF 주파수	GHz	10.5
센서 설치거리	m	3
골프공 비행거리	m	3.5
골프공 높이	m	0.05
ADC 샘플링 주파수	Hz	20,000
실험 횟수	회	30

본 연구에서 제안된 탄도 분석기의 정확도 측정을 위해 사용된 측정 장비는 TrackMan사의 TrackMan이라는 분석 장비로서, 장비의 신뢰성은 골프스윙머신을 이용하여 야외에서 실제 거리를 측정 분석한 결과 1%이내의 정확도를 보이는 장비로 알려져 있다[6].

골프공 탄도 분석용 레이더센서의 주요 측정파라미터인 골프공 속도, 고각, 방위각의 목표규격은 표 9와 같이 정의하였다.

표 8 골프공 탄도 분석용 레이더 센서 목표 규격

항목	단위	목표 규격	비고
비행거리	m	비행거리 $\pm 5\%$	
골프공 속도	m/s	공 속도 ± 2.12	비행거리 오차 5% 이내인 속도
고각	deg	고각 ± 2.0	비행거리 오차 2.5% 이내인 고각
방위각	deg	방위각 ± 2.0	비행거리 오차 2.5% 이내인 방위각

그림 30은 비행하는 골프공에 반사되어 안테나로 수신된 신호의 도플러 주파수 성분을 ADC를 이용하여 획득한 데이터이다. 4개의 수신채널의 이득에 따라 크기가 다르게 측정된다. 전시된 그림에서 0.02초부터 0.038초까지의 데이터는 골프채에 의해 발생된 도플러 신호이고 0.038초부터 0.058초까지의 신호는 골프채와 골프공에 의한 도플러 주파수이며, 0.058초부터 그 이후의 신호는 골프공에 의한 도플러 신호이다.

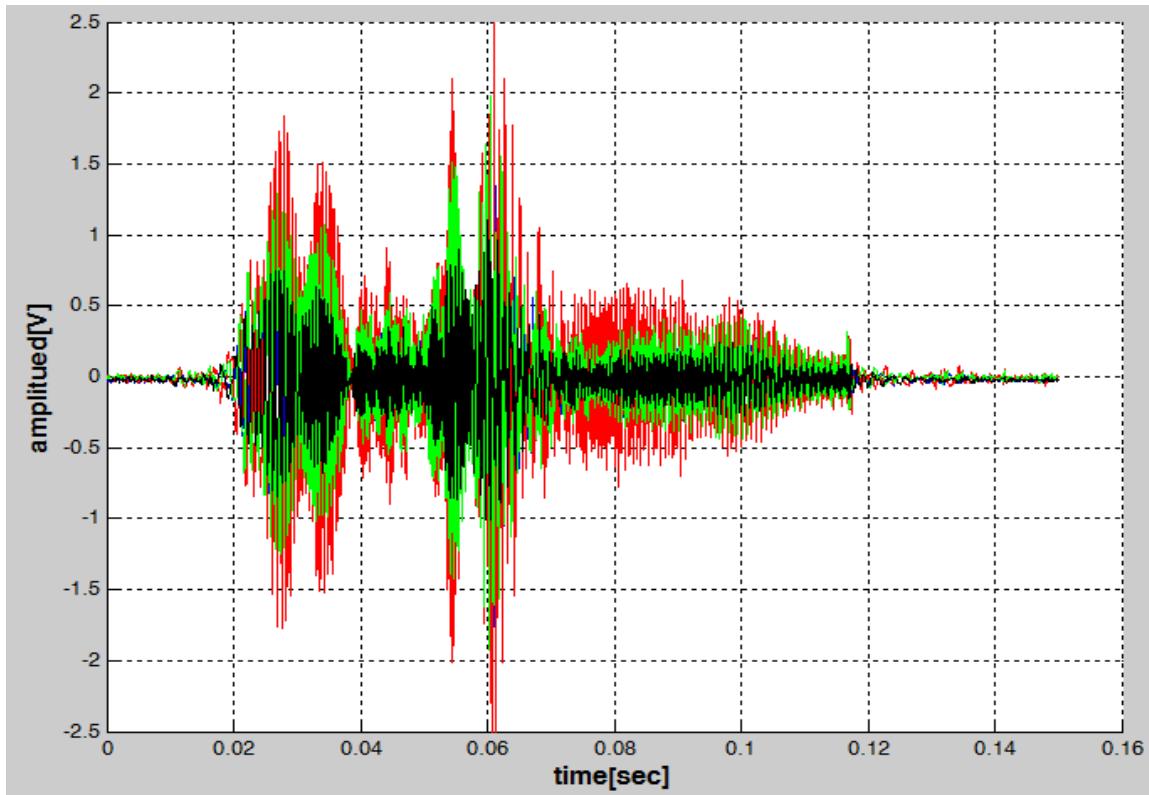


그림 30 ADC 획득 데이터

그림 31은 ADC로부터 획득된 데이터를 FFT 수행한 결과를 보여주고 있다. 도플러 주파수가 3kHz 이하의 성분은 골프채에 의해 반사된 신호의 스펙트럼이고, 4kHz 이상의 선으로 표현된 부분이 골프공의 비행에 의해 발생된 스펙트럼이다. 골프채에 의해 발생된 도플러 주파수는 0.03초부터 0.07초 구간에 스펙트럼이 집중적으로 발생되었고, 골프공에 의한 도플러 주파수는 0.06초 구간부터 0.12초 까지 0.06초 동안 비행하는 형태로 발생되었다.

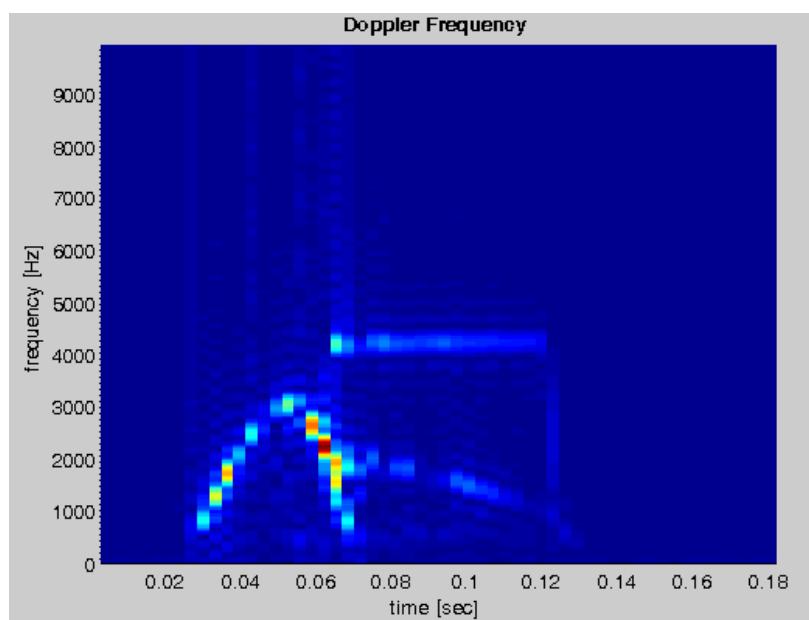


그림 31 골프공 반사신호 FFT 처리결과

표 10은 골프측정 시스템을 이용하여 드라이버로 30회 실험하여 도플러 주파수를 측정한 후 골프공의 속도를 얻어낸 실제 값들과 본 연구에서 제안된 시스템을 이용하여 측정한 결과 값을 통계적으로 분석하여 얻어진 결과를 보여준다.

표 9 골프공 속도 측정 결과

실험	기준속도 [m/s]	속도측정 [m/s]	탈출각 [deg]	속도보상 [m/s]	오차 [m/s]
1	59.9	58.5532	13.555	58.637	1.263
2	50.5	50.1885	10.636	50.189	0.311
3	56.4	55.2073	16.296	55.491	0.909
4	60.7	59.1109	16.912	59.483	1.217
5	59.2	57.9956	14.807	58.160	1.040
6	58	57.4379	13.492	57.516	0.484
7	60.6	59.1109	13.177	59.175	1.425
8	60.9	59.6685	12.546	59.707	1.193
9	59.2	57.9956	13.051	58.053	1.147
10	61.1	59.6685	15.678	59.913	1.187
11	59.5	57.9956	15.678	58.233	1.267
12	59	57.4379	17.525	57.872	1.128
13	57.8	56.3226	16.912	56.677	1.123
14	62.3	60.7838	11.912	60.802	1.498
15	55	53.5344	18.135	54.013	0.987
16	58.7	57.4379	12.546	57.475	1.225
17	60.7	59.1109	12.862	59.161	1.539
18	57.5	56.8803	12.862	56.929	0.571
19	59.6	58.5532	16.605	58.887	0.713
20	58.5	56.8803	17.219	57.274	1.226
21	62.7	61.3415	11.912	61.360	1.340
22	57.1	55.2073	17.525	55.625	1.475
23	58.8	57.4379	13.177	57.501	1.299
24	61.5	59.6685	12.546	59.707	1.793
25	61.9	60.7838	9.030	60.804	1.096
26	60.7	58.5532	18.742	59.164	1.536
27	61.6	59.6685	16.912	60.044	1.556
28	61.6	59.6685	19.947	60.489	1.111
29	64.2	62.4568	16.296	62.778	1.422
30	62.7	60.7838	18.257	61.345	1.355
	RMSE (Root Mean Square Error)				1.225

골프공의 속도를 측정한 결과 기준 값(실제 값) 대비 측정값의 RMS 오차는 1.225[m/s]를 얻을 수 있었으며 탄도비행방정식에 의해 비행거리를 계산하면 기준 값(실제 값) 대비 RMS 거리 오차는 2.8%의 RMS 오차가 발생함을 알 수 있었다.

이 결과는 거리정확도 5%이내를 만족시키기 위해 역으로 환산된 속도오차 범위인 2.12[m/s] 이내를 만족함을 확인할 수 있다.

그림 32는 공의 고각을 계산하기 위하여 안테나 1번과 안테나 4번 사이의 위상차를 측정

한 결과를 보이고 있다. 안테나의 설치 고각은 10.5도 기울어진 상태로 설치되어 있어서 최초 골프공 비행 시작 지점에서의 3[rad]에서부터 비행종료 지점에서는 -0.122[rad]까지 변화됨을 확인 할 수 있다. 이때 고각 계산은 골프공 시작 지점에서 3.5[m] 떨어진 지점에서의 위상차인 -0.122[rad]에 의해서 계산된다.

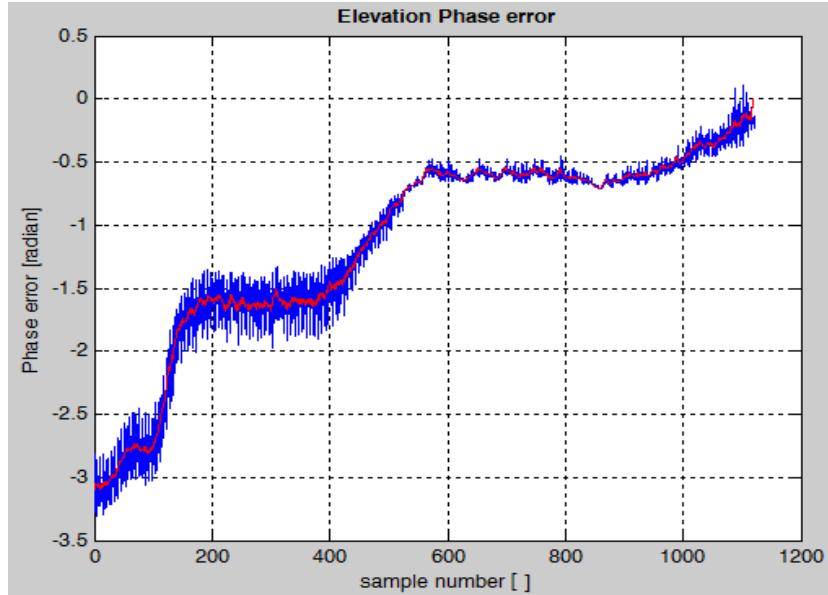


그림 32 고각 측정을 위한 위상차

골프공의 수직 위상차를 측정하여 계산된 고각은 표 11과 같이 드라이버를 이용하여 타구된 공의 평균 고각 14.9[deg]로 30회 측정한 결과(실제값)이다. 개발된 시스템을 사용하여 측정된 고각은 기준값 대비 RMS 오차 1.322[deg]가 얻어졌으며 탄도비행방정식에 의해 비행거리를 계산하면 기준 대비하여 거리오차가 2.6[m]로서 1.3%의 RMS 오차가 발생하여 이 결과도 거리정확도 5%이내를 충분히 만족하고 있음을 보여준다.

표 10 고각 측정결과

번호	기준고각 [deg]	위상차 [rad]	측정고각 [deg]	오차 [deg]
1	15.8	-0.882	13.555	-2.245
2	8.8	-1.342	10.636	1.836
3	16.6	-0.442	16.296	-0.304
4	16.6	-0.342	16.912	0.312
5	15	-0.682	14.807	-0.193
6	10.9	-0.892	13.492	2.592
7	14.1	-0.942	13.177	-0.923
8	14.3	-1.042	12.546	-1.754
9	12	-0.962	13.051	1.051
10	16.2	-0.542	15.678	-0.522
11	15.7	-0.542	15.678	-0.022
12	16.6	-0.242	17.525	0.925
13	17.6	-0.342	16.912	-0.688
14	14.3	-1.142	11.912	-2.388
15	17.4	-0.142	18.135	0.735
16	13.1	-1.042	12.546	-0.554
17	15.3	-0.992	12.862	-2.438
18	10.9	-0.992	12.862	1.962
19	16.5	-0.392	16.605	0.105
20	17.5	-0.292	17.219	-0.281
21	12.8	-1.142	11.912	-0.888
22	17.6	-0.242	17.525	-0.075
23	14.8	-0.942	13.177	-1.623
24	15.2	-1.042	12.546	-2.654
25	9.7	-1.592	9.030	-0.670
26	19.5	-0.042	18.742	-0.758
27	16.7	-0.342	16.912	0.212
28	20.9	0.158	19.947	-0.953
29	16.8	-0.442	16.296	-0.504
30	19.4	-0.122	18.257	-1.143
	RMSE(Root Mean Square Error)			1.322

그림 33은 골프공의 방위각 계산을 위하여 안테나 1번과 안테나 2번의 위상차를 측정한 결과를 보이고 있다. 방위각 계산은 골프공 시작 지점에서 3.5[m] 떨어진 지점에서의 위상차인 0.2[rad]에 의해서 계산된다.

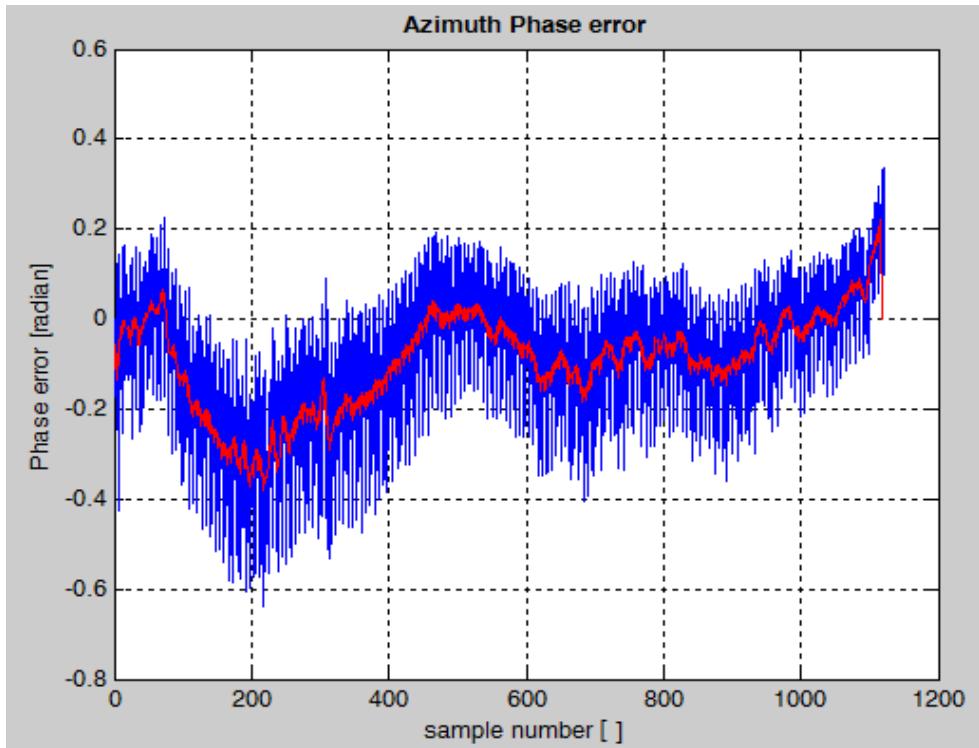


그림 33 방위각 측정을 위한 위상차 측정

골프공의 수평 위상차를 측정하여 계산된 방위각은 표 12와 같으며, 실험은 고각 측정과 동일하게 드라이버를 이용하여 타구된 공의 평균 방위각 $-6.446[\text{deg}]$ 로 30회 실험 결과(실제값)가 얻어졌다. 개발된 시스템을 이용하여 측정된 방위각은 기준값(실제값) 대비 RMS $1.019[\text{deg}]$ 의 RMS 오차가 얻어졌으며, 이를 탄도비행방정식에 의해 비행거리를 계산하면 기준 대비하여 1.78%의 RMS 거리오차가 구해졌다. 이 결과도 거리정확도 5%이내를 충분히 만족하고 있음을 보여준다.

표 11 방위각 측정 결과

번호	기준방위각 [deg]	위상차 [rad]	측정방위각 [deg]	오차 [deg]
1	-4.3	-0.040	-5.874	-1.574
2	-5.9	-0.050	-5.953	-0.053
3	-2.9	0.550	-1.210	1.690
4	-4.2	0.200	-3.981	0.219
5	-8.1	-0.310	-7.992	0.108
6	-5.1	0.100	-4.771	0.329
7	-7.9	-0.300	-7.914	-0.014
8	-8.2	-0.450	-9.085	-0.885
9	-6.6	-0.200	-7.131	-0.531
10	-7.1	-0.400	-8.695	-1.595
11	-3.9	0.450	-2.003	1.897
12	-3.7	0.350	-2.795	0.905
13	-1.3	0.700	-0.020	1.280
14	-6.6	-0.300	-7.914	-1.314
15	-3.5	0.350	-2.795	0.705
16	-10.1	-0.540	-9.785	0.315
17	-0.9	0.500	-1.607	-0.707
18	-6.6	0.000	-5.559	1.041
19	-3.6	0.110	-4.692	-1.092
20	-5.3	0.000	-5.559	-0.259
21	-7.4	-0.400	-8.695	-1.295
22	-4.3	0.100	-4.771	-0.471
23	-3.9	0.400	-2.399	1.501
24	-5.8	-0.170	-6.895	-1.095
25	-9.5	-0.700	-11.025	-1.525
26	-3.5	0.300	-3.191	0.309
27	-9.3	-0.500	-9.474	-0.174
28	-0.4	0.650	-0.417	-0.017
29	-7.3	-0.300	-7.914	-0.614
30	-5.6	0.200	-3.981	1.619
	RMSE(Root Mean Square Error)			1.019

본 연구에서 수행한 탄도분석기용 레이더센서의 설계 및 제작결과는 표 13과 같이 속도, 방위각 및 고각의 오차범위가 목표규격 이내로 각각 만족함을 확인할 수 있다.

표 12 현된 골프공 탄도분석용 레이더 센서 성능실험 결과

항목	단위	목표 규격	설계 결과(RMS)
비행거리	m	비행거리 $\pm 5\%$	비행거리 $\pm 4.49\%$
속도	m/s	속도 ± 2.12	속도 ± 1.225
고각	deg	고각 ± 2.0	고각 ± 1.322
방위각	deg	방위각 ± 2.0	방위각 ± 1.019

또한, 골프공 비행거리 계산을 위해 탄도비행방정식에 속도, 방위각 및 고각 오차를 모두

적용했을 때의 비행거리를 계산한 결과 기준거리 대비하여 4.49%의 RMS 비행거리 오차가 발생함으로써 골프공 비행거리 오차 목표치인 5%이내를 만족함을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 골프공 탄도 분석기의 핵심 구성품인 레이더 센서를 제작하고, 성능을 확인하였다. 구현된 시스템은 기존의 적외선 센서의 낮은 정확성을 무선 RF주파수를 이용한 레이더 방식으로 골프공 비행의 핵심 파라미터인 속도, 방위각 및 고각을 보다 정확하게 측정함으로써 탄도 분석기의 성능을 향상 시킬 수 있다. 이러한 시스템 완성을 통한 저비용 고성능의 휴대용 탄도 분석기 실용화와 함께 골프 선수들의 훈련이나, 골프클럽 맞춤제작에 정확한 샷 정보를 이용함으로써 체계적인 골프클럽 맞춤 시스템 및 골프레슨 시스템 개발에 많은 활용이 될 수 있을 것이다. 또한, 본 연구 결과는 골프공 추적 시스템뿐만 아니라 야구같이 정해진 공간 내 이동물체 분석 분야에서도 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

2절 구질분석 소프트웨어

1. 소프트웨어 상세설계

가. 소프트웨어 메뉴 구성 기획

(1) 사용자 등록 화면

[사용자 일반 정보 입출력 구성 요소 정리]

기본적으로 인적 사항, 신체 정보, 클럽 정보 3개의 파트로 구성 됨.

인적사항	신체조건	클럽정보
고객성명	성명을 적어주세요.	
연락처	010-1234-5678	
성별	<input checked="" type="checkbox"/> 남자	<input type="checkbox"/> 여자
생년월일	1999	년 12 월 1 일
주소	주소를 적어주세요.	
이메일	이메일 주소를 적어주세요.	

[그림34] 사용자 인적사항

인적사항	신체조건	클럽정보
신장	175	cm
몸무게	80	kg
악력	50	kg
팔길이	80	cm
그립사이즈	26	inc
구력	10	년
월 라운딩 횟수	4	회
주 연습 횟수	3	회
핸디캡	10	

[그림35] 사용자 신체 조건

인적사항	신체조건	클럽정보					
클럽구분	번호	길이	스윙웨йт	토탈웨йт	CPM	로프트	라이
드라이버	#1	0	0	0	0	0	0
우드	#3	0	0	0	0	0	0
	#5	0	0	0	0	0	0
유티	#3	0	0	0	0	0	0
	#4	0	0	0	0	0	0
	#5	0	0	0	0	0	0
아이언	#3	0	0	0	0	0	0
	#4	0	0	0	0	0	0
	#5	0	0	0	0	0	0
	#6	0	0	0	0	0	0
	#7	0	0	0	0	0	0
	#8	0	0	0	0	0	0
	#9	0	0	0	0	0	0
	#PW	0	0	0	0	0	0
48도		0	0	0	0	0	0
52도		0	0	0	0	0	0
56도		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
피터		0	0	0	0	0	0

[그림36] 사용자 클럽 정보

(2) 사용자 분석 이력 관리 화면

소프트웨어 구동 후 초기 관리 화면이 등록된 사용자 리스트와 각 사용자의 분석 이력 등이 한 화면에 나타남.



