제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "지상용 3차원 레이저 스캐너 사업화를 위한 기술개발 "과제의 최종보고서로 제출합니다.

2014. 10 . 31 .

주관연구기관명 : (주)이오시스템
주관연구책임자 : 정중연
연 구 원 : 김호섭
연 구 원 : 박상준
연 구 원 : 김 권
연 구 원 : 김현중
연 구 원 : 임창호
연 구 원 : 오동근
연 구 원 : 김길영
연 구 원 : 황병설
연 구 원 : 황선현
연 구 원 : 정용조
연 구 원 : 이준희
연 구 원 : 유승환
연 구 원 : 김진주
연 구 원 : 신대웅
연 구 원 : 황순휘
연 구 원 : 이진아
연 구 원 : 오성민
연 구 원 : 박승환

위탁연구기관명 : 광운대학교
위탁연구책임자 : 이건영
연 구 원 : 박진원
연 구 원 : 방재혁

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>12기촉-
사업화-11</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2012.8.31 ~
2014.7.31</td><td>단 계
구 분</td><td>1/1</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">건설교통기술사업화지원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위
과 제 명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4">지상용 3차원 레이저스캐너 사업화를 위한 기술개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>정중연</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 31명
내부 : 28명
외부 : 3명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 500,000천원
기업 : 350,000천원
계 : 850,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">(주)이오시스템
개발본부</td><td>참여기업명</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면
수</td><td></td></tr>
</table>

지상용 3차원 레이저 스캐너를 상용화하기 위하여 외국제품과 비교하여 동등이상의 성능을 확보하고 신뢰성 있는 제품을 개발하는데 그 목표가 있다. 또한 다양한 분야에 적용하기 위하여 사용자의 요구사항을 고려한 응용소프트웨어 개발도 병행한다. 이를 위하여 광학, 기구, 전자부분의 각 모듈별 부품 성능을 확보하여 상용화시 생산이 가능하도록 하였다. 레이저 스캐너의 구동부인 서보모터시스템은 모터 코어를 기반으로 회전축의 정밀도와 각도 정확도를 확보하기위해 각 공정을 개발 하였으며, 레이저 광학계는 공간분해능 향상과 레이저 효율을 최대한 반영하였으며, 저 전력화와 가격경쟁력을 확보하도록 개선 설계, 제작하였으며, 생산성을 고려한 각 모듈분리로 조립 조정이 용이하도록 설계하였고, 사용자의 편리성을 고려한 제품 경량화 및 응용소프트웨어도 개발하였다.

3차원 레이저 스캐너 개발 결과로 공간정보를 쉽게 취득하고, 점군 데이터를 소프트웨어 처리함으로써, 그 동안 간접측량에 의존했던 측량을 3차원 레이저 스캐너 활용으로 직접측량함으로써 시공의 정확성과 측정 데이터 DB화로 사후 관리는 물론, 사회 안전망과 연계한 여러 분야에서 활용 될 것이다.

본 연구결과물은 핵심요소기술을 국산화하여, 상용화시 제품의 경쟁력은 물론 관련 부품 산업에도 기여 할 것으로 판단되며. 수입 장비를 대체하여, 성능대비 가격을 낮추어, 신 시장 개척은 물론 기존 측량기 시장을 대체하여 산업분야의 한 축을 담당 할 것으로 기대 된다.

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	측량, 3차원 공간 데이터, 레이저 거리 측정기, 모터 제어, 3D 모델
	영 어	Surveying, 3D spatial data, Laser range finder Servo motor control, 3D modeling

요 약 문

Ⅰ. 제 목

본 과제는 건설교통기술 사업화지원 일환으로 선행 연구된 레이저 스캐너 핵심 기술을 바탕으로 사업화를 위한 “지상용 3차원 레이저 스캐너 사업화를 위한 기술 개발”로 경쟁력 확보를 위해 시장 조사 및 고객의 요구사항을 반영하고, 핵심 부품국산화로 경쟁력 있는 제품을 개발하고자 한다.

Ⅱ. 연구개발과제 개요

1. 연구개발 목적 및 필요성

최근에 국내외에서 다양한 분야에 3차원 공간정보 기술에 대한 접목이 시도되고 있다. 3D 영화와 같은 콘텐츠산업, 스테레오 카메라와 같은 영상 및 로봇 등 여러 분야에 3차원 공간정보 기술이 적용되고 있다. 특히 3차원 공간정보 구축을 통한 3차원 모델링이 활성화되고, 지상용 3차원 레이저 스캐너는 디지털지상사진측량을 결합하여 건축물의 모델링과 지상라이다를 이용한 건물의 정밀 모델링, 구조물의 변위 계측을 위한 지상라이다의 정밀도 분석과 철골 보의 안전 및 사용성 모니터링을 위한 변위 계측기법 등에 활용되고 있다. 또한 암반사면과 댐체의 특성 및 안정성 평가를 통한 모니터링 분야, 그리고 문화재 분야에서 문화재 복원, 안전진단, 정밀실측, 보수보강, 데이터베이스 구축, 도면복구 및 동굴 문화재에도 활용되고 있으며, 골프장, 건설공사 등의 설계분야에서도 운영되고 있다.

지상용 3차원 레이저 스캐너는 그 활용범위가 점차 확대되고 있으며 향후에는 3차원 분야의 핵심장비로 자리를 확고히 할 것이다. 그러나 현재 출시된 제품들은 모두 외국제품으로 고가이며 다양한 분야에 적용되기에는 응용분야 특성에 따른 하드웨어나 소프트웨어 변경이 어려우며 현장 요구사항을 제품에 즉시 반영할 수 없다. 따라서 현재 보유하고 있는 국내기술을 적극 활용하여 사업화한다면 이러한 문제점들을 해결하고 좀 더 많은 분야로 확대가 가능할 것으로 사료된다.

2. 개발 범위

가. 기술 및 시장 조사를 통한 개발 사양 결정

■ 기술 자료와 해외 전시회 참관으로 기술 개발 동향 파악

■ 경쟁사 제품의 벤치마킹을 통한 핵심역량 파악과 경쟁 우위 전략 수립

■ 수요처별 요구사항 파악

나. 핵심 부품 개발

■ 가격 경쟁력, 신뢰성에 영향을 미치는 부품 국산화 추진

■ 생산성을 고려한 공정 및 관련 치 공구 개발

다. 시제품 설계, 제작

■ 광학 렌즈 및 기구 설계 제작

■ 전자 회로 설계 제작 및 성능

■ 모듈단위 성능 평가

라. 최종 시제품 제작 및 평가

■ 모듈제작 및 시스템 통합(광학, 하드웨어, 소프트웨어)

■ 자체 성능 평가 및 전문가 자문

마. 응용 소프트웨어 개발

■ 점군 데이터 취득 및 저장, 가시화 프로그램 개발

■ 점군 데이터 와 카메라 정보 매핑 기술 개발

■ 측정 데이터 정합 관련 알고리즘 및 소프트웨어 개발

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

1. 시스템 기본 설계

가. 시스템 구조 및 사양 결정

나. 사이즈 축소 및 가격 경쟁력 확보 방안

2. 광학 설계, 제작

가. 레이저 소스 선정 및 광학계 구조 설계

나. 제작 및 성능 확보

3. 광 기구 및 서보 모터 제작

가. 회전 미러 동적 분석을 통한 설계 반영

나. 회전 BLDC 모터 제작

다. 스캐너 디자인 및 기구 설계 제작

4. 전자회로 보드 설계 제작 및 성능 확보

가. 고감도 광 수신 회로(APD) 모듈 설계 제작

나. 거리 및 반사강도 측정 회로 설계 및 성능 시험평가

다. 서보모터 컨트롤러 및 드라이버 설계 및 제작

라. 거리 및 각도 측정 및 신호처리 보드 개발

마. 메인 보드 설계 제작 (Win CE 포팅)

바. 기울기 센서 보드 제작

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

1. 3차원 레이저 스캐너
   -최종 시제품 : 사업화 예정
2. 정밀 서보모터 제어기
   -레이저 스캐너 적용
3. 점군 데이터 처리 소프트웨어
   - 3차원 점군 데이터 응용 소프트웨어
   - 레이저 스캐너 동시 출시

Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

1. 목표 달성도

연 구 목 표	달성도 (%)	주 요 연 구 내 용
기술 및 시장동향 조사	100	■ 주요 수요업체 요구사항 파악 ■ 주요 부품 정보 및 시장동향파악
사업모델조사 및 스펙결정	100	■ 토목, 건축 및 산업용 활용 측면 연구 ■ 타사 제품 비교 경쟁 우위 사양 결정
시제품 설계(시스템 구조) 및 제작	100	■ 시스템 개선 설계(확장성 고려) ■ 주요 부품 공급 및 생산성 고려
치구 설계 및 제작	100	■ 핵심 부품 평가 관련 치구 연구 ■ 외주 제작 검토 완료
주요 부품 및 S/W 외부 용역 개발	100	■ 서보모터외주 개발 및 제작 ■ 응용 S/W 외주 용역 개발
시제품 설계/ 제작	100	■ 모듈별 상세 설계 및 제작 ■ 모듈 시스템 적용 및 보완
자체 평가 및 보완 설계	100	■ 시스템 통합 및 평가 ■ 개선 사항 도출 및 개선설계
시제품 보완 최종시제품 제작	100	■ 개선사항 반영한 최종시제품 설계,제작 ■ 시스템 통합 및 자체 평가
최종평가 및 현장시험	95	■ 자체평가 및 전문기관 평가 ■ 보완 및 최종 보고서 작성
양산 준비 및 대외 인증 (개발일정 부족으로 추진 못함)	0	■ 생산 관련 자료 작성 (BOM, 기술문서등) ■ 양산준비 및 대외 인증

2. 개발 기대 효과

■ 3차원 레이저 스캐너는 레이저 광학설계 기술과 정밀모터 및 제어기술, 거리측정용 신호처리 기술분야가 융합되는 분야로, 독일, 일본, 미국 등 일부 국가에서만 확보한 기술로, 핵심기술확보로 세계시장에서 선진제품들과 경쟁 할 수 있음.

■ 핵심 기술과 제품을 자체개발함으로서 토목, 건축물, 3차원 공간정보 처리로, 감리나 시공의 기술 향상을 가져오고, 핵심기술을 타 산업인 로봇, 무인자동차분야의 자율주행용 센서 개발에 활용 될 수 있다.

■ 공간정보 인프라 구축을 위한 측량장비가 모두 외산에 의존하여 토목, 건설분야의 기술 자립도가 낮으나, 맞춤형 제품 개발이 가능하여, 레이저 스캐너를 활용한 응용기술을 발전시킬 수 있다.

■ 토목, 건축물의 측량과 시공 시에 공간정보의 활용이 증대되고 이를 실시간으로 관측하여 준공도면과의 문제점을 해결하고, 3차원 처리 데이터를 보관하여, 공 후 시설물의 변형을 확인하거나 유지 보수에 활용.

■ 3차원 레이저 스캐너는 전량 수입에 의존하고 있어, 국산화를 통한 수입대체와 제품 경쟁력 확보로 해외 시장 개척 시 향후 견실한 기업으로 성장 할 수 있음.

Ⅵ. 연구성과 활용계획

1. 시제품 여러 분야 활용

가. 터널 시공 및 구조물의 건설이나 유지보수

나. 도시계획 및 교통 인프라 구축

다. 조선 및 산업분야 형상인식 관련 제조업 분야

라. 3차원 이미지 활용 및 콘텐츠 제작

2. 성과물 사업화 추진

가. 3차원 레이저 스캐너 응용 분야별 제품 출시

나. 제품 다양화로 활용분야 확대로 신 시장 개척

다. 정밀 서보모터 제어기 타 분야 확대 적용으로 자체 부품 사업 추진

라. 점군 데이터 처리 소프트웨어는 기능다양화로 알고리즘 개선 및 추가로 레이저 스캐너와 패캐지 판매

SUMMARY

The Development of Terrestrial Spatial Data Acquisition System

Object

- Localization of Equipment for Constructing Terrestrial Spatial Information
- Cost reduction for Construction Terrestrial Spatial Information
- Construction of 3 Dimension Terrestrial Spatial Information in the Ubiquitous World

Task

- Development of Terrestrial Equipment for Constructing Terrestrial Spatial Information
  - Development of Integration Equipments for Constructing Terrestrial Spatial Information(Laser Scanner, Digital Camera, etc.)
  - Construction and Application of Testbeds for Terrestrial Equipment for Constructing Terrestrial Spatial Information
  - Development of Validating Equipment and System for Constructing Terrestrial Spatial Information

Output

- Terrestrial Equipment Constructing Terrestrial Spatial Information

CONTENTS

Chapter1. Overview ····12

Section 1. Objectives and Needs ····12

Section 2. Definition, Scope and Features ····13

Section 3. Domestic and Foreign Technology Status ····14

Section 4. Position in Related Field by R&D Result ····16

Chapter 2. Contents and Results of R&D ····17

Section 1. Strategy and Methodology of R&D ····17

Section 2. Process and Contents of R&D ····19

Section 3. Results and Verification Method of R&D ····163

Section 4. Development of Servo Controller and Contents of Performance Evaluation ····179

Chapter 3. Research Output and Applied Results ····216

Section 1. Terrestrial Laser scanner ····216

Section 2. Controller of High Accuracy Servo Motor ····217

Section 3. Software for Point-Cloud Data ····218

Chapter 4. Attainment of R&D Goal and Effectiveness ····220

Section 1. Attainment of Final Goal ····220

Section 2. Analysis of Technical Contribution ····222

Section 3. Analysis of Economic Contribution ····222

Section 4. Analysis of Social Policy Contribution ····223

Chapter 5. Utilization of R&D Performance and Necessity of Further Studies ····224

Section 1. Utilization Method of R&D Performance ····224

Section 2. Need of Additory Research ·····225

References ·····228

Appendice ·····228

목 차

제 1 장 연구개발과제 개요 ····· 12

제1절. 연구개발 목적 및 필요성 ····· 12

제2절. 연구개발의 정의, 범위, 특징 ····· 13

제3절. 관련 분야의 국내외 기술개발 현황 ····· 14

제4절. 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치 ····· 16

제 2 장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 17

제1절. 연구수행 전략 및 방법론 ····· 17

제2절. 연구수행 과정 및 내용 ····· 19

제3절. 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 ····· 163

제4절. 제어기 개발 및 성능평가 내용 (위탁과제) ····· 179

제 3 장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 216

제1절. 3차원 레이저 스캐너 ····· 216

제2절. 정밀 서보모터 제어기 ····· 217

제3절. 점군 데이터 처리 소프트웨어 ····· 218

제 4 장 연구목표 달성 및 효과 ····· 220

제1절. 연구개발 최종목표 달성도 ····· 220

제2절. 연구개발 성과의 기술적 효과분석 ····· 222

제3절. 연구개발 성과의 경제적 효과분석 ····· 222

제4절. 연구개발 성과의 정책적 효과분석 ····· 223

제 5 장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 224

제1절. 연구성과 향후 활용방안 ····· 224

제2절. 추가연구 필요성 ····· 225

참고문헌 ·····228
부 록 ·····228

제1장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발 필요성

최근에 국내외에서 다양한 분야에 3차원 공간정보 기술에 대한 접목이 시도되고 있다. 3D 영화와 같은 콘텐츠산업, 스테레오 카메라와 같은 영상 및 로봇 등 여러 분야에 3차원 공간정보 기술이 적용되고 있다. 특히 3차원 공간정보 구축을 통한 3차원 모델링이 활성화되고, 지상용 3차원 레이저 스캐너는 디지털지상사진측량을 결합하여 건축물의 모델링과 지상라이다를 이용한 건물의 정밀 모델링, 구조물의 변위 계측을 위한 지상라이다의 정밀도 분석과 철골 보의 안전 및 사용성 모니터링을 위한 변위 계측기법 등에 활용되고 있다. 또한 암반사면과 댐체의 특성 및 안정성 평가를 통한 모니터링 분야, 그리고 문화재 분야에서 문화재 복원, 안전진단, 정밀실측, 보수보강, 데이터베이스 구축, 도면복구 및 동굴 문화재에도 활용되고 있으며, 골프장, 건설공사 등의 설계분야에서도 운영되고 있다.

지상용 3차원 레이저 스캐너는 그 활용범위가 점차 확대되고 있으며 향후에는 3차원 분 야의 핵심장비로 자리를 확고히 할 것이다. 그러나 현재 출시된 제품들은 모두 외국제품으로 고가이며 다양한 분야에 적용되기에는 응용분야 특성에 따른 하드웨어나 소프트웨어 변경이 어려우며 현장 요구사항을 제품에 즉시 반영할 수 없다. 따라서 현재 보유하고 있는 국내기술을 적극 활용하여 사업화한다면 이러한 문제점들을 해결하고 좀 더 많은 분야로 확대가 가능할 것으로 사료된다.

2. 연구개발 최종목표

지상용 3차원 레이저 스캐너를 상용화하기 위하여 외국제품과 비교하여 동등이상의 성능을 확보하고 신뢰성 있는 제품을 개발하는데 그 목표가 있다. 또한 다양한 분야에 적용하기 위하여 사용자의 요구사항을 고려한 응용소프트웨어 개발도 병행한다. 이를 위하여 광학, 기구, 전자부분의 성능을 향상시키고, 사업화 시 생산성을 고려한 공정을 개발한다. 모듈통합을 통한 시스템 통합 후 자체평가를 수행하며, 일부 성능은 외부 전문가자문 및 외부시험평가기관을 통하여 성능평가를 추진한다.

주요 개발 사양

- 측정 거리 : 300 ~ 500m @90%
- 측정 속도 : 50,000 ~ 100,000 point/sec
- 거리 정밀도 : 3mm @50m
- 각도 정밀도 : 60urad
- 측정 위치 정밀도 : 5mm @50m
- 측정 각도 : Horizontal 360°, Vertical 270°

제2절 연구개발의 정의, 범위, 특징

1. 연구개발 정의

3차원 공간정보 획득으로 도로, 건축물, 갱도, 공장설비, 교량 등 응용분야에서 현장측량이나 시공 시 준공도면의 문제점을 조기에 해결하거나, 각종 구조물의 진단 및 유지보수에 활용을 목적으로 연구개발한 “지상용 3차원 레이저 스캐너 기술”을 바탕으로 사업화과제를 추진하며, 관련 기술을 고도화하고, 핵심기술 및 부품들을 국내생산이 가능하도록 개발하여, 최종 제품을 완성하여 현장에 적용 한다

핵심부품 개발을 통하여 디자인, 전력소모, 가격, 신뢰성 등의 문제점을 해결 할 수 있도록 연구 개발을 추진하여 사업화 추진 시 경쟁력 확보로, 다양한 분야에서 요구되는 사양을 만족 할 수 있는 시스템 기본 구조를 바탕으로 사업 영역을 확장 할 수 있도록 한다.

2. 연구개발 범위 및 특징

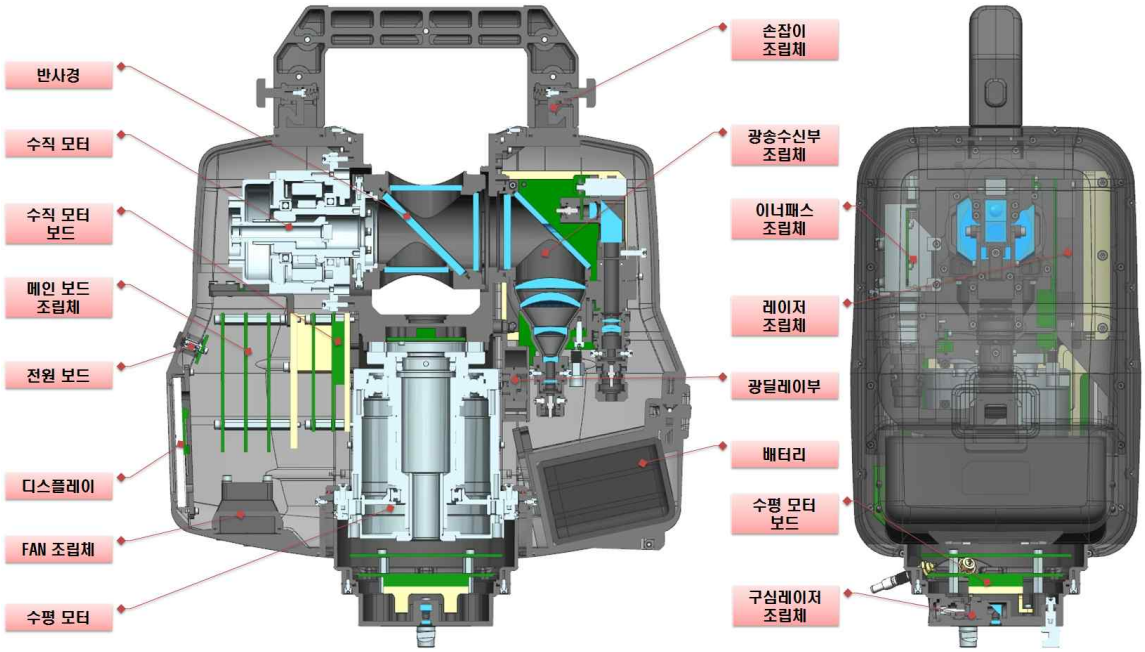


그림 1 3차원 레이저 스캐너 투시도

가. 레이저 거리 측정 기술

레이저 빛을 이용하여, 측정물에 주사하여 반사되어 온 빛을 감지해 ,레이저 빛의 왕복 시간을 측정하여 정밀거리를 계산한다.

거리측정 방식은 레이저 빛을 펄스 형태로 만들어 송신하고, 레이저 스캐너의 공간 분해능을 높이기 위해 레이저 빔 크기와 빔 퍼짐 정도를 최소화하며, 레이저 수신광 시계를 최소화한다.

최대 측정거리를 높이기 위해서는 광전변화 회로의 증폭도를 높게 설계하고, 고속의 신호처리로 스캔 속도를 높이도록 한다.

나. 미러 스캔 기술

3차원 스캔 구조는 수직모터에 미러를 부착하여, 고속으로 회전하면서, 수평모터를 구동하여 3차원 점군 데이터를 획득한다.

빛을 송수신하는 회전 미러 비대칭으로 수직 모터 등속회전에 영향을 받지 않도록 회전체의 무게를 잘 배분하여 위치 정밀도에 영향이 없도록 한다.

다. 서보 모터 제어 기술

고속 구동을 위한 모터로는 내구성을 고려한 BLDC 모터를 사용하며 모터의 회전축의 정밀도 (Run out : 5um이하)를 확보하고, 구동 관련 제어기를 개발 한다.

스캐너의 구동 속도, 사이즈 축소, 정밀도등을 고려하여, 모터, 엔코더, 제어기 하드웨어 및 소프트웨어를 개발한다.

라. 레이저 광학 기술

근 적외선 빛을 이용한 레이저 소스 선정으로, 가격 및 제품의 신뢰성을 향상시켜, 근 적외선 송, 수신 광학 렌즈를 설계 제작한다.

송신수 분리 기술과, 태양광 제거용 필터 제작하고, 스캐너의 사이즈를 최소화 할 수 있는 공간에 배치가 가능하도록 한다.

마. 점군 데이터 및 카메라 이미지 처리 기술

3차원 스캔 데이터를 2D 이미지와 Mapping 시키기 위하여 고정밀도 카메라를 사용하여 실제 이미지를 얻고 이것을 3차원 데이터로 처리하는 기술을 개발한다.

영상정합은 입체영상 중 한 영상의 위치에 실제의 객체가 다른 영상의 어느 위치에 형성되었는가를 발견하는 작업으로서, 서로 상응하는 위치를 발견하기 위해서 유사성 관측인 관계형 정합(relational matching)으로 해석하는 것으로서 객체(structure)의 점, 선, 면의 밝기 값 등을 이용한다.

바. 3차원 데이터 처리 기술

스캔된 점 군 데이터를 실시간으로 저장하고, 가시화하는 프로그램을 개발하고, 측정된 데이터의 정밀도를 향상시키기 위한 관련 Filter 및 Mapping 기술을 사용하며, 여러 작업 데이터를 정합하는 관련 기술을 개발한다.

제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황

1. 국내외 기술 및 시장 동향

- 토목 ,건축 분야에서의 시공 감리를 3차원 레이저 스캐너를 활용하여 시공현장을 확인하고 있음.
- 조선, 대형 플랜트 제작 공정에 레이저 스캐너를 필수적으로 활용.
  수주 조건으로 계약서에 레이저 스캐너 사용을 언급하고 있으며, 제작 공정 및
  완성품에 대한 실 도면화로 사후에 유지관리나 시설물 개조 및 유틸리티 추가에 활용하고자함.

- 유럽에서는 교통사고 시 현장을 3차원 레이저 스캐너로 스캔하여 현장을 보존하는 것을 의무화하고 있어 향후 스캐너 시장 확대가 기대됨.
- 정유시설물이나 산업 안전관리 측면에서 레이저 스캐너로 시설물의 변위를 모니터링 하여 대형사고 예방에 활용.
- 반도체 공장 내부 등 시설물을 3차원으로 스캔하여 공정의 효율성과 유지관리 및 작업공정 보수에 활용.
- 기타 여러 분야에서 3차원 레이저 스캐너가 활용되거나, 활용방안을 연구 중에 있으며, 그런 측면에서 3차원 레이저 스캔 데이터 처리 관련 S/W 개발도 활발하게 진행 되고 있음.
- 미국에서 3차원 프린팅에 기술 역량을 집중하고 있어서, 3차원 공간정보 획득 장비 및 처리 S/W 산업도 크게 향상 될 것으로 판단되고, 해외 대기업에서는 기술력 있는 회사를 인수 합병하고 있음 .
- 경쟁사 기술개발 동향으로는 라이카에서 P20 모델을 출시하여 근거리 고속스캐너를 출시하였으나, 중장거리용 C10보다 가격이 비쌈.
- FARO 3D Camera 개념의 중 저 가격대 제품으로 신 시장을 창출하려고 하는데 제품 내구성이 취약하며, 정밀도가 조금 떨어져서 가격대비 효율성이 떨어져 주로 실내에서 사용.
- Riegl 제품의 경우 성능이 우수하나 가격이 아주 높고, 장거리 측정용 제품을 출시하고 있음.
- Trimble사는 신제품 TX8 출시로 3D 스캐너 시장에 대응하고 있음.