[그림37] 사용자 이력 관리

(2) 탄도 측정 화면

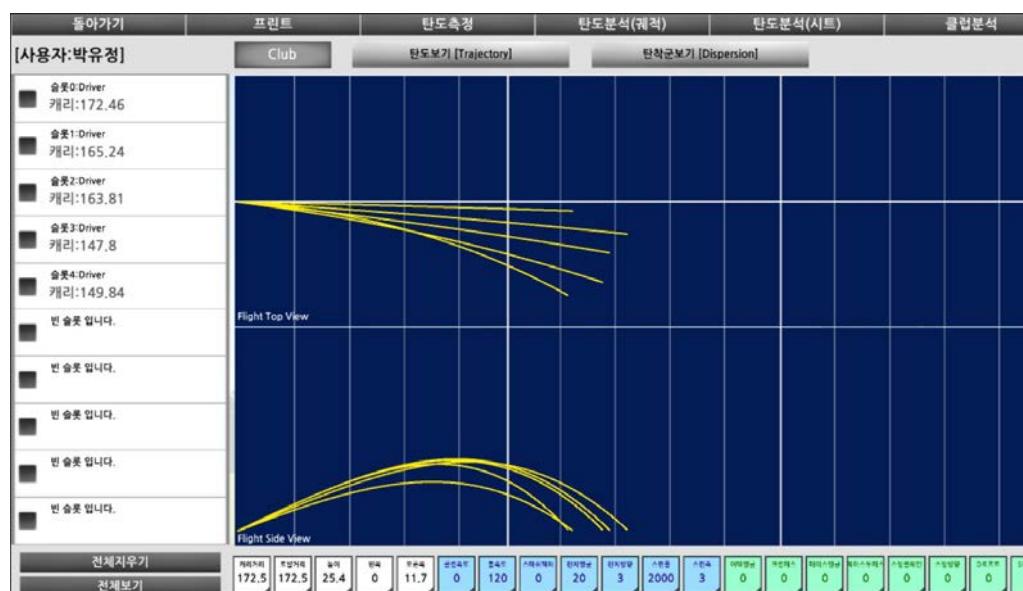
10회 반복 측정을 위한 측정 슬롯 및 실시간 볼 비행 화면 동시 구현



[그림38] 탄도 측정 화면

(3) 탄도 분석 화면

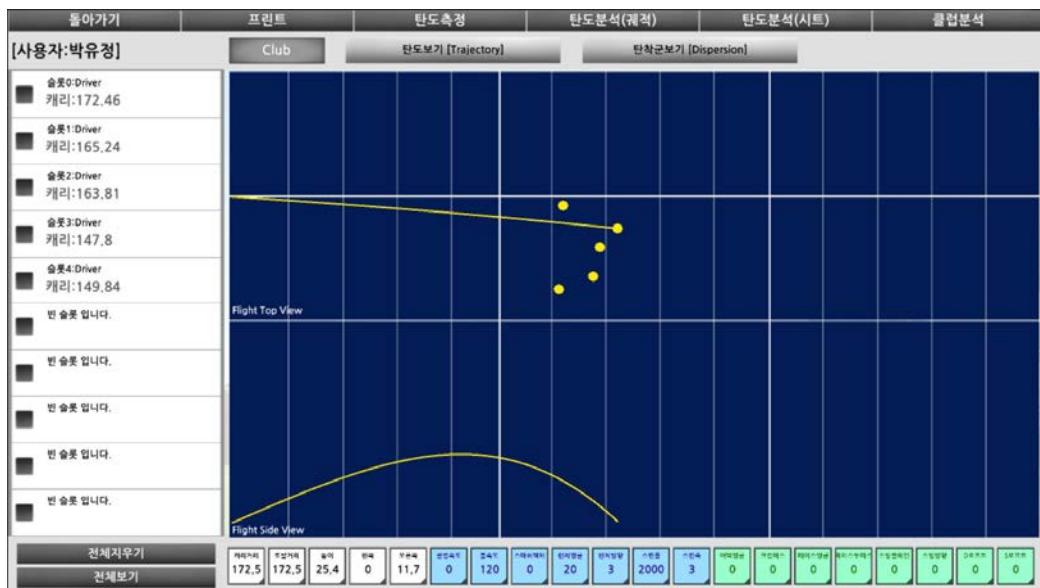
탄도 분석은 4개의 메뉴로 구성 됩니다. 탄도의 궤적을 분석하기 위한 탄도분석 궤적 화면, 탄착군 분석을 위한 탄도 탄착군 분석화면, 측정 데이터 시트보기 및 클립 정보 데이터 분석을 위한 클립정보 화면으로 구성 됩니다.



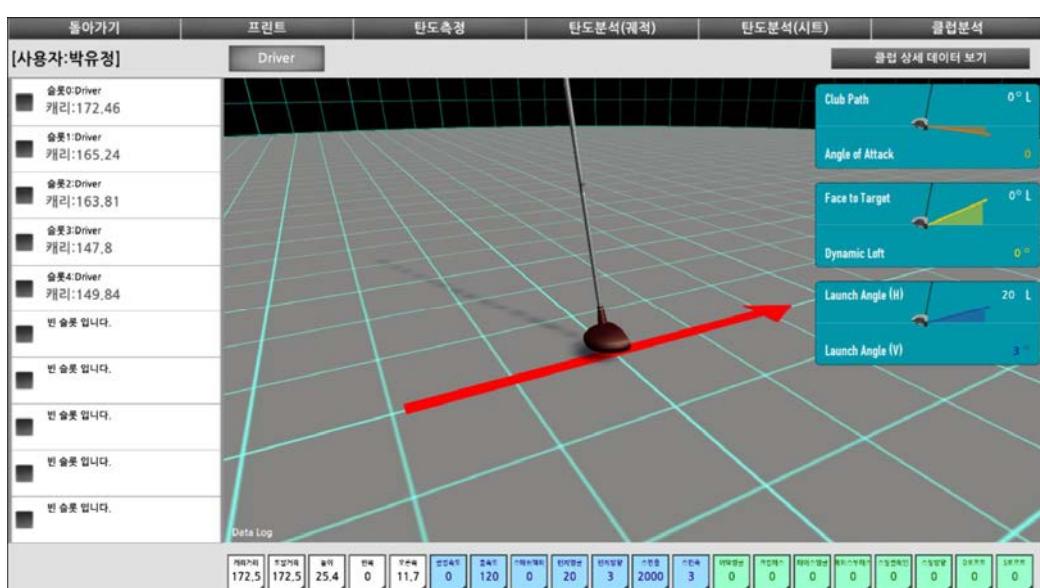
[그림39] 탄도 궤적 분석

탄도 궤적 분석은 측정된 볼의 비행 데이터를 3차원 분석하여 측면 궤적 분석

및 상단 궤적 분석 화면을 통해 실질적 볼의 비행 궤적 분석이 가능 합니다.
볼 비행 시뮬레이션을 위해 소프트웨어는 센서로부터 특정 데이터를 수신해, 이를
볼 비행 방정식에 전달, 볼의 비행을 위한 3차원 비행 데일터를 일련의 어레이로
전달 받아 3차원 비행 시뮬레이션 및 2차원 궤적 그리기를 수행 합니다.



탄도 탄착군 분석은 불이 지면에 떨어지는 지점들에 대한 정보를 한 화면에 보여줄 수 있도록 분석에 사용될 데이터로 유효성을 가지는지 확인 한다.



[그림 11] 글자 순서
탄도 궤적뿐만 아니라 스윙 분석을 위한 클럽 데이터를 전시합니다.
클럽 페이스의 움직임 및 스윙플레인 등 탄도 궤적의 원인 분석을 위한
다양한 정보를 제공 합니다.



[그림42] 탄도 분석 시트

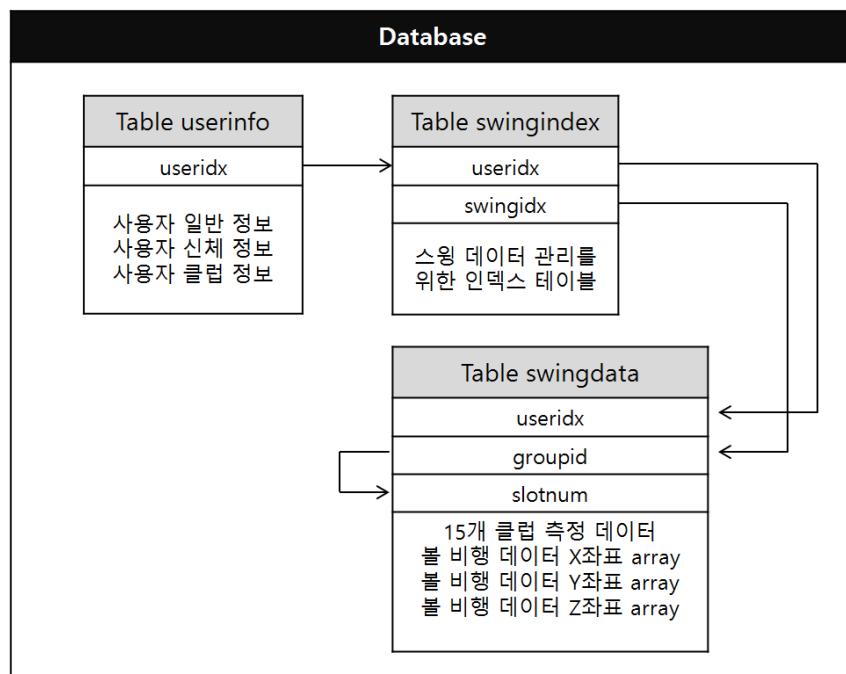
측정된 데이터의 주요 요소들을 시트 형태로 보여 줍니다.

이를 통해 스윙의 데이터를 한눈에 봄과 동시에 스윙 분석을 위한 평균값을 보여 줍니다.

2. 소프트웨어 DB 설계/개발

가. DB 구조도

(1) 사용자 정보 관리 테이블, 스윙 인덱스 테이블 그리고 스윙 데이터 테이블로 구성되어 있습니다.



[그림 43] Database

(2) 데이터베이스

- 엔진: Sqlite3.0

나. 테이블 구조

(1) 사용자 정보 테이블

표 13 테이블 이름: userinfo

필드	형	프라임키	설명
idx	INTEGER	1	인덱스
name	VARCHAR		이름
contact	VARCHAR		연락처
year	INTEGER		년도
month	INTEGER		월
day	INTEGER		일
gender	INTEGER		성별
address	VARCHAR		주소
email	VARCHAR		이메일
height	FLOAT		키
weight	FLOAT		무게
hand	FLOAT		손사이즈
arm	FLOAT		팔길이
grip	FLOAT		그립
playyear	INTEGER		구력
rounding	INTEGER		라운딩
practice	INTEGER		연습일
handi	INTEGER		핸디
reg-day	DATETIME		등록일
namekey	VARCHAR		네임키

(2) 스윙 인덱스 테이블

표 14 테이블 이름 : swingindex

필드	형	프라임키	설명
idx	INTEGER	1	인덱스
useridx	INTEGER		유저인덱스
swingidx	VARCHAR		스윙인덱스
clubnum	INTEGER		클럽번호

clubname	VARCHAR		클럽이름
regday	VARCHAR		등록일

(3) 스윙 데이터 테이블

표 15 테이블 이름 : swingdata

필드	형	프라임키	설명
idx	INTEGER	1	인덱스
useridx	INTEGER		유저인덱스
clubnum	INTEGER		클럽번호
clubname	VARCHAR		클럽이름
groupid	VARCHAR		그룹인덱스
slotnum	INTEGER		슬롯번호
carrydist	FLOAT		캐리
totaldist	FLOAT		터탈거리
height	FLOAT		높이
sideleft	FLOAT		좌측면
sideright	FLOAT		우측면
c_speed	FLOAT		클럽속도
b_speed	FLOAT		볼속도
SMF	FLOAT		스매쉬팩터
l_angle	FLOAT		런치앵글
l_direct	FLOAT		런치방향
spin_r	FLOAT		스핀율
spin_a	FLOAT		스핀각
attack	FLOAT		어택각
c_path	FLOAT		클럽패스
f_angle	FLOAT		페이스각
f_path	FLOAT		페이스패스
s_plane	FLOAT		스윙플레인
s_direct	FLOAT		스윙방향
d_loft	FLOAT		다이나믹로프트
s_loft	FLOAT		스윙로프트
ball_CNT	INTEGER		비행카운트
ball_x	VARCHAR		비행좌표x
ball_y	VARCHAR		비행좌표y

ball_z	VARCHAR		비행좌표z
regday	VARCHAR		등록일

3. 구질 분석 알고리즘 설계

가. 방향 및 계획수립

(1) 레이더 Ball Tracking

나. 3단계 개발 계획 수립

(1) Classic Parabolic Motion 분석

(2) Dimpled Ball Flight Equation 개발

(3) H/W 연동

다. 볼비행 방정식 조사 및 분석 진행

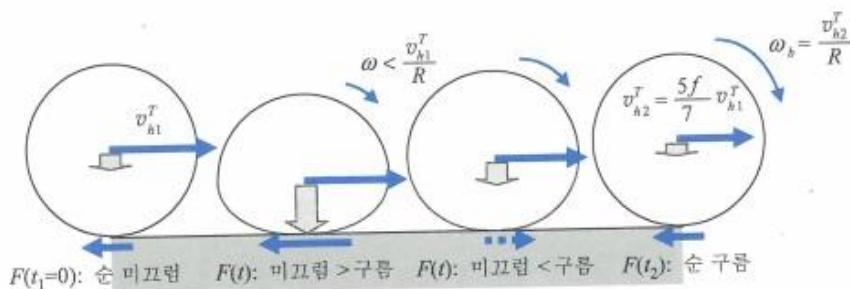
(1) 스크린 골프 물리엔진 분석

(2) Unity 3D Trajectory 분석

(3) Classic Parabolic Motion 분석

(4) 골프공의 발사각과 발사속도 이론 정리 [7],[8]

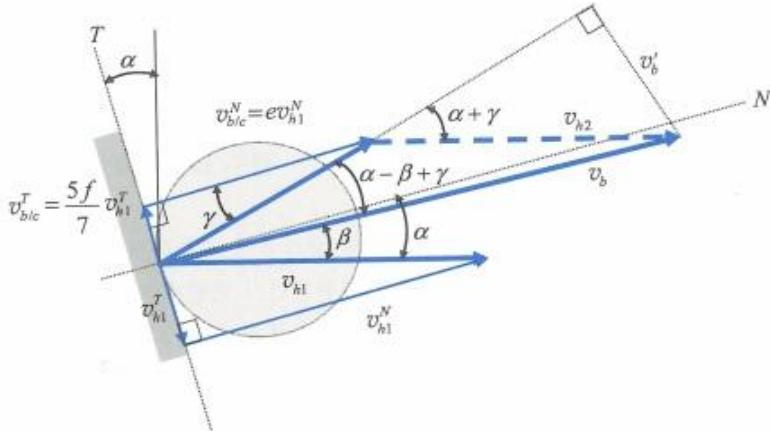
양각(α)만큼 경사진 클럽 타면이 속도 v_{h1} 으로 골프공에 충돌하게 되면 공은 타면에 수직한 방향으로는 압축변형 후 다시 원상태로 복원되면서 반발계수 e 에 의해서 퉁겨져 나가는 운동을 하게 된다. 즉 반발운동과 타면의 접선방향을 따라 타면에 밀착한 상태에서 미끄럼과 구름의 복합적인 운동을 동시에 하게 된다. 미끄럼-구름운동의 종료시점은 타면에 수직한 방향으로의 공과 타면의 접촉이 종료되는 시점에 의해 결정되며, 이 순간 공의 발사각, 속도 및 회전속도 등 공의 궤적에 영향을 주는 중요한 인자들이 결정된다.



[그림 44] 클럽 타면과 충돌 시 공의 변형과 운동

타면(진한 색으로 표시)과 충돌 시 공의 타면 접선방향 운동을 연속적으로 보인 그림으로 충돌 초기에는 타면 접선방향 선속도 성분만을 갖고 구름(회전) 없이 순수 미끄럼으로 시작하다가 점차 충격력이 증가하면서 공이 압축변형을 하게 되면서 마찰

력이 증가하여 미끄럼 동반 구름운동으로 전환한다. 이후 압축변형이 회복되면서 구름운동이 미끄럼운동을 능가하게 되면 마찰력이 반대 방향으로 작용하게 되어 회전운동이 억제되어 결국 미끄럼 없는 순 구름운동으로 전환되면서 원상태로 회복된다. 이 시점에서 반발이 일어나게 되고 공이 타면으로부터 탈출하게 된다.



[그림 45] 골프공의 발사각과 발사속도[Jorgensen (1999)]

해석의 편의상 정지된 클럽 헤드에 공이 충돌하는 상대 운동 모형을 채택하고 있다. 상대 좌표계를 클럽 헤드에 고정했으므로 충돌 후 공의 절대속도를 구하기 위해서 충돌 후 클럽 헤드속도(v_{h2}) 벡터를 더해준다. 클럽 헤드에 충돌하는 공의 속도벡터는 타면 접선방향 성분은 앞 절의 미끄럼-구름동 식을, 타면 법선방향 성분은 반발운동 식을 각각 적용하여 충돌 후 속도해석을 하고 그 결과를 벡터합성하면 된다.

우선 충돌 전후의 운동량 보존 법칙을 적용하면 다음과 같다.

$$m_h v_{h1} = m_h v_{h2} + m_b v_b \cos \beta \Rightarrow v_{h1} = v_{h2} + v_b a \cos \beta \quad (\text{A})$$

$$\bar{a} = \frac{m_b}{m_h}$$

여기서는 그림 45에 보인 바와 같이 골프공이 v_{h1} 속도로 정지해 있는 타면에 충돌하는 것으로 해석한 후 구해지는 공의 반발속도 벡터에 클럽의 충돌 후 속도 v_{h2} 를 더하여 공의 발사각(β) 및 속도(v_b)를 구하는 방법을 채택하면 해석이 편리하다. 그림 45에서 $v_{h1}^N = v_{h1} \cos \alpha$ 및 $v_{h1}^T = v_{h1} \sin \alpha$ 는 각기 v_{h1} 의 타면에 대한 수직 및 접선방향 속도성분으로, 충돌 후 타면에 대한 수직 및 접선 속도는 그림 45에 표시한 바와 같이 각기 $v_{b/h}^N = e v_{h1}^N$ 과 $v_{b/h}^T = \frac{5f}{7} v_{h1}^T$ 이 되므로

$$\tan \gamma = \frac{v_{h1}^T}{v_{b/h}^N} = \frac{\frac{5f}{7} v_{h1} \sin \alpha}{e v_{h1} \cos \alpha} = \frac{5f}{7e} \tan \alpha \quad (\text{B})$$

이다. 고정된 타면에 대해서 상대 탈출각 7를 갖는 속도벡터에 다시 클럽의 충돌 후

속도 v_{h2} 의 벡터를 합성하면

$$v_b \cos(\alpha - \beta) - v_{h2} \cos \alpha = e v_{h1} \cos \alpha \quad (\text{C})$$

의 관계를 구할 수 있다. 2개의 식 (A)와 (C)로부터 공과 클럽의 충돌 후 속도식을 구하면

$$v_b = v_{h1} \frac{(1+e) \cos \alpha}{\cos(\alpha - \beta) + \bar{a} \cos \beta \cos \alpha} \quad (\text{Da})$$

$$v_{h2} = v_{h1} \frac{\cos(\alpha - \beta) - \bar{a} e \cos \beta \cos \alpha}{\cos(\alpha - \beta) + \bar{a} \cos \beta \cos \alpha} \quad (\text{Db})$$

위 식에서 미지변수 β 를 구하기 위하여 그림에서 삼각형의 원리를 적용하면

$$v_b \sin(\alpha - \beta + \gamma) = v_{h2} \sin(\alpha + \gamma) = v_b' \Rightarrow \frac{v_b}{v_{h2}} = \frac{\sin(\alpha + \gamma)}{\sin(\alpha - \beta + \gamma)} \quad (\text{E})$$

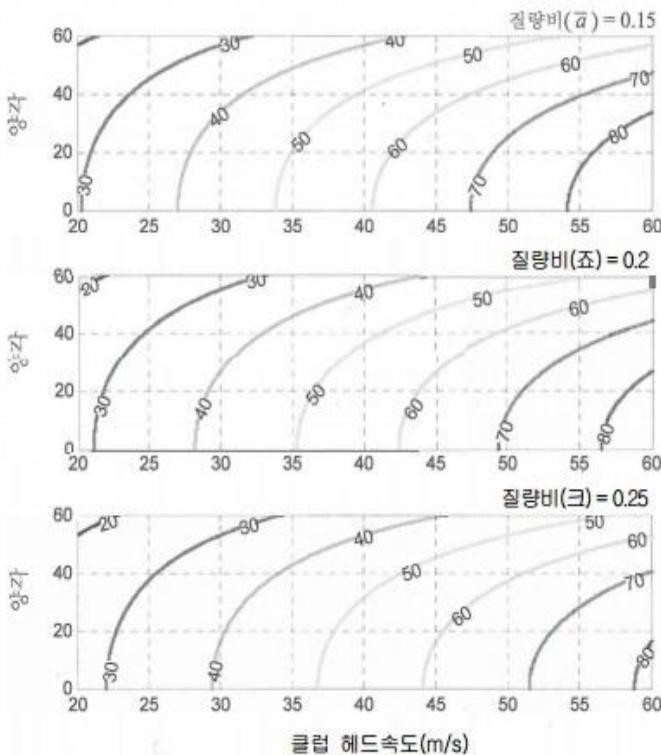
식 (D)와 식 (E)가 등식이라는 관계로부터

$$\frac{\sin(\alpha + \gamma)}{\sin(\alpha - \beta + \gamma)} = \frac{(1+e) \cos \alpha}{\cos(\alpha - \beta) - \bar{a} e \cos \beta \cos \alpha} \quad (\text{F})$$

위 식을 모든 각에 대해서 풀어서 정리한 후 식

$$\tan \beta = \frac{e(1+\bar{a})(1 + \frac{5f}{7e}) \tan \alpha}{(1+e) + (1 - \frac{5f}{7}) \tan^2 \alpha} \quad (\text{G})$$

이다. 즉 공의 충돌 후 발사각은 양각, 공과 클럽 헤드의 질량비($\bar{a} = m_b/m_h$), 압축인자(f), 반발계수(e)에 의해서 결정되는 데 반해, 특이하게도 클럽 헤드의 속도(v_{h1})에는 무관하다. 실제는 클럽 헤드의 속도가 증가하면 반발계수와 압축인자가 다소 감소하게 되어 발사각에 간접적으로 영향을 주게 된다. 클럽 헤드 속도가 클 경우에는 공의 역회전속도가 증가하게 되고, 따라서 공이 떠서 나가는 것으로 보이나 발사각에 미치는 직접적인 영향은 적다. 한편 식 (G)로부터 공의 발사각이 정해지면 이를 식 (D)에 대입하여 충돌 후 공과 클럽 헤드의 속도를 구할 수 있다.



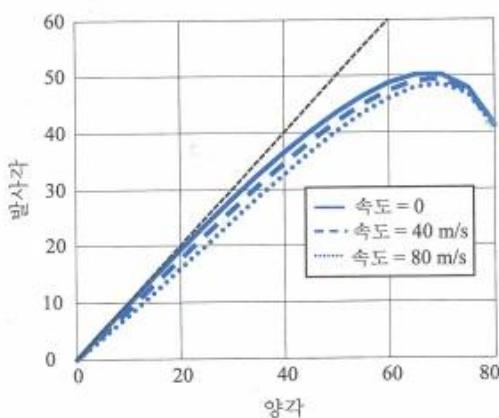
[그림 46] 질량비, 헤드속도 및 양각이 공의 발사속도에 미치는 영향

흔히 공 발사속도는 헤드속도의 1.4~1.5배로 알려져 있으나 그림에서 보듯이 이 속도비 공식은 질량비가 0.15이고 양각이 20° 미만인 경우, 즉 남성용 드라이버에 국한된다. 질량비가 0.25 정도인 여성용 드라이버의 속도비는 1.35 정도이고 양각이 큰 아이언이나 웨지의 속도비는 이보다 작아지며 양각이 56° 이상인 샌드 웨지의 속도비는 1에 가깝다.

그림 46는 식 (D)를 이용하여 클럽 헤드속도, 양각, 질량비 등의 변화에 대한 공의 발사속도를 보인다. 여기서 압축인자와 반발계수는 각기 0.9와 0.7로 고정하였다. 질량비 0.15는 남성용 웨지, 질량비 0.25는 여성용 드라이버에 해당하며, 다른 클럽은 대충 이 두 값의 사이에 있다. 이 그림으로부터 알 수 있는 것은 양각이 비교적 작은 클럽의 경우 공의 발사속도가 충돌 전 클럽 헤드속도의 1.35~1.5배에서 91인 경우에는 1.15~1.25배로 줄어든다. 반발계수가 0.8로 증가하는 경우는 이에 비례해서 공의 발사속도가 최대 1.6배까지 증가한다. 한편, 식 (Db)에 의하면 공과 충돌 후 클럽 헤드의 속도는 모든 클럽이 충돌 전 속도의 0.7~0.8배로 줄어든다.