2. 경쟁사 제품 주요 사양

최종시제품	LEICA	RIEGL	TRIMBLE
 TLS	 C10	 VZ-400	 GX 3D
측정거리 : 300~500m@90% 스캔속도 : 50,000~100,000p/sec 거리 정밀도 : 3mm @ 50m 위치 정밀도 : 5mm @ 50m 각도 정밀도 : V=60urad,H=60urad Beam divergence : 0.25mrad 측정 각도 : Horizontal 360° Vertical 270°	측정거리 : 300m@90% 스캔속도 : 50,000 p/sec 거리 정밀도 : 4mm @ 50m 위치 정밀도 : 6mm @ 50m 각도 정밀도 : V=60urad,H=60urad Beam divergence : 0.25mrad 측정 각도 : Horizontal 360° Vertical 270°	측정거리 : 600m@90% 스캔속도 : 4,2000~122,000 p/sec 거리 정밀도 : 3mm @ 100m 위치 정밀도 : 5mm @ 100m 각도 정밀도 : V=30urad,H=30urad Beam divergence : 0.3 mrad 측정 각도 : Horizontal 360° Vertical 100°	측정거리 : 350m@80% 스캔속도 : 최대5,000 p/sec 거리 정밀도 : 7mm @ 100m 위치 정밀도 : 12mm @ 100m 각도 정밀도 : V=60urad,H=70urad Beam divergence : 0.25 mrad 측정 각도 : Horizontal 360° Vertical 60°
레이저 : 1550nm, 근적외선파장 전원 : 24VDC(내부배터리24V) 사용환경 : -20°C~50°C 스캐너 중량 : 9.0kg	레이저 : 532nm, 녹색 , Class3R 전원 : 내부배터리(15V, 50W) 사용환경 : 0°C~40°C 스캐너 중량 : 13Kg	레이저 : 근적외선파장 , Class1 전원 : 11~32V DC (65W) 사용환경 : 0°C~40°C 스캐너 중량 : 9.6Kg	레이저 : 532mm, 녹색, Class3R 전원 : 24V DC 사용환경 : 0°C~40°C 스캐너 중량 : 13Kg
➢ 사용자 편의성 : 사이즈, 무게 축소로 설치 및 운용 편리성 제공 ➢ 다양한 사양 제공 : 공간 분해능, 최대측정거리, 스캔속도향상, 동작온도등 ➢ 가격 정책 : 공급가격을 낮추어, 시장 확대 유도 ➢ 사후 관리 : 측량기 수준의 사후 관리 비용 제공 (핵심부품)			

그림 2 경쟁사 제품 주요 사양 비교

제4절. 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치

1. 실내외 3D 공간 DB 구축 및 연계 기술 개발을 통한 통합 공간 정보 구축을 위해서 3차원 측량 장비가 필요 하는데, 본 과제는 측량 대상체로부터 3차원 데이터를 취득하고, 소프트웨어 처리를 통하여, 공간 정보 정확성을 향상을 통한 측량 프로세서 효율성을 향상 시키고, 이러한 공간 정보를 DB화하여 공유 할 수 있는 인프라를 구축에 활용.

2. 시 제품의 기본 구조를 바탕으로 분야별 맞춤형 제품 개발 능력으로 3차원 레이저 스캐너를 활용한 신기술 개발이 가능하다.

3. 국내 기반 이 취약한 정밀 서보모터 제어기를 자체 개발하여 제품에 따른 회전 구조 설계 제작은 물론 관련 기술을 타 산업분야나 군사 분야에 확대 적용하여, 기술자립도를 높이는데 기여 할 수 있다.

4. 점 군 데이터 처리 소프트웨어는 여러 응용 분야별 처리 알고리즘을 개선하여 독자적인 전문 소프트웨어로 발전 할 수 있으며, 일부 기능은 하드웨어 제품과 동시에 출시하여, 3차원 레이저 스캐너 활용 활성화에 기여 할 수 있다.

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 연구수행 전략 및 방법론

1. 연구개발 추진 전략

가. 전략 1 : 시장의 요구 사항 파악 및 목표 설정

- 3차원 공간 정보 기술 개발 측면과 고객의 요구 조건들을 반영하여 연구개발 목표 확정
- 응용 분야별 요구 사항 수용 할 수 있는 제품 기본 설계로 사업에 따른 제품 확장성을 최대한 반영한다.
- 경쟁사 제품 개발 동향 파악 및 벤치마킹하여 개발 사양에 반영

나. 전략 2 : 핵심 부품 확보

- 핵심 부품을 해외 의존 할 경우 가격 경쟁력 확보가 어려워, 국내 업체를 발굴하여, 부품개발과 향후 생산을 위한 공정 개발도 같이 추진한다.
- 레이저 소스 등 해외 부품인 경우, 가격과 신뢰성을 고려하여 공급선의 다변화에 대비한다.

다. 전략 3 : 시제품 제작 및 성능평가

- 지능형 국토정보기술혁신 사업을 통하여 확보된 기술을 바탕으로 제품 상품화 측면에서 디자인, 광학, 기구 개선 및 전자보드 통합을 통한 제품 사이즈 및 무게를 줄이고, 서보 제어 시스템 펌웨어 개선과 점군 데이터 처리 소프트웨어를 전문기관이나 업체와 협력하여 개발한다.
- 시제품은 단계로 모듈을 제작하여 추진하여 최종시제품을 완성하여, 자체평가 및 외부전문가 및 관련기관의 도움을 받아 평가 한다.

2. 연구 수행 체계

가. 주관연구기관 : (주)이오시스템

- 사업화 제품 사양 및 기본 설계
- 주요 부품 사양 결정 및 외주 개발
- 모듈 및 프로토타입 설계, 제작
- 최종 시제품 제작 및 평가

나. 위탁연구기관 : 광운대학교

- 서보 모터 제어기 펌웨어 개선 개발

다. 외주 협력

- 서보모터 제작 : 맥시스
- 카메라 모듈 제작 : 휴앤텍
- 고감도 증폭기 제작 : 케이지피텍
- 응용 소프트웨어 : 지오투정보

3. 연차별 계획 및 결과

연 차	연구 내용	연구 결과
1차년도	■ 기술 및 시장조사 ■ 사업모델 조사 및 스펙결정 ■ 시제품 설계 ■ 치구 설계 제작 ■ 외주 용역 개발	■ 상해 레이저 포토닉스 전시회 참관 ■ 수요처 요구사항파악(토목, 건설, 조선 등) ■ 타사 제품의 벤치마킹을 통한 구조 및 경쟁력 확보 방안 마련(가격, 사이즈 등) ■ 개선 사항 도출로 기본 구조 및 사양결정 ■ 주요핵심 모듈 제작 방안 마련(서보모터) ■ 한국표준과학연구원 보유 설비 검토 및 자체 설비 확보 방안 마련 ■ 외주 협력 방안 협의 완료
2차년도	■ 핵심 부품 제작 ■ 프로토타입 설계/ 제작	■ 수직 모터 모듈 개발 - BLDC 모터 제작 및 평가 - 회전 미러 구조 설계 및 제작 - 고속 회전각 측정 엔코더 개발 ■ 수평모터 모듈개발 - BLDC 모터 제작 - 저속 제어 알고리즘 개선 및 명령체계 개발 ■ 레이저 광학 개선 설계,제작 - 파이버 레이저(파장 : 1.5um) 선정 - 눈 안정성, 측정거리, 에너지 효율 고려 - 광학계 구조 변경 및 렌즈 설계,제작 ■ 응용 S/W 개발 - 데이터 편집 및 정합 소프트웨어 개발 ■ 프로토타입 제품 제작 - 시스템 구조 결정 - H/W 설계 및 모듈 제작 - 기구 설계, 제작 - F/W, S/W 개발
3차년도	■ 시스템 통합 및 최종시제품 제작 및 평가	■ 시스템 모듈 통합 - 광학, 기구 제어기 통합 - S/W 적용 구동시험 ■ 최종시제품 제작 - 모듈 통합 및 평가를 통한 모듈개선 개발 - 응용 소프트웨어 통합 및 개선 개발 - 최종 디자인 및 기구 설계 제작 ■ 시제품 성능 평가 - 모듈별 기능 평가 - 자체평가 및 전문가 평가

제2절 연구수행과정 및 내용

1. 시스템 개요

가. 개발 사양

Items		Target performance	Comments
Accuracy	Position	5mm@50m	
	Distance	3mm@50m	max 300~500m
	Angle	12″ Horizontal, 12″ Vertical	
	Compensator	2″	
Scanning system	Type	Time of Flight	
	Wavelength	1550nm	
	Laser glass	Class 3(IEC 60825-1)	
	Spot size	8mm(Gaussian)@50m	
	point spacing	≤1mm	
	Field of View	360° (H) X 270° (V)	
	Optics	Vertical rotating mirror on Horizontal rotating based	
	Data storage	64GB	SD card
	Communication	Ethernet/WLAN	
	Digital Camera	10° x 10° 2048 x 1536 pixels	
Electrical	Power consumption	<50W avg	
	Battery	24V Li-ion	
Environmental	Operating Temp	-20℃ ~ 50℃	
	Storage Temp	-30℃ ~ 65℃	
Physical	Dimension	280mm x 180mm x 400mm	
	Weight	10kg내외	

나. 시스템 구성도

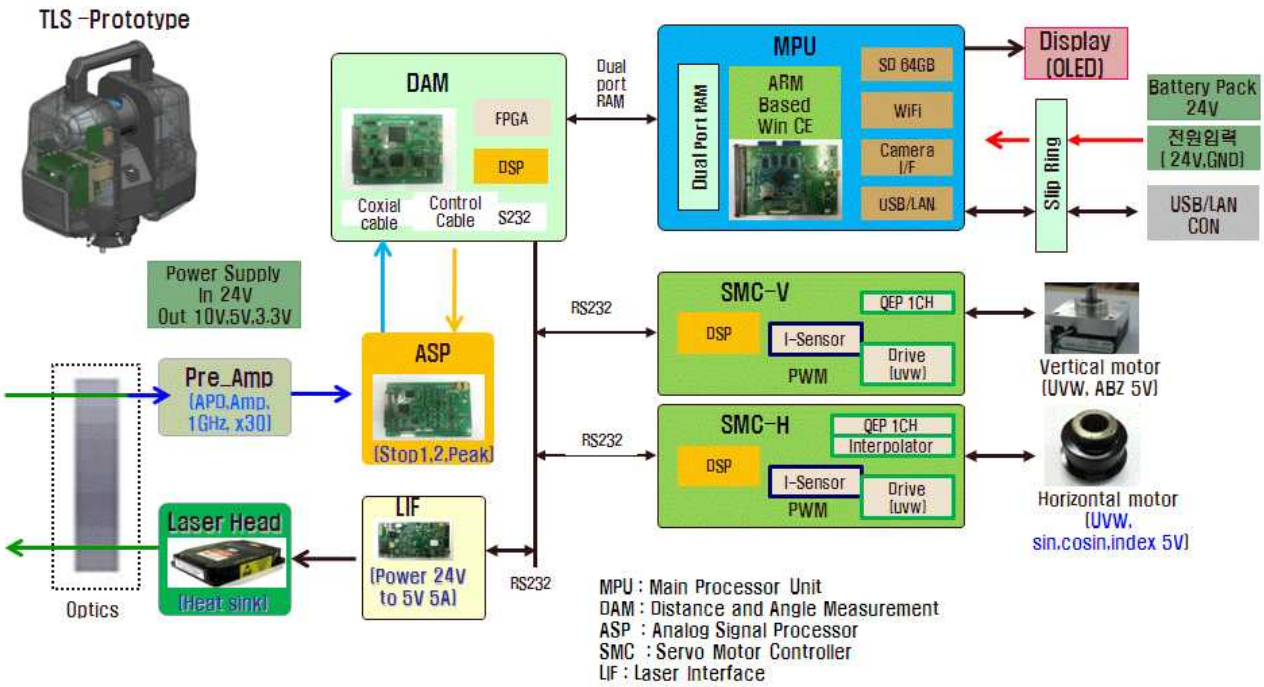


그림 3 시스템 구성도

1) MPU : Main Processor Unit
   - 3차원 스캔의 명령을 생성하고, 스캔 결과를 저장하거나 외부로 데이터를 전송하는 역할을 담당 한다
   - 2차원 카메라 인터페이스를 담당하여 ,점군 데이터에 2D 이미지 데이터를 매핑 할 수 있게 한다.
   - 외부 기기 연결 없이 장비 동작을 수행 할 수 있는 디스플레이와 키 인터페이스를 포함한다
2) DAM : Distance and Angle Measurement
   - 레이저 발진 명령과 레이저 빌 송신시점 대비 수신시점의 시간을 측정하여 거리정보를 획득하고, 수신된 빛의 세기로 반사강도를 측정한다.
   - 거리측정 시점의 각도정보를 획득하여, 거리, 각도 이용하여 3차원 점군 데이터를 생성하여, MPU에게 전달한다.
   - MPU로부터 스캔 명령을 받아, 레이저 송신, 수신 명령을 내리고, 서보 시스템 (SMC-H, SMC-V)에 이동 명령을 내린다.
3) SMC : Servo Motor Controller
   - 3차원 공간을 스캔하기 위해 레이저 빛을 이동시켜주는 역할을 담당 한다
   - 스캔 명령에 따라, 위치제어와 속도제어를 수행한다.
   - 서보모터는 시스템의 내구성을 고려하여 BLDC(Brushless DC Motor) motor를 사용한다.

4) ASP : Analog Signal Processor
- 거리측정과 빛의 반사강도를 측정하는 기능을 담당한다.
- 고주파 응답 처리와 Picosecond time을 처리하여, 정밀거리 측정을 한다.

5) Pre Amp
- 광전 변환을 수행하는 모듈로 APD (Avalanche Photo Diode) 인터페이스로 , 미세 신호를 증폭하는 회로로 구성된다.

6) Laser Head
- 레이저 빛을 발진하는 모듈로, 근적외선(파장 1.5um) 사용 한다

7) LIF : Laser Interface
- 레이저에 공급된 전원과 DAM 신호를 인터페이스 처리한다.

8) Optics
- 레이저 광학계로 레이저 Beam shaping, 수신 광 집광, 필터 등으로 처리하기 위한 광학렌즈 및 기구로 구성된다.

2. 광학시스템

가. 최대거리 500m 탐지를 위한 레이저 광원 변경

기존 마이크로칩 레이저의 경우, 500m 거리 측정을 위한 방법으로 레이저의 첨두 파워를 향상해야 하는데, 구현이 불가능하여 2~4kW급의 출력을 보이는 파이버 펄스 레이저로 최대 측정거리 목표 500m 충족되는지 적용 검토하였다.

1) LRF equation 이론

본 시뮬레이션 계산으로 이용한 LRF(Laser Range Finder) equation은 송광부 레이저 모듈, 타겟, 대기투과율, 수광부 모듈의 특성을 적용하여 LRF의 최대 거리 성능을 예측할 수 있다.

이는 송광부의 레이저에서 발진된 빔이 목표 타겟을 맞고 LRF 모듈의 수광부로 입사될 때, 수광부 모듈 내에 있는 검출기의 최소 감응 파워보다 높은 신호가 입사된 경우에 최대 거리 측정에 대한 산출이 가능하다. 또한 수광되는 레이저의 첨두파워 사이의 관계를 이론적으로 검토가 가능하고 2차년도 시제에 구성된 검출기 부분의 최소 수광 광량을 기준으로 송광부의 파워를 산출이 가능하다.

이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

수광부 파워 > 송광부 레이저 모듈 특성 × 대기투과율 × 타겟 특성× Lambertian 복사 × 수광부 모듈 특성

* 송광부 모듈 특성 = 레이저 파워 × 송광부 빔 발산각 × 효율
* 대기투과율 = e-ar (a : 대기감쇄상수, r : 거리)
* 타겟 특성 = 타겟 면적 × 반사율
* Lambertian 복사 = $1/2\pi r2$ (r : 거리)
* 수광부 모듈 특성 = 수광부 렌즈 면적 × 수광부 효율 × 검출기 특성(APD)

$$P_R = [KP_L\eta_T][T_A][\frac{1}{\pi(\frac{\psi r}{2})^2}][A_T][2\rho\cos\theta][\frac{1}{2\pi r^2}][T_A][\pi(\frac{D_R}{2})^2][\eta_R]$$

$P_R = Received\ signal\ power$

$K = Beam\ profile\ function\ (Uniform\ beam\ K=1)$

$P_L = Laser\ power\ in\ Watt$

$\eta_T = Transmitter\ optical\ efficiency$

$T_A = Atmospheric\ transmission$

$\Rightarrow T_A = e^{-ar},\ a = Extinction\ coefficient\ in\ km^{-1}$

$\psi = Beam\ divergence\ in\ radians$

$r = Target\ range\ in\ meter$

$\rho = Hemispherical\ reflectance\ of\ a\ Lambertian\ target\ surface$

$A_T = Target\ area\ in\ square\ meters$

$(\text{if } A_T > \pi(\frac{\psi r}{2})^2 \ then\ A_T = \pi(\frac{\psi r}{2})^2)$

$\theta = Angle\ of\ laser\ incidence\ on\ Lambertian\ target\ surface\ in\ radians$
$typ.\ \theta = 0$

$D_R = Receiver\ aperture\ diameter\ in\ meters$

$\eta_R = Receiver\ optical\ efficiency$

수광부 모듈의 APD 검출기 특성은 아래 식과 같이 APD 회로에 의한 전압을 적용한다.

Vout = PR × S × M × R × GA

* PR = 수광 광파워(received peak power)
* S = APD 복사 감도(radiant sensitivity)
* M = APD 이득(gain)
* R = 저항(resistance)
* GA = 증폭기 이득(amplifier gain)

본 과제에서 사용한 APD는 PerkinElmer사의 C30645E로 Photo sensitivity는 APD gain인 M=20일 때, 1,550nm의 파장 대역에서 10.6 A/W의 응답특성을 갖는다.

표 1 APD 사양

	C30645E			C30662E			
Parameter	**Min.**	**Typ.**	**Max.**	**Min.**	**Typ.**	**Max.**	**Units**
Diameter		80			200		um
Operating Voltage (Vop)	40		70	40		70	V
Temperature Coefficient of Vr for Constant Gain		0.14	0.20		0.14	0.20	V / deg C
Responsivity (@1550nm)	9.3			9.3			A/W
Dark Current (@M=10)			50			150	nA
Spectral Noise Current (@M=10)			1.0			1.5	pA/rt Hz
Capacitance		1.25			2.5		pF
Bandwidth	1000			200			MHz
Quantum Efficiency (1300-1550nm)	75%			75%			
Maximum Useable Gain (M)	10	20		10	20		

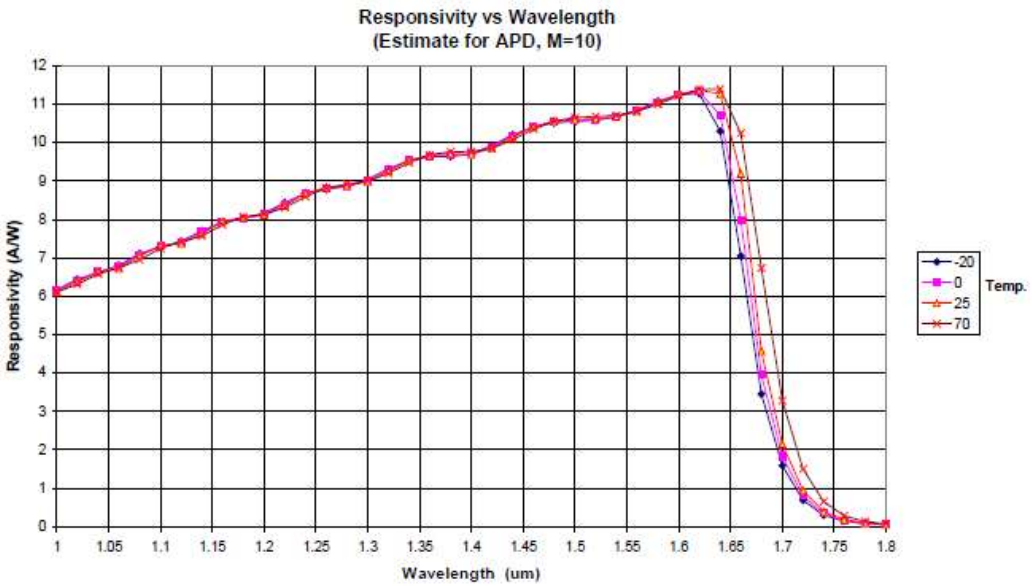


그림 4 APD의 반응감도

Vout = PR × S × R × GA

= PR × 10.6 [A/W] × 50 [Ω] × 200

= PR [uW] × 106,000

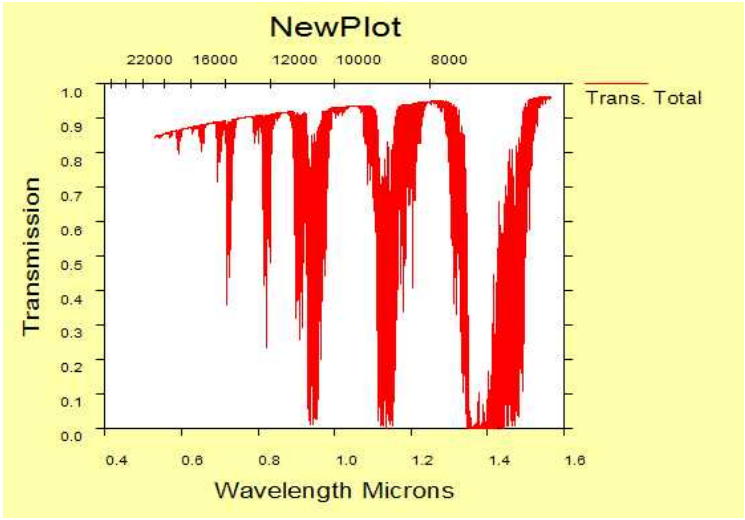


그림 5 1550nm 대역 대기투과율 시뮬레이션
(modtran s/w)

표 2 모듈별 사양

항목			수식기호	입력값	비 고
송광부 모듈	레이저	파장	λ	1,550 nm	
		첨두파워	PL	3 kW	레이저 사양 : 2~4 kW
	발산각		ψ	0.25 mrad	
	효율		ηT	0.65	광학부품 코팅 사양 적용
타겟	면적		AT	0.0123	(tan(ψ)*r/2)2×π×10
	타겟반사율		ρ	0.9	
	가시거리		RV	10 km	
	타겟거리		r	500 m	
	대기투과율		TA	0.948	modtran s/w
수광부 모듈	직경		DR	40 mm	
	효율		ηR	0.65	광학부품 코팅 사양 및 fiber 효율 적용
APD 커플링	효율		η	0.77	광학부품 코팅 사양 적용

시스템 분석을 하기 위해서 상기 표와 같이 레이저 사양, 송/수광부 효율, 대기투과율, 검출기 조건을 고려한 결과, APD에서의 최소 수광 광량 0.75uW 대비 0.77uW이므로 500m 거리 측정이 가능할 것으로 판단된다.

2) 레이저 모듈의 성능 확인

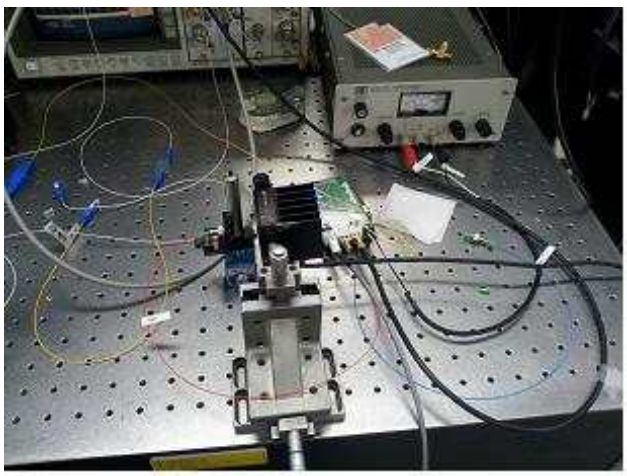
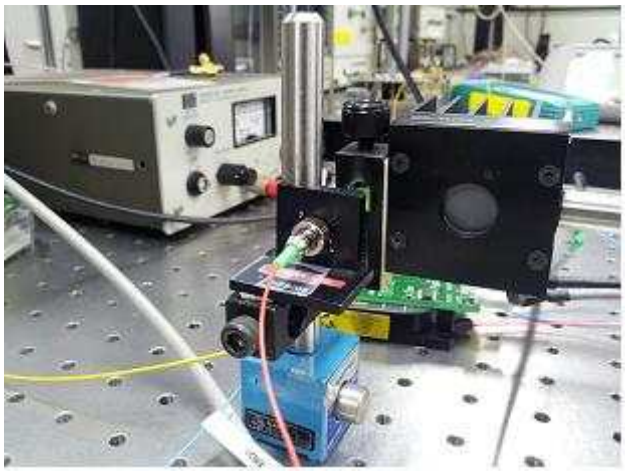
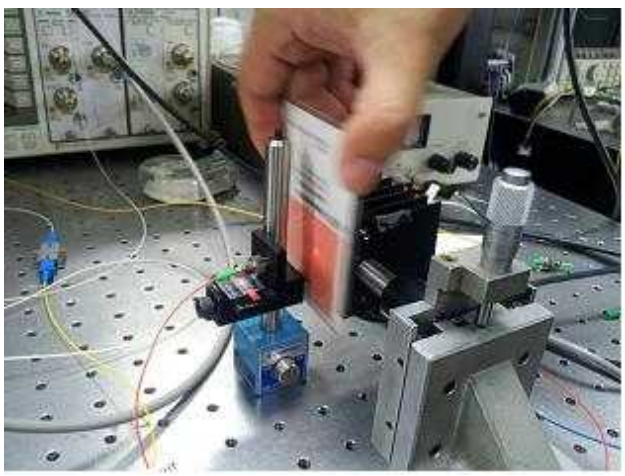
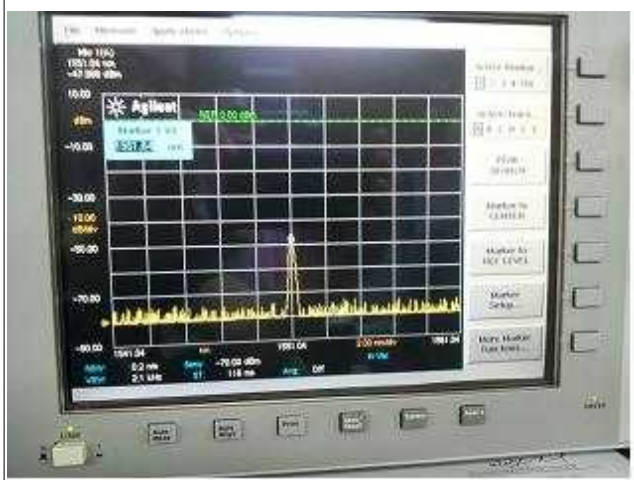
변경된 레이저의 파장, 펄스 폭, 레이저 평균 출력을 측정하였다. 1,550nm의 레이저가 peak power 2kW를 방출하며, average power는 아래의 average power 요구된다.

* peak power Ppeak = 2kW (datasheet)
= energy / pulse width
= average power * (1/repetition rate) / pulse width

· pulse width(@FWHM) = 2 ns (datasheet)
· repetition rate = 50~100 kHz (datasheet)

∴ average power = peak power * pulse width * repetition rate
= 2 kW * 50~100k kHz * 2 ns
= 200~400mW

표 3 레이저 모듈 성능 측정

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>검사치구 구성-1</td><td>검사치구 구성-2</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>위치 정렬</td><td>레이저 파장 측정</td></tr>
</table>

	
레이저 펄스 폭 측정	레이저 세기 측정

3) 1,550nm 펄스 레이저 송/수광부 광학계 설계

레이저 광원이 변경되어 아래와 같이 광학구조 변경을 진행하였다.

가) 개선 광학계 layout

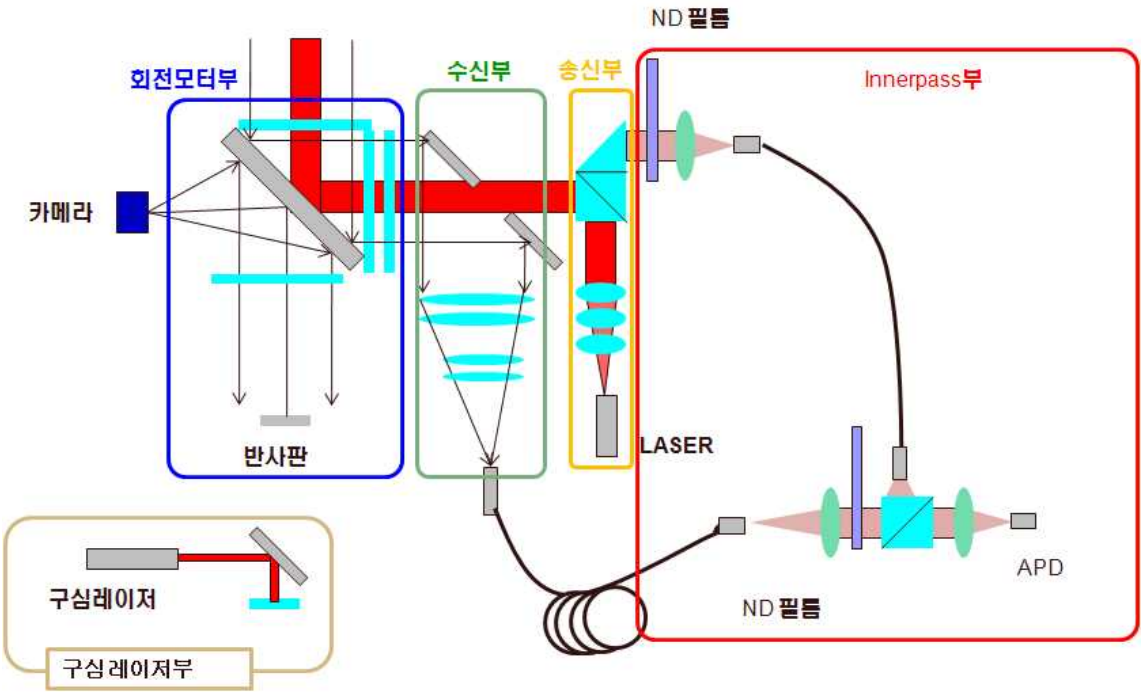


그림 6 개선광학계 layout

- laser source 변경에 따라 송광부 광학계의 beam expander 배율을 변경 적용하였다.
- 송광부 앞 프리즘/반사경 조정 구조를 프리즘 3매로 이용하여 통합 적용하였다.
- laser의 파장 변경에 따라 수광부 광학계의 EFL을 변경 적용하였다.
- 1,550nm용 APD 사양에 맞게 파이버 수광부/APD 검출부의 배율을 변경 적용하였다.

나) 광학계 개선 설계 결과

(1) 시스템 요구사항 및 설계사양

표 4 레이저 송수광부 설계 결과

항 목	요구사항	설계결과	비 고
빔 발산각	0.25mrad이하	0.25mrad이하	
초기 빔 크기	6mm 이하	8 mm	classic type
송광부 총 길이	100mm이하	80mm	
수광부 Spot diameter	105㎛이하	약 6㎛	
수광부 총 길이	100mm이하	70mm	
수광부 직경	50mm이하	40mm	

(2) 레이저 송광부 설계 개념

레이저 스캐너에 사용되는 펄스 레이저는 Gaussian beam 특성을 띄고 있기 때문에 gaussian beam의 beam waist와 rayleigh range를 고려한 설계가 필요하다. 업체에서 제시된 레이저의 주요 사양 및 성능을 계산 및 측정한 결과, 송광부 광학계 설계에 필요한 주요 제원을 확인하였다.

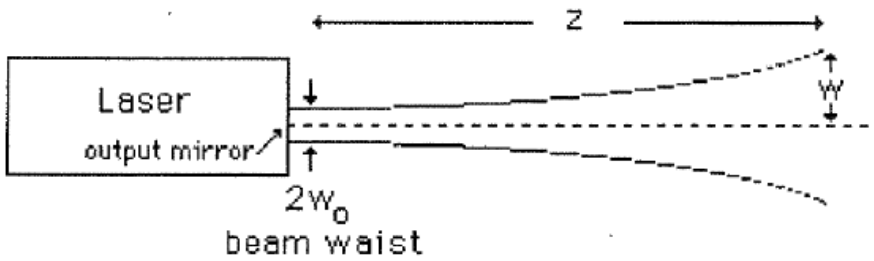


그림 7 레이저의 주요 광학적 사양

표 5 레이저 주요 제원

구 분	기호	값	비 고
빔 발산각	-	284 mrad (N.A.=0.14, ± 8°)	SMF28 fiber
파장	λ	1.550 um	
beam waist (radius)	w0	3.47um (2*1.55um /π/ 0.284 rad)	w0 = 2λ/πθ
beam waist diameter	2× w0	6.94 um	fiber core dia. = 8.2 um
rayleigh range	Zr	24.4037 um π*(3.47 um)2/ 1.55 um	Zr = πw02/λ

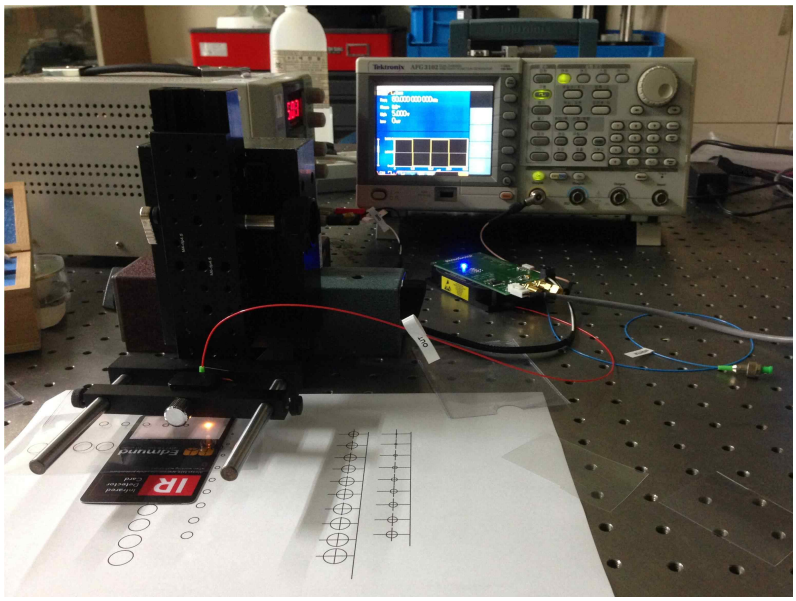
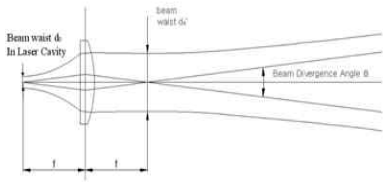
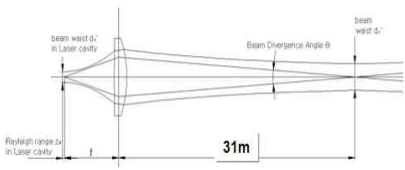


그림 8 레이저 빔 발산각 확인

구분	Classic Type	focusing type
개념도		
	렌즈의 제2초점거리에 레이저의 beam waist를 정확하게 놓아 Collimation하는 방법	일정구간 내에서의 빔크기를 제한할 수 있으며 원하는 발산각을 구현 가능
유효초점거리	27.724 mm	39.205 mm
beam waist diameter	7.88 mm	11.56 mm
Beam divergence	0.25 mrad	0.25 mrad
new beam waist location	27.724 mm	31,531 mm
거리별 빔 크기	$w' = 7.88mm + (0.25mrad \times d)$	1.5m<d<50m : w' ≤11. 56mm d>50m : w' = 11.56mm + (0.25mrad×d)

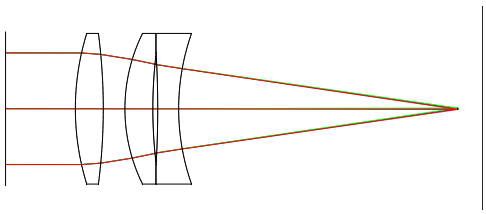
레이저 송광부 광학계를 설계하는 방법에는 위와 같이 2가지 방법이 있으며, 각 방법별로 거리별 빔 크기를 비교한 결과, focusing type보다 classic type이 송광부 광학계의 출력면 구경이 작기 때문에 소형 경량화에 유리하다. 이에 송광부 광학계의 유효초점거리를 27.724 mm로 설계 적용하였다.

(가) 레이저 송광부 설계 결과

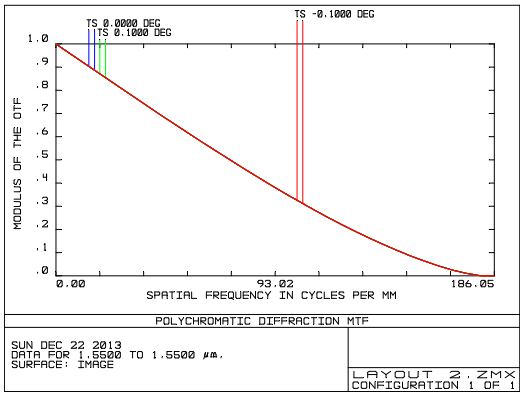
○ 설계 제원

항목	설계 사양	비고
크기	10 mm × 27 mm	최대직경 × 레이저 면까지의 길이
초점거리	27.724 mm	레이저의 빔 발산각 적용설계
빔 발산각	0.25 mrad	
시야각	± 0.1도	조립 정렬시 레이저 손실 최소화
파장	1,550nm	

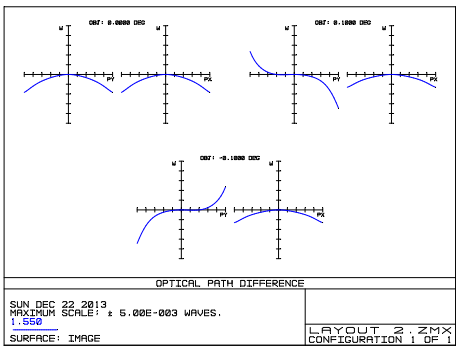
○ layout 및 성능



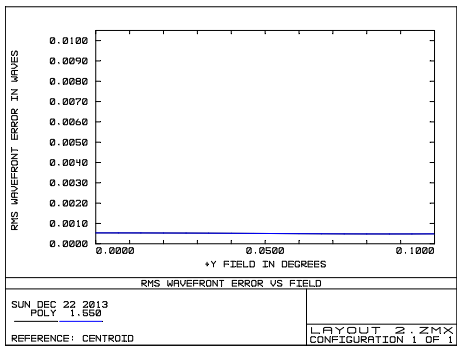
광학계 layout



MTF plot(diffraction limit)



OPD plot(0.005 λ)



RMS wavefront error(diffraction limit)

송광부 광학계의 OPD는 0.005 λ (7.75nm)이내이고 RMS wavefront error는 0.0005 λ (0.775nm)의 수치를 갖는다. 즉 완벽한 평행광이 갖는 이상적인 평면파(Wavefront error = Zero)에 가까운 한계값까지 성능을 갖는 송광부 광학계로 설계되었다.

○ 공차 분석

* 몬테카를로 공차분석

monte carlo tolerancing을 사용하여 확률적인 성능 변화를 시뮬레이션을 실시하였다.

가공 공차		조립 공차	
구면균일도-불균일도	3-1링	렌즈 decenter	± 0.05 mm
두께	± 0.03mm	렌즈 tilt	± 0.0167도(1분)
굴절률	0.001 (0.1% 이하)		
분산률(Abbe #)	± 0.1%		
surface decenter	± 0.003mm (렌즈 편심 1분 기준)		
surface tilt	± 0.0167도 (렌즈 편심 1분 기준)		

	Root-Sum-Square method	Monte Carlo Analysis
RMS wavefront error	Nominal RMS Wavefront : 0.00047 Estimated change : 0.03100 Estimated RMS Wavefront : 0.03147	90% > 0.02049(0.02λ이하) 50% > 0.01331 10% > 0.00815
compensator change	Minimum : -0.0640 Maximum : 0.0644 Mean : 0.0000 Standard Deviation : 0.0180	Minimum : -0.1301 Maximum : 0.0763 Mean : -0.0089 Standard Deviation : 0.0514

- 분석결과 90% 확률로 wavefront error가 0.02λ수준까지 증가하게 되나 회절 한계에 해당하는 수준으로 성능에 영향 없다.
- 곡률반경 및 두께 공차에 의한 성능저하 보상 조정량은 레이저 위치를 -0.65 ~ +0.63mm이상 조정해야 한다.

(나) 레이저 송광부 측정 결과

○ 빔 크기 측정

- gaussian base(13.5%), FWHM(50%)의 초기 빔 크기를 측정한다.
- beam profiler의 base line 설정정밀도를 위해 sensor noise를 최소화한다.

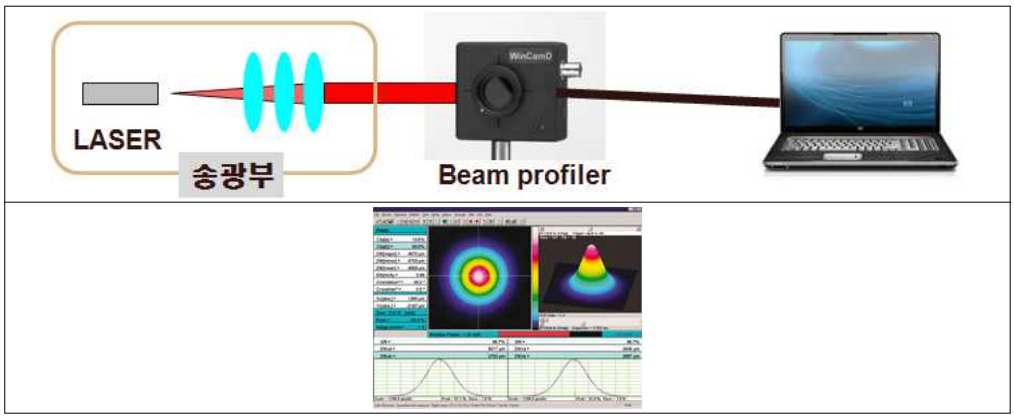
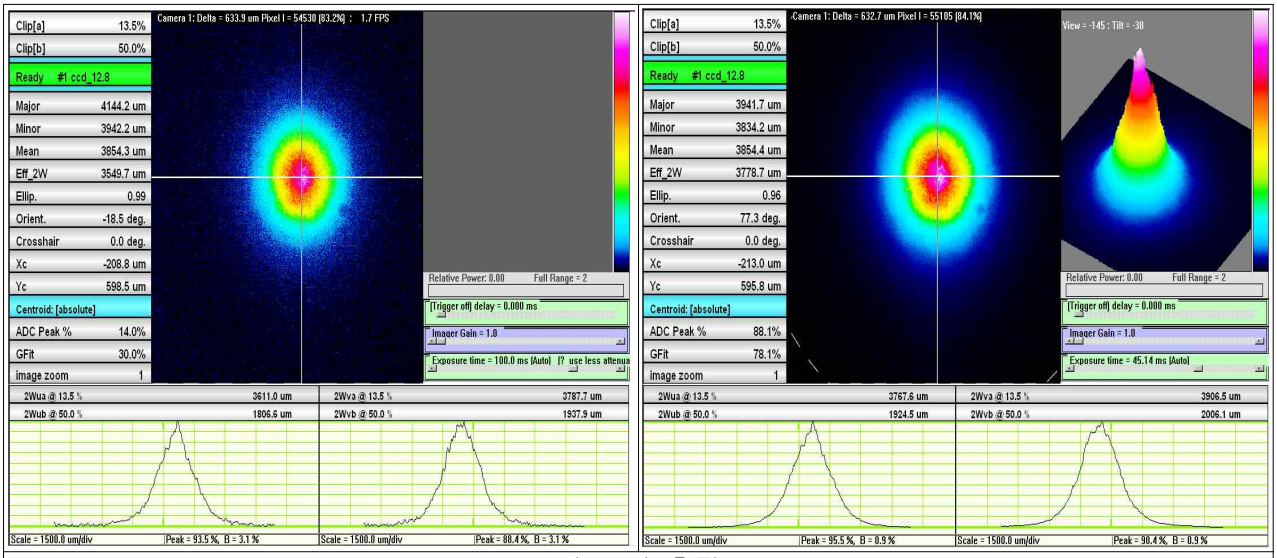


그림 9 송광부 빔 크기 측정

- 측정결과



빔 크기 측정

○ 빔 발산각

- 포물경의 타겟 위치를 정렬한다.
- 포물경의 광축에 송광부 모듈을 놓고 beam profiler를 통해 spot size를 측정한다.(20회)
- beam profiler의 base line 설정정밀도를 위해 sensor noise를 최소화한다.
- beam profiler는 송광부 모듈과 광축에 정렬되어 있으므로 측정데이터 중 vertical data만 적용한다.
- 빔 발산각 = tan-1(spot size / 포물경 EFL),(포물경 EFL = 1,620mm)

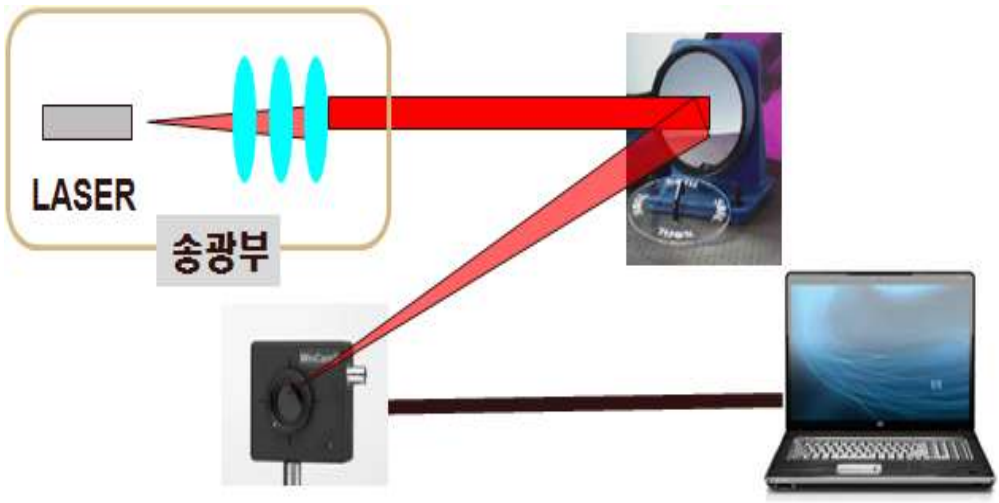


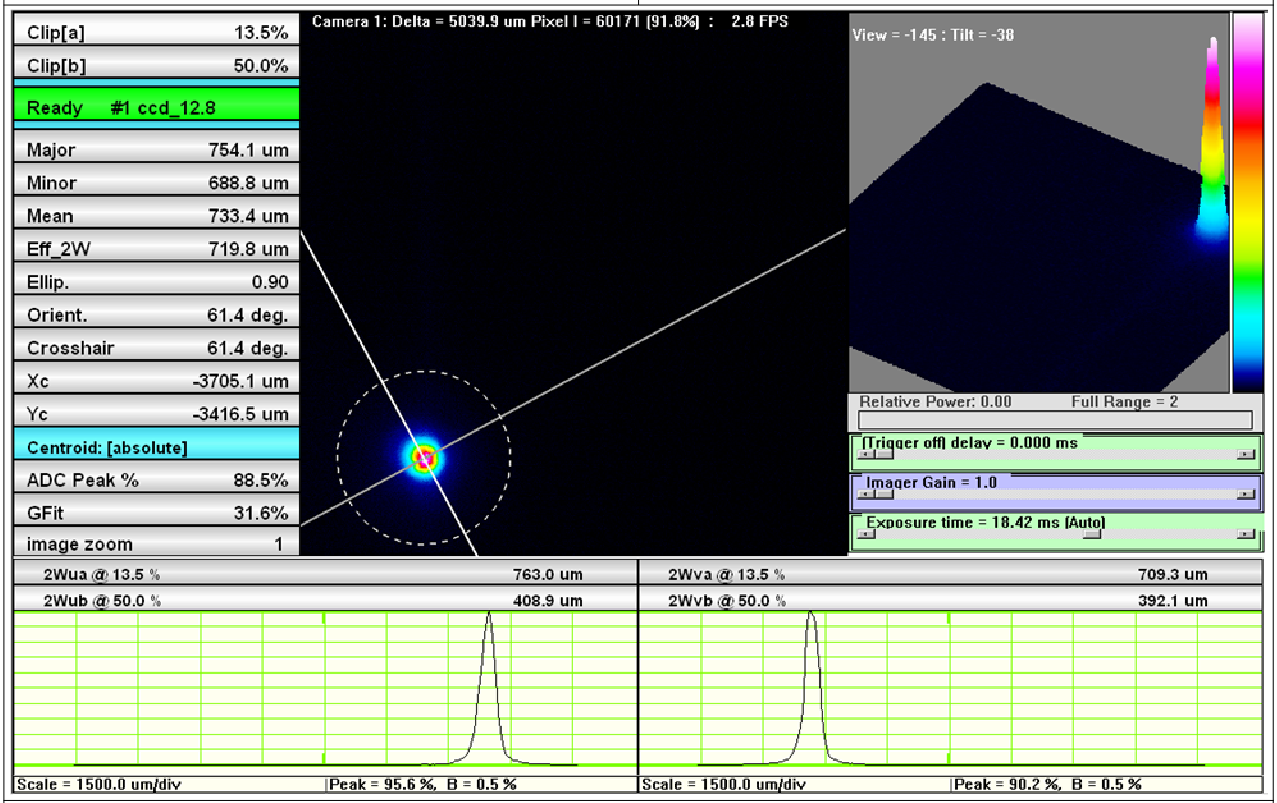
그림 10 송광부 빔 발산각 측정



레이저 빔 발산각 측정장면1



레이저 빔 발산각 측정장면2



빔 발산각 측정

빔 발산각 = tan-1(408.9 um/1620mm) = 0.0144도 = 0.257 mrad

○ 효율

- A지점과 B지점에서 average 파워를 측정하여 효율은 다음 식으로 계산한다.