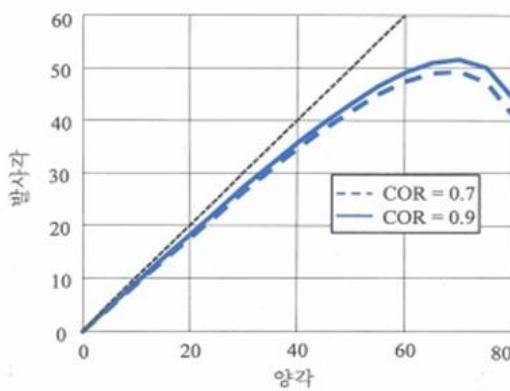
그림 47부터 48까지는 식 (G)를 이용하여 $v_{h1} = m/s$, $\bar{a} = 0.19$, $e = 0.7$ 을 기준 조건으로 하고, 이로부터 각 매개변수인 클럽인 헤드속도, 반발계수, 질량비의 변화가 공의 발사각에 미치는 영향을 계산하였다.

그림 47에 보인 바와 같이 먼저 헤드속도만을 0, 40, 80² 0m/s로 바꾸었을 때의 양각 대비 발사각의 관계를 보면 발사각이 큰 헤드속도 변화에 그리 민감하지 않다는 것을 알 수 있고, 발사각이 양각의 85~90% 정도이며 양각 68° 정도에서 최대의 발사각을 갖는다. 경험적으로 알려진 바와 같이 헤드속도가 커지면 발사각이 다소 작아지고, 68° 이상의 양각을 갖는 웨지의 경우는 질량비가 0.19보다 작아지게 된다는 점을 고려하지 않는다고 하더라도 실제 발사각이 오히려 68° 웨지보다 작아지는 특이한 현상을 보인다. 그림 47에서 보는 바와 같이 양각을 크게 해도 대략 발사각은 50° 이하로 제한된다.



[그림 47] 헤드속도 및 양각이 공 발사각에 미치는 영향(질량비=0.19; COR=0.7)

양각이 같은 클럽으로 타구하더라도 헤드속도가 크면 오히려 발사각이 약간 줄어드는 대신 역회전속도가 증가하여 탄도는 더 높아질 수 있다. 이 현상은 양각이 커지면서 큰 차이가 없어지고 양각 68° 정도에서 최대 발사각이 나온다.



[그림 48] COR 및 양각이 공 발사각에 미치는 영향(질량비=0.19; 헤드속도=40m/s)

양각이 같은 클럽으로 타구할 때 COR이 커지면 발사각이 미미하지만 약간 증가한다. 이 현상은 양각이 변해도 큰 차이가 없으며 양각 68° 정도에서 최대 발사각이 나온다. COR이 발사각에 미치는 영향은 무시해도 좋다.

그림 48은 기준 조건에서 반발계수(COR)만을 0.9로 변경하였을 때의 양각 대비발사각의 관계를 보여 주고 있는데, 여기서도 역시 발사각이 반발계수 변화에 그리 민감하지 않다는 것을 알 수 있다. 발사각이 양각의 85~90% 정도이고, 양각 68° 정도에서 최대의 발사각을 갖는다. 그림에서 보는 바와 같이 반발계수가 커지면 발사각이 다소 커지나 양각을 크게 해도 대략 발사각은 50° 이하로 제한된다.

마지막으로 발사각이 질량비 변화에 그리 민감하지 않고, 발사각이 양각의 85~90% 정도이며, 양각 68° 정도에서 최대 발사각을 갖는다는 것을 알 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 질량비가 작아지면 발사각이 다소 커지나 양각을 크게 해도 대략 발사각은 50° 이하로 제한된다. 여기서 웨지는 비교적 큰 질량비, 드라이버는 작은 질량비를 갖는다.

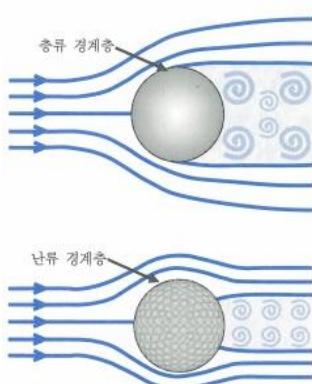
라. 소프트웨어 비행 방정식 검증

- (1) 소프트웨어 비행 방정식 추출 데이터 비교 분석
- (2) Trackman 및 Flight scope 데이터 분석

마. 덤플볼 비행 방정식 추출을 위한 고찰 및 분석

- (1) Classic Parabolic과 Dimpled Ball 비행비교
- (2) CD/CL의 비행 영향력 분석
- (3) 골프공의 공기역학 이론정리 [7]
 - (가) 곰보 공의 공기 공기역학

골프공은 기본적으로 구형(球形, sphere)으로 되어 있는데, 구형 물체가 공기 중을 날아갈 때 공의 주변으로 공기가 분산된다. 이를 쉽게 설명하기 위해서 그림 49에 보인바와 같이 공의 비행속도로 움직이는 공기 유동장에 정지된 공을 놓은 경우로 설명하기도 한다.



[그림 49] 골프공의 형상 항력

풍동 실험을 할 때처럼 이동하는 공기 중에 놓인 골프공을 생각하자. 유속이 매우

작으면 공의 전면에서 분리된 공기가 후면에서 합쳐지나 유속이 증가하면 공의 표면을 따라 흐르던 공기가 후면 가까이에서 분리하면서 후면에 진공이 형성되고 공의 전후 면에서의 압력차이로 인하여 공기 유동에 반하는 항력이 발생한다. 공의 곰보는 유동 박리점을 후방으로 이동시킴으로써 항력을 줄게 하는 역할을 한다. 따라서 표면이 매끄러운 골프공 보다 표면이 거친 골프공의 비거리가 훨씬 크게 된다.

속도가 일정한 공기 유동장에 구형 물체를 놓게 되면 고른 공기의 흐름이 물체의 전면에 도달하게 되어 공의 표면을 따라 주변으로 분산되게 되고 이로부터 공기에 의한 물체에 공기의 흐름에 저항하는 항력(抗力, drag force)이 발생한다. 보통 항력에는 물체 표면을 따라 발생하는 표면마찰 항력(skin-friction drag)과 물체의 형상에 따라 발생하는 형상 항력(form drag)이 있다. 보통 유선형으로 되어 있는 물체는 유동 방향으로 형상 변화를 최소화시켜 유선이 물체의 표면을 따라서 부착되어 흐르게 되어 형상 항력을 무시 할 수 있는 반면 표면의 길이가 길어짐에 따른 표면마찰 항력은 상대적으로 증가한다. 반면 구형 물체와 같이 상대적으로 유동 방향 표면 길이가 짧은 경우에는 표면마찰 항력은 무시할 정도로 작은 반면에 형상 항력이 지배적이 된다.

유동속도가 작은 경우에는 구형 물체의 표면을 따라 갈라진 공기는 결국 물체의 후면에서 다시 합쳐서 흐르게 된다. 그러나 공기의 유동속도가 증가하게 되면, 갈라져 분리된 공기의 운동에너지가 증가하게 되어 물체의 표면을 따라 계속 흐르지 못하고 어느 지점에서 분리하게 되고 물체의 후방에는 진공이 형성된다. 특정 영역이 진공 상태가 되면 주변의 공기를 채워 넣으려는 힘이 작용하여 작은 와류(eddy)들을 일으킨다. 따라서 물체의 정면과 후면의 압력 차이가 발생하게 되고, 이로 인하여 유동의 반대 방향으로 저항력, 즉 형상 항력이 발생하게 된다.

구형 물체에 곰보 형상을 도입하게 되면 분리되어 표면을 따라 움직이는 공기가 전방 60~90°에 위치한 움푹 들어간 곰보 자국을 빠른 속도로 지나게 될 때 국부적으로 곰보 자국 내에 진공이 형성되어 구형 표면을 따라 흐르는 공기를 곰보 자국 안으로 끌어당기고 작은 와류를 형성함으로써 곰보 자국 내 유동의 운동량이 증가되어 표면에 재부착 하려는 현상이 발생한다. 이러한 표면 재부착 현상으로 표면을 벗어나 고속으로 진행하려는 공기의 박리점을 대략 110° 까지 지연시키게 된다. 즉 박리점이 곰보 자국이 없는 매끈한 구형 물체에 비해서 후방으로 밀리게 됨에 따라 물체 후면에 형성되는 진공 구역이

작아지게 되어, 결국 구형 물체 전후방의 압력 차이에 의해서 발생하는 공기 저항, 즉 형상 항력이 크게 감소한다.

(나) 항력계수

유체의 유동을 해석할 때 필수적으로 언급되는 무차원 변수로 레이놀즈 수

(Reynolds number, Re)가 있는데, 골프공의 공기 장에서의 운동과 관련해서

$$Re = \frac{(공기밀도)(유속)(공외경)}{(공기점성)} = \frac{\rho V_{d_b}}{\mu a}$$

으로 정의된다. 공기밀도(ρ)는 고도에 따라 달라지고, 공기점성(a)은 온도에 따라 변하지만 온도와 고도가 정해지면 상수라 놓을 수 있으므로 $Re \propto Vd_b$, 즉 레이놀즈 수는 유속(V)과 물체의 크기(d_b)에 비례하게 된다. 예를 들어 같은 속도로 날아가는 탁구공, 골프공, 야구공, 축구공의 레이놀즈 수는 공 크기에 비례해서 크게 된다. 골프공의 경우는 외경이 상수이므로 레이놀즈 수는 단순히 공의 속도(V)에 비례하게 된다. 앞 절에서 논의된 바와 같이 공기의 유속이 느리면 구형 물체의 정면에서 분리된 공기가 물체의 표면을 따라 흐른 후 후방에서 다시 만나게 되는데, 이 유동을 층류(laminar flow)라고 한다. 층류 유동에서는 유속이 느려서 공기의 운동에너지(또는 운동량)가 공기점성에 의해서 표면의 경계에 밀착하여 형성되는 경계층을 깨뜨릴 정도로 크지 않다.

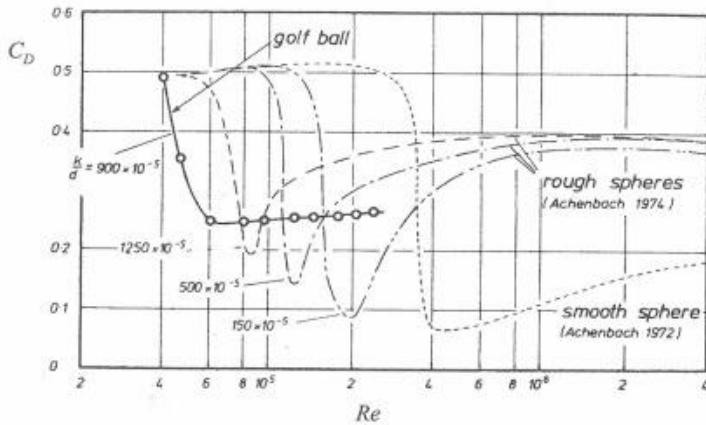
따라서 물체의 표면에는 경계층에서의 유속 변화에 비례하는 표면마찰 항력이 지배적이다.

그러나 유속이 증가하게 되면 공기의 운동에너지는 크게 증가하게 되어 분리된 공기가 물체의 후방 표면에 밀착되지 않고 분리됨에 따라 물체 후방에 진공이 형성되고 이를 채우기 위해서 주변의 공기가 빨려 들어가면서 와류 형태의 난류(turbulent flow)가 형성되고 앞서 설명한 형상 항력이 지배하게 된다. 난류와 층류 영역에서의 유동은 전혀 다른 유동 현상으로 설명이 되며, 두 영역 사이의 천이 구간에서는 두 현상이 복합적으로 나타나며 유동 특성, 특히 항력이 급격하게 변한다.

항력(F_D)은

$$F_D = C_D \frac{\rho A_b V^2}{2}$$

로 표현되는데, 여기서 A_b 는 공의 단면적이고, C_D 는 항력계수(drag coefficient)로 주로 실험적으로 정해지는 상수이다. 그럼 50은 곰보의 깊이를 나타내는 매개변수 h_d/d_b (조도(거칠기)의 2배)가 달라질 때 골프공의 레이놀즈 수의 변화에 대한 항력계수를 실험적으로 구한 결과를 보이고 있다.⁶ 골프공의 실제 비행속도 범위인 20~60 m/s는

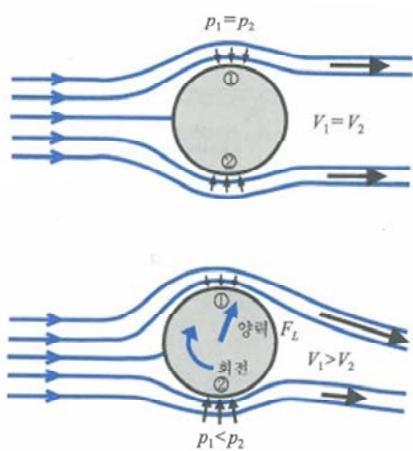


[그림 50] 표면 조도에 따른 항력 계수[Bearman & Harrvey (1976)] [9]

표면 조도($k/d=7$) 다른 공으로 풍동 실험으로 유속을 변화시키면서 구한 항력계수를 보인다. $k/d=0.009$ 표면조도가 최적화된 골프공으로 레이놀즈수 50,000~150,000 범위 전 구간에서 표면이 더 매끄럽거나 더 거친 공에 비해 항력계수가 약 0.25로 고르게 작음을 알 수 있다. 표면이 매끄러운 공의 항력계수는 0.5로 가장 크다.

레이놀즈 수 50,000~150,000에 해당하는데 이 구간에서는 공의 표면이 매끈하면 항력계수 값이 0.5로 곰보 골프공의 0.25에 비해서 두 배 정도 공기의 저항을 더 받게 되어 비거리가 훨씬 줄게 된다. 최적화된 곰보 깊이보다 더 얕거나 깊은 곰보 공은 천이 구간이상승하여 골프공의 비행속도 영역에 걸치게 되어 매우 복잡한 현상이 일어난다. 특히 비행속도가 큰 제한된 속도 영역에서는 항력이 급속히 작아지기는 하나 그 이외 대부분의 고속 영역에서는 항력계수가 0.4에 빠르게 접근하게 되어 전체적으로는 공기 저항에 의한 비거리 손실을 보게 된다.

(다) 회전 효과: 마그누스 효과



[그림 51] 공의 회전과 마그누스 효과

공이 회전하지 않으면 공의 상하면에서의 유속이 대칭이므로 직선운동을 계속하게 된다. 공이 회전하면 공의 상하면에서의 유속이 달라져 베르누이 정리에 의해서 압력 차이가 발생한다. 이 상하면에서의 압력 차이에 의해서 마그누스 힘이 유속이 큰 쪽으로 작용하게 되어 직선운동이 곡선운동으로 변환된다. 이를 마그누스 효과라 한다.

그림 51에서 회전하지 않고 비행하는 공의 주변을 흐르는 공기의 유선은 ①점과 ②점에 대해서 대칭으로 형성되기 때문에 ①점과 ②점에 작용하는 압력과 공기속도도 동일하게 된다. 이는 베르누이의 정리(Bernoulli's principle)를 이용하여 설명할 수 있다. 즉 균일한 층류 유동장에서는 압력(p)과 유속(V)이 위치에 관계없이

$$p + \frac{1}{2} p V^2 = \text{상수}$$

를 만족한다. 이를 ①점과 ②점에 적용하면 $p_1 + \frac{1}{2} p V_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} p V_2^2$ 를 만족해야 하고 $V_1 = V_2$ 이므로 $p_1 = p_2$ 가 성립하고, 따라서 공은 ①점이나 ②점에서 받는 힘이 동일하므로 운동 방향을 바꾸지 않게 된다.

공에 회전속도 w_b 로 회전이 걸리면 상황은 전혀 달라진다. 공에 회전이 걸리면 공의 회전에 대해서 ①점에서는 유속이 증가하게 되고 ②점에서는 유속이 감소하게 된다. 즉 $V_1 > V_2$ 의 부등식이 성립한다. 다시 말해서 회전에 대해서 유선이 ②점 쪽으로 끌어당겨지는 효과가 생긴다. 이에 베르누이 원리를 적용하면 $p_2 + \frac{1}{2} p V_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} p V_2^2$ 의 부등식이 성립한다. 즉 ②점에서의 압력이 ①점에서의 압력보다 커지게 되어 ②점에서 ①점 방향으로 미는 힘이 작용하게 되어 공의 탄도가 회전 방향으로 직선에서 벗어나게 된다. 이를 마그누스 효과(Magnus effect)라고 부른다.

골프공 타구 시에 걸리는 회전에는 2가지가 있다. 하나는 클럽의 양각에 대해서 인가되는 수평축에 대한 역회전으로 마그누스 효과에 대해서 양력이 작용하여 공을 공중에 오래 떠 있게 하여 비거리를 향상시키는 한편 공이 착지 후 멀리 구르지 않도록 한다. 다른 하나는 스윙 진로 기준 타구 시 클럽 타면 정렬 불량 또는 빗맞음으로 인하여 인가되는 수직축에 대한 회전으로 마그누스 효과에 대해서 회전 방향으로 힘이 작용하게 되어 공의 탄도가 표적선에서 벗어나 안쪽 또는 바깥쪽으로 휘어지게 한다.

(라) 양력, 항토크 계수

비행 중 골프공이 회전하지 않는다면 마그누스 효과가 발생하지 않으므로 공의 궤도는 지면으로 공을 끌어 내리려는 중력에 의해 연직면에서 곡선운동을 하게 된다.

이 경우 만약 공기에 의한 항력, 즉 공기저항이 없다면 공은 이상적인 포물선 궤도를 그리며 초기에는 공중으로 올라가다가 정점에 도달한 후 서서히 지면에 떨어지게 되나, 실제로는 공기저항에 의해서 상승 궤도는 완만한 경사를 이루는 반면 하강 궤도는 급격한 경사를 이룬다.

공이 비행 중 회전하게 되면 마그누스 효과에 의해서 회전 방향으로 공을 미는 힘, 즉 양력이 발생하여 지면에 수직인 회전 성분에 의한 양력은 휘어들거나 나가는 공의 탄도가 연출되고, 순수 역회전 성분에 의한 양력은 초기 상승 궤도에서는 궤도에 수직한 방향으로 작용한다. 이때 표적 반대 방향 양력 성분은 공의 진행을 방해하는 항력으로 작용하는 반면, 중력 반대 방향으로 작용하는 양력 성분은 공을 부상시키는 역할을 하게 된다. 공의 진행을 방해하는 항력도 커지지만 공을 공중에 부상시키는 양력 성분에 의해서 공의 체공 시간이 늘어나게 되고 이로 인하여 비거리가 커지게 된다. 회전하는 골프 공의 양력(揚力, lift force, F_L)은

$$F_L = C_L \frac{p_a A_b V^2}{2}$$

으로 표시되는데, 여기서 C_L 은 양력계수로 공의 회전속도에 따라 달라지며 보통 실험적인 방법으로 구하게 된다. 공의 회전속도에 대한 무차원 매개변수인 회전 매개변수(spinparameter, S_p)를 도입하면 편리하며

$$S_p \frac{(\text{회전에 의한 공 표면 선속도})}{(\text{공 무게 중심의 선속도})} = \frac{R w_b}{V}$$

로 정의한다. 여기서 w_b 는 공의 회전속도(rad/s)로 회전 매개변수 S_p 는 회전에 의한 공의 표면 선속도와 공의 비행속도(V)의 비를 나타낸다. 한편 회전하는 공의 경우는 항력계수(C_D)도 회전 매개변수의 함수가 되므로 항력계수를 구하는 실험을 위해서는 공의 회전속도와 아울러 공의 속도(공을 고정시키고 수행하는 풍동 실험 시는 풍속)도 변화시켜야 한다.

공이 회전하게 되면 앞서 언급한 항력, 양력 이외에 공의 회전운동을 방해하는 공기저항도 발생한다. 즉 공의 회전을 방해하는 토크인 항 토크에 의해서 비행 중 공의 회전속도가 감소하게 된다. 항 토크(T)도 항력, 양력과 유사한 방법으로 정의된다. 즉

$$T = C_T \frac{p_a A_b V^2}{2} d_b$$

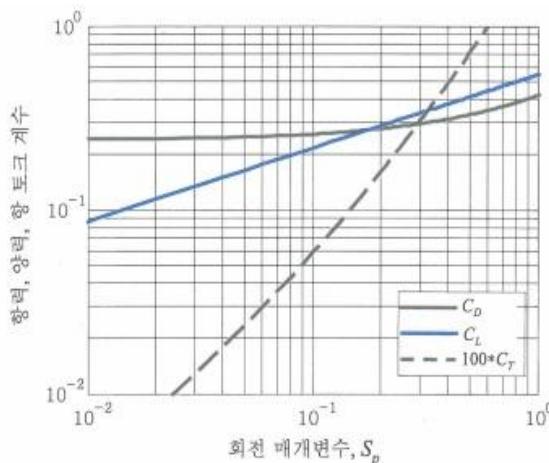
여기서 C_T 는 항 토크 계수로 S_p 의 함수이다.

실제 골프공이 비행하는 동안에는

1. 초기 발사속도로부터 항력에 의해서 공의 속도가 계속 줄어든다.

2. 초기 회전속도로부터 항 토크에 의해서 공의 회전속도가 계속 줄어든다.
3. 1, 2의 현상에 의해서 공의 회전 매개변수가 복잡하게 변한다.
4. 항력, 양력, 항 토크 계수 모두 공의 회전 매개변수의 함수이다.

그림 52는 공기 중에서 골프공의 회전속도 매개변수(S_p)에 대한 항력, 양력, 항 토크 계수를 보인다. 그림에서 S_p 가 증가하면, 즉 역회전속도가 증가하거나 또는 공의 속도가 감소하면 항력계수와 함께 양력계수 및 항 토크 계수 모두 급격히 증가하는데, 특히 양력계수의 증가율이 매우 커짐을 알 수 있다. 한편 S_p 가 감소하면, 즉 역회전속도가 작거나 공의 속도가 커지면, 항력계수는 0.2 근처의 값으로, 양력 및 항 토크 계수는 0으로 수렴한다. [12], [13], [14], [15]



[그림52] 항력, 양력, 항토크 계수

항력, 양력, 항 토크 계수는 회전 매개변수가 증가하면 같이 증가한다. 이 계수들은 무차원화되어 있어 직접 이해하기는 어렵고 물리적 양인 항력, 양력, 항 토크에 대한 회전속도, 선속도 관계를 이해하는 편이 빠르다. 즉 양력, 항 토크는 회전속도 항력은 선속도에 따라 직접 증가하고 선속도와 회전속도의 연성에 의한 영향도 간접적으로 있다.

바. Trackman 실 데이터 추출 분석

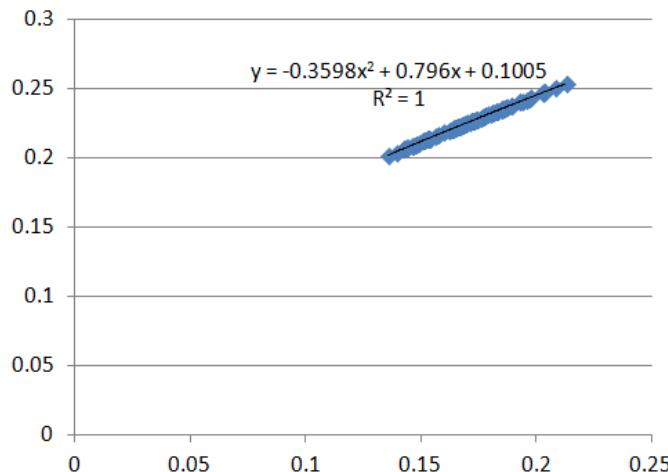
- (1) Trackman 데이터로부터 비행 방정식 유추
- (2) Speed 및 CD / CL데이터 역학관계 분석

사. 딥플볼 이론 방정식 개발

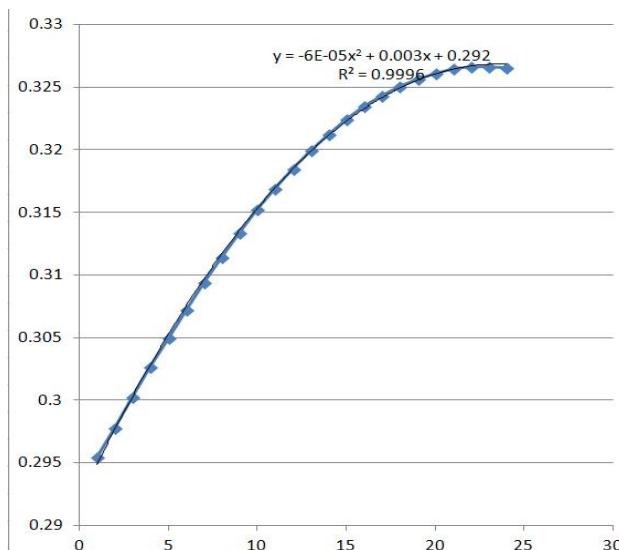
- (1) 기존 유사 방정식들로 부터 이론 방정식 구축
- (2) 이론 방정식과 CD/CL간의 상관 관계 분석

아. 초기 입사 CL/CD 비행 방정식 영향 분석

- (1) 클립스피드/볼스피드와 CL/CD 상관 분석
- (2) 초기 볼 스피드 변화에 따른 CL/CD 상관분석



[그림 53] TDG 이론 추정 CL과 트랙맨 데이터 상 관분석 참조: 별첨4_이론CL 및 추정 CD 실측데이터 상관관계



[그림 54] Time Line별 이론 CL로부터 CD 구하기

4. 구질분석 알고리즘 제작/시험

- 가. Trackman 아이언 데이터 실측 추출
 - (1) 아이언 및 드라이버 데이터 비교 분석
 - (2) 아이언 및 드라이버 CD/CL영향 분석

나. CL추출 이론 방정식 정의

- (1) 이론 CL방정식 수립 및 초기 입사 테스트

다. 딥플볼 이론 방정식 개발

- (1) 비행기 양력의 영향 및 CL값 추출
- (2) CL값이 볼의 방향에 따른 비행 영향 분석
- (3) 골프공의 탄도 계산 이론 정리 [7]

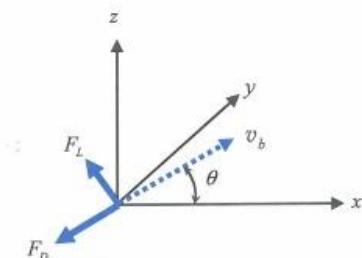
(가) 직선 타구 탄도와 비거리

골프공의 탄도(궤도)에 관한 식은 상세 부분에서 다소 차이는 있으나 이미 보편화되어 있으므로 여기서는 간단히 취급하기로 한다.

골프공의 질량과 크기, 초기 속도, 초기 회전속도, 발사각(β)이 주어지면 무차원 회전매개변수(S_p) 및 골프공의 곰보 형상에 따른 양력, 항력, 항 토크 계수 관계를 이용하여 직선 타구의 궤도 계산을 용이하게 할 수 있다. [11]

$$\begin{aligned} m_b \ddot{x} &= -F_D(V, w_b) \cos\theta - F_L(V, w_b) \sin\theta \\ m_b \ddot{z} &= F_L(V, w_b) \cos\theta - F_D(V, w_b) \sin\theta - m_b g \\ J_b \dot{w}_b &= -T(V, w_b) \\ V^2 &= \dot{x}^2 + \dot{y}^2 \end{aligned}$$

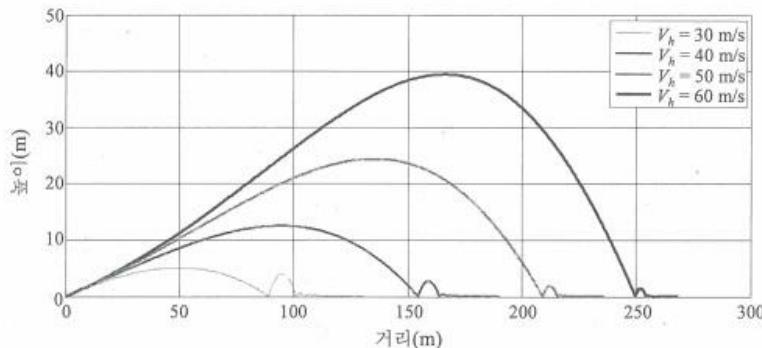
여기서 x , z 는 공의 탄도 거리 및 높이 좌표이고, 는 비행 중인 골프공의 영각이다. 위 식으로부터 알 수 있듯이 항력(F_D)과 항 토크(T)는 공의 선형 및 회전운동을 방해하는 방향으로 늘 작용하는 데 반해, 그럼 55에 보인 바와 같이 공의 속도벡터의 직각 상 방향으로 작용하는 양력(F_L) 성분 중 중력 반대 방향 성분(z 방향 성분)은 중력에 반해서 공의 체공시간을 늘리지만, 지면에 수평인 성분($-x$ 방향 성분)은 공의 속도를 감소시키는 작용을 하기 때문에 양력이 공의 비거리에 미치는 영향은 복합적이다.



[그림 55] 공의 탄도

x 축은 표적 방향, z 축은 연직 상방, y 축은 (x, z) 면에 수직이다. 점선으로 표시한 공의 순간 속도벡터(v_b)의 반대 방향으로 항력(F_D)이 작용하고 그에 수직한 방향으로 양력(F_L)이 작용한다. 양력 중 공을 띠우는 성분은 $F_L \sin\theta$ 는 공의 표적 방향 진행을 방해한다.

클럽 헤드속도 양각이 같은 클럽으로 헤드속도를 증가시키면 타구 직후 골프공의 발사속도, 발사각과 역회전속도 모두 증가한다. 그럼 56은 양각 10°인 드라이버를 기준으로 헤드속도를 증가시켰을 때의 공의 탄도 변화를 보인다. 헤드속도가 증가함에 따라 급격히 증가하는 공의 역회전속도로 인하여 초기에 공이 솟아오르는 (blow-up) 현상이 뚜렷해지고 공의 체공 시간이 길어져 비거리 증가에 크게 기여하게 된다. 그럼 56으로부터 헤드속도 1 m/s 증가에 따른 드라이버의 비거리 증가는 대략 4.5~6 m로 평균 5 m 정도임을 알 수 있다.



[그림 56] 헤드속도와 탄도 특성: 양각 10°드라이버 타구
초보자의 탄도는 낮고 사거리가 짧으나 착지 후 뛴 높이가 크고 달린 거리가 크다. 중급자, 상급자 수준의 헤드속도에서는 그에 비례해서 사거리가 증가하나 탄도가 높아 달린 거리는 줄어든다. 프로 수준으로 헤드속도가 증가하면 초기 솟아오름 현상이 생길 수 있다. 이때는 양각이 작은 클럽으로 타구하거나 역회전속도를 감소시키는 타구법을 구사하면 사거리 이득이 생길 수 있다.

(나) 드라이버 속도와 비거리

드라이버의 헤드속도를 1m/s(2mph) 증가시키면 비거리가 5 m(5yd) 증가한다. 1970년대에 잘 알려진 간단한 계산 공식으로는 (비거리 [m])= 4.4 X (헤드속도 [m/s]) - 15[m]비거리 근사식이 다소 차이가 나는 이유는 공과 클럽 설계 기술 발전과 탄도 계산식의 차이 때문이다. 진공 속의 탄도 계산식에 의하면 비거리는 공의 속도의 제곱에 비례하나 공기 중에서는 근사적으로 속도에 비례한다.

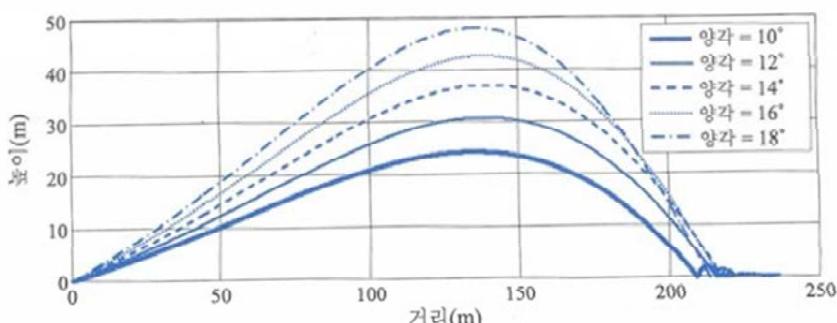
(다) 공의 역회전속도

공의 역회전속도가 과도하면 양력은 증가하나 탄도 상승 시 양각이 증가하면서 공의 전진운동에 저항하는 양력 성분(표적선 반대 방향)도 급격히 증가하게 되어 표적 방향 속도가 감소하게 된다. 공의 전진속도 감소는 체공시간 증가로 인한 비거리 증대 효과보다 오히려 커져 결과적으로 비거리가 감소할 수 있다. 표준 드라이버와 7 I로 타구 시 공의 역회전속도 증감에 따른 비거리 변화를 보이고 있는데, 역회전속도

가 10%정도 변한다 하더라도 실제 비거리에 미치는 영향은 2 m 정도에 그친다. 역회전속도는 비거리보다는 달린 거리에 큰 영향을 준다.

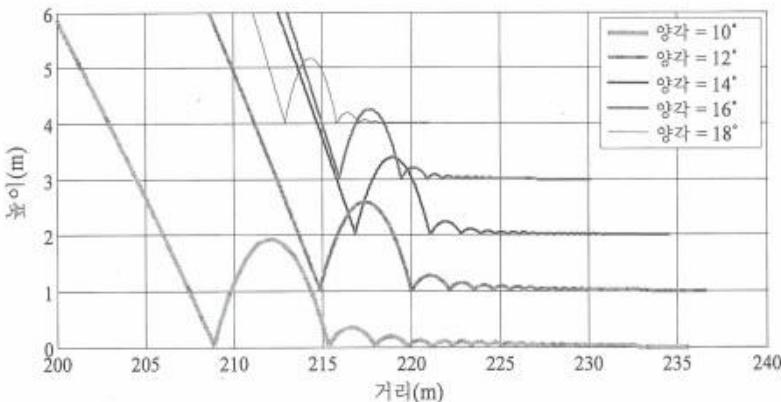
(라) 클럽 헤드의 양각

양각이 너무 작으면 타구된 공이 지면에 낮게 비행하다가 곧 착지하므로 비거리 손실이 크고, 또 너무 크면 표적선 반대 방향의 양력 성분이 공의 전진운동을 방해하게 된다. 따라서 주어진 헤드속도에 대해서 최적 양각이 존재하게 된다. 그림 57은 드라이버 헤드속도 50 m/s에 대해서 양각을 10°에서 18°로 변화시킬 때의 공의 탄도 변화를 보여주고 있는데, 양각 14°근처에서 최대 비거리 217 m를 낼 수 있다. 그러나 그림 58에서 알 수 있듯이 그 민감도가 매우 작아서 최적 양각에서 2° 양각이 변해도 비거리 손실은 최대 2 m 이내에 불과하다. 다시 말해서 실제 타구 시 유효 양각의 변화가 매우 크지 않다면 비거리 손실은 무시할 정도로 작게 된다. 한편 후에 설명하겠지만 최대 사거리는 양각 12°에서 237 m로 나타나는데, 최대 사거리를 내는 양각은 일반적으로 최대 비거리를 내는 양각보다 작다.



[그림 57] 드라이버 양각과 비거리

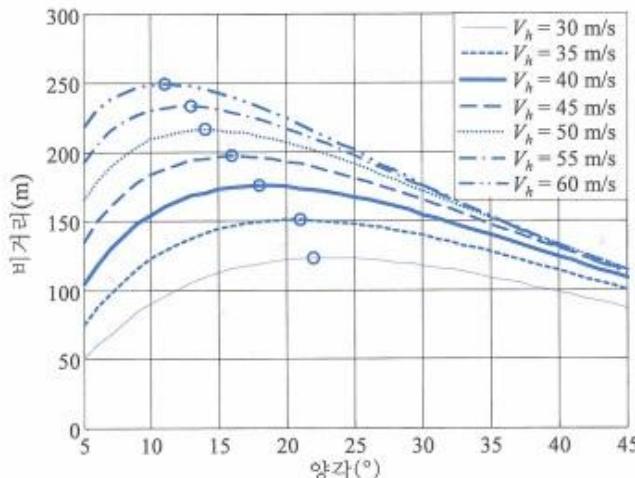
드라이버 헤드속도 50 m/s로 타구 시 탄도 특성을 보인다. 양각이 커지면 자연 탄도가 높아지며 양각 15°에서 최대 비거리가 나오지만 그 부근에서 사거리의 양각 변화에 대한 민감도가 매우 낮아 실제 최적 양각 범위가 넓음을 알 수 있다. 양각 차이에 의한 타구의 역회전속도 변화는 크지만 비거리에는 큰 영향을 주지 않는다.



[그림 58] 드라이버 양각과 사거리

그림 57에서 공의 착지 후 탄도를 확대한 그림으로 최대 비거리를 내는 양각 부근에서의 변화에 대한 비거리 변화가 매우 작음을 보인다. 달린 거리는 양각이 커지면 감소하게 되어 최대 사거리를 내는 양각은 12° 정도로 작아진다. 착지 후 뛰 높이도 양각이 커지면 오히려 낮아지는 경향이 있다.

그림 59는 양각과 헤드속도가 비거리에 미치는 영향을 보이고 있으며, 최대 비거리를 내는 양각과 헤드속도의 조합은 점으로 표시하였다. 헤드속도가 작을 경우에는 큰 양각에서 최대 비거리를 내나, 헤드속도가 증가함에 따라 최대 비거리를 내는 최적 양각이 점차 감소하게 된다.



[그림 59] 헤드속도와 양각 변화에 대한 비거리 변화

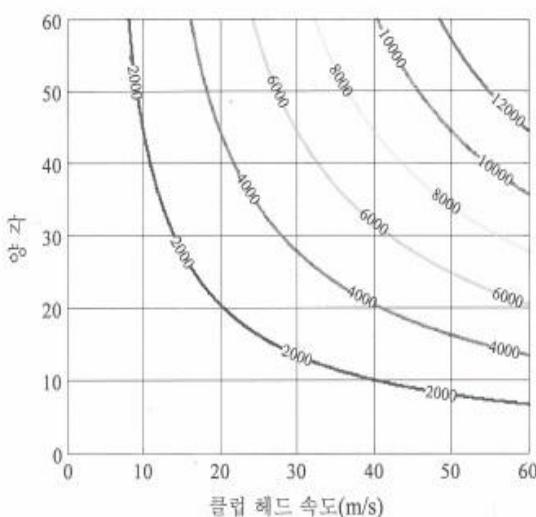
최대 비거리를 내는 양각은 헤드 속도가 증가하면 반대로 감소한다. 예로 헤드속도가 30 m/s 로 느릴때의 최대 비거리를 내는 양각은 22° 에 이르지만, 60 m/s 로 빨라지면 11° 까지 줄어든다. 최적 양각의 최대 사거리에 대한 민감도는 헤드속도가 느릴수록 낮다.

라. Magnus Force에 따른 가속도 분석

- (1) Magnus Force 추출을 위한 방정식 개발
- (2) Magnus Force 변수 및 인자 정의
- (3) 골프공의 역회전속도 : 각 효과(angle effect)와 마그누스효과(Magnus effect)
탈출 시 공이 미끄럼 없이 구른다는 가정하에 공의 타면 접선방향 탈출속도 식을 이용하여 탈출 시의 공의 역회전속도를 구하면

$$w_b = \frac{v_{b/c}^T}{R} = \left(\frac{5f}{7} \right) \frac{v_{h1} \sin \alpha}{R}$$

이고 $R = 21.5$ mm, $f = 0.9$ 일 때 그림 60과 같다.



[그림 60] 클럽 헤드속도와 양각이 공의 탈출 역회전속도(rpm)에 미치는 영향

공의 탈출 역회전속도는 대략 양각과 클럽 헤드속도에 비례해서 커진다. 따라서 헤드 속도가 35 m/s 정도인 초보자라도 양각이 52도인 웨지로 타구하면 무려 8,000 rpm의 역회전속도를 얻을수 있고 프로선수들의 웨지 타구는 보통 12,000 rpm이상의 탈출 역회전속도를 갖는다. 물론 공기저항으로 착지 시 역회전 속도는 이보다 작다.

그림 60에서 양각 30° 이하인 우드나 긴 아이언의 경우

$$(역회전속도 [rpm]) = (\text{양각}) \times (\text{클럽 헤드속도 [m/s]}) \times 5$$

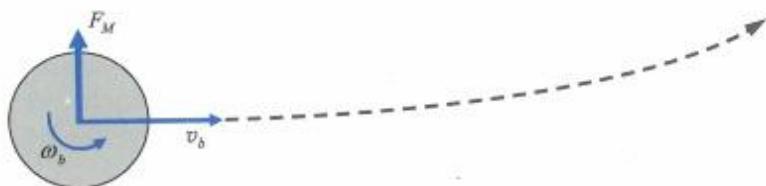
30° 이상인 짧은 아이언이나 웨지의 경우는

$$(역회전속도 [rpm]) = (\text{양각}) \times (\text{클럽 헤드속도 [m/s]}) \times 4$$

로부터 개략적인 공의 탈출 시의 역회전속도를 추정할 수 있다. 위의 결과를 보면 클럽 헤드속도 35 m/s의 보통 수준의 아마추어라도 양각 45°의 피칭 웨지로 치게 되면 무려 7,000 rpm이라는 놀라운 역회전을 공에 실을 수 있다. LPGA 선수도 클럽 헤드속도가 40 m/s 정도로 역회전에 관한 한 피칭 웨지로 치는 경우 9,000 rpm 정도의 역회전을 줄 수 있다. 드라이버로 치는 경우에도 2,000 rpm 근처의 역회전속도를 낼 수 있다.

공의 역회전 및 클럽의 경사면을 따라 미끄러지는 현상은 양각을 갖는 골프 클럽 헤드 면을 따라 접선방향으로의 미끄러지는 운동과 미끄러짐을 방해하는 마찰력 성분에 기인하는 것으로 골프 클럽이 열리거나 닫힌 상태, 즉 클럽 면각(face angle)이 0이 아닌 상태에서 공과 충돌 시에도 동일하게 경사면을 따라서 횡 회전(side spin)을 동반한 미끄러짐 현상이 나타난다. 이들을 통칭하여 ‘각 효과(angle effect)’라고 부른다. [10]

공기와 같은 매질을 통해서 회전하며(역회전이든 횡회전이든 관계없이) 날아가는 공에는 그림 61과같이 공의 속도 방향으로부터 공의회전 방향으로 90° 방향으로 마그누스 힘(F_M)이 걸리게 되어 공이 속도 방향으로 전진하면서 마그누스 힘이 작용하는 방향으로 휘어지는 궤도를 그리게 된다. 이러한 현상을 ‘마그누스 효과(Magnus effect)’라고 하며, 골프공의 탄도가 휘는 경우뿐 아니라 야구 투수가 던지는 커브 공, 잡아 차기 한 축구공 등의 예가 여기에 해당한다.



[그림 61] 회전하며 전진하는 공의 마그누스 효과

5. Trajectory Optimizer 알고리즘 설계

가. 볼비행 방정식 내 변수 항목 정의 및 설정

- (1) Parabolic Ball Motion 내부 변수 설정
- (2) Trackman 비행 항목 조사 및 분석

나. CL/CD 초기 입사 데이터 상관 관계 분석

- (1) 실측 데이터와 CL/CD상관관계 분석
- (2) 속도 변화에 따른 상관관계 분석

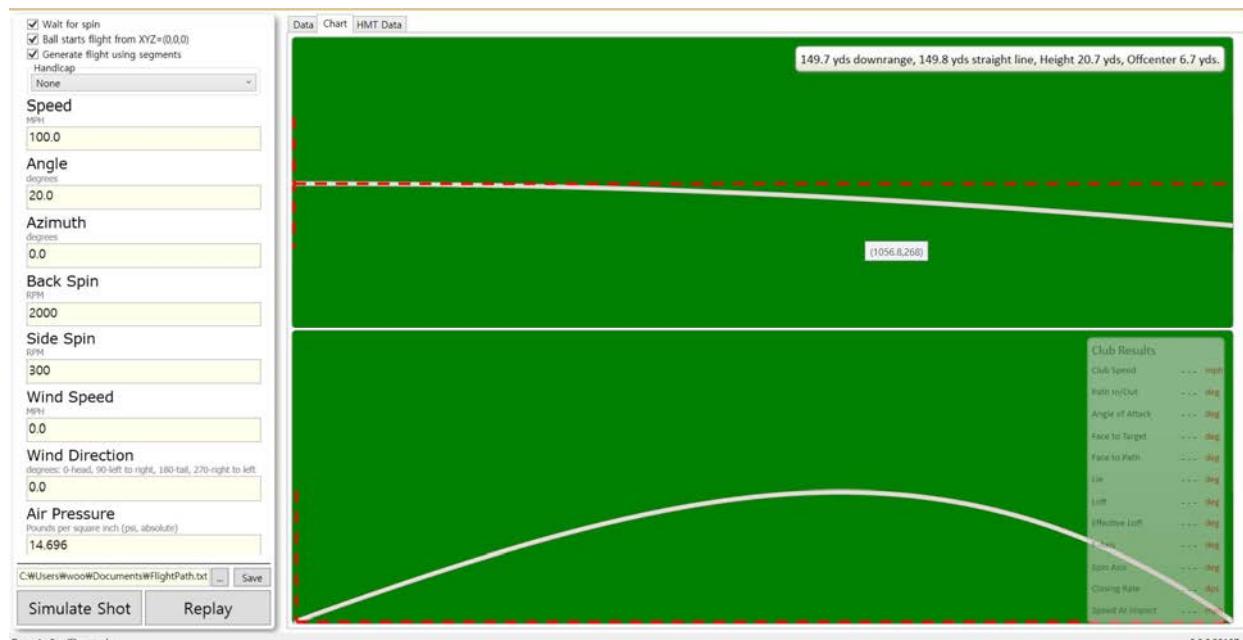
다. Trackman 데이터 역 추적 및 방정식 유추

- (1) Trackman실 측정 데이터 분석
- (2) 실측 데이터 시뮬레이션 및 방정식 분석
- (3) 실측 데이터 분석 방향 설정 및 개발 계획

6. Trajectory Optimizer 알고리즘 제작/시험

- 가. CL 이론 방정식 정의 및 테스트
- 나. CL로부터 CD값 유도 추출 이론 방정식 개발
 - (1) 이론 CL로부터 CD값 유출 및 검증
 - (2) 이론 CL/CD로부터 초기 X,Y,Z 가속도 추출

다. 스판 처리에 의한 상하 비행 시뮬레이션



[그림 62] Trajectory Optimizer & Simulator 참조: 별첨5_Ball Flight Simulator_data

라. 볼 비행 방정식의 검증

- (1) 트랙맨 장비를 이용하여 측정한 값을 개발한 볼비행 방정식에 대입하여 추출된 값과 비교하여 검증 진행
- (2) 드라이버 및 아이언 다양한 클럽과 다양한 인원이 타격하여 비교 시험 진행
- (3) 시험 결과 : 10일간 200개 이상의 자료를 분석한 결과 트랙맨에서 나온 결과 값과 5%이내의 오차를 보임 참조: 별첨6_볼 비행 방정식 트랙맨 비교시험

7. 센서와 GUI 데이터 통신 정의

가. 센서와 GUI 데이터 통신 정의

표 16 센서와 GUI 데이터 통신 정의

통신방식	Virtual COM port를 이용한 UART 통신(RS232)
통신속도	115200 bps
데이터	8 data bit, 1 stop bit, 1 start bit
파리티	No parity bit
통신포트	COM1 ~ COM10 까지 선택 가능
데이터 구조	string
데이터 구분	"," (0x2c)
데이터 종료	"\n" CR(0x0D)

나. 센서와 Unity3d간의 통신

(1) Unity3d 통신 준비 및 연결

```

string SPN = serialPortName;
if(SPN == "com3" || SPN == "com4" || SPN == "com5" || SPN == "com6" ||
SPN == "com7" || SPN == "com8" || SPN == "com9" ){
    EbmPort = new SerialPort(serialPortName, 115200);
    EbmPort.DtrEnable = true; // win32 hack to try to get DataReceived
    EbmPort.RtsEnable = true;
    EbmPort.PortName = serialPortName;
    EbmPort.BaudRate = 115200;
    EbmPort.DataBits = 8;
    EbmPort.Parity = Parity.None;
    EbmPort.StopBits = StopBits.One;
    EbmPort.ReadTimeout = 33;
    EbmPort.WriteTimeout = 1000;
    this.Open();
}