  효율 = B지점 세기 / A지점 세기 X 100

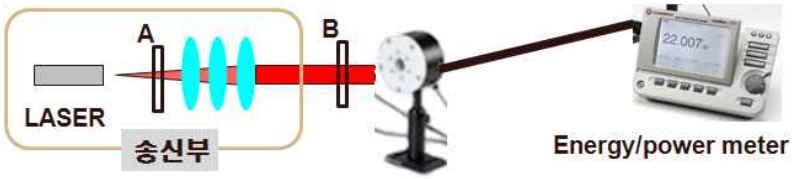
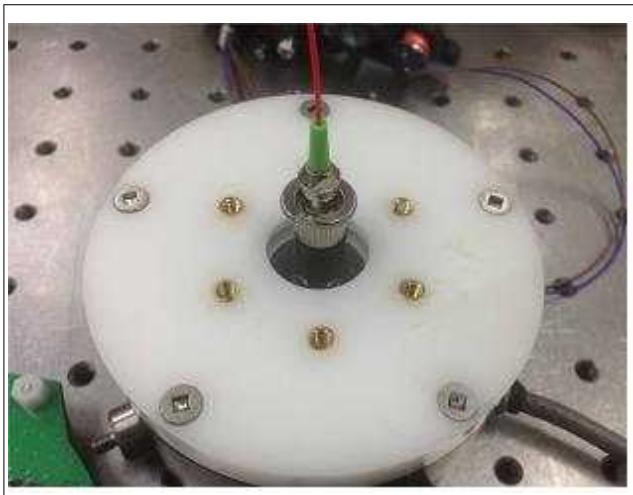
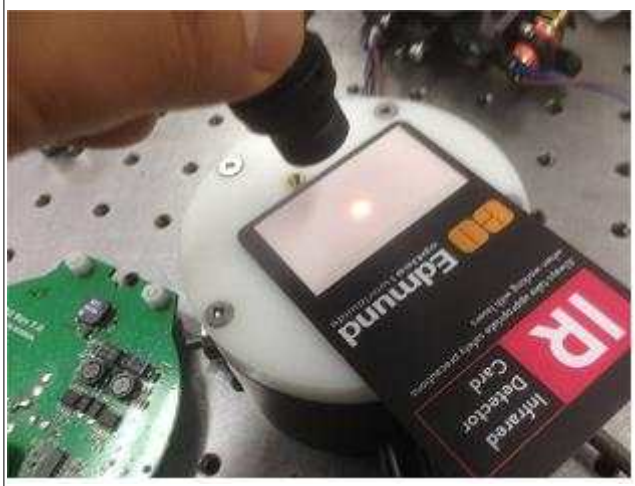


그림 11 송광부 효율 측정

<table>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>레이저 빔 세기 측정</td><td>레이저 빔 세기 측정값</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>송광부 모듈 위치 정렬</td><td>송광부 모듈 세기 측정</td></tr>
<tr><td> 
</td><td></td></tr>
<tr><td>송광부 모듈 세기 측정값</td><td></td></tr>
</table>

- 송광부 효율은 레이저 빔 세기 165mW 대비 145mW 이므로 87%의 효율을 가짐

(3) 레이저 수광부 설계 개념

레이저 스캐너에 사용되는 펄스 레이저는 Gaussian beam 특성을 띄고 있기 때문에 gaussian beam의 beam waist와 rayleigh range를 고려한 설계가 필요하다. 업체에서 제시된 레이저의 주요 사양 및 성능을 계산 및 측정한 결과, 송광부 광학계 설계에 필요한 주요 제원을 확인하였다.

표 6 개발 요구사항

구 분	제원	비 고
수광부 직경	40 mm	500m 측정을 위한 수광부 직경
전체 길이	70 mm이하	기구부 크기
fiber core 직경	200 um	
fibe core 수렴각	± 12.7도 이하	0.22 N.A.

- 1 년도 수광부 설계 사양(레이저 λ = 1,550nm, 측정거리 500m)

EFL	140 mm
airy disk 직경	D = 2.44 × λ × f/# = 2.44 × 1.55um × 140mm/40mm = 13.24 um
fiber 0.22 N.A 에 입사각	± 7.2도 (fiber N.A.의 4/7 수준)
fiber core 직경에 따른 시야각	tan-1(200um/140mm) = 0.081° 시야각 : ±0.040°

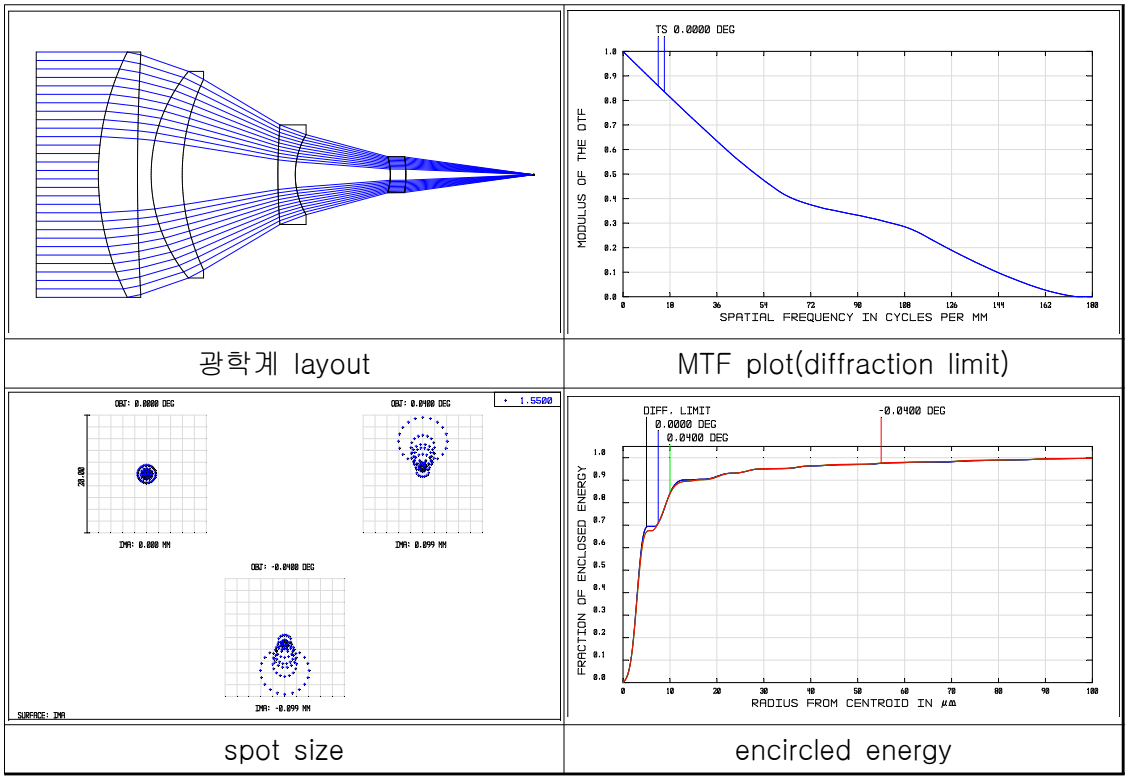
- fiber core의 직경이 작을수록 근거리 측정시 fiber에 집속되지 않는 구간이 늘어나기 때문에, 200um으로 적용하였다.

(가) 레이저 수광부 설계 결과

○ 설계 제원

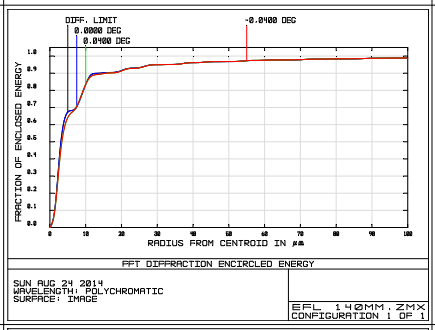
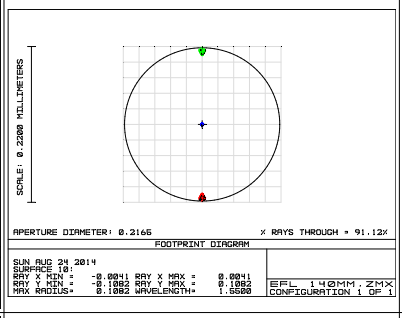
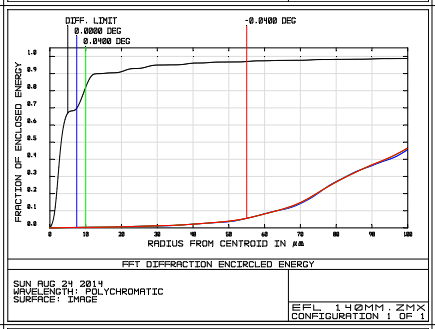
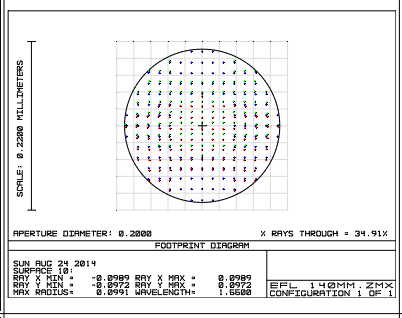
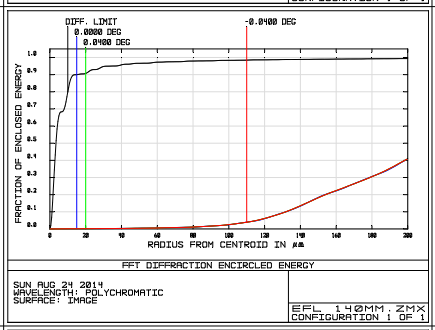
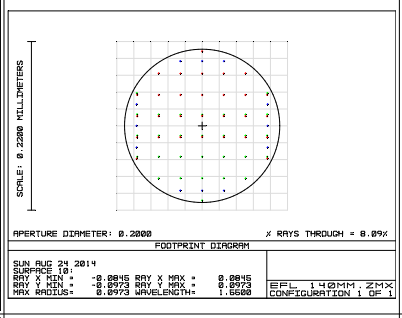
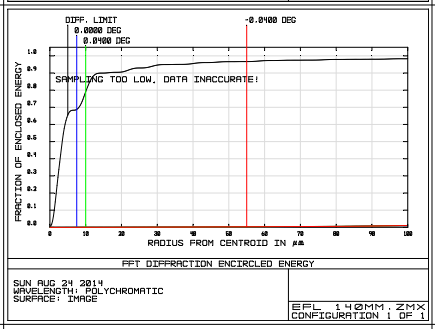
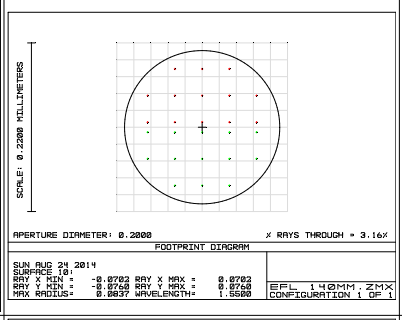
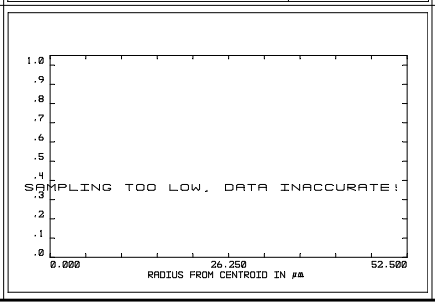
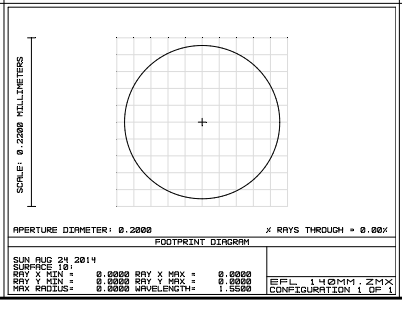
항목	광학계 설계 제원	비고
크기	40 mm × 70 mm	최대직경 × 초점면까지의 길이
초점거리	140 mm	
fiber상면 크기/수광각	직경 200um 이하/ ± 12.4도 이하	
렌즈 매수	4매	

○ layout 및 성능

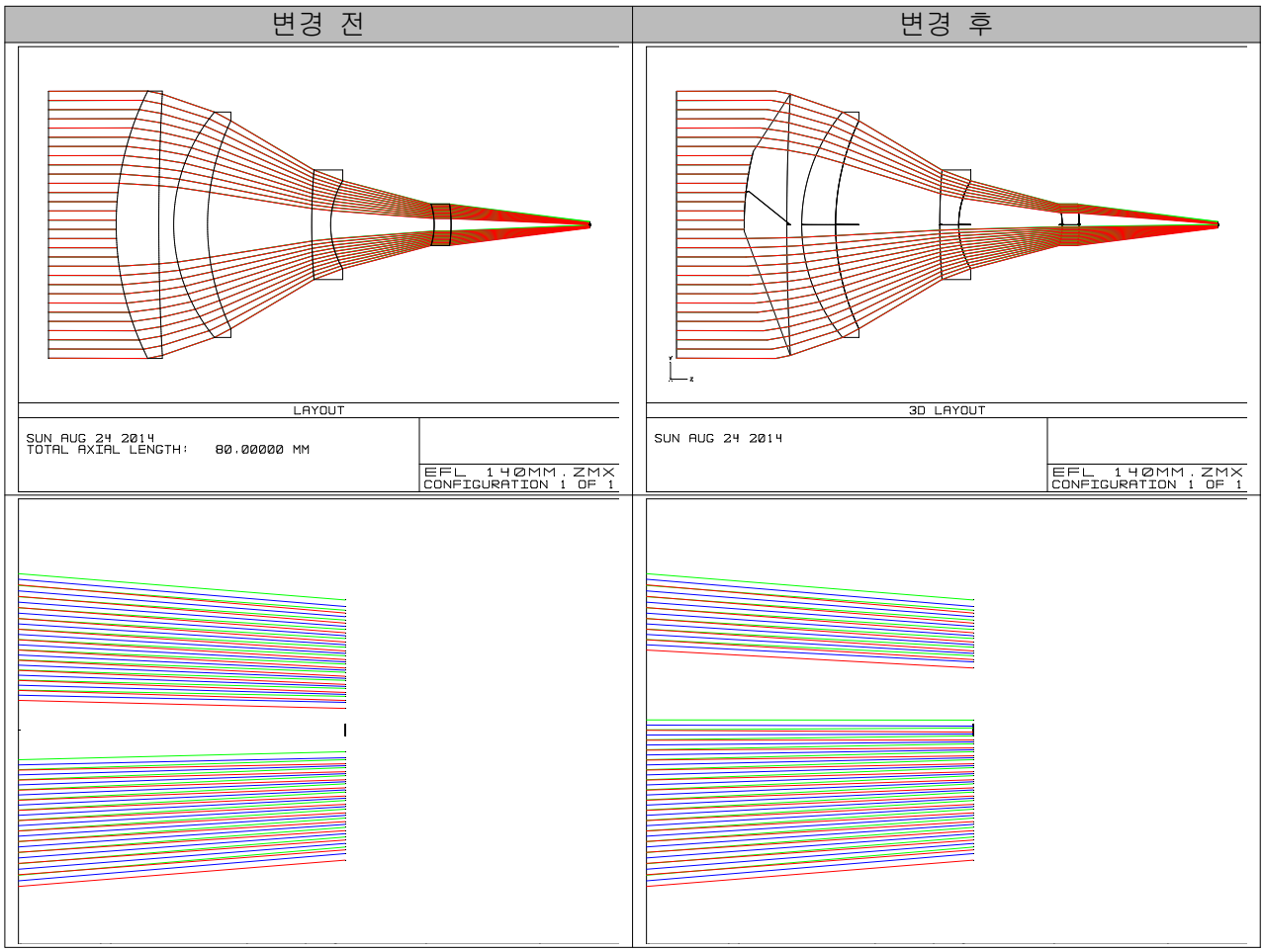


광학계 layout	MTF plot(diffraction limit)
spot size	encircled energy

- MTF 곡선은 회절 한계 수준으로 설계되어 있으며, 중앙의 곡선이 하향으로 약간 내려간 것은 송광부에 의한 비네팅에 의한 효과이다.
- 수광부는 타겟으로부터 산란되는 광을 한 점으로 집광하여 광섬유로 전달시켜주는 역할을 하므로 한 점으로 모을 때의 spot의 크기와 에너지 집중률이 중요하다. RMS spot 크기는 airy disk 직경인 13.24 um보다 작은 4um 수준으로 빛이 fiber 직경 내에 모두 집속되도록 설계되었다.

타겟 거리	Diffraction encircled energy (r:100㎛)	footprint diagram (200㎛ plot scale)	비 고 (200㎛집속되는 광량)
500m			91%이상
20m			34%이상
10m			8%이상
8m			3%이상
1.5m			집속 안됨

- 근거리 약 10m부터 1.5m까지 물체에서 반사된 빔은 수광부 fiber에 집속되지 않는데 아래와 같은 방법으로 중앙의 송광부 위치를 측면으로 이동하여 근거리에서 수광부의 빔이 fiber에 집속될 수 있도록 하였다.

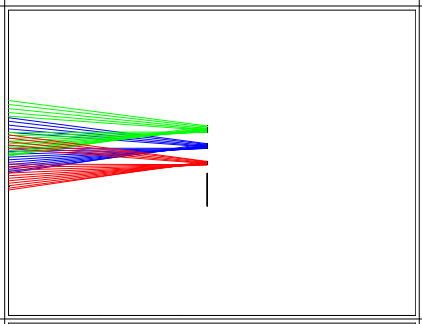
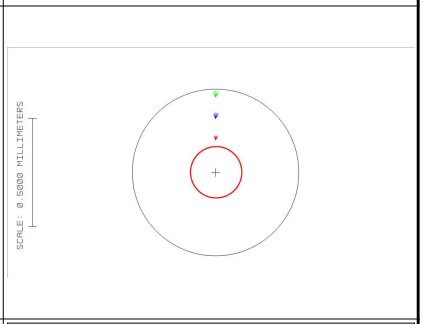
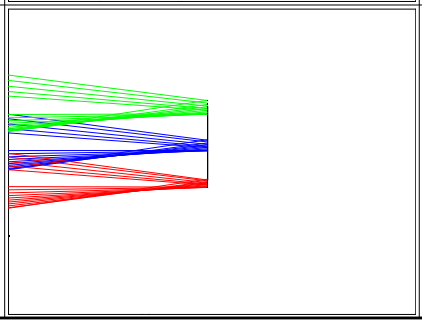
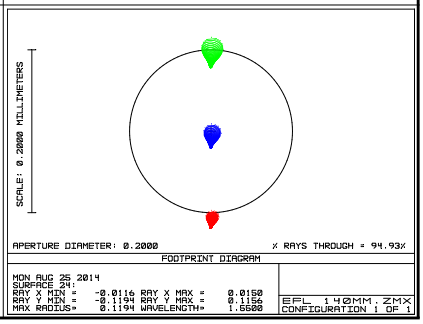


○ 공차 분석

* 공차 적용 후 초점면 이동량 검토

- 아래와 같이 렌즈 두께, decenter, tilt를 적용하여 상면에서 x,y방향으로 변화량을 확인하며 fiber를 조절하여 fiber 내의 유효경 200um을 초과하는지 검토하였다.

  * 렌즈 두께 : ± 0.04 mm
  * 렌즈 Decenter : ± 0.04 mm
  * 렌즈 TILT : ± 1분

구분	광학계 초점 위치	초점 상면 위치
초점 보정전		
초점 보정후 (Y축 0.27mm 이동)		

: 공차로 인한 초점면 최대 이동 위치는 y축 방향으로 0.27 mm 이동되어 수광부 fiber를 이동하여 보정 시, fiber 유효경 200 um 안에 ±0.04도(±0.7mrad) 이내의 빛만 90% 이상 집속된다.

* 몬테카를로 공차분석

monte carlo tolerancing을 사용하여 확률적인 성능 변화에 대해 시뮬레이션을 실시하였다.

가공 공차		조립 공차	
구면균일도- 불균일도	3-1링	렌즈 decenter	± 0.05 mm
두께	± 0.03mm	렌즈 tilt	± 0.0167도(1분)
굴절률	0.001 (0.1% 이하)		
분산률(Abbe #)	± 0.1%		
surface decenter	± 0.003mm (렌즈 편심 1분 기준)		
surface tilt	± 0.0167도 (렌즈 편심 1분 기준)		

구분	Root-Sum-Square method	Monte Carlo Analysis
RMS spot radius	Nominal RMS Spot Radius : 0.00146216 Estimated change : 0.0115 Estimated RMS Spot Radius : 0.0130	90% > 0.011 50% > 0.006 10% > 0.004
compensator changes	Minimum : -0.6 Maximum : 0.6 Mean : 0.0006 Standard Deviation : 0.13	Minimum : -1.25 Maximum : 0.67 Mean : -0.1 Standard Deviation : 0.4

- 분석결과 90% 확률로 spot radius 직경이 22um 수준까지 커지게 되나 fiber 유효경인 200 um 이내에 들어온다.
- 곡률반경 및 두께 공차에 의한 성능저하 보상 조정량은 수광부 fiber 위치를 -1.3 ~ +0.7mm 조정해야 한다.

○ 제작



수광부 부품



수광부 모듈

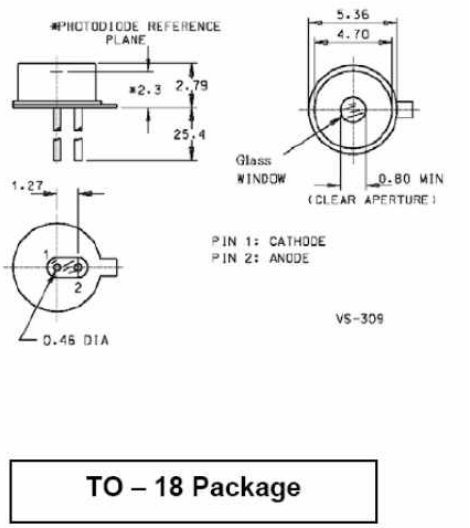
(4) 수광부 파이버/APD커플링 광학계 설계개념

수광부 파이버/APD 커플링 광학계는 fiber를 통해 확산되는 빔이 APD에 손실없이 전달되어야 하기 때문에, 수광부 파이버와 APD의 유효경 및 N.A.를 고려한 설계가 필요하다.

표 7 수광부 파이버/APD 커플링 광학계 설계 제원

구 분		주요 설계 제원	비 고
수광부 fiber	core 직경	200 um	FG200LEA (200um,thorlabs사)
	N.A.	± 12.7도 이하 (0.22 N.A.)	
APD	직경	80 um	C30645 (perkin Elmer)
	N.A.	0.63(± 39도)	

표 1 APD의 주요 제원

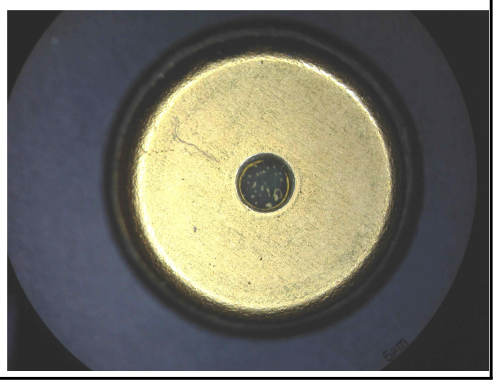


TO – 18 Package

검출기 N.A.