```

8. 수신 데이터 정의 및 처리

가. 수신 데이터 정의

표 17 수신 데이터 정의

입력 순서	데이터 설명	예제	단위
문자열1	club speed	"70.25,"	[mph]
문자열2	Ball speed	"100.23,"	[mph]
문자열3	Smash factor		[deg(°)]

문자열4	Launch angle	[deg(°)]
문자열5	Launch direction	[deg(°)]
문자열6	Spin rate	[rpm]
문자열7	Spin axis	[deg(°)]
문자열8	Attack angle	[deg(°)]
문자열9	Club path	[deg(°)]
문자열10	Face angle	[deg(°)]
문자열11	Face to path	[deg(°)]
문자열12	Swing plane	[deg(°)]
문자열13	Swing direction	[deg(°)]
문자열14	Dynamic loft	[deg(°)]
문자열15	Spin loft	[deg(°)]
문자열16	"\n", 데이터 종료 표시	

나. 수신 데이터 처리

```

try{ sdata = EbmPort.ReadLine(); }
catch{      continue;      }

string strMsg = sdata;
string[] item = strMsg.Split(',');
strGLog = strGLog + "\n" + " Length:" + item.Length + " Received data:"
+ strMsg;

float[] fValue = new float[15];
for(int j=0; j<15; j++){
    fValue[j] = 0.0f;
}

for(int i=0; i<item.Length; i++){
    if(item[i].Length > 0){
        fValue[i] = float.Parse(item[i]); // club speed
    }
}

```

}

```

fClubSpeed = fValue[0]; // club speed
fBallSpeed = fValue[1]; // Ball speed
fSmashFactor = fValue[2]; // Smash Factor
fLaunchAngle = fValue[3]; // Launch angle
fLaunchDir = fValue[4]; // Launch direction
fSpinRate = fValue[5]; // Spin rate
fSpinAxis = fValue[6]; // Spin axis

fAttackAngle = fValue[7]; // Attack angle
fClubPath = fValue[8]; // Club path
fFaceAngle = fValue[9]; // Face angle
fFaceToPath = fValue[10]; // Face to path
fSwingPlane = fValue[11]; // Swing plane
fSwingDirection = fValue[12]; // Swing direction
fDynamicLoft = fValue[13]; // Dynamic loft
fSpinLoft = fValue[14]; // Spin loft

```

9. 소프트웨어 센서 간 통신

가. 기능: 센서 설정 값 지정을 위한 기작

나. 소프트웨어 센서 전송 정의

표 18 소프트웨어 센서 전송 정의

입력 순서	데이터 설명	예제	단위
문자열1	Tee Distance	"300,"	[cm]
문자열2	Tee Height	"10,"	[cm]
문자열3	Tee Side	"30,"	[cm]
문자열4	"\n", 데이터 종료 표시		

10. 측정 전시 값 정의

가. 측정 전시 값 정의

표 19 측정 전시 값 정의

번호	업무	단위(mph, yd)	단위(m/s, m)	해상도	획득방법
1	Club speed	[mph]	[m/s]	0.01	센서
2	Ball speed	[mph]	[m/s]	0.01	센서

3	Launch angle	[deg(°)]	[deg(°)]	0.01	센서
4	Launch direction	[deg(°)]	[deg(°)]	0.01	센서
5	Spin rate	[rpm]	[rpm]	1	센서
6	Spin axis	[deg(°)]	[deg(°)]	0.01	센서
7	Attack angle	[deg(°)]	[deg(°)]	0.01	센서
8	Club path	[deg(°)]	[deg(°)]	0.01	센서
9	Smash factor	없음	없음	0.01	계산
10	Face angle	[deg(°)]	[deg(°)]	0.01	계산
11	Face to path	[deg(°)]	[deg(°)]	0.01	계산
12	Swing plane	[deg(°)]	[deg(°)]	0.01	계산
13	Swing direction	[deg(°)]	[deg(°)]	0.01	계산
14	Dynamic loft	[deg(°)]	[deg(°)]	0.01	계산
15	Spin loft	[deg(°)]	[deg(°)]	0.01	계산
16	Landing angle	[deg(°)]	[deg(°)]	0.01	DLL
17	Landing speed	[mph]	[m/s]	0.01	DLL
18	Hang time	[s]	[s]	0.01	DLL
19	Height	[yd]	[m]	0.1	DLL
20	Carry	[yd]	[m]	0.1	DLL
21	Side	[yd]	[m]	0.1	DLL
22	Total	[yd]	[m]	0.1	GUI
23	Side total	[yd]	[m]	0.1	GUI

나. 측정 전시 값 계산 방법

표 20 측정 전시 값 계산 방법

번호	업무	설명
1	Club speed	임팩트 직전의 클럽 페이스 중심의 속도 연산 값
2	Ball speed	팩트직후의볼의스피드를연산한값
3	Launch angle	수평(Ground)기준볼의초기수직탈출각연산값
4	Launch direction	타겟라인을 기준으로 임팩트 직후의 볼의 탈출 각도 연산 값
5	Spin rate	임팩트직후분당볼의회전수(rpm)연산값
6	Spin axis	축의 기울기 측정값으로 회전이 어떤 축을 중심으로 회전하는지 연산한 값
7	Attack angle	볼의 임팩트로 향하는 클럽헤드의 진입 수직 각도 (지면 기준) 연산 값
8	Club path	볼의 임팩트로 향하는 클럽헤드의 수평 각도(타겟 기준) 연산 값
9	Smash factor	볼 스피드를 클럽 스피드로 나눈 값

10	Face angle	임팩트 순간의 클럽의 페이스 앵글을 타겟라인을 기준으로 연산한 값
11	Face to path	클럽 패스와 페이스 앵글의 차로 연산한 값
12	Swing plane	스윙 궤적의 최저점에서 클럽헤드 궤적의 플랜과 지표면의 플랜의 차이 연산 값
13	Swing direction	스윙 궤적의 최저점에서 클럽헤드의 수평 방향을 연산한 값
14	Dynamic loft	임팩트 순간의 클럽페이스의 실제 로프트(수평면 기준) 연산 값
15	Spin loft	다이나믹 로프트 와 어택앵글 사이의 차로 연산한 값
16	Landing angle	평을 기준으로 착지 각도를 측정한 값
17	Landing speed	볼이 지면에 착지 할 때의 수직각도
18	Hang time	볼이 날아간 체공시간 연산 값
19	Height	볼의 궤적에서 가장 높은 지점 연산 값
20	Carry	대기중으로 날라간 볼의 거리 연산 값
21	Side	타겟 라인을 기준으로 벗어난 정도를 연산한 값
22	Total	캐리거리와 런을 포함하여 총거리연산 값
23	Side total	캐리거리와 런을 포함하여 타겟 라인을 기준으로 벗어난 정도를 연산한 값

다. 처리방식

20여개의 데이터 전시를 위해 내부적으로 2가지 방법으로 처리.

(1) 센서로부터 직접 수신

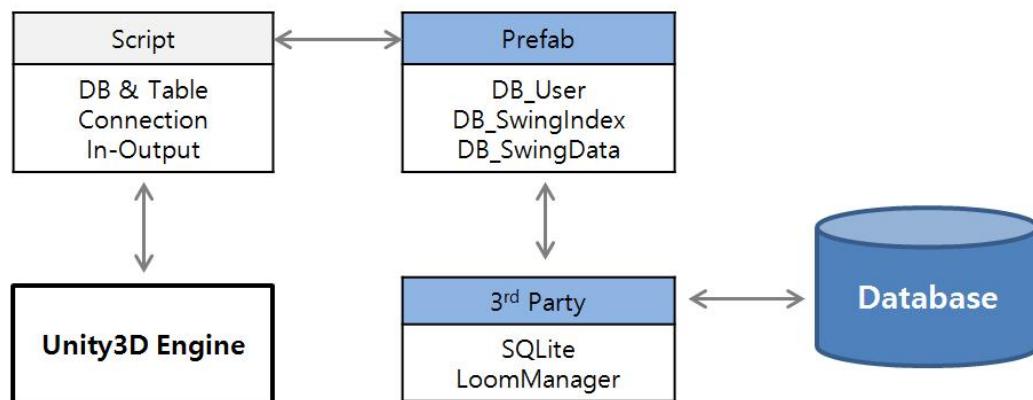
빠른 3차원 구현을 위한 최소한의 데이터 전송 처리

(2) DLL 및 소프트웨어 처리

연산 처리 비용이 많이 드는 계산은 프로세서 성능이 우수한 소프트웨어에서 처리.

11. DB 연결 구조

가. 유니티 엔진과 SQLite DB 연동 처리를 위한 구조



[그림 63] 유니티 인진과 SQLite DB 연동 처리를 위한 구조

- (1) 추출 데이터 정의 및 적용 설계
 - (2) DB 테이블 설계 및 Field 정의
- 나. DB 연결 및 데이터 입출력 처리
참조: 첨부 별첨7_소스파일

12. 연동 실험

가. 휴대용 골프 구질 분석 시스템 연동시험

- (1) 로봇스윙머신을 통해 타격한 볼의 데이터 트랙맨 측정값과 개발품 측정값과 비교

참조: 별첨8_휴대용 골프구질 분석 시스템 측정 결과



[그림64] 로봇스윙머신



[그림 65] 트랙맨 비교분석



[그림 66] 볼 타격시 볼 비행 3D 결과 화면

나. 측정 오차에 대한 보정을 통해 정확도 향상

3절 연구개발 결과 및 성과

1. 정확성 검증

가. 평가항목

연구개발 목표	평가항목	단위	개발목표치	세계최고 수준 (보유국/기관)	연구개발 前 국내최고수준(보유기관)
			1차년도		
클럽 속도	정확도	%	95% @ 60mph ~ 120mph	95% @ 60mph ~ 120mph (덴마크/트랙맨)	N/A
어택 각도	정확도	%	95% @ -10° ~ +10°	95% @ -10° ~ +10° (덴마크/트랙맨)	N/A
골프공 속도	정확도	%	95% @ 70mph ~ 180mph	95% @ 70mph ~ 180mph (덴마크/트랙맨)	N/A
스매시 팩터	정확도	%	95% @ 0.9 ~ 1.5	95% @ 0.9 ~ 1.5 (덴마크/트랙맨)	N/A
골프공 수평 탈출각	정확도	%	95% @ -20° ~ +20°	95% @ -20° ~ +20° (덴마크/트랙맨)	N/A
골프공 수직 탈출각	정확도	%	95% @ +5° ~ +45°	95% @ +5° ~ +45° (덴마크/트랙맨)	N/A
골프공 스핀량	정확도	%	95% @ 2000rpm ~ 10000rpm	95% @ 2000rpm ~ 10000rpm(덴마크/트랙맨)	N/A
탄도 고점	정확도	%	95% @ 10yds ~ 40yds	95% @ 10yds ~ 40yds (덴마크/트랙맨)	N/A
착지 각도	정확도	%	95% @ 25 ~ 60deg	95% @ 25 ~ 60deg(덴마크/트랙맨)	N/A
캐리 거리	정확도	%	95% @ 40yds ~ 300yds	95% @ 40yds ~ 300yds (덴마크/트랙맨)	N/A
크기	정확도	%	330*300*70 이내		N/A

나. 시험결과서

시 험 결 과 서



결과서 번호 : ITP T16 - 85

1. 신 청 인

- 회사명 : 네티디지
- 대표자 : 김진모
- 주소 : 대전광역시 서구 둔산서로 63, 3층(둔산동)

2. 시험명 : 스윙로봇을 활용한 런치모니터 데이터 비교 측정

3. 성적서의 용도 : 고객 확인용

4. 접수일자 : 2016.12.9.

5. 시험일자 : 2016.12.27.

6. 시험환경 : 온도 (°C) : 21

7. 시험방법 : 일정한 클립스피드로 볼을 25회 타격하여 기성제품(TRACKMAN)과 개발제품의 데이터 비교 측정

8. 시험결과 :



□ 기존제품 측정값

NO	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#	11#	12#	13#	14#	15#	16#	17#	18#	19#	20#	21#	22#	23#	24#	25#	평균	우회		
1	Club speed	85.60	88.30	89.00	89.62	90.10	90.25	91.60	91.75	91.95	92.00	92.45	92.90	93.65	94.00	94.75	95.10	95.75	96.75	97.25	98.25	99.25	99.65	99.85	99.3			
2	Golf speed	131.65	131.66	131.84	131.84	131.85	132.46	132.50	132.52	132.63	132.63	132.74	132.82	132.90	132.92	132.96	132.97	132.98	132.99	132.99	132.99	132.99	132.99	131.84	131.77	132.95		
3	Launch Factor	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.44		
4	Launch angle	14.19	14.05	14.05	14.21	14.00	13.79	13.81	13.87	14.00	13.99	13.62	13.58	13.62	13.81	13.81	13.82	13.95	13.96	14.21	14.69	15.11	15.81	16.13	16.47	13.9		
5	Launch direction	-0.76	-0.26	-0.39	-0.52	-0.40	-0.54	-0.34	-0.34	-1.20	-1.41	-0.18	-1.31	-0.85	-0.49	-0.73	-0.65	-0.63	-0.58	-0.79	-0.83	-0.82	-0.61	-0.73	-0.88	-0.13	-17.83	
6	Spin rate	2140.0	2150.0	2090.0	2170.0	2160.0	2090.0	2100.0	2070.0	2080.0	2100.0	2120.0	2130.0	2150.0	2160.0	2180.0	2180.0	2180.0	2180.0	2180.0	2180.0	2180.0	2180.0	2180.0	2180.0	2180.0		
7	Attack angle	1.90	1.76	1.94	1.63	2.01	2.15	2.01	1.88	2.23	2.13	2.40	1.95	2.12	2.54	2.15	1.87	1.84	2.00	1.75	1.91	1.94	2.21	2.27	2.23	2.17	51.52%	
8	Ball carry	203.35	205.31	204.84	205.42	205.01	205.28	205.51	205.51	203.95	203.95	204.37	205.43	202.28	204.37	201.21	204.17	203.34	202.21	204.20	205.05	203.35	205.33	206.44	205.25	204.70	210.33	204.2
9	Landing Angle	29.90	29.96	29.48	29.89	29.40	18.99	29.10	29.19	29.36	29.99	27.52	29.99	27.12	28.99	29.90	30.00	29.49	29.20	29.48	19.20	28.39	28.39	27.70	29.56	29.38	28.3	
10	Max Height	93.49	93.41	62.52	63.14	62.16	68.97	61.47	61.31	63.32	61.90	56.61	61.57	57.36	60.50	61.57	63.11	62.22	61.55	61.81	64.52	58.64	59.25	57.33	62.72	62.72	1518.26	61.3

□ 개발제품 측정값

NO	구분	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	평균	
1	Club speed	31.17	33.07	38.87	36.13	34.33	36.13	38.47	38.65	36.67	38.67	38.67	38.67	38.67	38.67	38.67	38.67	38.67	38.67	38.67	38.67	38.67	38.67	38.67	38.67	38.42		
2	Ball speed	132.67	137.58	137.5	138.95	131.49	130.79	131.1	132.45	132.21	132.37	131.26	130.95	130.86	131.5	132.66	131.89	132.06	131.43	130.48	132.07	131.5	131.49	131.1	131.45	132.15	130.56	131.79
3	Smash Factor	1.45	1.5	1.49	1.51	1.16	1.52	1.05	1.48	1.49	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.50	
4	Launch angle	13.25	14.95	12.45	12.98	15.13	13.22	14.21	14.62	14.14	14.62	14.81	15.97	13.18	11.21	15.08	12.71	11.46	14.44	12.25	13.25	12.45	15.25	14.31	14.62	14.24	14.07	13.89
5	Launch direction	-0.68	-0.46	-0.71	-0.67	-0.45	-0.69	-0.66	-0.65	-0.65	-0.65	-0.67	-0.67	-0.72	-0.69	-0.65	-0.65	-0.7	-0.67	-0.68	-0.68	-0.68	-0.71	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65
6	Spin rate	1931	21613.1	17881.3	1864.2	2257.1	1937.7	1994.6	2039.3	1874.7	2001.8	1979.9	2041.1	1941.7	1923.6	2108.2	1907.2	1938.3	2102.4	1746.9	1913	1765.3	2297.1	1954.8	2029.5	1834.7	4800.6.7	1892.47
7	Attack angle	1.97	2.15	1.98	2.07	2.1	1.81	2.1	2.34	2.04	2.17	2.01	1.99	1.97	2.06	2.02	2.22	2.14	2.09	2.13	2.02	1.92	1.94	2.1	2.14	2.04	1.97	2.04
8	Ball carry	104.2	206.62	169.67	190.61	204.49	182.67	196.19	231.83	209.83	203.16	233.42	196	194.17	195.98	207.52	191.11	106.98	203.83	184.07	184.2	188.67	206.09	179.13	201.92	200.63	1963.64	188.51
9	Landing Angle	27.61	31.62	24.43	28.99	32.35	29.62	25.16	30.29	18.96	29.83	31.01	28.66	27.81	26.95	31.95	23.11	27.37	31.21	23.02	27.01	24.61	32.35	23.11	30.29	28.98	71.03	28.44
10	Max Height	55.81	65.54	44.12	52.54	71.26	53.35	62.29	61.44	61.33	65.56	67.41	58.87	54.7	56.79	71.64	49.44	58.26	49.19	51.19	48.12	71.09	41.27	61.44	61.33	1409.41	59.54	

□ 오차범위

구분	단위	기성제품 (평균값)	개발제품 (평균값)	오차범위 (%)
Club speed	(mile/h)	89.1	88.0	-1.2%
Ball speed	(mile/h)	131.8	131.8	0.0%
Smash Factor	(")	1.48	1.50	1.2%
Launch angle	(")	13.9	13.89	-0.1%
Launch direction	(")	-0.70	-0.67	-3.8%
Spin rate	(rpm)	2085	1,992	-4.4%
Attack angle	(")	2.1	2.0	-1.8%
Ball carry	(yard)	204.3	198.5	-2.8%
Landing Angle	(")	29.1	28.4	-2.3%
Max Height	(ft)	61.5	59.6	-3.1%

9. 비 고

□ 시험 장비														
- 클럽														
<table border="1"><thead><tr><th>Maker</th><th>Club</th><th>Length</th><th>Cpm</th><th>Swing Weight</th></tr></thead><tbody><tr><td>Titleist 915D2</td><td>드라이버</td><td>45 1/4</td><td>247</td><td>D3.0</td></tr></tbody></table>					Maker	Club	Length	Cpm	Swing Weight	Titleist 915D2	드라이버	45 1/4	247	D3.0
Maker	Club	Length	Cpm	Swing Weight										
Titleist 915D2	드라이버	45 1/4	247	D3.0										
- 테스트볼 : 낫소 MF-3L (3피스)														
- 골프 스윙로봇(4PT), Golf Lab.														
- 런치모니터 : 트랙맨 프로														

확인	시험자	인증 인증장 직위	기술책임자(정) 김인철 (서명)
	성명 : 김광혁 (서명)		
		성명	김인철 (서명)

- 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
- 이 성적서는 우리 센터의 사전 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 있으며 용도 이외의 사용을 금합니다.
- 이 성적서는 사본은 무효입니다.

2016년 12월 28일



(재)인천경제산업정보테크노파크 스포츠융합센터장 (인)



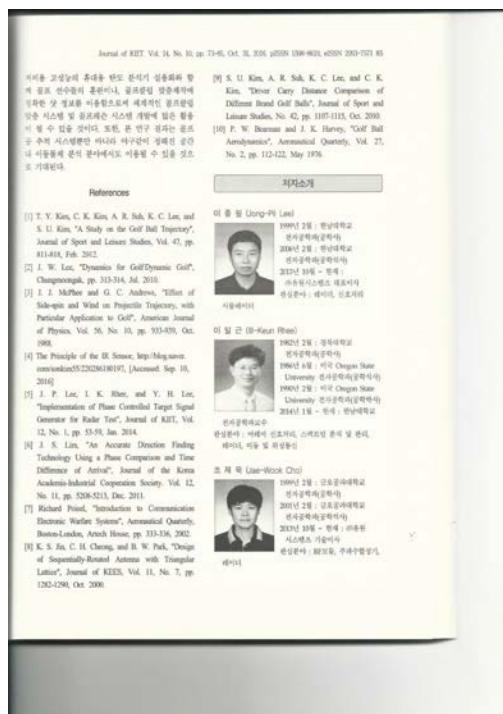
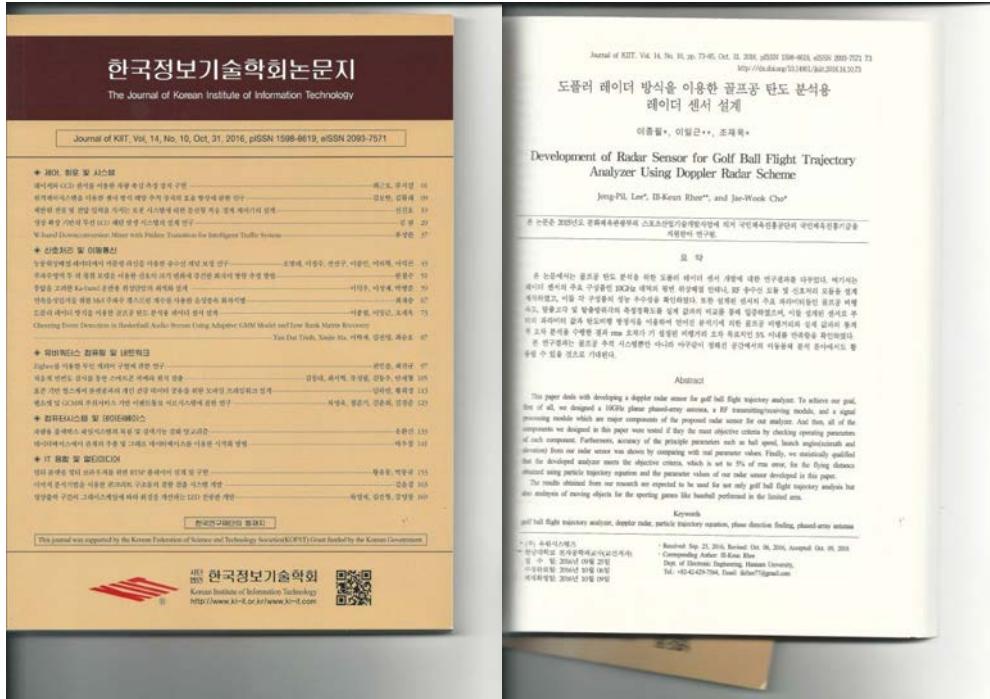
-3/3-

다. 결론

시험성적서에서 보는 바와 같이 하드웨어 측정 및 소프트웨어를 통해 구해진 10가지 파라메터가 모두 기준 장비인 트랙맨과 0.0%~4.4%내의 오차를 보였다. 목표달성을

2. 연구성과

가. 논문 게제



나. 특허 출현

(1) 특허 출현

출원번호통지서

페이지 1 / 4

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2016.10.31

특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)

출 원 번 호 10-2016-0142913 (접수번호 1-1-2016-1058187-90)

출 원 인 명 칭 (주)티디지(1-2010-027470-1)

대 리 인 성 명 유병선(9-1999-000235-9)

발 명 자 성 명 김진모

발 명 의 명 칭 도플러 레이더 방식을 이용한 골프공 탄도 분석용 레이더
센서 시스템

특 허 청 장

<<안내>>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태 이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적 교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

(2) 디자인 등록

출원번호통지서

페이지 1 / 4

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2016.12.13

특 기 사 항 공개신청(무)

출 원 번 호 30-2016-0060353 (접수번호 1-1-2016-1219783-79)

출 원 인 명 칭 (주)티디지(1-2010-027470-1)

대 리 인 성 명 유병선(9-1999-000235-9)

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드>
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태 이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

(3) 프로그램 등록

다. 인증

저작권 등록증

제 호	C-2016-034704
1. 저작물의 제호(명칭)	휴대용 레이더 골프 구질 분석기 프로그램
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램
3. 저작자 성명(법인명)	주식회사 티디지 대전광역시 서구 둔산서로
4. 생년월일(법인등록번호)	160111-0216881
5. 창작연월일	2016년12월01일
6. 공표연월일	2016년12월27일
7. 등록연월일	2016년12월28일
8. 등록사항	저작자 : 주식회사 티디지, 창작 : 2016.12.01, 공표 : 2016.12.27

『저작권법』 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2017년 01월 02일

한국저작권위원회


(1) 안테나 측정

안테나 측정 결과 정리

- 시험항목 : 안테나 측정
- 시험일시 : 2016. 12. 15
- 시험장소 : 대덕테크노파크 안테나 시험장
- 시험자 : (주)유원시스템즈 조재욱

1. 시험 셋업

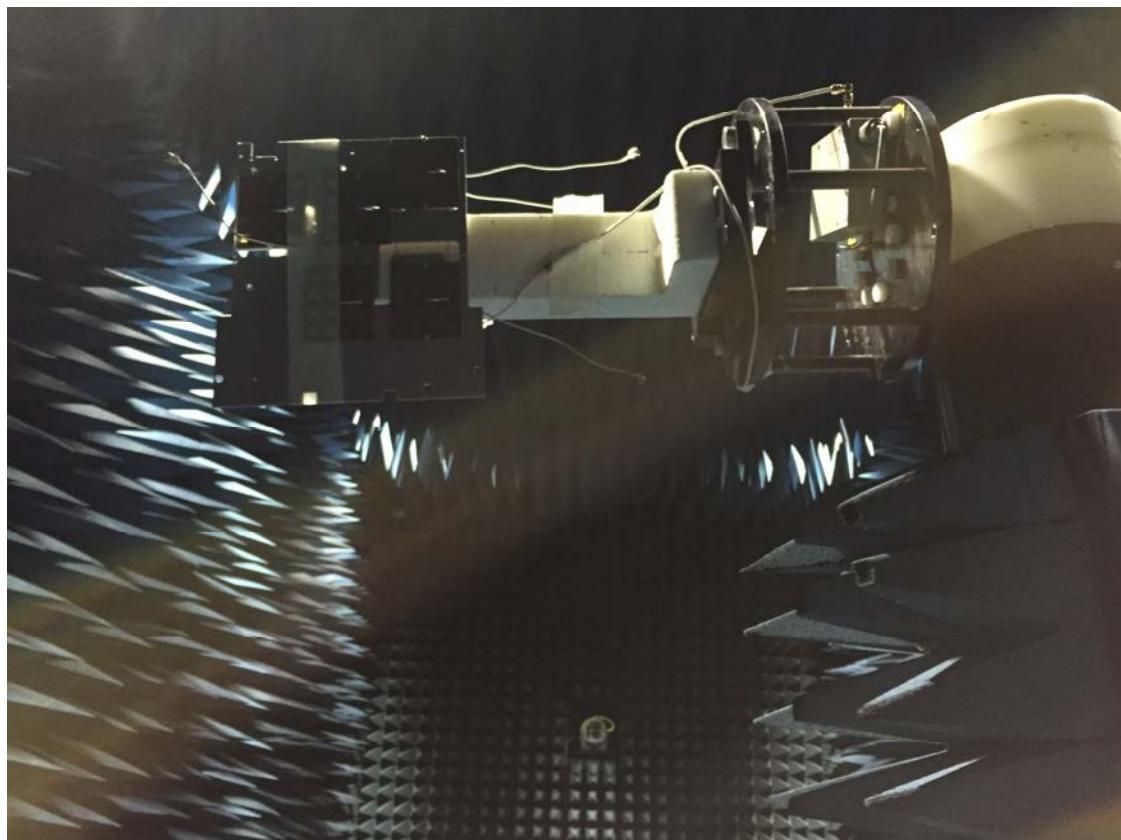


그림 77 안테나 측정 셋업

2. 시험 결과

가. 안테나 단품

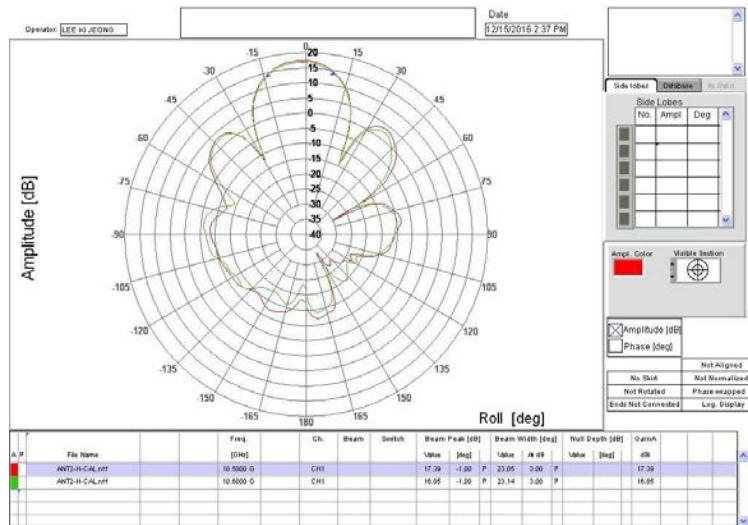


그림 78 안테나 단품 - 수평방사패턴 및 이득

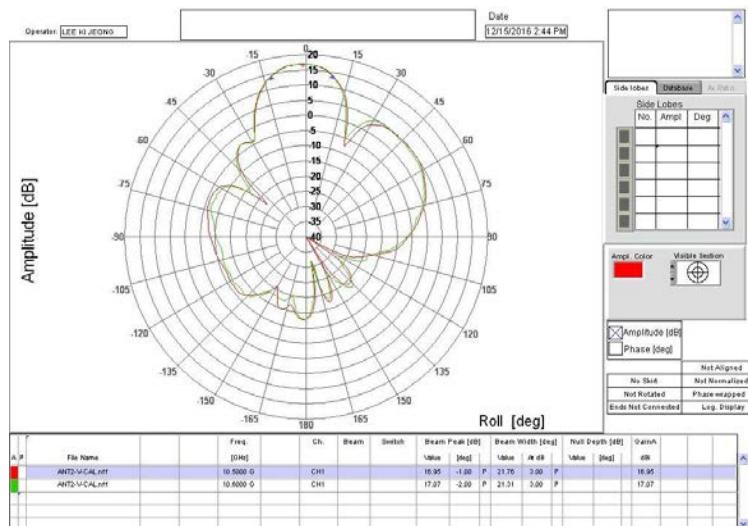


그림 79 안테나 단품 - 수직방사패턴 및 이득

*. 측정결과 아래 표와 같이 설계 규격을 만족 함

항목	설계 규격	제작품 측정 결과	단위	비고
주파수	10.5 ~ 10.6	10.5 ~ 10.6 이상	GHz	만족
이득	16 이상	- 수평 : 16.85 - 수직 : 16.95	dBi	만족
3dB 빔폭	- 수직 : 18 이상 - 수평 : 18 이상	- 수직 : 21.31 - 수평 : 23.14	deg	만족

나. 송신안테나(케이블 포함)

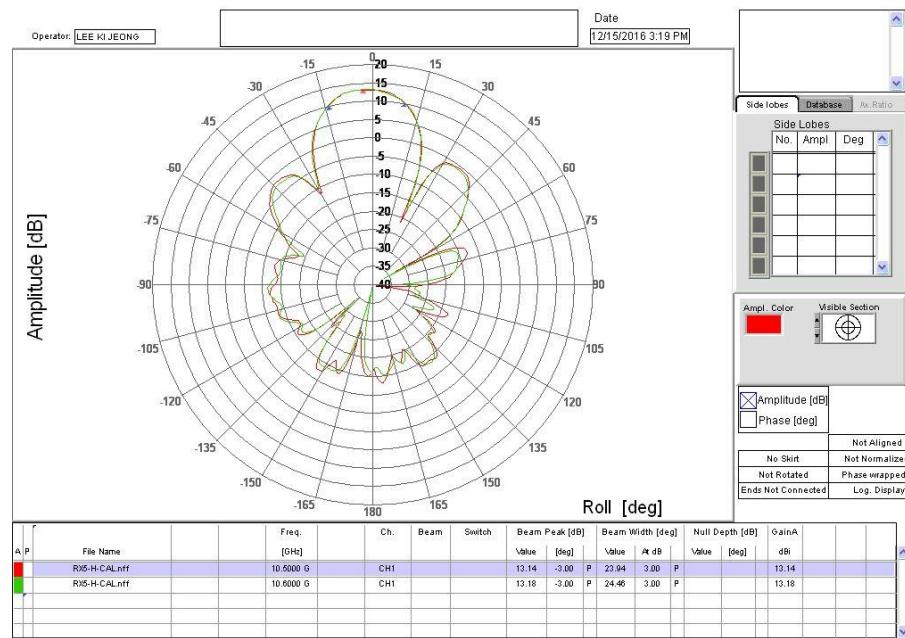


그림 80 송신안테나(케이블포함) - 수평방사패턴 및 이득

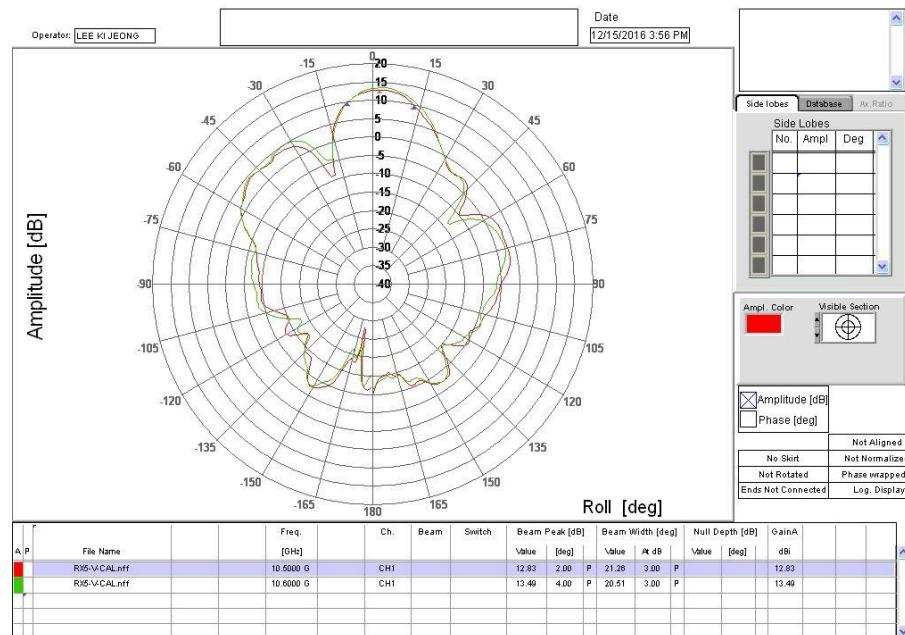


그림 81 송신안테나(케이블포함) - 수직방사패턴 및 이득

다. 수신안테나-1(케이블 포함)

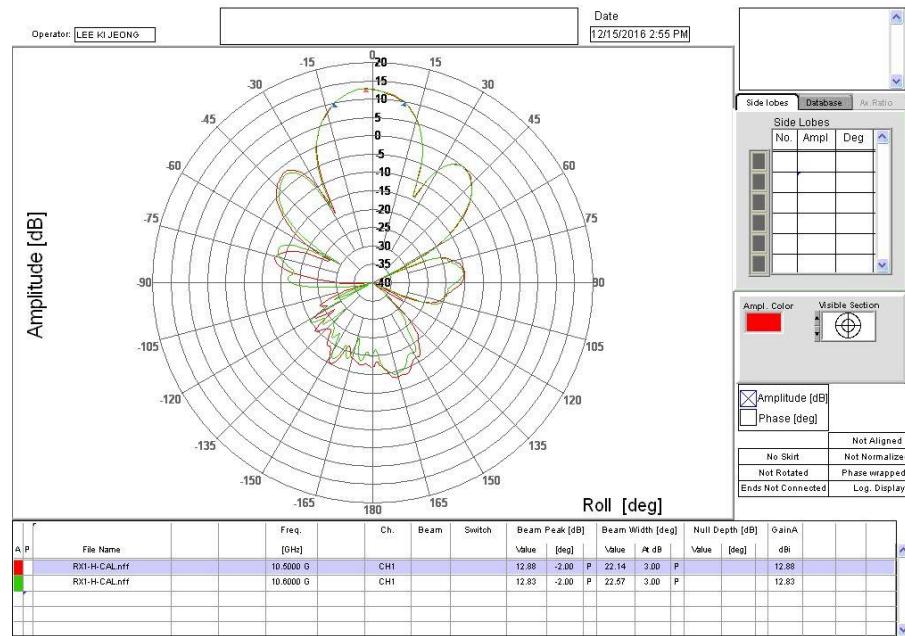


그림 82 수신안테나-1(케이블포함) - 수평방사패턴 및 이득

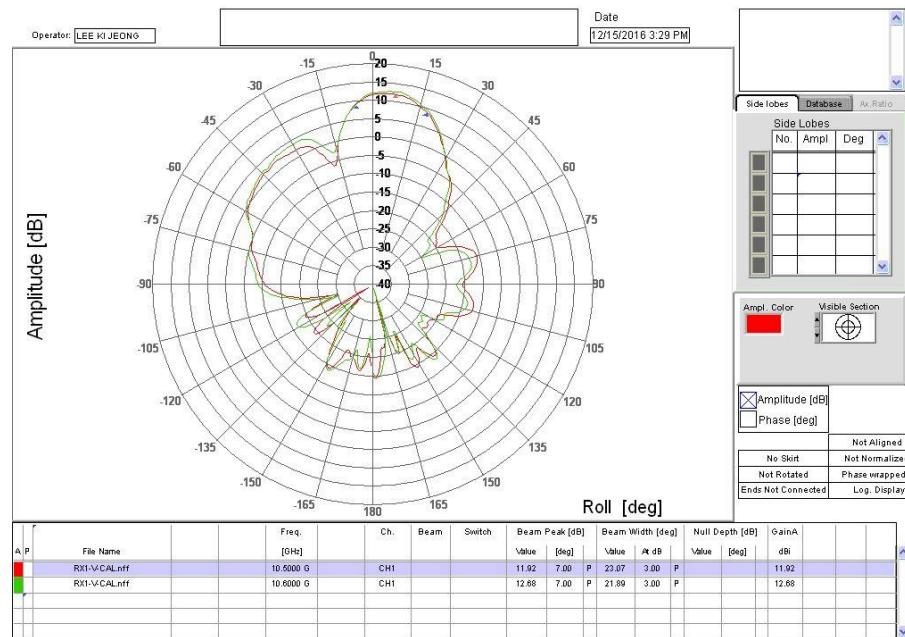


그림 83 수신안테나-1(케이블포함) - 수직방사패턴 및 이득

라. 수신안테나-2(케이블 포함)

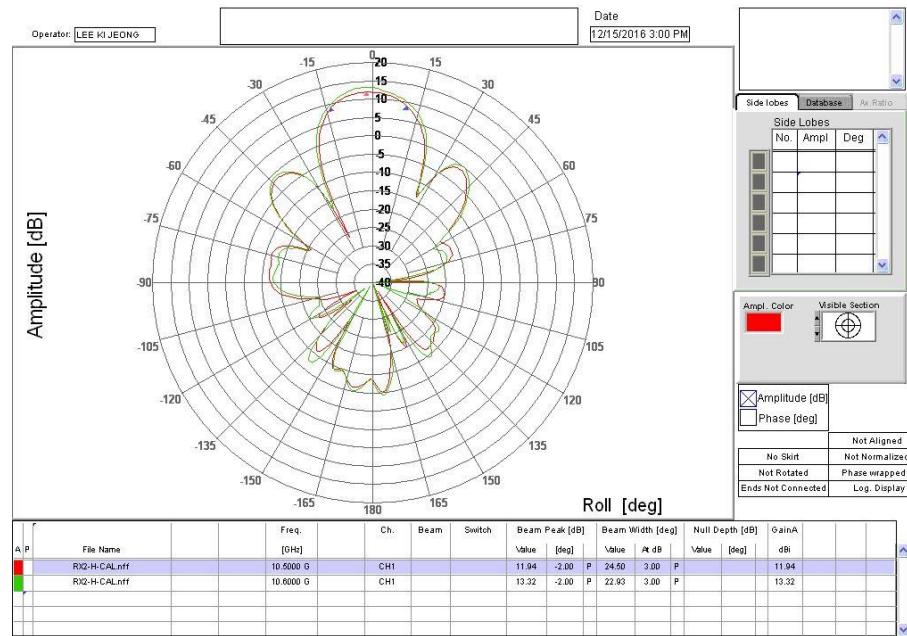


그림 84 수신안테나-2(케이블포함) - 수평방사패턴 및 이득

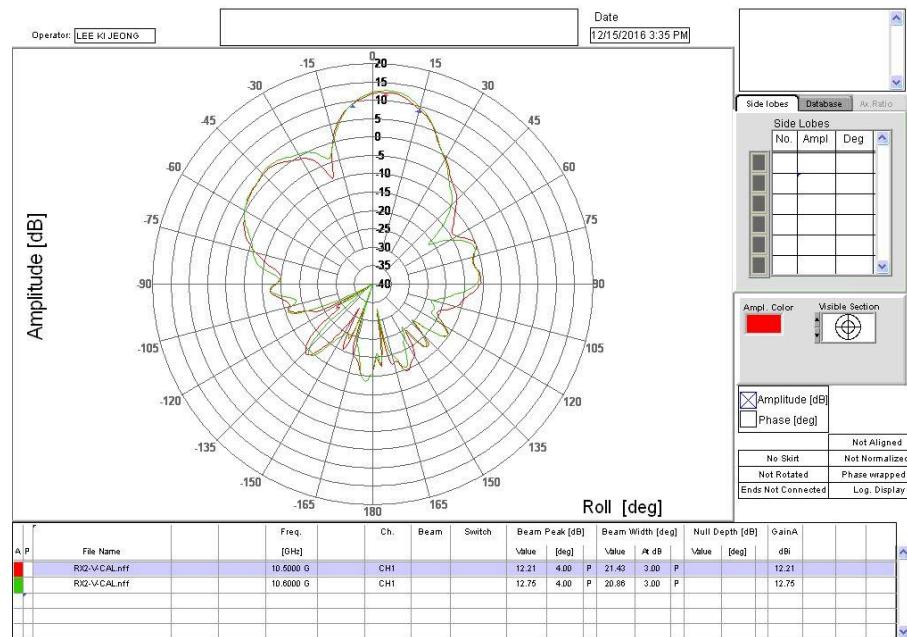


그림 85 수신안테나-2(케이블포함) - 수직방사패턴 및 이득

마. 수신안테나-3(케이블 포함)

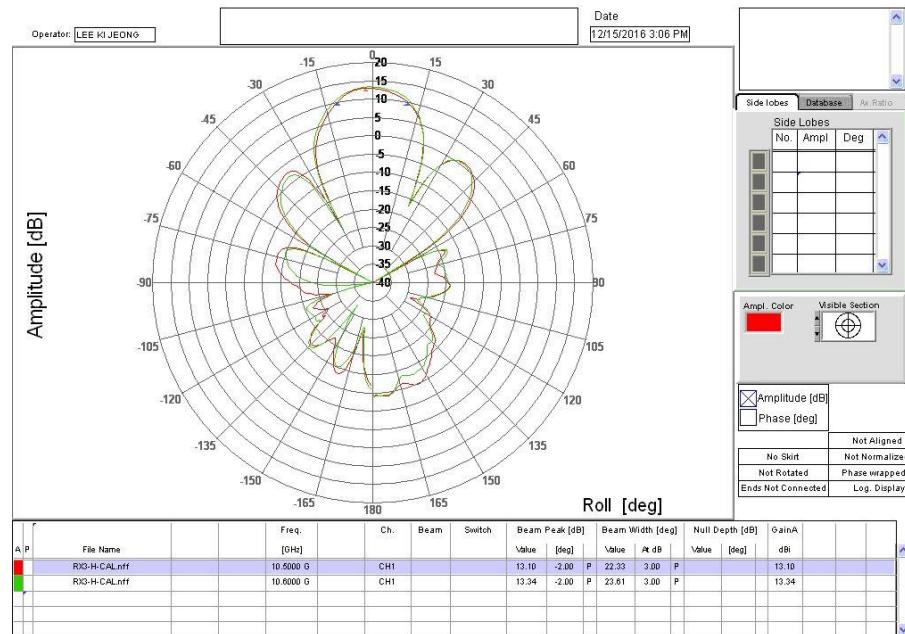


그림 86 수신안테나-3(케이블포함) - 수평방사패턴 및 이득

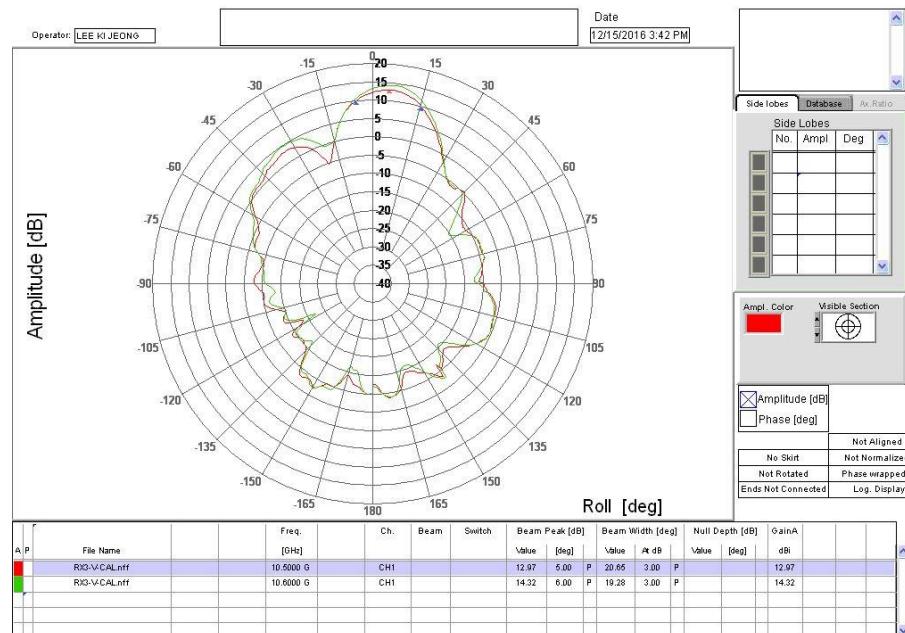


그림 87 수신안테나-3(케이블포함) - 수직방사패턴 및 이득

바. 수신안테나-4(케이블 포함)