= sin(tan-1(0.4/(2.79-2.3))) = 0.63

APD용 수광렌즈의 N.A.는 0.63 이하로 적용

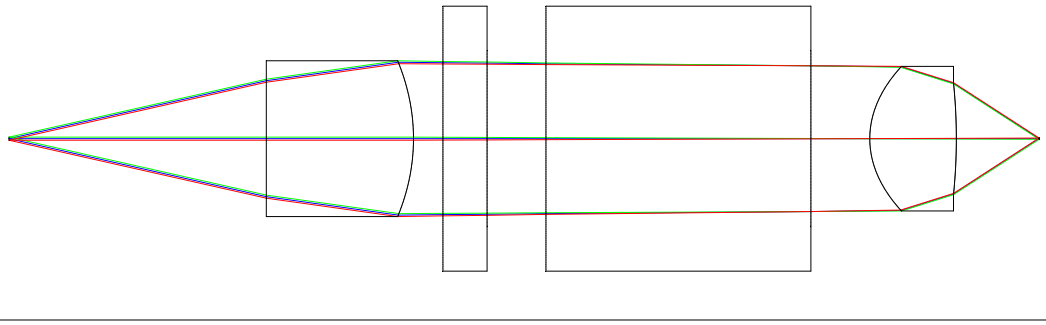


(가) 수광부 파이버/APD커플링 광학계 설계 결과

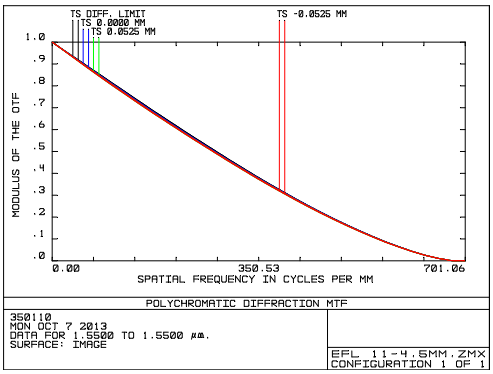
○ 설계 제원

항목	설계 제원	비고
크기	9 mm × 9 mm × 40 mm	
fiber상면 크기/발산각	직경 200um/ ± 12.4도 이하	fiber용 시준렌즈와 APD용 수광렌즈의 N.A. 및 유효경 고려하여 EFL 결정 (352220C, 352230C)
APD상면크기/수렴각	직경 80um/ ± 39도 이하	
초점거리 비율	11 mm : 4.5 mm	
렌즈 매수	비구면렌즈 2매, 필터 1매, 프리즘 1매	

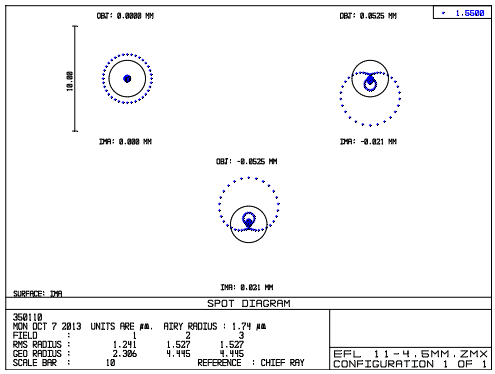
○ layout 및 성능



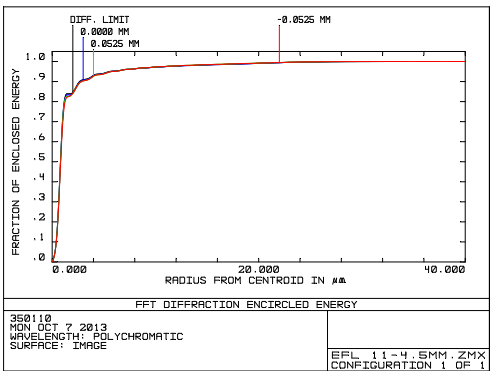
광학계 layout



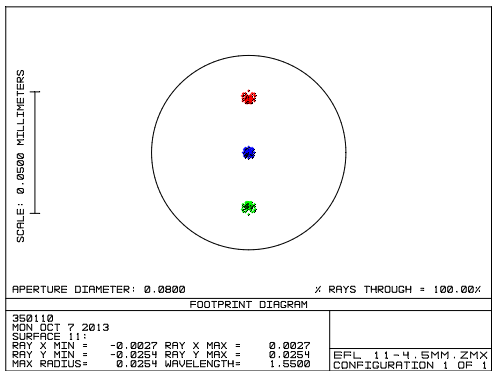
MTF plot(diffraction limit)



spot diagram



encircled energy



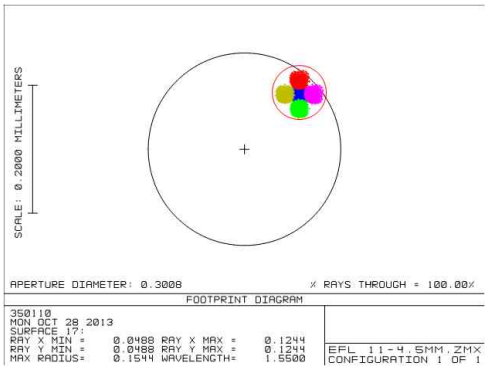
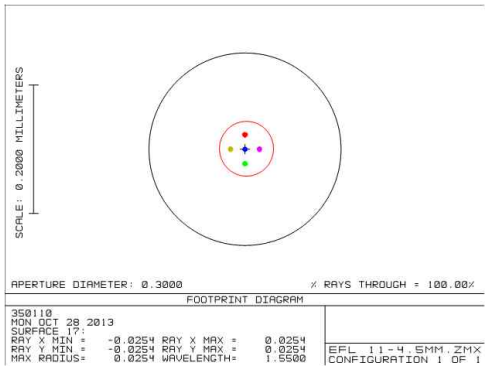
APD 면에서의 빔 위치

- MTF 곡선은 회절 한계 수준으로 설계되어 있으며 APD 유효경인 80um 안에 100% 집속된다.

○ 공차 분석

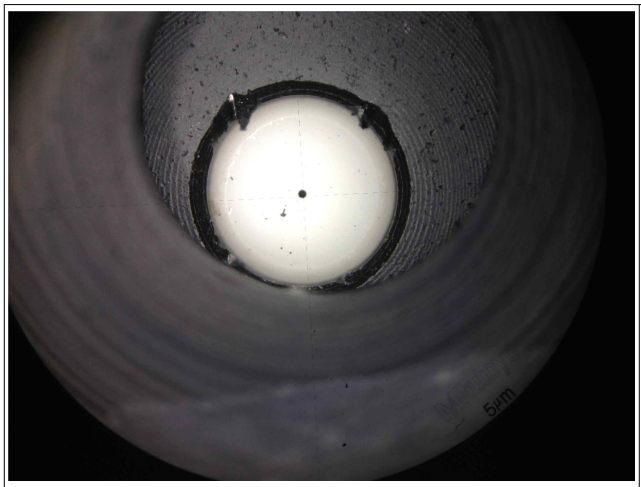
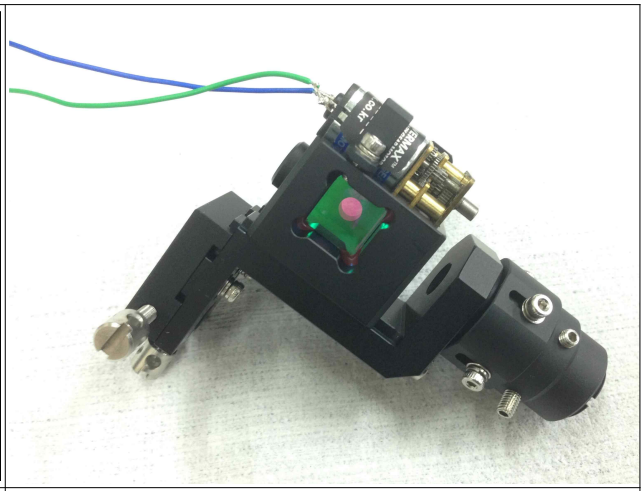
APD/ 파이버 커플링 광학계 공차는 아래와 같이 적용하여 APD 내의 유효경 80um을 초과하는지 검토하였다.

* 렌즈 두께 : ± 0.04 mm
* 렌즈 Decenter : ± 0.06 mm
* 렌즈 TILT : ± 1분

초점 보정전	초점 보정후
	

공차 적용한 결과, 광축 중심에서 150um 지점에 위치하여 APD 유효경을 벗어나게 되지만, APD를 X,Y,Z 방향으로 위치 이동하여 보정하면 APD 유효경 80 um 안에 100% 집속된다.

◯ 제작

	
파이버와 하우징 위치 정렬	수광부 파이버/APD커플링 모듈

(5) 구심레이저 구성 방안

구심레이저는 설계보다 빔 발산각이 작은 상용품을 사용하는 방법으로 결정하였다.

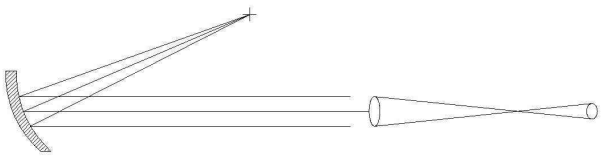
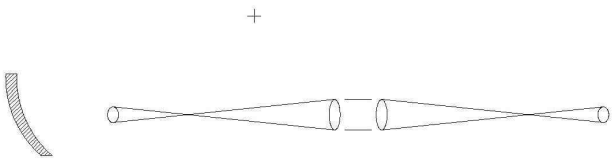
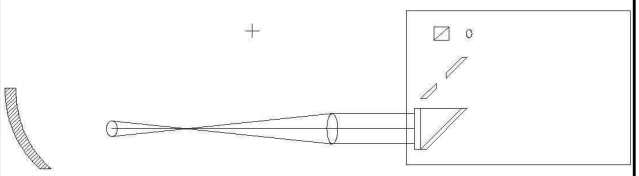
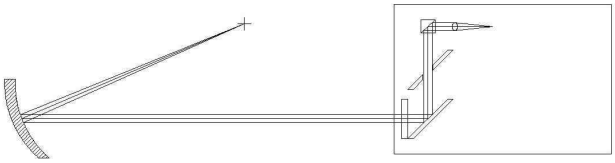
표 8 구심레이저 주요 제원

<table>
<tr><th>형 상</th><th>주요 제원</th></tr>
<tr><td>  </td><td>- 초점 조절 가능
- 레이저 등급 : class 2
(IEC 60825-1 :2007)</td></tr>
<tr><td>
<table>
<tr><th>Items</th><th>Values</th><th>Unit</th></tr>
<tr><td>Optical output power</td><td><1</td><td>mW</td></tr>
<tr><td>Peak wavelength</td><td>655±5</td><td>nm</td></tr>
<tr><td>Focused beam dia. (@FWHM)</td><td><0.1 (@300mm)</td><td>mm</td></tr>
<tr><td>Collimated beam dia. (@FWHM)</td><td><3x2(@10M)</td><td>mm</td></tr>
<tr><td>Collimated beam div.</td><td><0.5</td><td>mrad</td></tr>
<tr><td>Beam quality</td><td>TEM00, M^2<1.5</td><td></td></tr>
<tr><td>Beam intensity pattern</td><td>Gaussian</td><td></td></tr>
</table>
</td><td>
<table>
<tr><th>Items</th><th>Values</th><th>Unit</th></tr>
<tr><td>Operating voltage</td><td>5±5%</td><td>DC V</td></tr>
<tr><td>Operating current</td><td>25 (typ.)</td><td>mA</td></tr>
<tr><td>Drive circuit</td><td>APC</td><td></td></tr>
<tr><td>Operating temp.</td><td>-10 ~ +50</td><td>°C</td></tr>
<tr><td>Storage temp.</td><td>-40 ~ +80</td><td>°C</td></tr>
<tr><td>LD Pin Connection</td><td>Case positive</td><td></td></tr>
</table>
<table>
<tr><th>Items</th><th>Values</th><th>Unit</th></tr>
<tr><td>Weight</td><td>5.5±1</td><td>g</td></tr>
<tr><td>Dimensions(mm)</td><td>Ø6*13.3</td><td>mm</td></tr>
<tr><td>Housing material</td><td>Aluminum</td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

(6) 송/수광부 광축 정렬

모듈에 적용한 레이저는 1550nm의 SWIR(short wave infrared) 파장 대역의 근적외선으로 육안으로 확인이 불가능하여 IR detecting card를 이용하여 광축 정렬을 해야 한다.

○ 회전 미러 윈도우를 기준으로 송광부 광축 정렬

순	정렬 절차	도식화
1	시준기를 이용하여 포물경의 초점 중심과 일치하는 광축 설정	
2	시준기 앞에 또 하나의 시준기를 배치하여 두 광축 일치	
3	절차 1에서의 시준기를 분리하고 이 위치에 TLS 광학모듈 배치하여 TLS 창을 기준으로 광축 정렬	
4	TLS 광학모듈 앞의 시준기를 분리하고 송광부 모듈의 프리즘부를 좌우,상하로 정렬하여 광축 정렬	



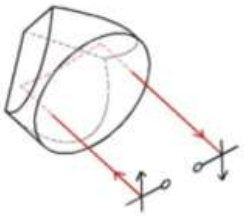
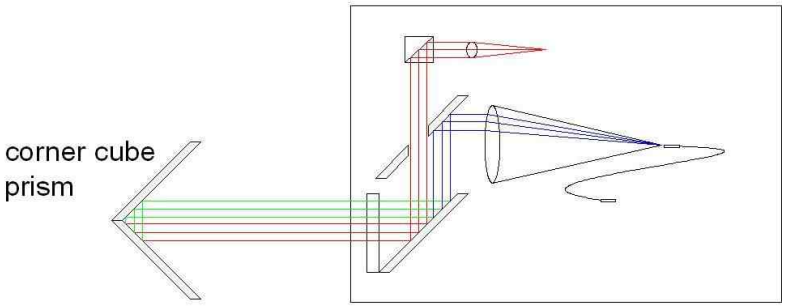
회전미러 기준 송광부 광축정렬 #1

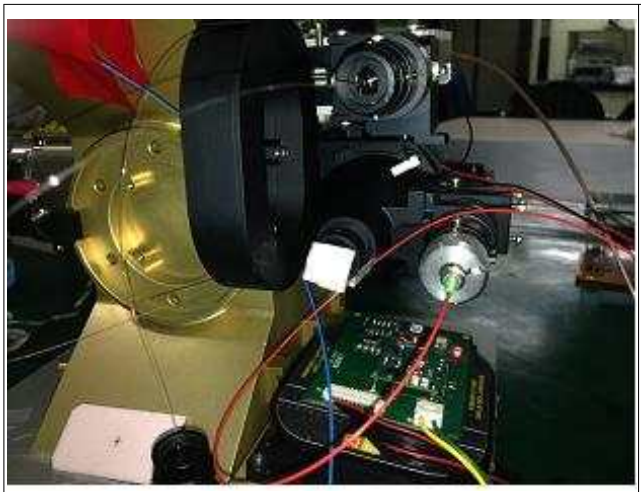
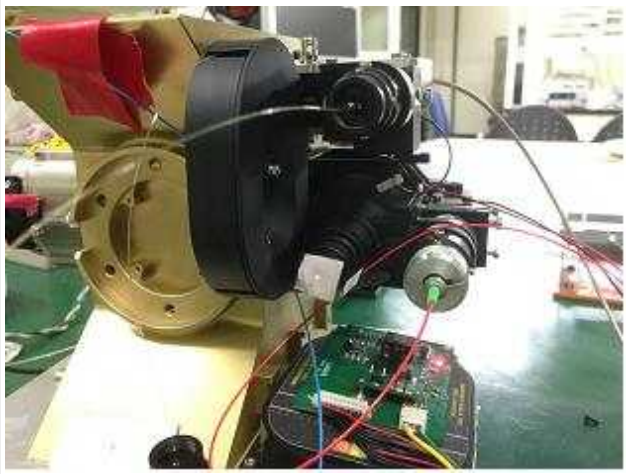
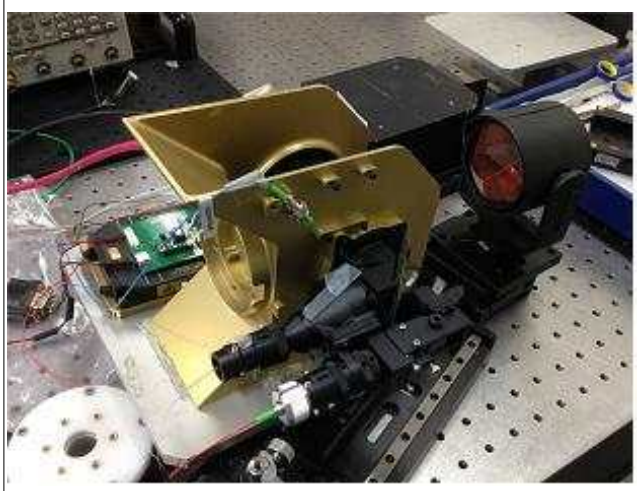
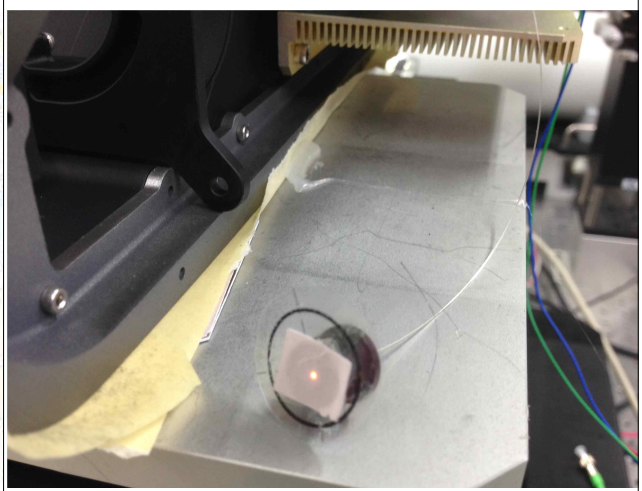


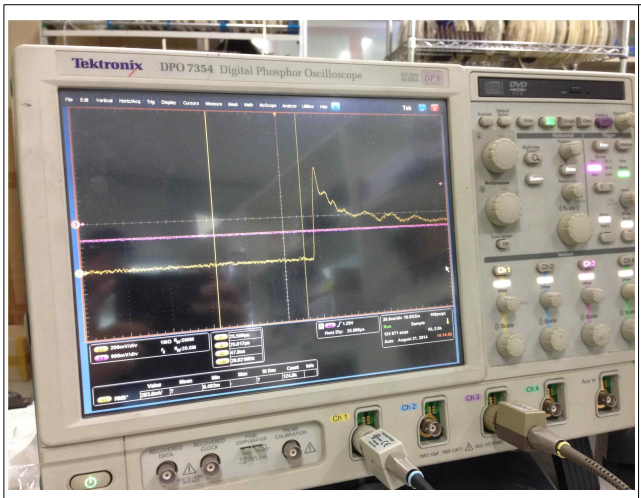
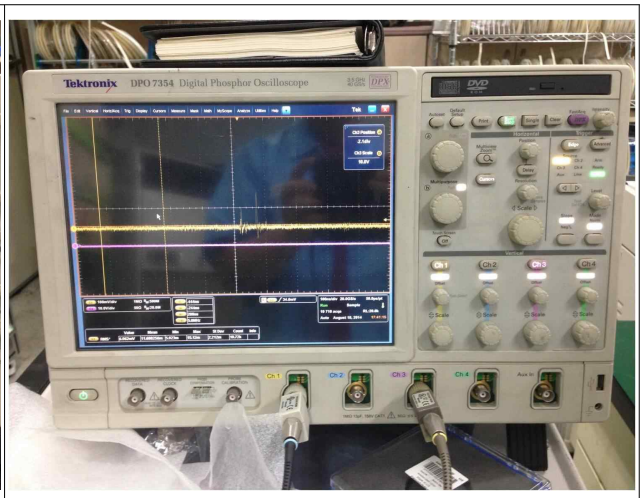
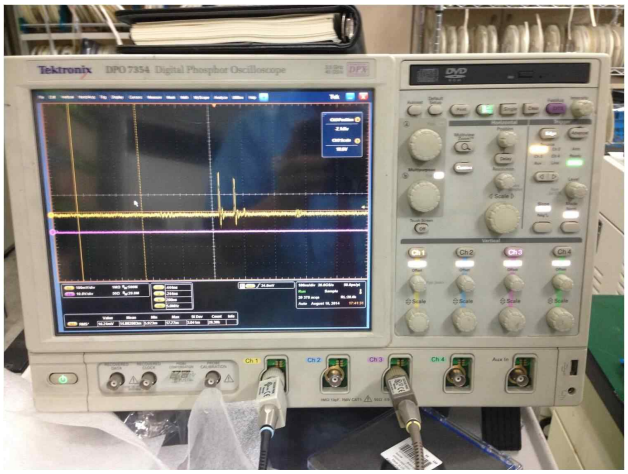
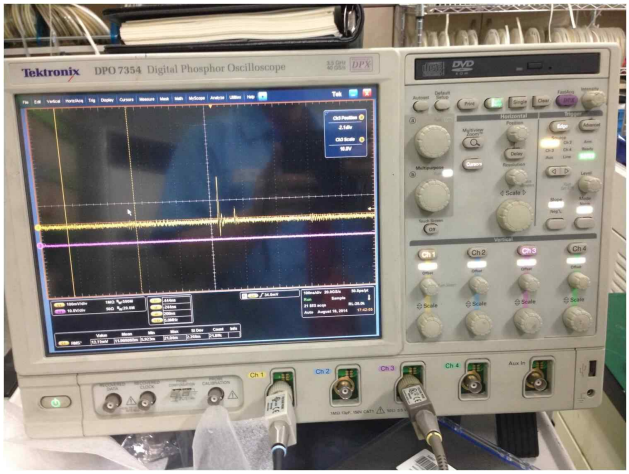
회전미러 기준 송광부 광축정렬 #2

○ 송광부 광축 위치로 수광부 파이버 정렬

- corner cube prism은 입사된 빛에 빛에 대해 광축 편향이 원호각 5초 (0.025mrad) 이내로 송광부 빔 발산각의 1/10 수준으로 매우 정밀한 광학부품을 이용하여 송/수광부 광축 정렬을 하였음

	
코너큐브프리즘	송광부와 수광부 광축 정렬

	
레이저 검출용 감광지 부착	레이저 수광부 중심 정렬
	
아웃패스 파이버 연결	아웃패스 파이버 위치 정렬

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>APD 위치에 대해 이너패스 정렬</td><td>아웃패스 및 이너패스 수신광 신호 확인</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">거리 조절에 따른 아웃패스 수신광 신호 확인</td></tr>
</table>

3. 기구 및 모터 설계 제작

3차원 레이저 스캐너에 적합한 메인 프레임을 설계하기 위해 선행 되어야 할 것은 레이저 스캐너의 구동 방식과 특성을 알아보고 목표 사양을 정하는 것이다. 3차원 레이저 스캐너의 구동 방식과 특성은 다음과 같다.

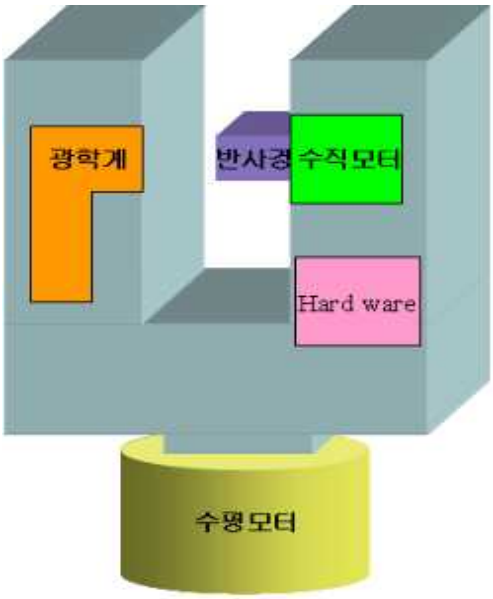


그림 12 레이저 스캐너 개념도

3차원 레이저 스캐너는 <그림 12>와 같이 수평모터로 구동되는 메인 프레임과 메인 프레임 우측면에 고정된 수직모터에 의해 구동되는 반사경 모듈, 그리고 메인 프레임 좌측면에 장착된 레이저 송·수신 광학계, 전자관련 Hardware로 구성되어 있다.

위의 주요 구성 요소들 중에서 수평 모터의 회전 운동과 수직 모터의 구간 반복 운동으로 인하여 레이저 스캐너 본체와 반사경, 광학계 등에 진동 문제를 야기 시킬 수 있다. 특히, 모터의 구동 주파수 영역 내에 메인 프레임의 공진이 존재하면 레이저 스캐너 성능에 영향을 줄 수 있으므로 진동 관점의 검토가 필요하다.

또한, 제품의 무게를 취소화하기 위해 메인 프레임 응력 해석을 수행하여 응력이 집중되는 곳은 보강하고, 응력을 받지 않는 부분은 제거하여 적은 중량으로도 강성을 극대화 되도록 설계한다.

가. 메인 프레임 설계

1) 설계 목표 사양 결정

레이저 스캐너의 운용 방법에 따라 최고 속도로 스캐닝을 할 경우 수평 모터의 회전은 약 60Hz 정도로 예상되며, 광학적 성능이 안정화되기 위해서 메인 프레임은 150Hz 이상의 고유 진동수를 이루어야 한다.

2) 개념 연구

강성이 높은 메인 프레임을 만들기 위해 강성에 민감한 파라미터들을 설정하여 그 경향성을 알아보고 이를 토대로 메인 프레임을 설계하고자 한다. 먼저 비교의 기준이 될 기본 형상을 설정하기 위해 일반적인 수평·수직 구동에 사용되는 형상을 <그림 13>처럼

잡은 후 진동 해석을 해보았다. 그 결과 모터와 광학계를 지지해야 할 양쪽 판이 가장 먼저 공진을 일으키는 것을 확인하였다.