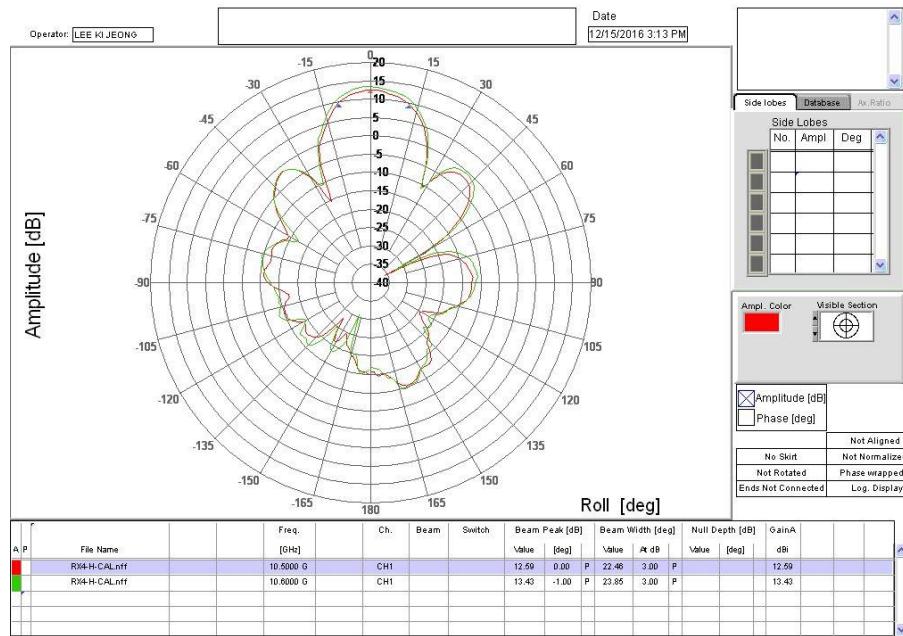


그림 88 수신안테나-4(케이블포함) - 수평방사패턴 및 이득

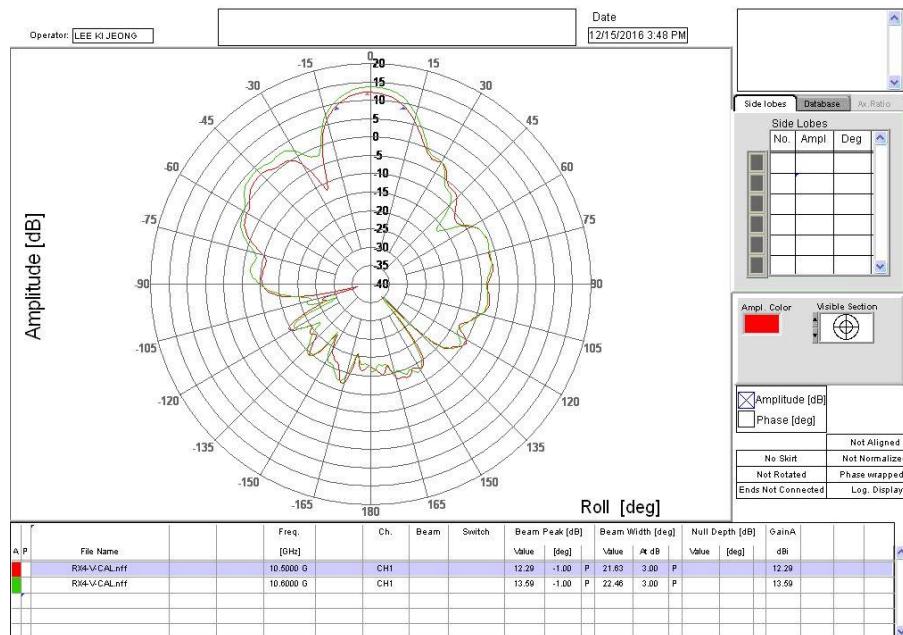


그림 89 수신안테나-4(케이블포함) - 수직방사패턴 및 이득

(2) EMI/EMC

시험 내역서

시 험 의 회 인	등록번호	318-81-02403	문서번호	KER16-D-093			
	업체명	(주)유월시스템즈	발급일자	2016-12-19			
	회사주소	대전광역시 유성구 은천로 59, 동아벤처타워 1307	담당자	조재숙 이사			
	대표이사	이종필	담당자e-mail	jw_cho@uwsys.com			
	전화번호	*****	핸드폰번호	*****			
	FAX번호		기타정보				
세금계산서 e-mail		세금계산서 발행일자					
시험일정	시험일자	2016-12-14, 12-19(2일간)	시험담당자	한동수 주임			
시험장비	시험장비 제조사 제품명 제작번호 제작일 제작장소	도플러 레이더 센서 □ 정부검사, □ KOLAS, □ 비공인, ■ 자체 시험(개발 및 사후관리), □ 기타(과제, 자체 인증 등) 1 set					
구분	적용규격	MIL-STD-461F					
	적용항목	RE102					
	장비구분	■ 일반장비류, □ 발전기 및 엔진류, □ 차폐효과(설비), □ 차폐율(소재), □ 기타(설비 성능 등)					
세부내역	구분	일자	일수/부	시간	단가	금액	
	주간/휴일/연/야	2016-12-14	1		₩ 1,800,000	₩ 1,800,000	
	주간/휴일/연/야	2016-12-19		4	₩ 300,000	₩ 1,200,000	
	시험성적서	일반		1	₩ 200,000	₩ 200,000	
	소계					₩ 3,200,000	
	부가가치세					₩ 320,000	
총계					₩ 3,520,000		
<p>* 시험비용은 1일 8시간 기준이며, 연장(18시 이후)은 1.5배, 야간(22시 이후)는 2배가 적용됩니다. 주말과 휴일 시험비용은 평일의 1.5배가 적용됩니다.(연장: 1.5배/주말, 야간: 2배/주말) * 시험 5일전 취소는 해당사항이 없으며, 시험 3일전 취소는 50%, 시험 진행 중 취소는 100% 청구됨을 알려드립니다. * 시험수료는 시험 종료 후 7일이내 현금결제를 원칙으로 하며 입금 확인 후 성적서를 발송해드립니다. 빠른 업무진행을 위해 협조 부탁드립니다. 신한은행: 140-010-253903, (주) 한국전자파연구소</p>							
(주)한국전자파연구소 / 314-86-10610 / 전화 : 042)825-9988 / 팩스 : 044)863-9812 / 세종특별자치시 연동면 원합강1길 50							
특이사항				결제	검토	심의	확정
				/	/	/	/

시험 보고서



(주)한국전자파연구소
Korea Electromagnetic Research
세종특별자치시 연동면 명학리 명학일반산업단지10-2 (우)339-863,
Tel : +82-42-825-9988, Fax : +82-44-863-9812

관리번호 : KER-2016-RPT-008
페이지(1)(총 11)

1. 의뢰자

- 기관명 : (주)유원시스템즈
- 주소 : 대전광역시 유성구 온천로 59, 동아벤처타워 1307
- 의뢰일자 : 2016년 12월 14일

2. 시험대상 품목 : 휴대용 레이더 센서

3. 시험기간 : 2016년 12월 14일 , 2016년 12월 19일 (2일간)

4. 시험방법 : MIL-STD-461F, 10 December 2007 Requirements For The Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment

5. 시험결과

「시험결과 2. 시험 결과 요약」 참조

확인	시험 작성자
	성명 : 전우석

본 보고서의 시험결과는 상기 신청인으로부터 제공된 시험품에만 적용되며, 본 문서를 성적서의 용도로 사용할 수 없음. (본 문서는 제품의 경향 및 상태파악을 위한 시험의 결과물로서 당 시험소는 시험결과를 다음과 같이 제시하지만 그 결과의 책임을 보증하지 않음.)

2016 . 12 . 26 .

시험 보고서(Test Report)

페이지 (2)/(총 11)

1. 시험 개요 및 목적

본 시험은 "휴대용 레이더 센서"의 전자기적합성(Electromagnetic Compatibility) 요구조건, MIL-STD-461F에 대한 적합 여부를 입증하는데 목적이 있다.

- 관련 규격서 : MIL-STD-461F, 10 December 2007

Requirements For The Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment

2. 시험 결과 요약

표1. 시험 결과 요약

■ : 해당사항 있음 / □ : 해당사항 없음

시험항목	검출 범위	결과	측정불확도	비고
RE102	10 kHz ~ 18 GHz	※ 시험결과 참조	3.20 dB	-

※ 측정불확도 (신뢰수준 약 95 %, k=2)

(주)한국전자파연구소

시험 보고서(Test Report)

페이지 (3)/(총 11)

3. 일반사항

3.1. 시험대상기기(Equipment Under Test, 이하 EUT라 함) 개요

3.1.1. EUT 외부 형상



그림 1. EUT 정면 형상

3.1.2. EUT 기능, 제원, 구성 및 운영 모드

3.1.2.1. EUT 기능

휴대용 레이더 센서는 군에서 사용하는 레이더기술을 응용한 제품으로 클럽의 움직임에서부터 공의 랜딩까지 추적하여 측정한 데이터를 분석함으로써 최고의 정밀도 구현이 가능하고 장소에 구애받지 않고 설치 및 이동이 간편한 것이 특징이라고 할 수 있으며, 골프 클럽과 골프공의 움직임에 따른 위치, 속도, 회전량 등의 골프공의 역학적 파라미터 값을 추출하는 장치이다.

3.1.2.2. EUT 제원

표2. 제원표

구 분	세부내용		비 고
품 명	휴대용 레이더 골프구질 분석시스템		-
모델명	휴대용 레이더 센서		-
크 기	266(W) x 305(H) x 50(D)		단위 : mm
전원 사양	전압	DC 9V	내부 배터리 사용
	전류	1.5A	내부 배터리 사용
무 계	2.4kg		-
제조사	(주)티디지		-
제조년월	2016.12.01		-

(주)한국전자파연구소

시험 보고서(Test Report)

페이지 (4)/(총 11)

3.1.2.3. EUT 구성

표3. 구성 품목

구성품	기 능	수 량	비 고
안테나	RF 송신신호 방사	1	-
RF 송수신 모듈	RF신호 생성 증폭, RF신호 수신 및 하향 변환	1	-
제어 / 신호처리모듈	RF 송수신 모듈 제어, 신호처리	1	-
전원모듈	전원공급	1	-

3.1.2.4. EUT의 운용 모드

표4. 운용 모드

구 분	모 드	선정근거
EMI	■ 시험 운용 모드	의뢰사 선정
비고	휴대용 레이더 센서의 운용은 내부에 장착된 배터리의 전원이 ON되면 모든 구성품들에 전원이 인가 된 후, RF 통신 포트에 50 Ω 터미네이션을 적용하여 운용.	

(주)한국전자파연구소

시험 보고서(Test Report)

페이지 (5)/(총 11)

3.2. 시험 구성도(Setup)



그림 2. 시험구성 블록도

(주)한국전자파연구소

시험 보고서(Test Report)

페이지 (6)/(총 11)

- EUT 설치 방향 : EUT 정면을 향하는 방향

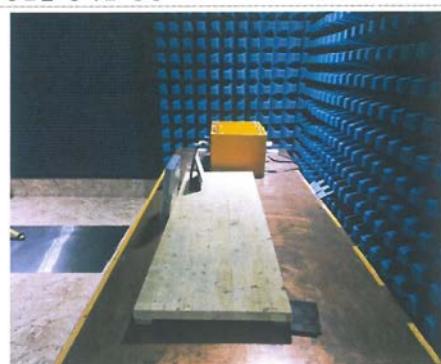


그림 3. 시험구성 윗면 사진



그림 4. 시험구성 정면 사진



그림 5. 접지

※ 접지는 EUT에 편조선을 체결하여 접지함.

(주)한국전자파연구소

시험 보고서(Test Report)

페이지 (7)/(총 11)

3.3. 차폐 조건

- 메인보드 차폐함 제작 후 차폐 적용
- 후면 개구부 차폐 적용
- 배터리 알루미늄 호일 차폐 적용

3.4. 시험방법 변경 사항

- 송신 포트에 50 Ω 적용

3.5. 제품(부품/회로) 수정 사항

- N/A

3.6. 기타사항

- EUT와 GROUND 접지 적용
- 전원선 코어 2턴 적용

4. RE102 시험

4.1. 개요

(주)한국전자파연구소

시험 보고서(Test Report)

페이지 (8)/(총 11)

4. RE102 시험

4.1. 개요

- 4.1.1. 전기/전자 기기가 잠재적으로 다른 장비에 간섭을 일으킬 수 있는 방사된 모든 신호를 측정한다.
4.1.2. 시험주파수 범위 : 10 kHz ~ 18 GHz

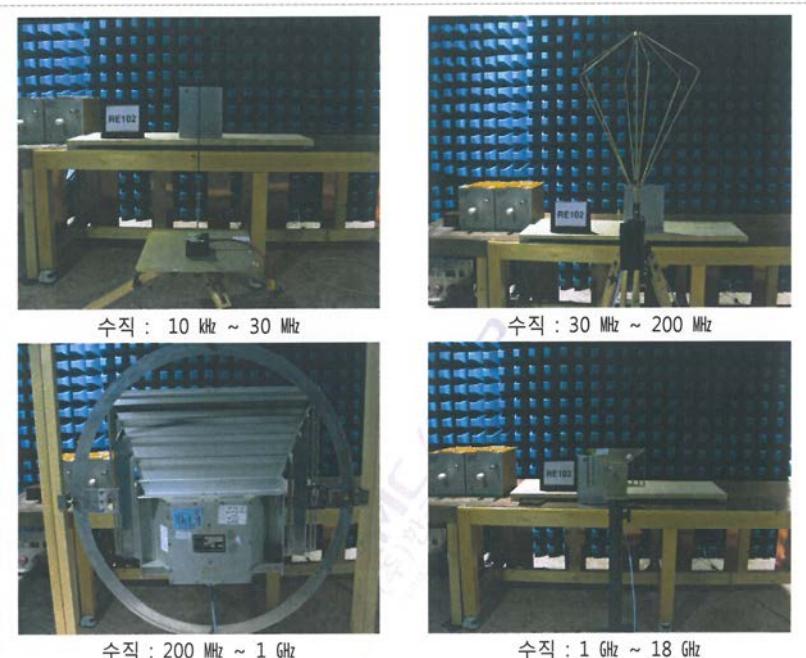


그림 6. 시험사진

(주)한국전자파연구소

시험 보고서(Test Report)

페이지 (9)/(총 11)

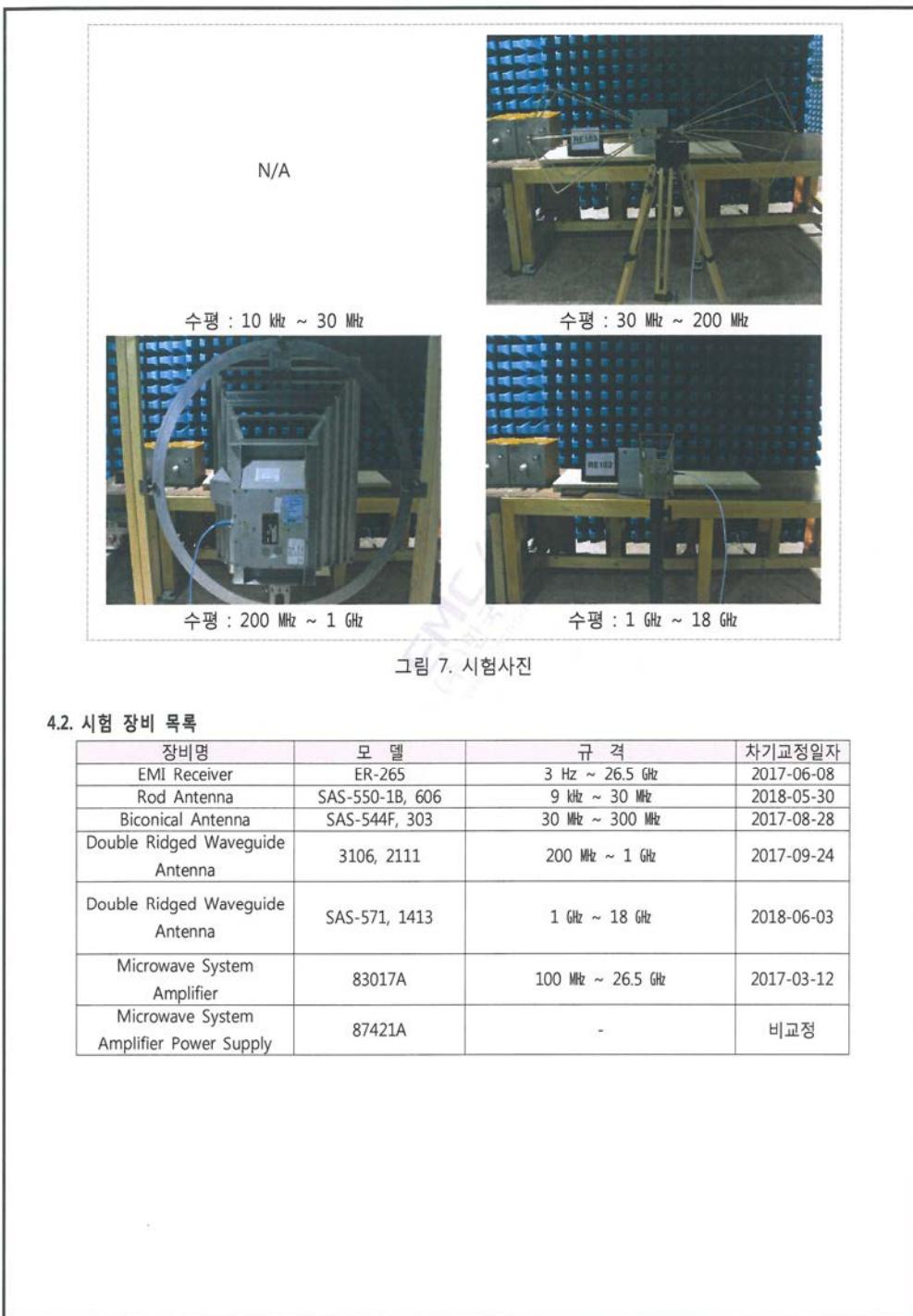


그림 7. 시험사진

4.2. 시험 장비 목록

장비명	모델	규격	차기교정일자
EMI Receiver	ER-265	3 Hz ~ 26.5 GHz	2017-06-08
Rod Antenna	SAS-550-1B, 606	9 kHz ~ 30 MHz	2018-05-30
Biconical Antenna	SAS-544F, 303	30 MHz ~ 300 MHz	2017-08-28
Double Ridged Waveguide Antenna	3106, 2111	200 MHz ~ 1 GHz	2017-09-24
Double Ridged Waveguide Antenna	SAS-571, 1413	1 GHz ~ 18 GHz	2018-06-03
Microwave System Amplifier	83017A	100 MHz ~ 26.5 GHz	2017-03-12
Microwave System Amplifier Power Supply	87421A	-	비교정

(주)한국전자파연구소

시험 보고서(Test Report)

페이지 (10)/(총 11)

4.3. 초기 시험 결과

4.3.1. 수직 편파

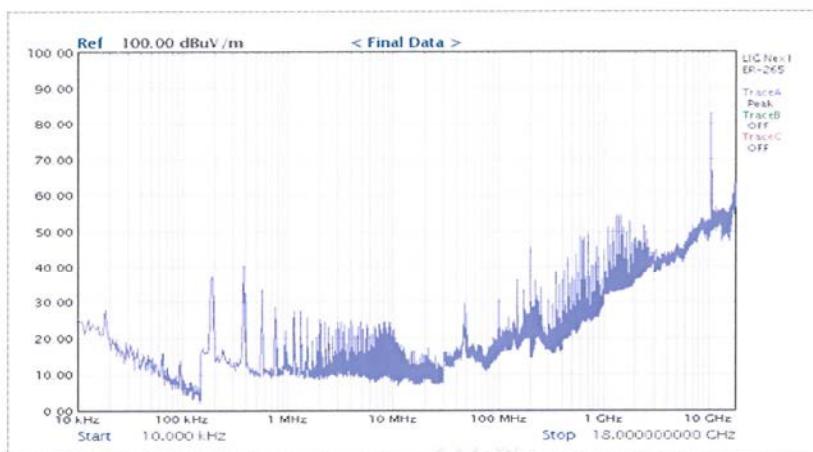


그림 8. 수직 편파 측정 그래프

4.3.2. 수평 편파

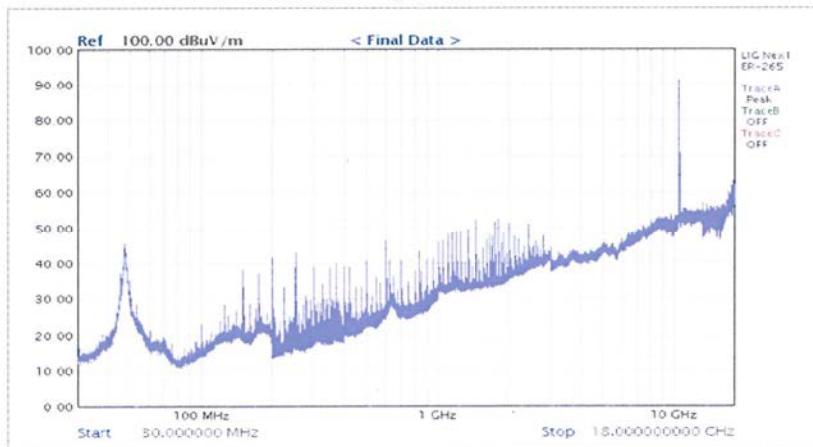


그림 9. 수평 편파 측정 그래프

(주)한국전자파연구소

시험 보고서(Test Report)

페이지 (11)/(총 11)

4.4. 디버깅 후 시험 결과

4.4.1. 수직 편파

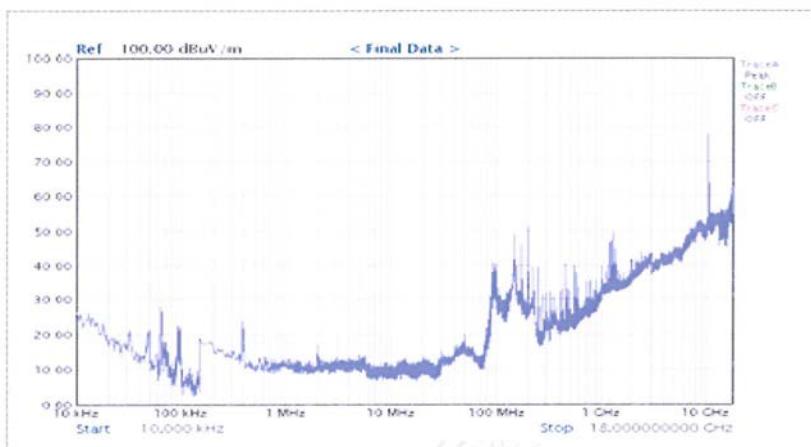


그림 10. 수직 편파 측정 그래프

4.4.2. 수평 편파

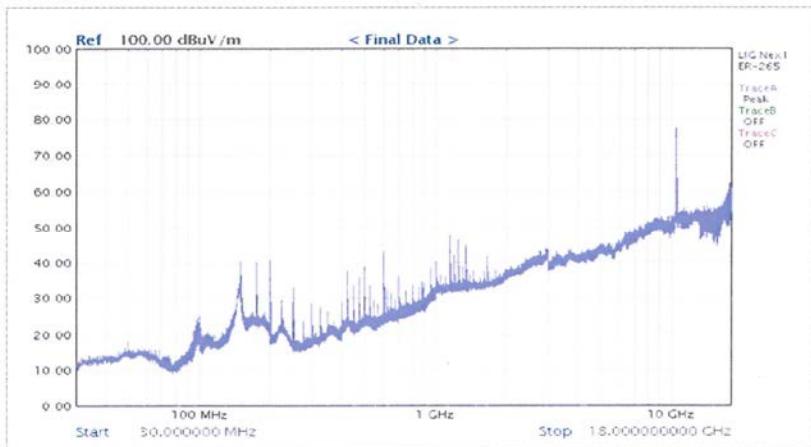


그림 11. 수평 편파 측정 그래프

끝.

(주)한국전자파연구소

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

※ 연도별 연구목표 및 평가착안점에 입각한 연구개발목표의 달성도 및 관련분야의 기술발전에의 기여도 등을 기술

1절 정량적항목 성과지표

성과 항목	성과 지표		성과목표	실적	달성도	가중치 (0~1)	비고
			1년차				
1. 논문	-학술지 게재 논문건수	국내	1건	1	100	0.1	
2. 포상	-						
3. 연구 성과확산 노력	-						
4. 특허	-특허출원 건수	국 내	1건	1	100	0.1	
	-디자인 건수(의장)		1건	1	100	0.1	
	-소프트웨어(S/W) 등록 건수		1건	1	100	0.1	
5. 기술거래	-						
6. 실용화 및 상용화	-시제품 출시 건수		1건	1	100	0.2	
	-사업화/제품화 건수		1건	1	100	0.1	
	-안전 및 성능기준 확보		1건	1	100	0.1	
9. 산업발전효과	-						
10. 기술선진화	-기술수준 향상도		95%	95	100	0.1	
20. 산학연협력	-						
21. 국제공동연구	-						
22. 별도 추가 항목	-고용창출		2명	2명	100%	0.1	

2절 제작항목 성과지표

사업 수행 항목	최종 목표치	실적	달성도	가중치 (0~1)	비고
안테나 제작	제작	완료	100%	0.08	
RF송수신 모듈 제작	제작	완료	100%	0.1	
제어 및 신호처리모듈 제작	제작	완료	100%	0.1	
파라미터 추출 알고리즘 제작	제작	완료	100%	0.1	
전원모듈 제작	제작	완료	100%	0.02	
운용소프트웨어, GUI 제작	제작	완료	100%	0.05	
구질분석 알고리즘 제작	제작	완료	100%	0.1	
Trajectory Optimizer 알고리즘	제작	완료	100%	0.1	
구질 전시 3D 엔진	제작	완료	100%	0.05	
스윙 전시 3D 엔진	제작	완료	100%	0.05	
자료저장, DB 구축 모듈 제작	제작	완료	100%	0.05	
시스템 성능테스트	시험	완료	100%	0.2	

제5장 연구개발결과의 활용계획

※ 타 연구에의 응용, 사업화 추진방안, 추가연구의 필요성 등을 기술

1절 활용방안

1. 활용분야 및 활용방법

기존 센서 방식 보다 과학적이고 정확한 레이더센서 방식의 골프 구질분석 시스템을 국내기술로 개발하여 보급함으로서 수입 대체 효과를 얻고 과학적이고 정확한 골프 구질 분석을 바라는 골프 스포츠 산업 및 불과 타격, 발사체가 있는 모든 스포츠에 활용 할 수 있다.

가. 골프 스포츠 산업

(1) 골프 피팅 산업.

(주)티디지가 개발한 클럽 측정 복합장비 및 FMS프로그램과 연계하여 실측에 의한 골프공 구질 데이터로 골프클럽 맞춤 시스템을 구성하여 손쉬운 클럽 피팅이 가능 하여 골프 클럽 피팅 산업 활성화에 활용한다.

- (가) 과학적이고 정확한 골프 구질 분석을 통해 생산성 증대
- (나) 객관적인 데이터 제공을 통해 소비자의 신뢰 확보 증대
- (다) 피팅 마스터 프로그램과 연동하여 피팅 제작시방서를 제공하여 결과 적용 및 재 분석이 가능하여 소비자에게 즉각적인 클럽 제작 및 제공 가능
- (라) 골프 클럽 매장에서 피팅 마스터 프로그램과 연동하여 고객에 맞는 기성 클럽을 추천하여 고객 만족 서비스를 제공하는데 활용

(2) 골프 연습장

포화 상태인 오락성 위주의 스크린 골프 및 연습장을 업그레이드 시킬 수 있는 차별화된 서비스 제공 및 시장 개척

- (가) 과학적이고 정확한 골프 구질 분석을 통해 스크린골프 레슨 서비스 제공
- (나) 스크린 골프 레슨 서비스를 통해 손님이 없는 주간 시간대에 골프 레슨을 병행하여 수익 창출 기대
- (다) 스크린골프를 게임을 즐기면서 플레이어의 구질 분석 저장 및 체계화된 분석 데이터를 제공하여 연습효과 증대

(3) 개인 휴대 및 이벤트 진행

- (가) 휴대가 용이하고 설치가 간단하여 건물 옥상등의 개인 타구 연습시설에서 사용가능
- (나) 휴대성을 이용하여 골프장이나 호텔 등의 이용객을 위한 이벤트 진행

(4) 골프선수 트레이닝 및 교육에 활용

(가) 실내 및 실외에서 정확한 구질 분석 데이터를 바탕으로 골프 꿈나무 및 프로선수, 국가대표 등을 대상으로 트레이닝 및 교육에 활용하여 보다 정교하게 스윙을 교정하고 효율적으로 교습이 이루어 질 수 있도록 활용

나. 기타 스포츠 산업에 기여

(1) 야구 스포츠 산업

- (가) 스크린 골프 연습장과 같은 오락성이 추가된 스크린 야구 산업에 활용
- (나) 기술 지도를 위한 배트 스윙 분석, 볼 구질 분석 산업에 활용
- (다) 야구 용품 제조사의 야구 용품 성능 검증에 활용

(2) 양궁 연습장

- (가) 스크린 골프 연습장과 같은 오락성이 추가된 스크린 양궁 산업에 활용
- (나) 양궁 레슨 및 트레이닝에 활용

(3) 기타

- (가) 테니스 등

2. 기대성과

가. 기술적 성과

- (1)레이더센서 방식의 골프 구질분석 시스템 개발 기술 확보
- (2) 과학적이고 정확한 골프 구질분석 시스템 기술 확보
- (3) 골프 구질분석 시스템을 활용한 클럽 피팅 기술 확보
- (4) 휴대 및 설치가 용이한 골프 구질 분석 시스템과 솔루션 확보
- (5) 자동차세제어(타구 기준선 정렬) 기술 확보
- (6) 지적 재산권 및 프로그램 인증을 통한 지식기반 영역 확보
- (7) 레이더센서 집적화 기술 확보
- (8) 구질 분석 알고리즘 확보

나. 경제·산업적 성과

과학적이고 정확성이 우수한 골프 구질분석 시스템 개발을 통해 기존 스크린골프와 같이 연습과 게임을 즐기면서 분석된 자료를 바탕으로 골프레슨 및 클럽피팅 분석이 가능한 새로운 형태의 업그레이드된 스크린골프 및 연습장 시장 개척과 일자리 창출

시장 분류	판매단가 (천원)	예상 연간 판매량(개)	예상 판매 기간(년)	예상 총 판매 금(천원)
골프피팅샵	8,000	100	3	2,400,000
골프연습장	8,000	250	3	6,000,000
개인연습장	8,000	50	3	1,200,000
국외시장	10,000	100	3	3,000,000

[표22 시장분류 별 예상 성과]

- (1) 기술 국산화를 통한 외산 장비 수입 대체
- (2) 외산장비 대비 저렴한 제품개발로 레이더센서 방식 골프 구질분석 시스템 사용 골프 산업 증대
- (3) 분석된 결과를 피팅 시방서에 반영하여 피팅의 객관성 및 정확성을 높여 피팅 산업 생산성 향상
- (4) 객관적이고 정확한 구질분석을 통한 골프 인구의 실력 향상 및 즐거움 증대
- (5) 설치용이 및 유지보수 비용 감소를 통한 스크린골프 및 연습장 지출 감소
- (6) 국산장비의 시장 확대 및 해외 전시회 참가를 통한 제품 수출
- (7) 야구, 양궁, 테니스 등 다양한 타구 및 발사체 구질분석 산업으로 확대

3. 사업화 계획

가. 사업화 전략

구 분		연구개발중	연구개발 종료이후
개발기술명		골프구질 분석 시스템	골프구질 분석 시스템
국 내	매출목표(건)	-	1500
	국내매출액(백만원)	-	1,2000
해 외	대상국가	-	미국, 중국, 일본
	매출목표(건)	-	300
	해외매출액(백만\$)	-	3
산출근거 및 평가방법		-	종료이후 3년간 현황, 기간매출평가

(1) 제품설계 : 주요 핵심 기술 및 차별화 전략

기존의 국내 개발된 골프 구질 분석 장비는 골프공의 움직임을 끝까지 추적하지 않고 골프 클럽과 볼의 움직임이 센서가 위치한 공간을 통과하는 순간의 자료만을 가지고 구질을 분석하기 때문에 정확도가 떨어진다. 외산 레이더 방식의 골프 구질분석 장비는 성능이 우수하나 비용이 비싸고 소프트웨어 라이센서 개선 등의 유지비용이 많이 발생하는 단점이 있다. 본 과제를 통해 개발되는 개발품은 레이더 방식의 골프 구질분석 시스템으로 성능이 우수하며 안테나 및 RF 송수신 모듈이 인쇄회로기판에 직접화되어 휴대성 및 설치가 용이한 제품이

다.

(가) 정확성이 우수한 새로운 방식의 골프 구질 분석기 개발

- ① 군에서 사용하는 발사체 추적 기술을 기반으로 클럽의 움직임부터 볼의 론칭, 비행, 랜딩의 순간을 측정하여 정확성을 개선
- ② 4개 이상의 평면 배열안테나를 이용하여 볼의 탈출각(고각, 방위각) 및 클럽의 어택 각등의 측정의 정확성을 개선
- ③ 예측이 아닌 측정된 데이터를 이용하여 구질 분석 파라메타를 추출하여 구질 분석 및 전시의 정확성을 개선

(나) 휴대 및 설치가 용이한 제품 개발

- ① 기울기센서, 자세제어 모듈 및 자세제어 알고리즘 개발을 통해 이동 설치 시 쉽고 정확한 타겟 정렬이 가능한 제품 개발
- ② 충전모듈 개발 기술을 통한 연결선이 필요 없는 설치 환경을 제공해주는 제품 개발
- ③ 정확한 구질분석을 위한 설치를 쉽고 빠르게 수행할 수 있어 장소에 구애받지 않고 언제 어디서나 정확한 구질분석이 가능한 제품 개발
- ④ 휴대 및 야외 사용을 위한 내구성 및 생활방수가 되는 케이스 제작
- ⑤ 외형 디자인 금형 제작을 통해 타사제품보다 슬림하고 심플한 형태의 제품으로 제작 할 예정

(다) 다양한 환경요건을 충족하는 골프 구질 분석 소프트웨어 개발

- ① 평지뿐만 아니라 경사면에서의 랜딩 및 비거리 등의 영향을 반영한 구질 분석 엔진 및 3D 전시엔진 개발
- ② 20가지 이상의 구질 분석 파라미터 추출 알고리즘 개발

(라) 클럽 피팅을 위한 클럽 피팅 연동 소프트웨어 모듈 개발

- ① 주관기업이 보유한 피팅마스타 시스템과 연동되어 객관적이고 정확한 클럽을 피팅해 주는 클럽 피팅 연동 소프트웨어 모듈 개발



[그림 67] 피팅 마스터 시스템 연동결과

화면 기획서

(2) 제품개발 계획

(가) 요구사항 분석 및 자료 조사

주관기관인 (주)티디지에서 오랜 실무 및 개발 경험을 바탕으로 실제적이고 기술적으로 잘 정의된 전체 요구사항 및 스펙을 도출한다.

(나) 제품설계 및 Protocol 설계 개발

① 요구사항을 기초로 각 HardWare 및 Software Module의 상세 설계를 수행한다. 시스템 설계시 UML(Unified modeling language) 모델링과 같은 표준적인 모델링 기법을 이용하여 개발자간 시스템 인식차를 최대한 줄인다.

② 신호처리알고리즘부의 처리속도를 높이기 위해 가능한 처리속도가 빠른 디지털 신호 처리프로세서를 활용하거나 대용량의 FPGA(Field Programmable Gate Array)와 DSP(Digital Signal Processor)를 사용하여 실시간처리가 가능하며, 원가를 낮출 수 있도록 하드웨어를 활용할 수 있게 개발한다.

(다) 하드웨어 모듈 성능 검증 및 테스트

① 정확한 골프 구질 분석을 위한 실외 현장 테스트를 강화하고 기존 제품과 성능 비교 분석을 통한 제품성능 확보를 위한 롱런 테스트를 실시한다.

② 고주파 무선주파수 부분의 가격경쟁력을 위해 소형, 경량화가 필요하며 이를 위해 1개의 단일모듈 타입의 초고주파 무선 송수신부를 개발한다.

(라) 소프트웨어 모듈개발

① 각 모듈 개발 시 최적화된 성능 확보를 위해 Unity C#을 이용하여 최적화된 코드를 작성한다.

② 개발 중 버그 발생을 최소로 줄이기 위해 Unit Test를 강화하고 다양한 테스트를 실시하여 버그를 최소로 줄여 나간다.

(마) 시스템 품질평가 확인 방안 확립

① 요구사항과 시스템 설계 문서를 기초로 품질 평가 방안을 수립한다.

② 품질 평가 요소로는 기본 기능 단위 테스트, Work Flow Test, Long Run Test, 장애대응 테스트로 구분하여 평가 요소를 작성한다.

(바) 품질평가

① 소프트웨어 품질평가

ⓐ 제품평가분야, 프로세스평가분야, 품질시스템 구축 분야로 진행

ⓑ 국제 표준화 ISO, IEEE

ⓓ 국내 표준화 KS(기술표준원)

① Q마크 인증 (한국기계전기전자시험연구원)

ⓐ 국제적인 제품시험, 검사기준에 부합하는 품질보증검사기준에 의하여 그별 성능평가 및 안전성 평가를 거친 개발된 시제품을 이용하여 품질 평가 요소를 적용한 시제

품 성능 평가를 실시한다. 시제품 품질 평가 시 오류 및 문제는 이슈 이력 관리를 수행한다.

(사) 과제 후 고도화 및 마케팅 전략

- ① 최신 시스템 유지를 위한 지속적인 추가 성능 개선을 통해 업그레이드 실시
- ② 시장 확대에 맞춰 설비 투자 및 양질의 신규 인력을 투입하여 사업의 성장과 더불어 일자리 창출에 기여
- ③ 프랜차이즈 형태의 사업(골프 퍼포먼스 센터-골퍼를 위한 토탈 솔루션 컨설팅)을 추진하여 본 과제 제품으로 다양한 판로 및 마케팅 확보
- ④ 해외 시장 진출을 위한 국제 골프박람회 참가

(3) 신뢰성 (Reliability) 인증 확보 계획

개발될 시스템에 대한 성과 측정을 위해 사내 감리전문가를 단계별로 초빙하여 서비스 성과를 평가하고, 형상항목별 특성에 의한 평가를 실시하여, 이를 정량화해 체크리스트를 구성하여 체계적 측정을 수행한다. 실제 각종 시험평가 항목과 체크리스트는 품질설계를 통해 작성되며, 당 천소시엄 협의체를 통해 개발 산출물에 대한 적용여부를 결정한다.

(가) 요소별 품질보증방안

시험데이터	품질평가	결과산출	체크리스트
<ul style="list-style-type: none">• 시험단계 시험결과 활용• 개발단계별 체크리스트 활용	<ul style="list-style-type: none">• 체크리스트에의 한 평가• 외부감리전문가 초빙하여 성과/평가/관리	<ul style="list-style-type: none">• 각 특성별 계산 실적측정 결과 종합계산 결과는 진도관리와 연계	<ul style="list-style-type: none">• 체크리스트 적용 시험 단계• 시험도구 활용• 체크리스트 활용

(나) 제품신뢰성 확보를 위한 인증규격 획득 방안

- ① 전문적인 신뢰성 시험기관(전자부품연구원, 한국기계전기전자시험연구원, 국가기술표준원 등)에서 품질인증, 안전인증, 전자기장 인증 등 신뢰성 시험을 수행한다.

② 온도시험(항온항습기)

저온시험, 고온시험, 온도변화시험, 고온고습시험, 온도변화시험(열충격)

IEC 60068, KS C 등

- ⓐ 상온(25°C)에서 30분간 시료 동작시험 수행
- ⓑ 2시간 동안 70°C 로 상승시킨 후 30분간 시료 동작시험 수행
- ⓒ 2시간동안 상온으로 변경한 후, 30분간 시료 동작시험 수행

- ④ 2시간동안 -20°C 로 변경한 후, 30분간 시료 동작시험 수행
- ⑤ 2시간동안 상온으로 변경한 후, 30분간 시료 동작시험 수행
- ③ 진동시험 IEC60068-2-57, IEC60068-2-64 외
 - ⓐ 진동피로시험: Mil-Std-883 Method 2005방식의 Test Condition A, Stress Level 20g로 할 예정
 - ⓑ 가변주파수 진동시험: Mil-Std-883 Method 2007방식의 Test Condition A, Stress 20g로 수행할 예정
- ④ 낙하시험
 - ⓐ 전도낙하시험, 자유낙하시험 등
 - ⓑ KSM7136: 중량 10kg미만 A1(높이: 80cm), A2(높이: 60cm), A3(높이: 40cm), A4(높이: 30cm)시험 실시 예정
- ⑤ 기타 환경 및 내구성 시험 실시 예정

(다) 제품 양산 계획

해당 기술개발 완료 후, 국내 시장에서의 입지 조기 구축 및 해외 시장 진출의 교두보를 확보하기 위해 신속히 관련 생산 및 설비와 관련된 투자 계획 수립 및 시행하고, 또한 사업의 진행에 따라 목표달성을 원활하게 이를 수 있도록 추가적인 투자를 치밀하게 준비하여 실행 하며 다음과 같은 단계로 추진한다.

단계	구분	내용	설명
1	개발단계	·설계품질(목표품질)결정	품질기능 전개를 통한 설계목표 품질 결정
2	양산 준비단계	· 설계품질의 명확화 · 공정도 · 작업표준서	
3	양산단계	· 부품품질 · 공정품질 · 제조품질	품질달성을 부품, 공정, 제조에 맞춰 체크하고 완성품 품질에 대하여 이상 발생시 관련부문에 피드백하여 품질 유지관리 및 개선활동 실시

(라) 판로확보 및 마케팅 계획

- ① 개발종료와 동시에 주관기관인 (주)티디지 본사와 대리점을 Reference site로 구축하여 본 개발 제품의 우수성과 사용의 편의성 검증을 통한 시장 확대
- ② 유통망 확대를 통한 소비자 접근성 제고
 - ⓐ 온라인 마케팅
 - 자체 홈페이지 활용
 - 온라인 쇼핑몰, 기존 SNS(블로그, 카페, 페이스북 등)을 활용한 마케팅

④ 전용매장의 활성화

③ 관련시장 업종별 진출전략 및 마케팅 방안

ⓐ 전국 1700여개 피팅·골프샵

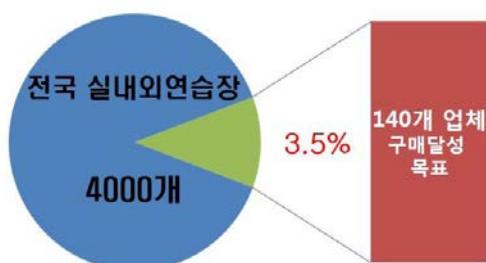
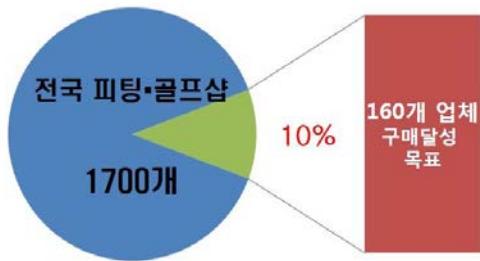
- 고가의 외산장비로 인해 분석 장비를 갖추고 판매중인 업체는 35%에 미치지 못하며, A/S에 대한 불편함으로 구입을 주저하는 상황
- 골프 구질분석을 통한 클럽제작 및 판매로 차별화 유도
- 분석 장비가 없는 피팅샵 (300여 개) 중 50%가 800만 원대의 분석장비가 나온다면 구매하겠다는 의사를 밝혔으며 이들을 대상으로 구매프로모션을 통해 80개 업체 구매달성 목표
- 분석 장비가 없는 골프샵 (800여 개)을 대상으로 3개월 무료체험 프로모션을 통해 80개 업체 구매달성 목표

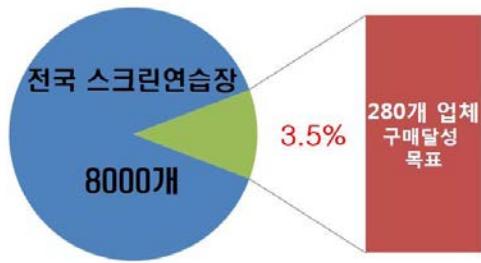
ⓑ 전국 4000개 실내외 연습장

- 3000개 실내연습장에서는 구질분석 없이 자세레슨만 제공하고 1000개 실외연습장 중 80% 이상이 길이 150m가 되지 않는 환경으로 정확한 구질분석이 어려움
- 골프 구질분석 시스템을 활용한 구질에 따른 레슨 차별화 유도
- 4000개 중 5%(15개 이상의 타석 및 300명 이상의 고정회원 보유)를 대상으로 렌탈 시스템 적용으로 이 중 40개 업체를 1차 고객으로 확보 목표
- 1차 확보고객에 타석 별 설치 유도로 추가 2차 판매를 100대로 목표

ⓒ 전국 8000개 스크린 연습장

- 이 중 50%가 차별성 없는 가격 경쟁심화로 경영난을 겪고 있음
- 골프 구질분석 시스템을 통한 골프피팅 샵인샵으로 차별화 유도
- 이 중 10%(10개 이상의 룸 운영 및 300명 이상 고정회원 보유)를 대상으로 3개월 무료체험 프로모션을 운영하여 제품의 인지도 확보 및 1차 고객으로 확보 계획
- 1차 확보 업체를 지역지사 모델운영 후





지역분할과 선발형식의 추가고객 200개
업체를 2차 고객으로 확보계획

- ④ 피팅 프랜차이즈 교육과 창업지원 프로그램을 통한 시장 확대 모색
- ⑤ 시장 세분화 (Market Segmentation)에 따른 시장별 시스템 구성으로 고객 지향형 가격과 기능 기반의 차별화 전략을 추진하고 주 타겟 공략
- ⑥ 보도자료 및 홍보자료 배포를 통한 인지도 향상
- ⑦ 전시회 참여를 통한 제품 홍보 마케팅(골프 전시회 참가)
- ⑧ 각종 인증 규격 획득을 통한 제품의 신뢰성 확보
- ⑨ 글로벌 진출 역량 강화
 - ⓐ KOTRA 해외사업 지원 시스템을 활용한 수출 활로 모색
 - ⓑ 주요 딜러를 대상으로 판매망을 구축
 - ⓓ 각종 전시회에 참여하여 제품 전시, 홍보 및 바이어 상담을 추진하고 주요 딜러를 대상으로 판매망 구축

나. 사업화 추진일정

세부 내용	사업화 추진일정									기타
	개발 완료	3개 월후	6개 월후	9개 월후	12개 월후	15개 월후	18개 월후	21개 월후	24개 월후	
개발완료										
양산개발 및 시험										
양산완료										
제품준비및생산										
박람회 출시		국내 골프 쇼			북경 쇼		올란 도쇼			
국내 판매망구축										
국내 제품 출시										
해외 판로 개척										
해외 제품 출시										

제6장 기술개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

없음

제7장 참고문헌

* 보고서 작성시 인용된 모든 참고 문헌을 열거

- [1] The Principle of the IR Sensor, <http://blog.naver.com/sonkim55/220286180197>, [Accessed: Sep. 10, 2016]
- [2] J. P. Lee, I. K. Rhee, and Y. H. Lee, "Implementation of Phase Controlled Target Signal Generator for Radar Test", Journal of KIIT, Vol. 12, No. 1, pp. 53-59, Jan. 2014.
- [3] J. S. Lim, "An Accurate Direction Finding Technology Using a Phase Comparison and Time Difference of Arrival", Jounal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society. Vol. 12, No. 11, pp. 5208-5213, Dec. 2011.
- [4] Richard Poisel, "Introduction to Communication Electronic Warfare Systems", Aeronautical Quarterly, Boston-London, Artech House, pp. 333-336, 2002.
- [5] K. S. Jin, C. H. Cheong, and B. W. Park, "Design of Sequentially-Rotated Antenna with Triangular Lattice", Journal of KEES, Vol. 11, No. 7, pp. 1282-1290, Oct. 2000.
- [6] S. U. Kim, A. R. Suh, K. C. Lee, and C. K. Kim, "Driver Carry Distance Comparison of Different Brand Golf Balls", Journal of Sport and Leisure Studies, No. 42, pp. 1107-1115, Oct. 2010.
- [7] 골프역학 역학 골프, 2010
- [8] T. P. Jorgensen, The Physics of Golf, 2nd ed., Springer-Verlag, 1999
- [9] P. W. Bearman and J. K. Harvey, "Golf Ball Aerodynamics", Aeronautical Quarterly, Vol. 27, No. 2, pp. 112-122, May 1976.
- [10] A. R. Penner, "The Physics of Golf: The Convex Face of a Driver," American Journal of Physics, 69(10), 2001
- [11] P. W. Bearman, J. K. Harvey, "Golf Ball Aerodynamics". Aero. Qtrly. 27, 1976, p.112-122.
- [12] J. M. Davies, "The Aerodynamics of Golf Balls". J. Appl. Phys., 20, 821, 1949.
- [13] D. Williams, "Drag Force on a Golf Ball in Flight and its Practical Significance," Quart. J. Mech and Applied Maths, 7, Pt.3, 1959
- [14] S. Aoyama, "A Modern Method for the Measurement of Aerodynamic Lift and Drag on Golf Balls," Science and Golf (ed. A.J. Cochran), E. & F.N. Spon, London, 1990, p.199-204
- [15] A. J. Smith, D. R. Smith, "A New Aerodynamic Model of a Golf Ball in Flight," Science and Golf II (ed. by A. J. Cochran and M. R. Farrally), E & FN Spon, London, 1994 , p.341-347

제8장 별도 첨부 자료

별첨 1_안테나 - 2page

별첨 2_RF 송수신 모듈 - 17page

별첨 3_제어 및 신호처리모듈 - 17page

별첨 4_이론CL 및 추정CD 실측데이터 상관관계 - 2page

별첨 5_BallFlightSimul_data - 12page

별첨 6_볼 비행 방정식 트랙맨 비교시험 - 10page

별첨 7_소스파일 - 99page

별첨 8_휴대용 골프구질분석시스템 측정결과 - 7page