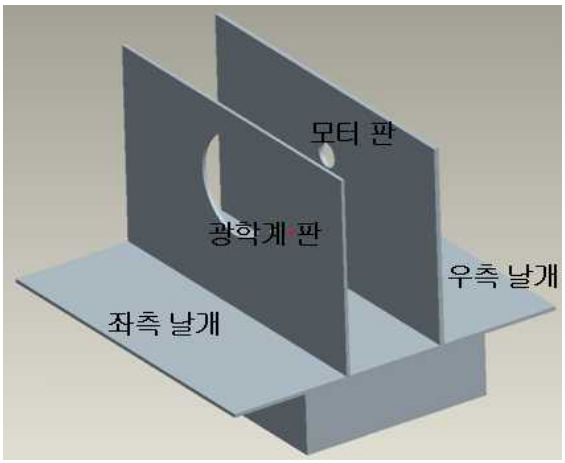


그림 13 기본 형상 구조

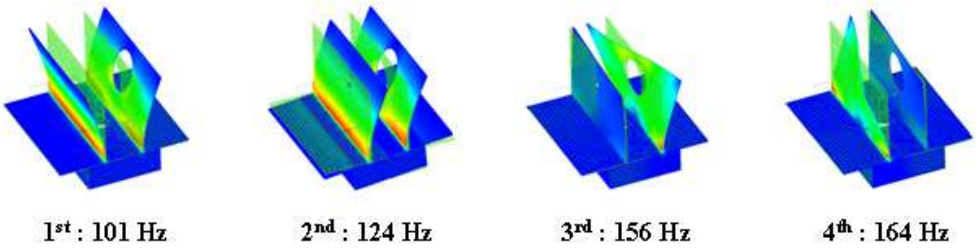
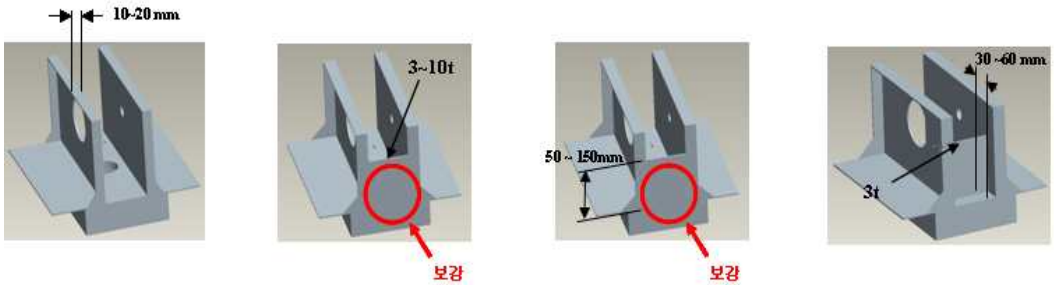


그림 14 모드해석 결과

이를 바탕으로 고유 진동수에 영향을 줄 것이라고 예상되는 양쪽 판 주변에 4개의 파라미터를 <그림 15>와 같이 설정하여 각각의 민감도를 살펴보았다.



(a) 파라미터 1 (b) 파라미터 2 (c) 파라미터 3 (d) 파라미터 4

그림 15 파라미터 선정

가) 파라미터 1

메인 프레임 양쪽 판의 보강대 길이에 따른 고유진동수 변화를 살펴보았다. 그 결과 보강대의 길이가 길어지면 고유 진동수가 크게 증가하는 것을 아래 표에서 볼 수 있다.

표 9 파라미터 1의 변화에 따른 공진 주파수 변화

구 분		보강대 길이		
		1 레벨	2 레벨	3 레벨
		10 mm	15 mm	20 mm
공진 주파수	1st	198 Hz	225 Hz	311 Hz
	2nd	254 Hz	332 Hz	411 Hz
	3rd	348 Hz	442 Hz	527 Hz
	4th	364 Hz	456 Hz	543 Hz

나) 파라미터 2

보강이 필요한 양쪽 판을 연결해주는 보강대를 메인 프레임 뒤쪽에 설치하고 두께에 따른 고유 진동수 변화를 알아보았다. 그 결과 뒤쪽 보강대 두께, 파라미터 2는 고유 진동수에 거의 영향을 주지 않음을 <표 11>을 통해 알 수 있다.

표 10 파라미터 2의 변화에 따른 공진 주파수 변화

구 분		보강대 두께			
		1 레벨	2 레벨	3 레벨	4 레벨
		3 mm	5 mm	7 mm	10 mm
공진 주파수	1st	381 Hz	381 Hz	389 Hz	389 Hz
	2nd	477 Hz	479 Hz	482 Hz	482 Hz
	3rd	665 Hz	665 Hz	664 Hz	664 Hz
	4th	684 Hz	684 Hz	702 Hz	702 Hz

다) 파라미터 3

파라미터 3은 뒤쪽 보강대의 높이로 보강대 높이의 변화가 고유 진동수에 영향을 미치는 정도를 살펴보았다. 그 결과를 <표 12>에 나타내었다.

표 11 파라미터 3의 변화에 따른 공진 주파수 변화

구 분		보강대 높이		
		1 레벨	2 레벨	3 레벨
		50 mm	100 mm	150 mm
공진 주파수	1st	352 Hz	381 Hz	391 Hz
	2nd	454 Hz	477 Hz	487 Hz
	3rd	633 Hz	665 Hz	664 Hz
	4th	641 Hz	684 Hz	688 Hz

라) 파라미터 4

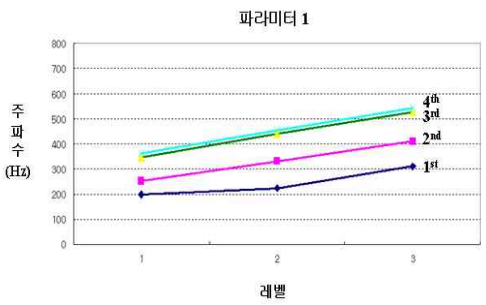
보강대의 위치를 파라미터 4로 잡고 고유 진동수에 미치는 영향을 밑에 <표 13>을 통해 확인 할 수 있다.

표 12 파라미터 4의 변화에 따른 공진 주파수 변화

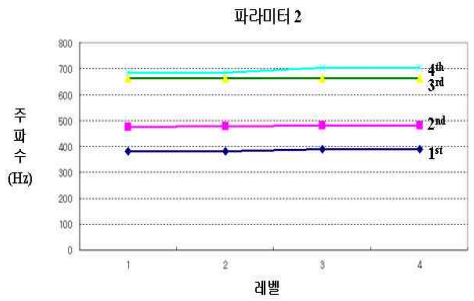
구 분		보강대 위치	
		1 레벨	2 레벨
		30 mm	60 mm
공진 주파수	1st	402 Hz	419 Hz
	2nd	494 Hz	511 Hz
	3rd	664 Hz	660 Hz
	4th	697 Hz	664 Hz

마) 설계 레벨 결정

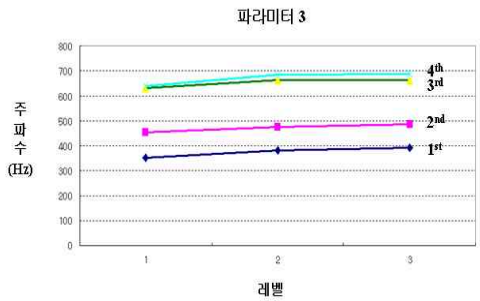
앞서 살펴 본 표들을 정리하여 파라미터들의 고유 진동수에 대한 민감도 그래프를 아래 그림과 같이 나타내었다. 파라미터 1의 민감도를 살펴보면 파라미터 1의 길이 증가 대비 고유진동수 그래프의 기울기가 증가하고 있으므로 가능한 큰 레벨 값을 선정하였다. 파라미터 2의 경우는 두께가 늘어나도 고유 진동수에는 거의 영향을 미치지 않으므로 가장 작은 레벨로 선정하였다. 파라미터 3의 경우 세 번째 레벨이 가장 큰 고유진동수를 갖지만 고유진동수 기울기는 감소하고 있다. 때문에 무게 증가량 대비 가장 좋은 성능을 나타내는 두 번째 레벨을 설계 값으로 선정하였다. 파라미터 4는 레벨에 따른 고유진동수 변화가 미미하기에 기구적 공간 조건을 고려하여 두 번째 레벨로 선정하였다.



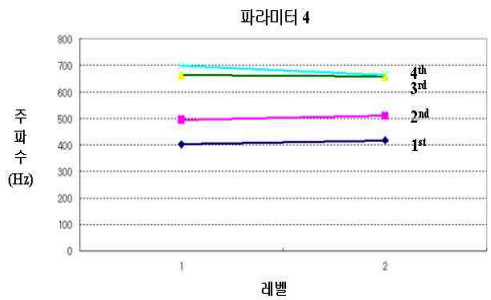
(a) 파라미터 1



(b) 파라미터 2



(c) 파라미터 3



(d) 파라미터 4

그림 16 파라미터에 따른 주파수 민감도

바) 결론

여러 번의 진동 해석 결과 각 파라미터가 메인 프레임의 고유 진동수 변화 경향을 알 수 있었다. 따라서 파라미터의 변화에 따른 경향을 고려하여 메인 프레임을 설계하고 또한, 각종 부품이 배치, 광・전자 케이블 등 제작 성을 고려하여 최종형상을 결정토록 진행한다.

3) 메인 프레임 설계안

메인프레임에는 수직/ 수평 모터와 이너패스 조립체, 송수신 광학부 조립체, Fiber 레이저 소스 조립체, Fiber 딜레이 조립체, 보드 조립체, 손잡이 체결부가 결합된다. 따라서 메인프레임은 각 모듈을 체결했을 시 견고하게 유지되는 강성을 고려한 설계가 필요하며, 결합되는 각 모듈의 무게를 적용한 강성 시뮬레이션을 통해 메인프레임을 견고하게 유지하도록 분석 설계하였다. 강성 시뮬레이션 결과를 바탕으로 응력의 집중부에 대한 기구 형상을 보완 설계를 수행하였다.

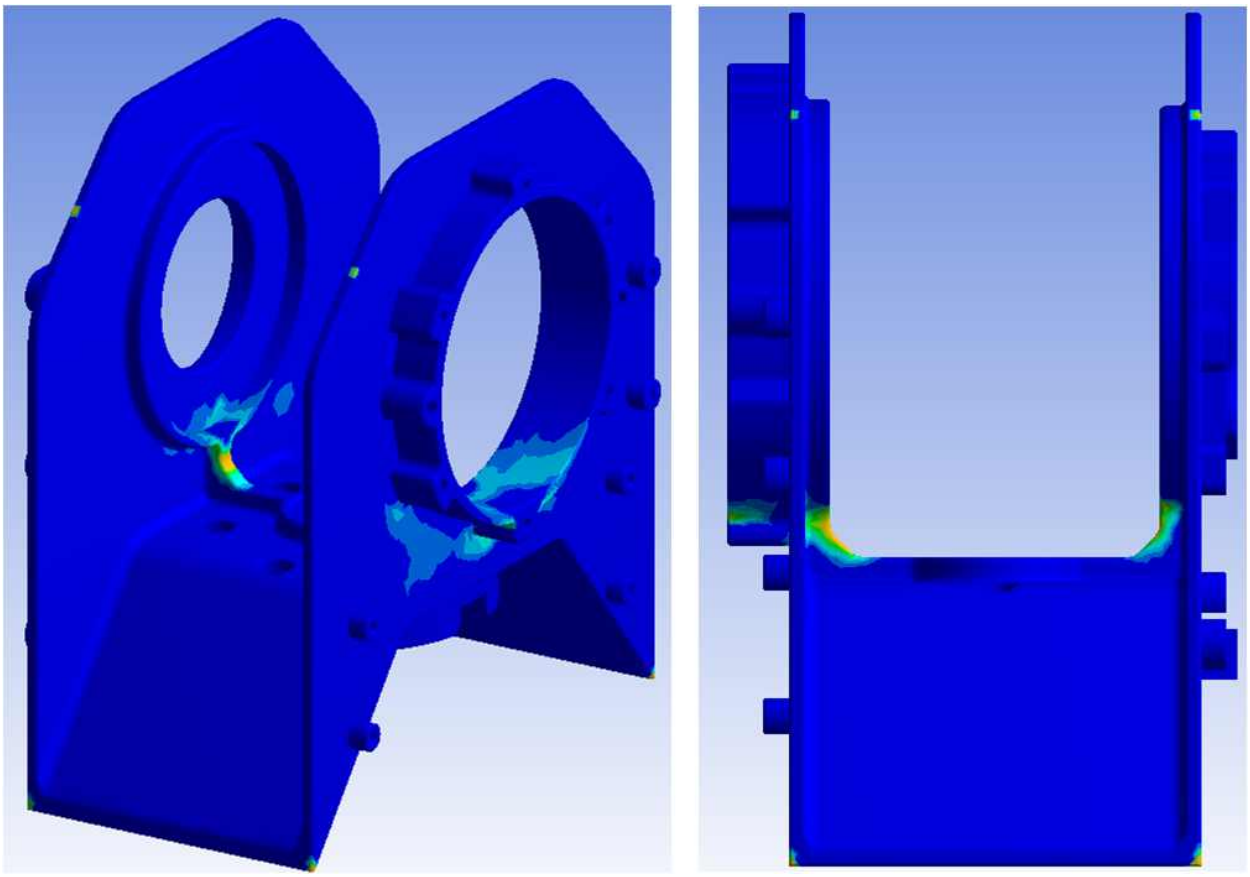


그림 17 메인프레임 강성 시뮬레이션

3차원 레이저 스캐너의 환경 조건은 IP54로써 외부 먼지와 수분으로부터의 방비를 위해서는 기구적 형상을 1차 시제의 강성 시뮬레이션을 기준으로 <그림 18>과 같이 설계 보완하였다.

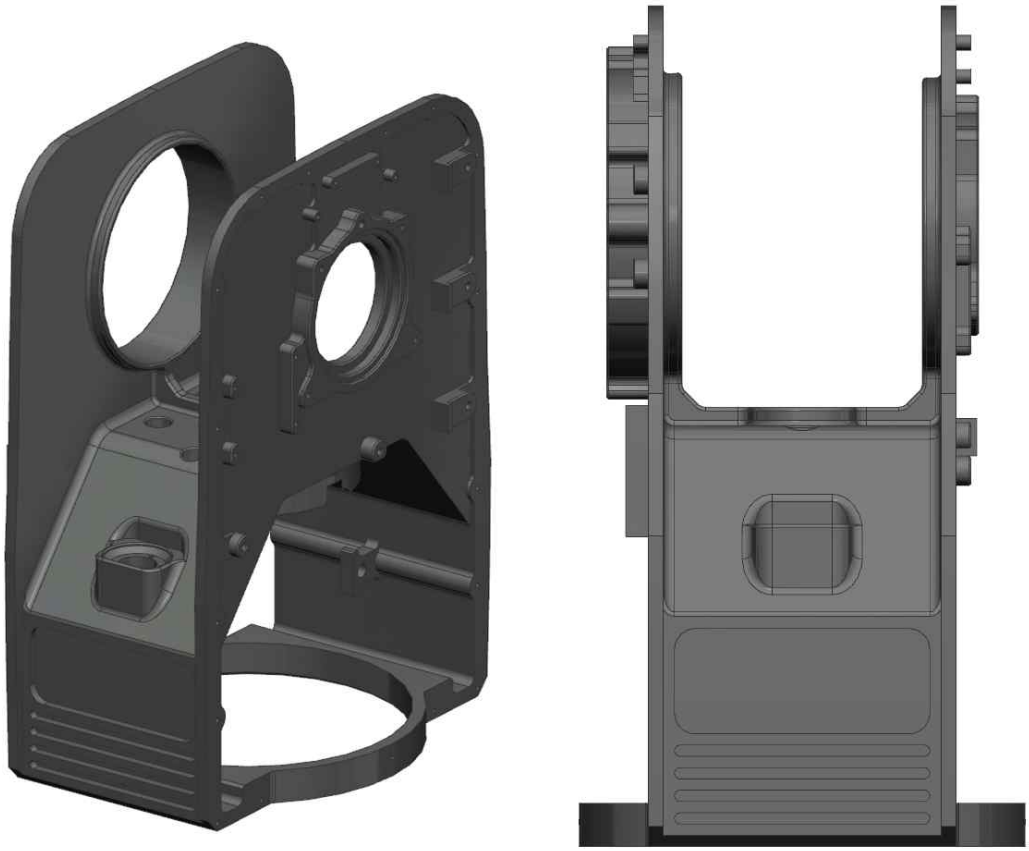


그림 18 환경 조건 및 강성 시뮬레이션 반영한 메인프레임 설계

보완된 메인프레임에는 밀폐를 위한 오링면이 추가되어 있으며, 추가적으로는 작동시의 수평을 위한 바이알 홈과 하단으로 하우징을 확장함으로써 수평모터와의 간섭을 방지하는 구조로 설계하였다.

나. 수직/수평 모터 모듈 개발

1) 모터 선정 검토

모터는 전기 에너지를 기계적 운동 에너지로 변환시켜주는 구성품으로 소형정밀 OA기기로부터 산업설비에 이르기까지 산업 각 분야에서 다양하게 사용되고 있다. 자동화/소형정밀화 추세에 따라 각종 응용제품의 정밀 구동 품으로써 수요가 지속적으로 증가되고 있고, 일반적으로 모터는 크게 DC모터, AC모터, Stepping모터로 구분된다.

본 모터는 BLDC 서보모터로서 최초의 모터인 브러시타입 모터에서 브러시가 제외된 DC 모터의 일종으로 DC동기모터에 제어신호를 발생하는 센서를 부착하여 상위 지령에 따라 가감속등을 조절할 수 있는 모터를 의미한다. 요구하는 기구적 특성 및 전기적 특성을 만족하는 50W급 모터를 선정하여 제작 특성 및 기구적 특성을 검토한 최적의 제품(DC 서보모터)을 제작하였고, 수직회전모터의 크기를 줄이고 양산성을 위한 구조변경을 다음과 같이 검토하였다.

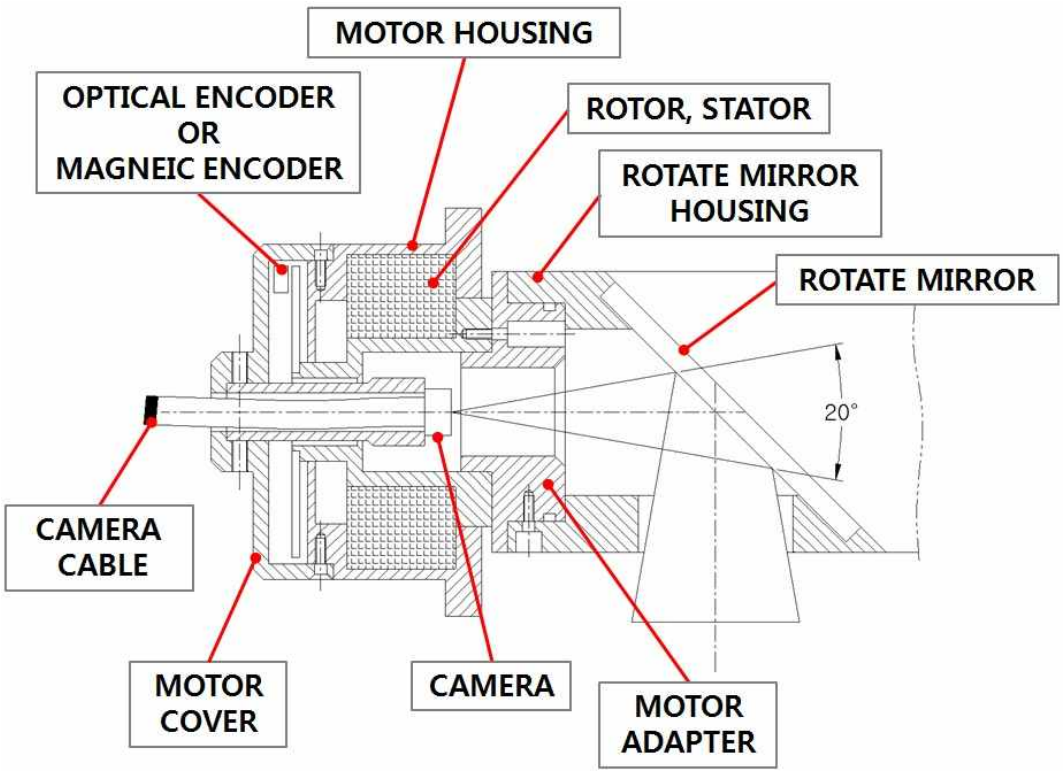


그림 19 수직 모터 모듈 개념

내부에 사용된 Rotor와 Stator는 별도 수급하여 모터를 국내 생산가능토록 변경(소형모델)하였다.

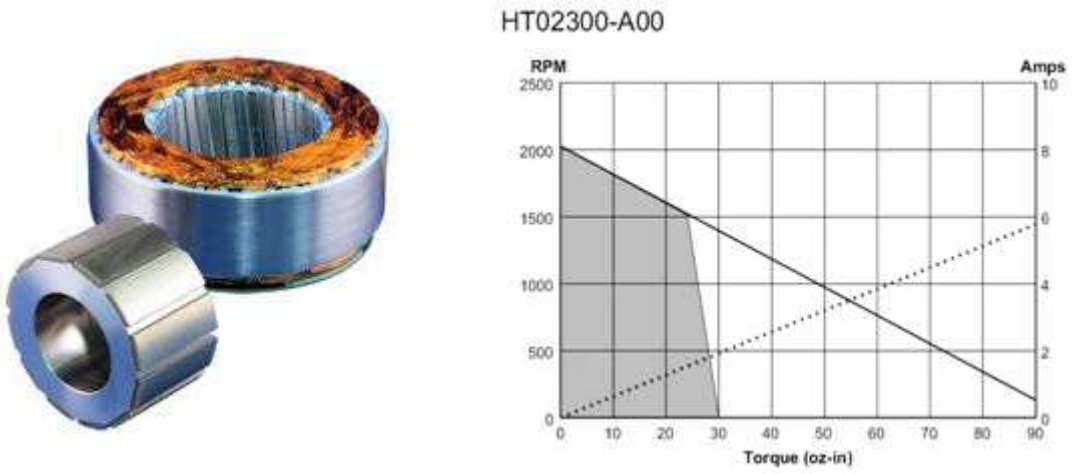


그림 20 Rotor & Stator(Allied Motion)

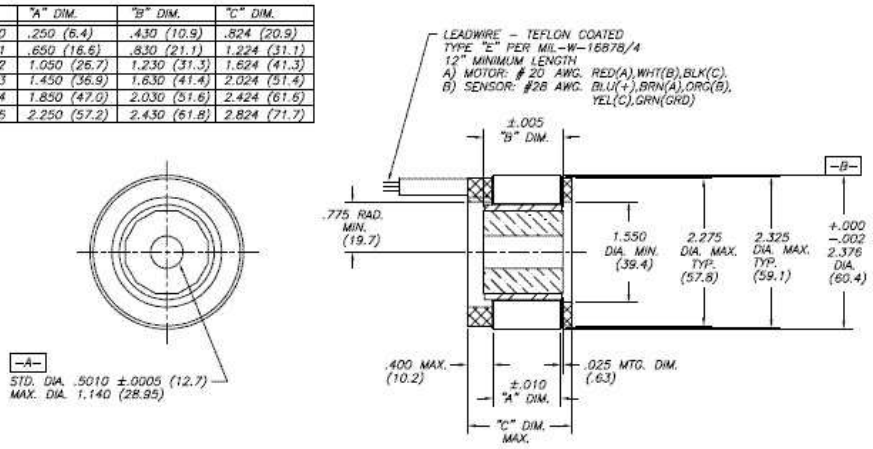
세부적인 Rotor와 Stator는 BLDC Motor(Allied Motion HT02300-수직, Allied Motion HT03003-수평)로 모터의 형상은 중공 모터로 중공에 카메라 모듈이 적용가능 모델로 선정하였으며, 모터에 요구되는 Run-out 오차를 설정하고, 내부의 구조적 공차분석 및 적용하였다. 모터 내부에 적용되는 베어링의 선정과 요구 회전 성능을 분석하여 모터 전문 제작업체 선정 및 관련 기술개발을 통한 모터 국내 제작/ 생산 검토하였다.

표 13 수직 Motor Specification

Model No.		HT02300	HT02301	HT02302	HT02303	HT02304	HT02305
Motor Constants							
Stall Torque (continuous)	oz-in	30	61	88	113	137	157
	Nm	0.215	0.413	0.620	0.798	0.966	1.105
Demag Torque (±25%)	oz-in	329	675	1035	1298	1561	1838
	Nm	2.32	4.76	7.31	9.16	11.0	12.9
Cont. Power Output	W	56	81	97	111	123	129
Motor Constant	oz-in/√W	7.9	15.0	20.8	25.8	30.0	33.6
	Nm/√W	0.056	0.106	0.147	0.182	0.212	0.238
Elect. Time Constant	ms	0.34	0.61	0.83	1.04	1.27	1.50
Mech. Time Constant	ms	5.3	2.8	2.2	1.9	1.7	1.6
Thermal Resistance	°C/W	3.7	3.3	3.1	2.8	2.6	2.5
Viscous Damping	oz-in/RPM	8.2E-4	1.6E-3	2.4E-3	3.0E-3	3.8E-3	4.5E-3
	Nm/RPM	5.8E-6	1.1E-5	1.7E-5	2.1E-5	2.6E-5	3.1E-5
Cogging Torque (max.)	oz-in	1.9	2.8	3.8	5.0	6.1	7.3
	Nm	0.014	0.020	0.027	0.036	0.043	0.052
Mechanical Constants							
Rotor Inertia	oz-in-s^2	2.1E-3	4.2E-3	6.3E-3	8.5E-3	1.0E-2	1.3E-2
	kg-m^2	1.4E-5	2.9E-5	4.5E-5	5.9E-5	7.4E-5	8.9E-5
Motor Weight	oz	6.0	11.5	17.0	22.5	28.0	33.4
	kg	0.17	0.33	0.48	0.64	0.79	0.95
Poles	-			12			
Winding Constants							
Winding	-			A			
Design Voltage	V			24			
Peak Torque	oz-in	97	199	305	382	459	541
	Nm	0.68	1.40	2.15	2.70	3.24	3.82
Peak Current	A	6.2	7.2	8.9	9.1	9.7	10.7
Torque Constant	oz-in/A	15.6	27.5	34.3	41.9	47.3	50.3
	Nm/A	0.11	0.19	0.24	0.30	0.33	0.36
No-Load Speed	RPM	2027	1161	932	762	676	635
	rad/s	212	122	98	80	71	67
BEMF Constant (±10%)	V/kRPM	11.6	20.3	25.4	31.0	34.9	37.2
	V/rad/s	0.11	0.19	.24	0.30	0.33	0.36
Terminal Resistance (±12%)	Ohms	3.89	3.32	2.70	2.64	2.47	2.23
Terminal Inductance (±30%)	mH	1.32	2.02	2.24	2.76	3.14	3.36

HT02300 Series

MODEL	"A" DIM.	"B" DIM.	"C" DIM.
HT02300	.250 (6.4)	.430 (10.9)	.824 (20.9)
HT02301	.650 (16.6)	.830 (21.1)	1.224 (31.1)
HT02302	1.050 (26.7)	1.230 (31.3)	1.624 (41.3)
HT02303	1.450 (36.9)	1.630 (41.4)	2.024 (51.4)
HT02304	1.850 (47.0)	2.030 (51.6)	2.424 (61.6)
HT02305	2.250 (57.2)	2.430 (61.8)	2.824 (71.7)



1. MOTOR SUPPLIED AS TWO SEPARATE COMPONENTS, ROTOR ASSEMBLY AND STATOR ASSEMBLY.
2. DIAMETERS –A– AND –B– TO BE CONCENTRIC WITHIN .002 WHEN MOUNTED.
3. MOUNTING SURFACE BETWEEN 2.376 AND 2.325 DIAMETERS ON BOTH SIDES.

그림 21 Rotor & Stator의 Dimension (수직모터)

그림 14 수평 Motor Specification

Model No.		HT03000	HT03001	HT03002	HT03003
Motor Constants					
Stall Torque (continuous)	oz-in	51	114	168	231
	Nm	0.36	0.81	1.19	1.63
Demag Torque (±25%)	oz-in	292	618	975	1287
	Nm	2.06	4.36	6.88	9.08
Cont. Output Power	W	89	130	157	189
Motor Constant	oz-in/√W	11.2	24.2	33.7	44.2
	Nm/√W	0.08	0.17	0.24	0.31
Elect. Time Constant	ms	0.79	1.36	1.69	1.91
Mech. Time Constant	ms	5.4	2.3	1.7	1.3
Thermal Resistance	°C/W	2.9	2.6	2.3	2.1
Viscous Damping	oz-in/RPM	8.4E-4	2.1E-3	3.4E-3	4.6E-3
	Nm/RPM	6.0E-6	1.5E-5	2.4E-5	3.2E-5
Cogging Torque (max.)	oz-in	2.8	4.2	5.9	8.1
	Nm	0.020	0.030	0.042	0.058
Mechanical Constants					
Rotor Inertia	oz-in-s^2	4.5E-3	8.9E-2	1.3E-2	1.8E-2
	kg-m^2	3.2E-5	6.3E-5	9.5E-5	1.3E-4
Motor Weight	oz	9.8	18.7	27.6	36.7
	kg	0.28	0.53	0.78	1.04
Poles	-				12
Winding Constants					
Winding	-				A
Design Voltage	V				24
Peak Torque	oz-in	182	386	609	804
	Nm	1.29	2.73	4.30	5.68
Peak Current	A	11.0	10.7	13.7	13.8
Torque Constant	oz-in/A	16.5	36.3	44.6	58.3
	Nm/A	0.11	0.25	0.31	0.41
No-Load Speed	RPM	1930	880	720	550
	rad/s	202	92	75	58
BEMF Constant (±10%)	V/kRPM	12.2	26.8	33.0	43.1
	V/rad/s	0.11	0.25	0.31	0.41
Terminal Resistance (±12%)	Ohms	2.17	2.25	1.76	1.74
Terminal Inductance (±30%)	mH	1.72	3.06	2.96	3.32

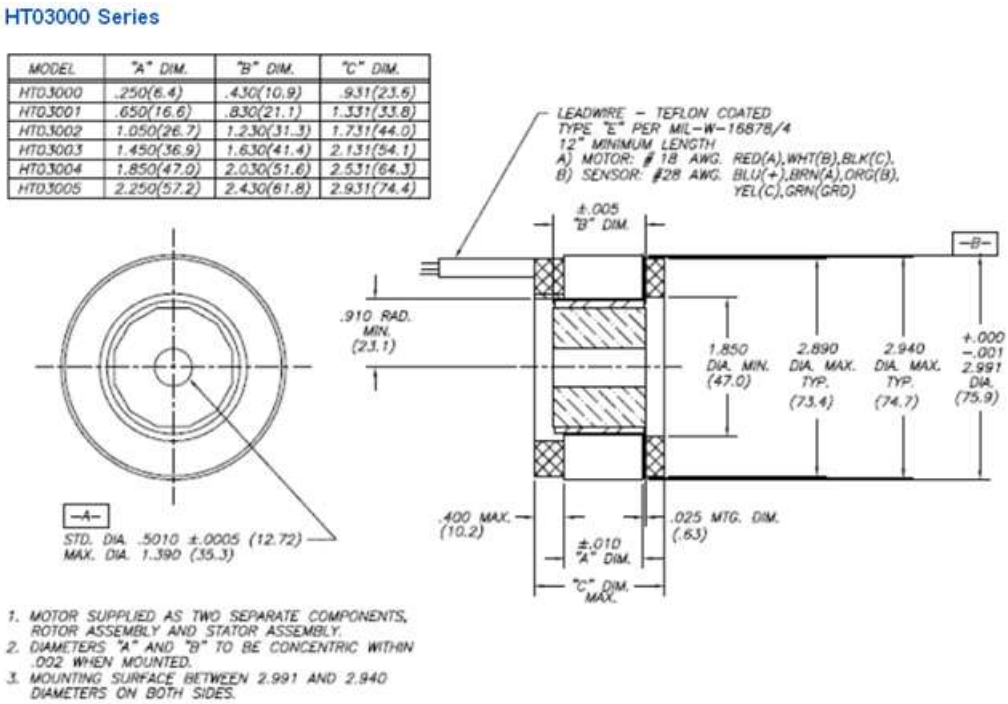


그림 22 Rotor & Stator의 Dimension (수직모터)

2) 수직/수평 모터에 적용되는 Encoder는 다음과 같다.

가) 자석식

- Hall sensor를 이용한 ichaus ic-MU Absolute encoder 검토
- 고속으로 미러 회전시 각도 분해능 양호 : 5″
- 가격과 조립조정의 용이성을 검토

다) 광학식

-Incremental encoder type으로 고속 스캔 시 sin/cos 주파수가 높아져, interpolation하는데 문제가 있음

- 검증된 기술로 광센서와 interpolator를 결합하여 사용
- 각도 분해능 2.25″ 1000rpm

의 두 가지 타입으로 수직모터의 경우 고속 회전이 요구되므로 자석식 Encoder를 적용하였으며, 저속 및 정밀 회전이 요구되는 수평모터의 경우 광학식 Encoder를 적용하여 설계하였다.

제작된 Encoder 성능 검사 장비는 <그림 23>과 같이 구성되어 있다. 정속운동을 하고 있는 DC-motor의 회전력을 Master Encoder 축으로 전달하게 되면 상단에 고정된 Encoder와 Master Encoder의 측정값을 비교하여 측정 오차 검사 및 보정을 할 수 있도록 구성되어 있다. DC-motor의 속도를 제어할 수 있기 때문에 레이저 스캐너와 같이 고속/ 저속 정속 운동 시 정밀 Encoder 측정 성능 확인이 가능하다. 아래는 Encoder 성능 검사 장비 실물 사진이다.

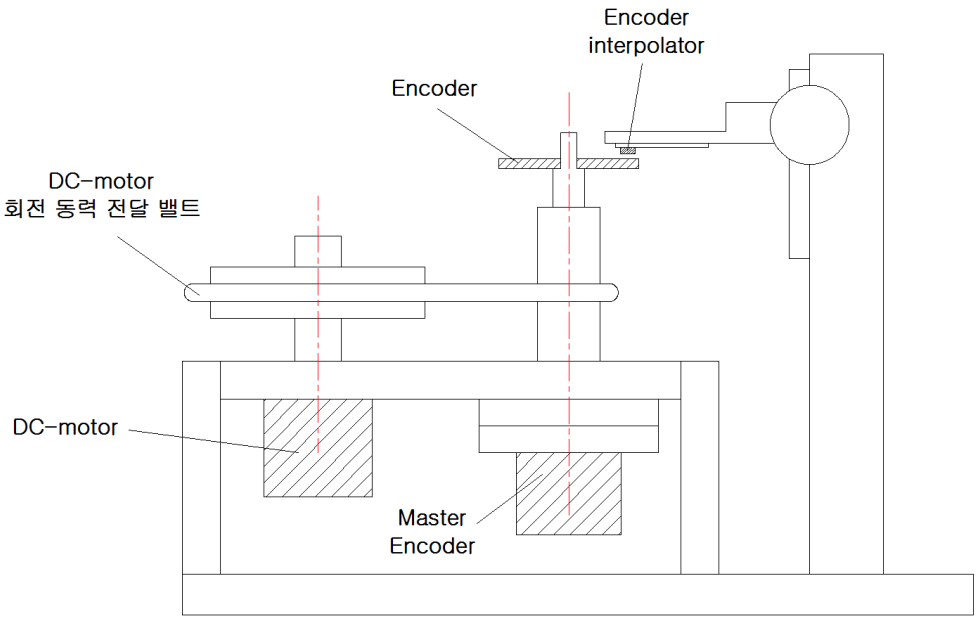


그림 23 Encoder 성능 검사 장비 개념도

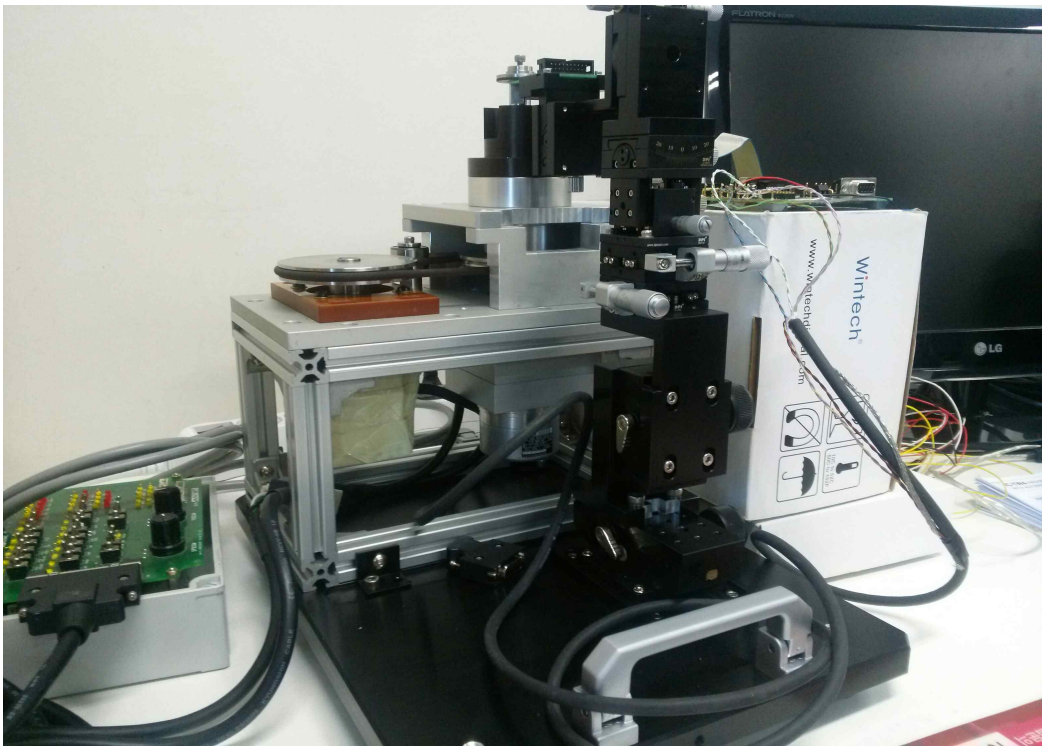


그림 24 Encoder 성능 검사 장비

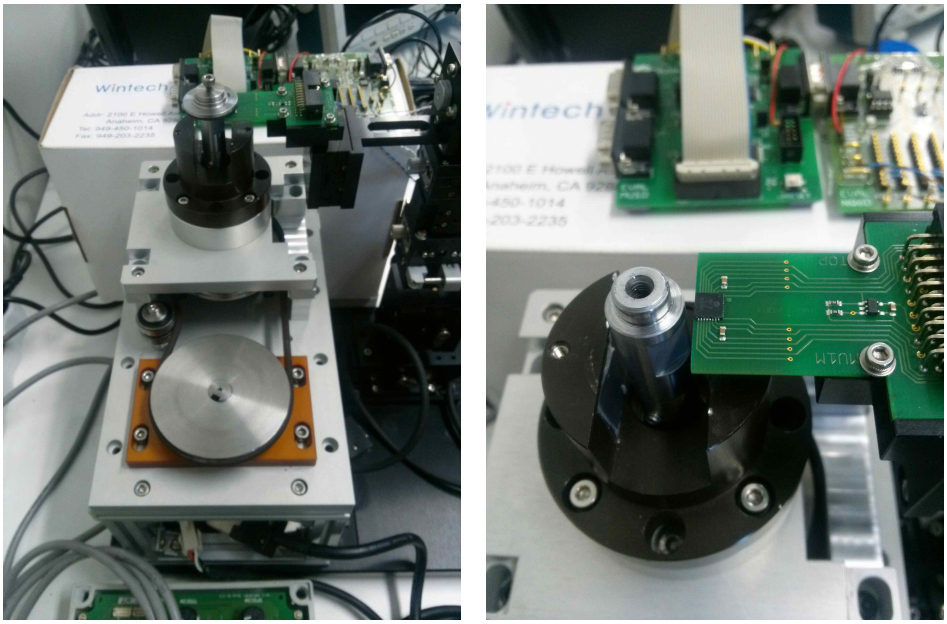


그림 25 Encoder 성능 검사 장비(측정 Encoder 및 센서 Board 조립 상태)

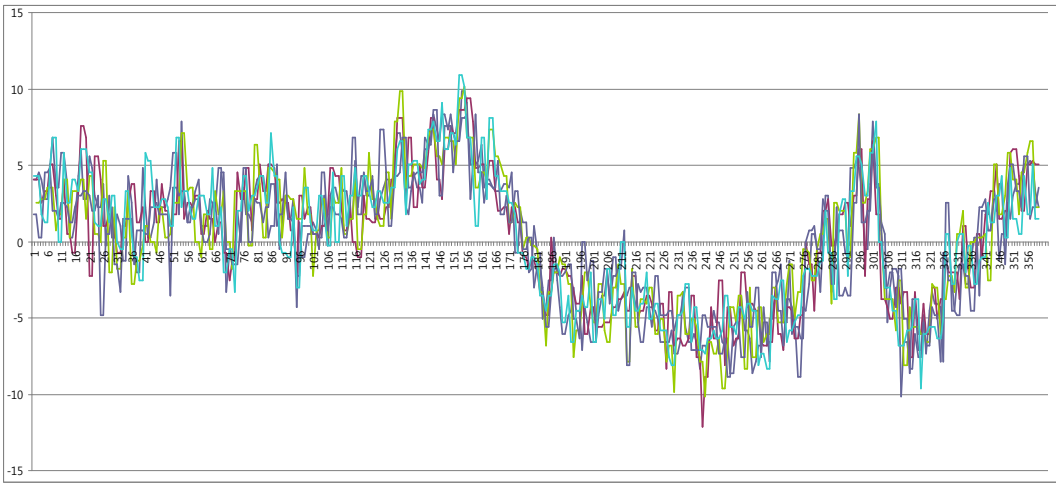


그림 26 자석식 Encoder 성능 검사 결과 그래프

측정은 총 5회 실시했으며, 30rpm으로 회전시키며 각도 측정했을 때 Master Encoder와의 오차값을 나타낸 것이다. 측정오차는 ± 10″ 발생하였으나, 5회 측정 결과가 모두 같은 경향을 보이므로 보정 과정을 통해 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.

검토결과, 고속 스캔을 고려하여 분해능(2.25″)이 확보된 Absolute 방식을 고려하며, ichaus 제품을 실험을 통하여 향상시켜 적용을 한다.

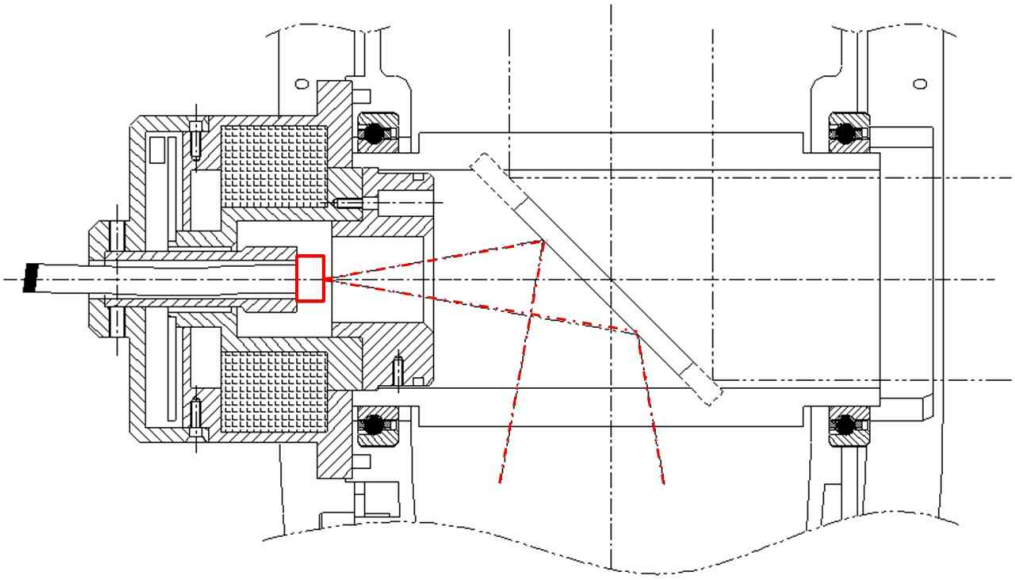


그림 27 Camera 위치 레이아웃 검토

Camera의 위치는 <그림 27>과 같이 모터 중공 내부에 장착하며, FOV(Field of View)에 따라 장착위치 검토하여 반사경 하우징을 설계하였다. 또한 수직 모터의 장착 위치 및 구조에 따라 Camera 보드의 형상 검토와 장착 위치에 따른 케이블 길이 선정을 하였다.

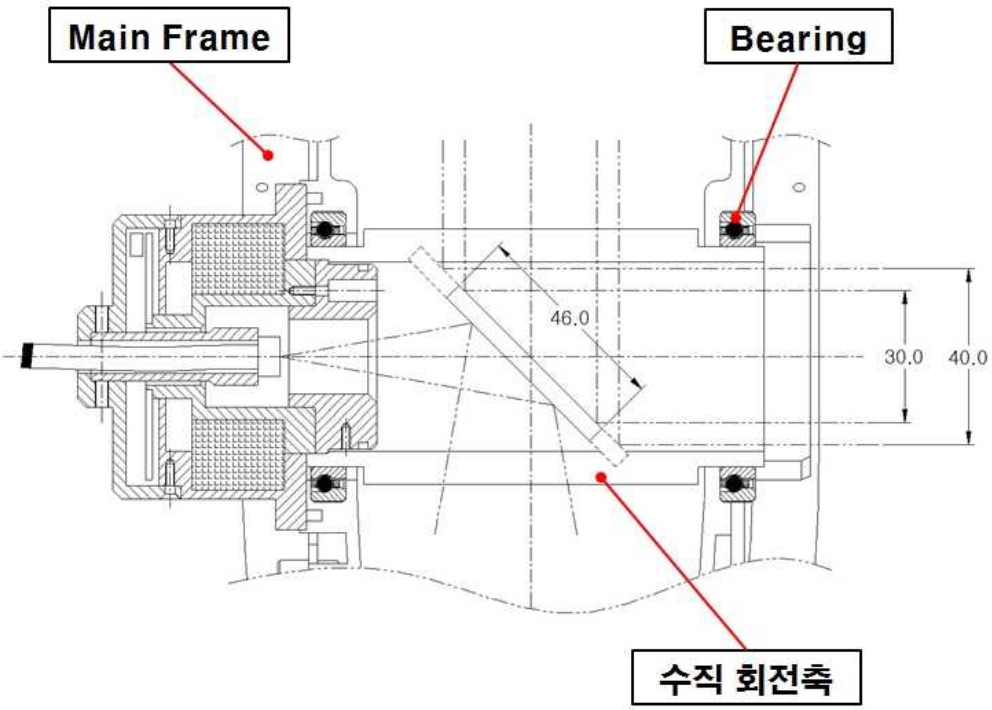


그림 28 수직 모터 축 모듈 개념

Camera의 화면 중심과 수직모터 회전미러 하우징의 Camera 윈도우 중심이 일치하지 않은 경우, 촬영된 이미지는 타원형의 형태로 저장된다. 타원의 이미지는 S/W에서 원의

중심을 찾는 과정을 방해하며 정확한 데이터를 확보할 수 없다. 따라서 수직모터 회전미러 하우징의 Camera 윈도우 중심을 Camera 화면의 중심과 일치시킴으로 원형의 이미지와 정확한 데이터를 얻을 수 있다. 또한 Camera의 위치를 6mm 회전미러로 이동하여 시야각을 22° 에서 26° 로 증가함으로써 보다 넓은 시야를 확보 할 수 있다.

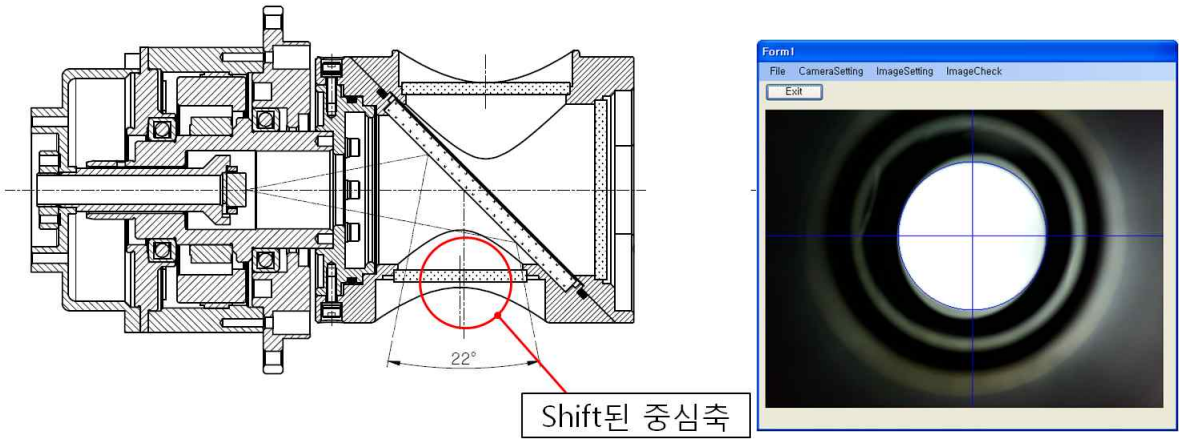


그림 29 Shift된 중심축과 도출된 타원형 이미지

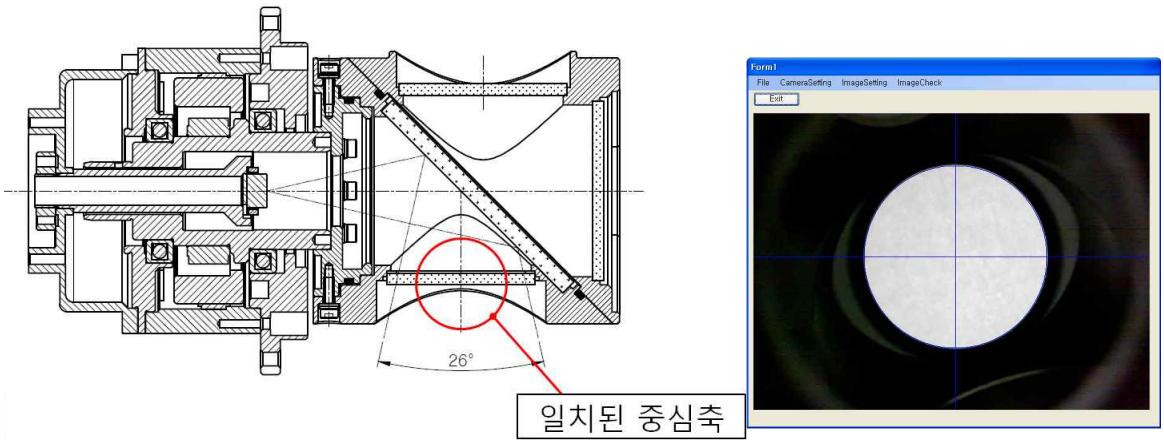
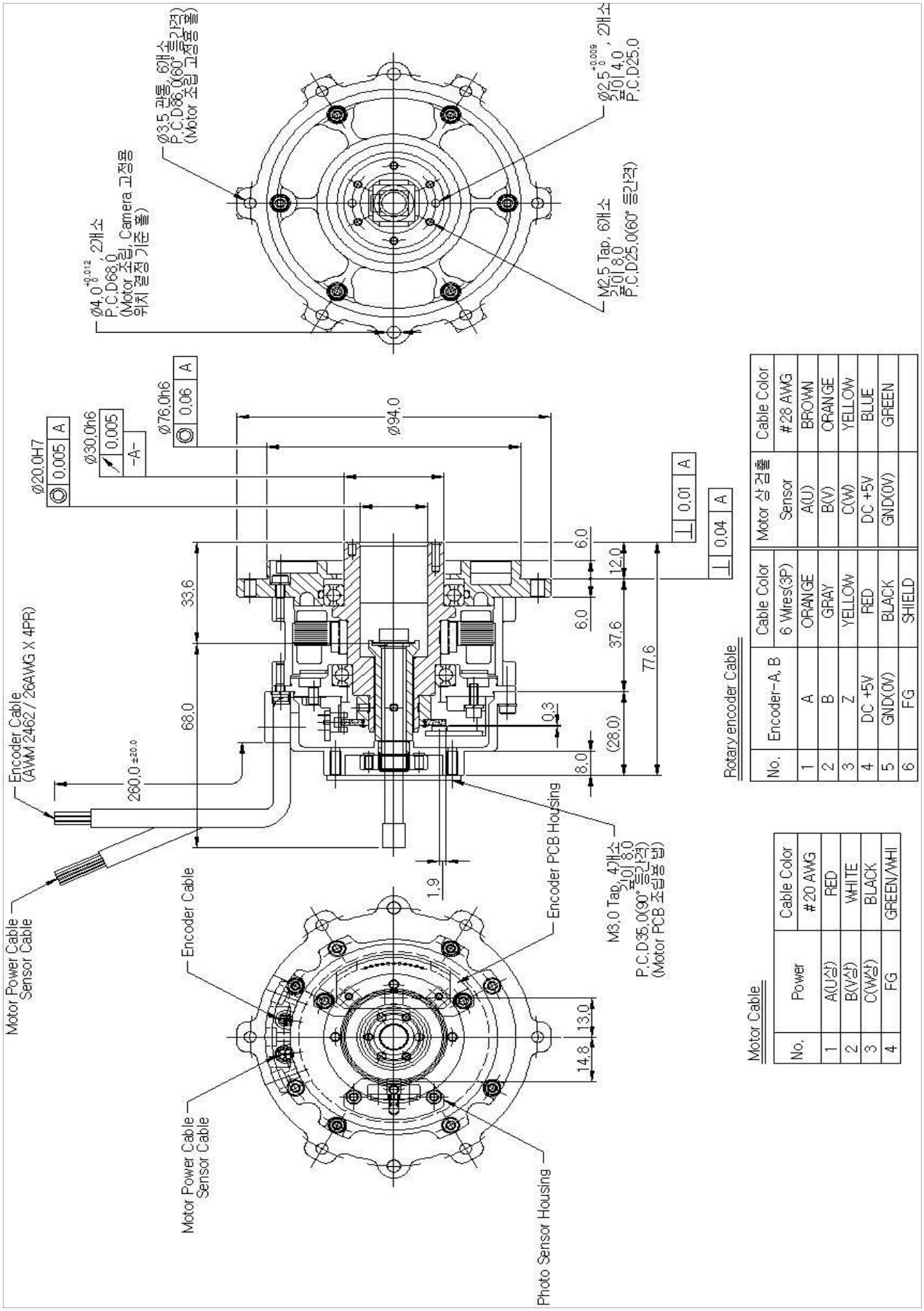


그림 30 일치된 중심축과 도출된 원형 이미지

3) 수직/수평 모터 최종 설계

가) 모터 레이아웃 도면(수직 모터)



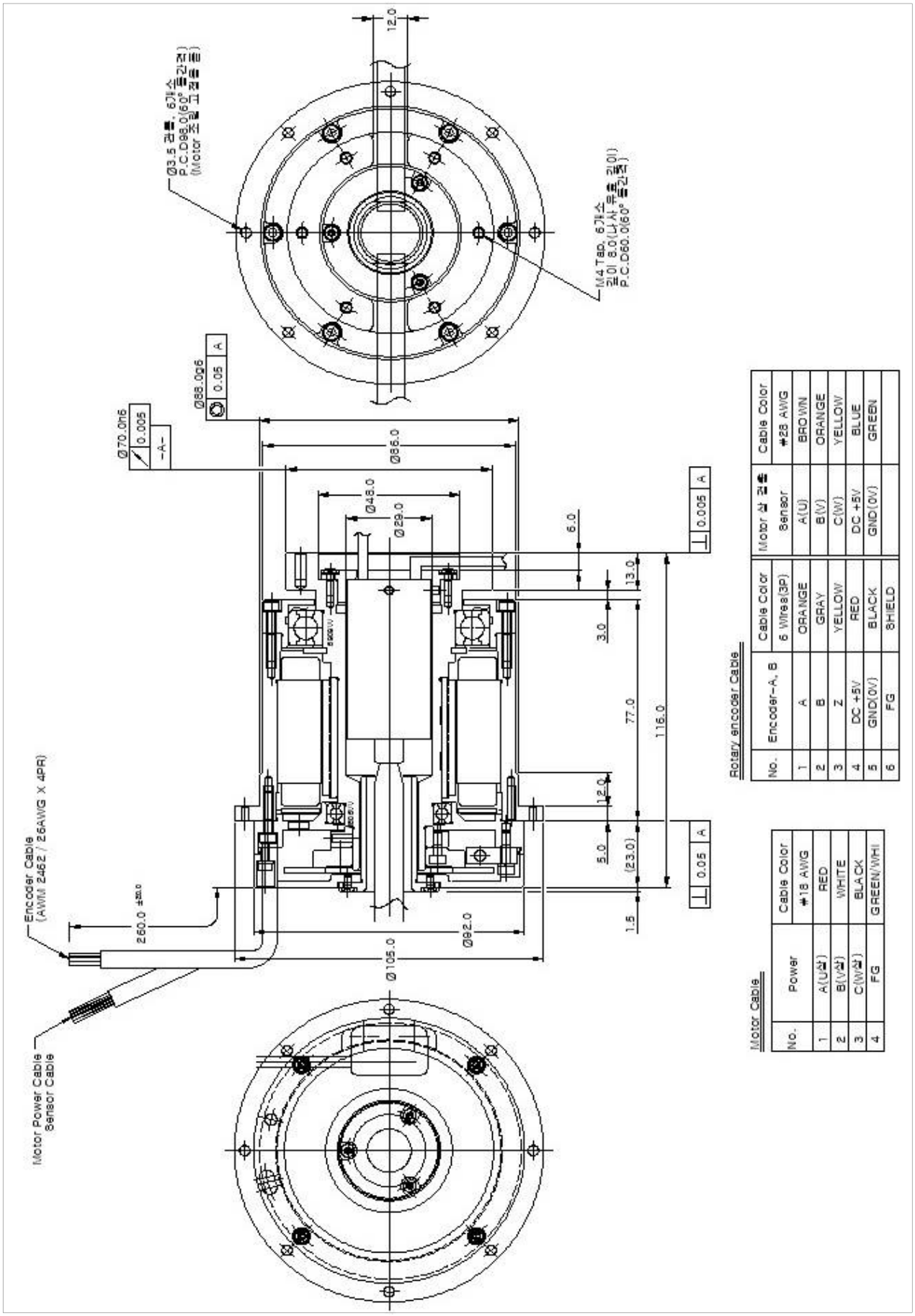
Rotary encoder Cable

No.	Encoder-A, B	Cable Color 6 Wires(3P)	Motor 상 검출 Sensor	Cable Color #28 AWG
1	A	ORANGE	A(U)	BROWN
2	B	GRAY	B(V)	ORANGE
3	Z	YELLOW	C(W)	YELLOW
4	DC +5V	RED	DC +5V	BLUE
5	GND(0V)	BLACK	GND(0V)	GREEN
6	FG	SHIELD		

Motor Cable

No.	Power	Cable Color #20 AWG
1	A(U상)	RED
2	B(V상)	WHITE
3	C(W상)	BLACK
4	FG	GREEN/YHI

나) 모터 레이아웃 도면(수평 모터)



Rotary encoder Cable

No.	Encoder-A, B	Cable Color 6 Wires(3P)
1	A	ORANGE
2	B	GRAY
3	Z	YELLOW
4	DC +5V	RED
5	GND(0V)	BLACK
6	FG	SHIELD

Motor 상 검출 Sensor	Cable Color #28 AWG
A(U)	BROWN
B(V)	ORANGE
C(W)	YELLOW
DC +5V	BLUE
GND(0V)	GREEN

Motor Cable

No.	Power	Cable Color #18 AWG
1	A(U상)	RED
2	B(V상)	WHITE
3	C(W상)	BLACK
4	FG	GREEN/WHI

다) 모터 기구부 사양(모터 레이아웃 도면 참조)

분류	항목	단위	성능(규격)	비고
1	크기	mm	⌀94.0× 77.6	
2	출력축 외경 흔들림	mm	0.005(⌀30.0)	
3	출력축 단면 흔들림	mm	0.01	
4	출력축 내경 흔들림	mm	0.01(⌀20.0)	
5	표면처리	5um 이상	무전해 니켈도금	
6	오일실	유, 무	유(축단부 생활 방수)	O-Ring으로 설계변경
7	무게	kg	0.8	

라) 모터 성능(고정자, 회전자)

분류	항목	단위	성 능(규격)	비 고
1	플랜지 크기	mm	⌀94.0	
2	모터 구동전압	VDc	24.0	
3	모터출력	W	56.0	
4	최대 토오크	Nm	0.68	
5	최고회전 속도	r/min	2,027(무 부하시)	
6	최대전류	A	6.2	
7	상 저항	ohms(Ω)	3.98 ± 12%	
8	상 인덕턴스	mH	1.32 ± 30%	
9	유기전압(BMF_역기전력)	V/kRPM	11.6 ± 10%	
10	극 수	극	12	
11	슬롯수	EA	39	
12	극 수	-	전폐자냉	

마) 부품 목록(BOM)

분류	부 품 명	소요량	재질(규격)	비고
A-1	Stator Ass'Y	1Set	HT02300(사급)	홀센서 포함
A-2	Magnet Ass'Y	1Set		
B-1	Frame	1EA	AL6061	
B-2	Front Cover	1EA	AL6061	
B-3	Rear Cover	1EA	AL6061	
B-4	Shaft	1EA	STS440C	
B-5	Encoder PCB Housing	1EA	AL6061	
B-6	Photo Sensor Housing	1EA	AL6061	
B-7	Encoder Glass Adapter	1EA	STS303	
B-8	Encoder Cover	1EA	AL6061	
B-9	Cable Clamp	1EA	MC NYLON(검정)	
B-10	Retainer	1EA	AL6061	
B-11	Camera Housing	1EA	STS303	
C-1	Ball Bearing	1EA	6806VV CM NS7	
C-2	Ball Bearing	1EA	6805VV CM NS7	
C-3	O-Ring	1EA	S42_NBR	
C-4	SOC. Bolt	10EA	M3X12L_SUS	
C-5	SOC. Bolt	7EA	M3X10L_SUS	
C-6	SOC. Bolt	4EA	M3X8L_SUS	
C-7	SET. Screw	5EA	M2.5X3L_SUS	
C-8	십자붙이 냄비머리 나사	4EA	M2X6L_SUS	
C-9	십자붙이 냄비머리 나사	1EA	M2.6X6L_SUS	

바) 모터 평가 항목

모터의 평가항목은 절연저항, 절연내압, 선간저항, 선간인덕턴스, 유기전압(BMF)로 나눌 수 있다.

절연저항은 모터의 절연성을 확인하기 위하여 전원 커넥터 U, V, W상에서 하나를 선택하고, 선택된 전원선과 모터 케이스 사이의 절연저항을 측정 하였을 때, 500Vdc에서 10MΩ이상 이어야 한다.

절연내압은 모터의 절연내압성을 확인하기 위하여 전원 커넥터 U, V, W상에서 하나를 선택하고, 선택된 전원선과 모터 케이스 사이의 절연내압을 측정 하였을 때, 1000Vac 60Hz에서 10mA 이하 이어야 한다.

선간저항은 전원 커넥터의 U, V, W상 중 두 상을 선택하고 저항계를 직렬연결 하였을 때, 측정된 선간저항 값은 사양서 기준 값 ±12%이내 이어야 한다.

선간인덕턴스는 전원 커넥터의 U, V, W상 중 두 상을 선택하고 LCR계를 직렬연결 하였을 때, 측정된 선간 인덕턴스 값은 사양서 기준 값 ±30%이내 이어야 한다.

유기전압(BMF)은 구동용 모터와 개발 모터의 축을 연결하고, 구동용 모터를 1000rm으로 회전시켰을 때, 발생되는 유기전압은 사양서 기준 값의 ±10%이내 이어야 한다.

사) 모터 제작공정

(1) 고정자 ASSY 조립 공정



Stator Ass'Y + Frame 조립된 Ass'Y



Stator Ass'Y

Stator Ass'Y 외측면에 본드 도포





고정용 본드
(TB-2236)



고정자 Ass'Y 조립용 JIG



Frame 압입 대기(JIG에 안착)

건조로





경화 온도

본드 경화 조건 :
(110℃-> 3시간)



Frame 압입



본드 경화작업



Frame가열(내경 0.2mm확장)



Frame





Frame가열 조건 :
(170℃-> 1시간)

(2) 회전자 ASSY 조립 공정

A) Shaft Ass'Y 조립 및 본드 경화



Shaft + Magnet Ass'Y 조립(본드경화)



Shaft



Magnet Ass'Y(사급품)



본드 도포



고정용 본드
(TB-2236)



Magnet Ass'Y
가열 조건
(110℃-> 30분)





Magnet Ass'Y 가열(내경 0.1mm확장)



Magnet ass'Y압입



본드 경화작업

건조로





경화 온도

본드 경화 조건 :
(110℃-> 3시간)

Shaft + Magnet Ass'Y 조립용 JIG 조립 내용



Shaft 받침용
(6906 베어링
압입 JIG 공용)

Magnet Ass'Y 압입용

JIG 조립



B) Rear Cover Ass'Y 조립



Rear Cover Ass'Y



Rear Cover



6905VV CM 혹은 동급





Rear Cover 가열(110℃-> 1시간)

조립



베어링 조립(압입)

Rear Cover + 반 부하측 베어링 조립용 JIG 조립



Rear Cover
압입 받침대

반 부하측
베어링 압입 JIG

JIG 조립



C) Rotor Ass'Y 조립



Rear Cover Ass'Y + Shaft Ass'Y 조립



Rear Cover Ass'Y



Shaft Ass'Y







조립



Rear Cover Ass'Y 가열(110℃-> 1시간)

Rotor Ass'Y 조립용 JIG 조립
(부하측 베어링 압입공정 공통 적용)



Rear Cover Ass'Y
압입 받침대

Shaft Ass'Y 압입용
(6906 베어링
압입 JIG 공용)

JIG 조립



(3) 모터 ASSY 조립 공정

A. 고정자 Ass'Y + Rotor Ass'Y 조립



Front Cover

O-Ring : 1EA

Waver Washer : 2EA
(특주 사양-내,외경 가공)









Front Cover 가 조립





Rotor Ass'Y



(Front Cover 제거)





부하측 베어링



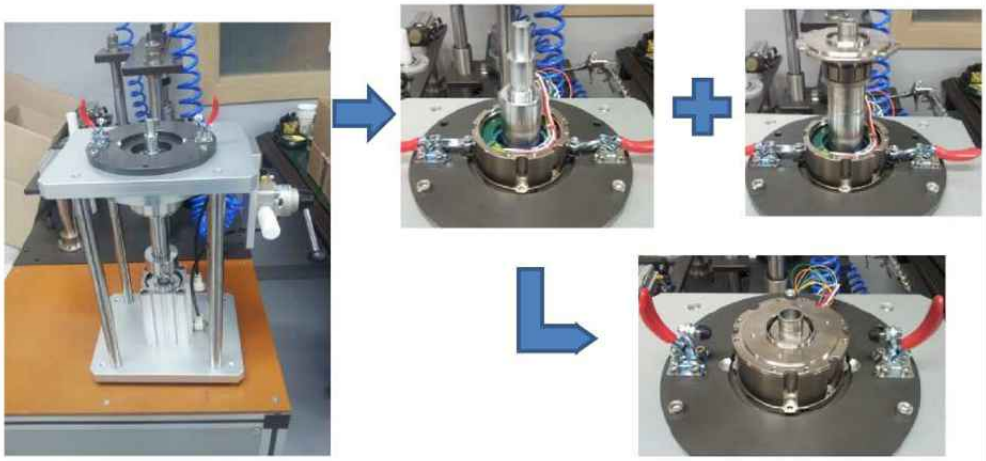
부하측 베어링 압입



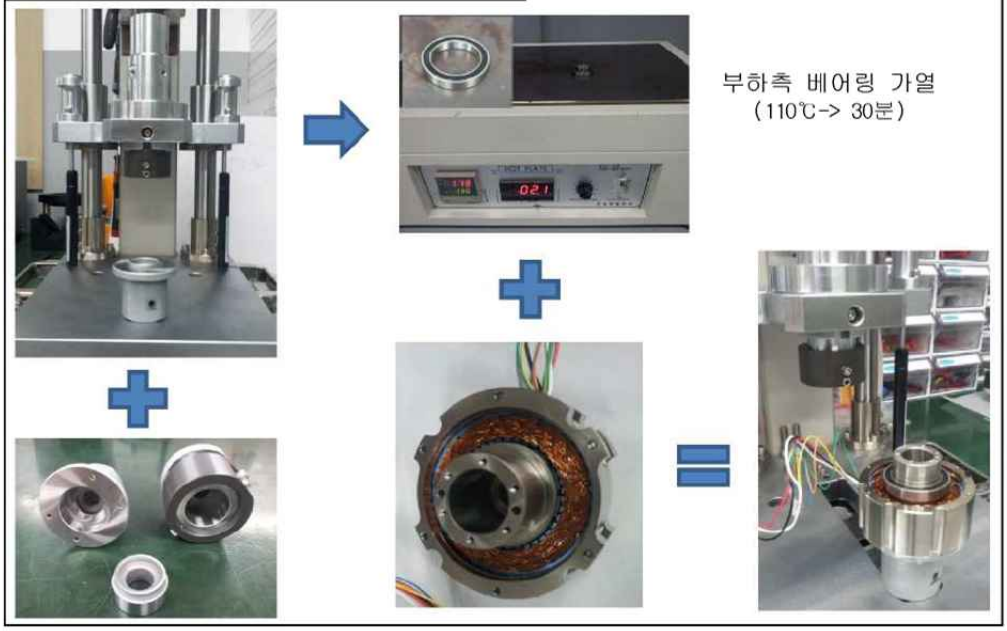




A-A) 고정자 Ass'Y +Shaft Ass'Y 조립 JIG



A-B) 부하측 베어링 압입용 조립 JIG



(4) Encorder 조립용 부품/ 카메라 조립용 부품 조립

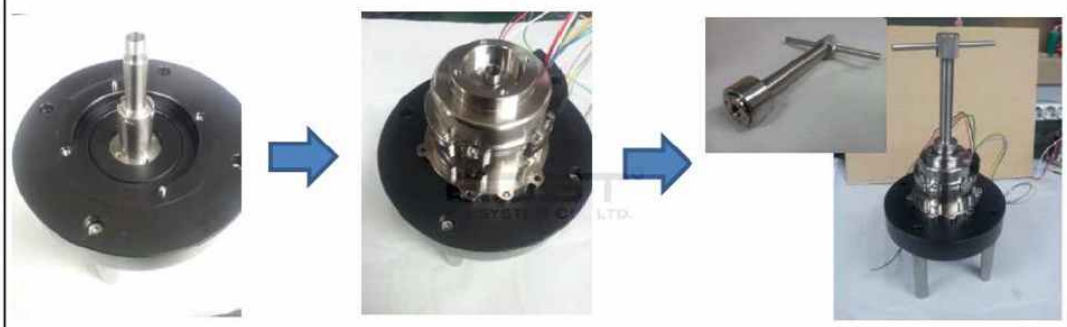
A-A) 엔코더 조립용 부품 조립



A-B) 카메라 조립용 부품 조립



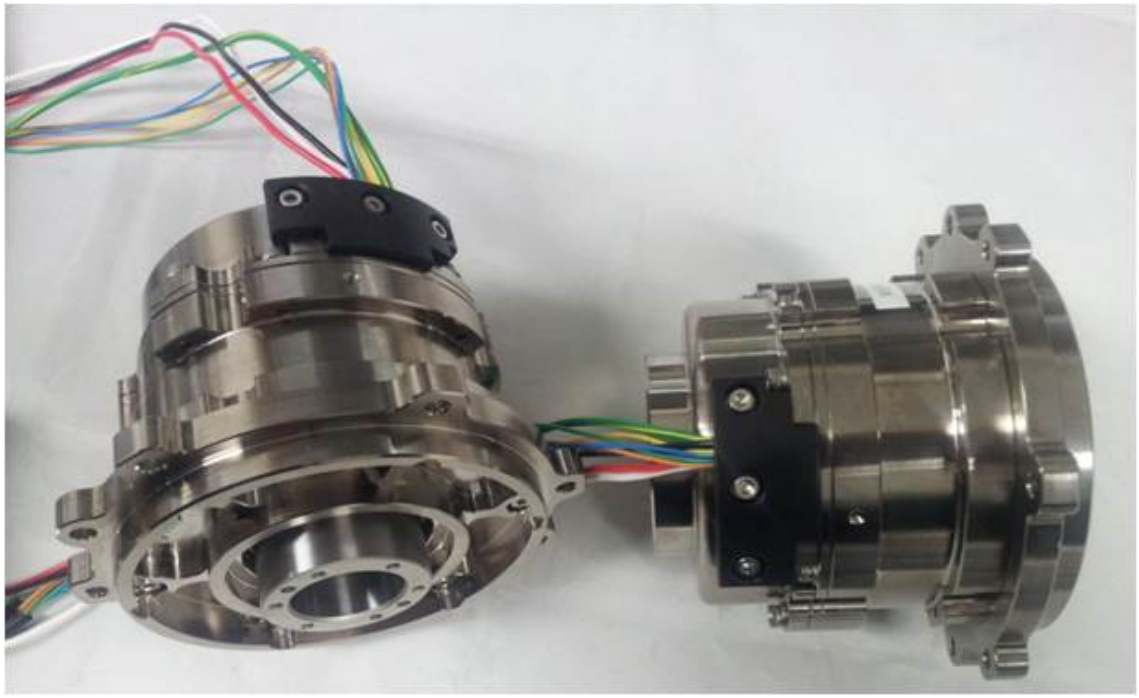
- Camera Housing 조립용 JIG 사용 순서



- Camera Housing 조립용 JIG



(5) 모터 조립 완제품 사진








MEM-002-01

(6) 모터 검사(검사 성적서- 파라미터 측정)





표 15 절연저항 측정

구분	시제품 NO	수직#1	수직#2	수직#3	수평#1	수평#2	수평#3
측정값	500Vdc / 10MΩ이상	∞	∞	∞	∞	∞	∞
판정		양호	양호	양호	양호	양호	양호







표 16 절연내압 측정

구분	시제품 NO	수직#1	수직#2	수직#3	수평#1	수평#2	수평#3
측정값	1,000V, 1초간 인가시 누설전류 10mA이하	OK	OK	OK	OK	OK	OK
판정		양호	양호	양호	양호	양호	양호





표 17 선간 저항 측정

구분		수직#1	수직#2	수직#3
측정값 (기 준 : 3.98Ω ±12%)	U-V상	3.60	3.62	3.63
	U-W상	3.60	3.62	3.63
	V-W상	3.61	3.60	3.62
판정(선간 편차 ± 6%이내)		양호	양호	양호

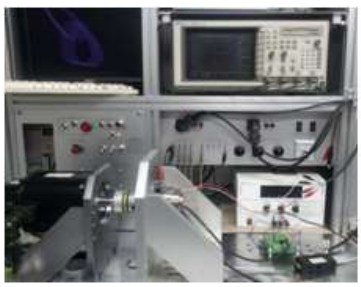
구분	수평#1	수평#2	수평#3
측정값 (기 준 : 1.531~1.948Ω)	1.933	1.942	1.938
판정(범위 이내)	양호	양호	양호




표 18 선간 인덕턴스 측정

구분		수직#1	수직#2	수직#3
측 정 값 (기 준 : 1.32mH ± 30%)	U-V상	1.4458	1.2005	1.3766
	U-W상	0.8760	1.4981	0.8809
	V-W상	1.2360	0.8849	1.3356
	평균값	1.1859	1.1945	1.1977
판정(평균값 기준)		양호	양호	양호

구분	수평#1	수평#2	수평#3
측정값 (기 준 : 2.324~4.316 mH)	2.374	2.539	2.467
판정(범위 이내)	양호	양호	양호



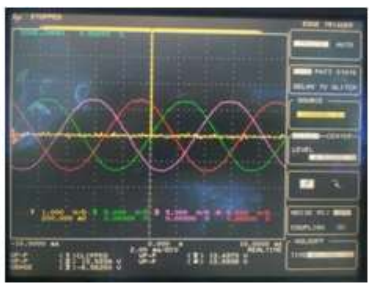


표 19 유기전압(BMF) 측정

구분		수직#1	수직#2	수직#3
측정값 (기준:11.6V/kRPM)	U상	13.4375	13.4375	13.4372
	V상	13.9063	13.5938	13.6254
	W상	13.7500	13.5938	13.5827
판정(선간 편차 ± 10%이내)		-	-	-

구분	수평#1	수평#2	수평#3
측정값 (기 준 : 38.79~47.41V/kRPM)	48.75	49.375	49.375
판정(범위 이내)	양호	양호	양호

(7) 모터 분해능 검사

3차원 레이저 스캐너의 성능 확보를 위해 모터의 성능 확보가 필요하다. 모터의 분해능을 확인하기 위해 한국표준과학연구원의 마스터 Encoder를 기준으로 모터를 검증하였다. 검증방법에 대한 개념도는 다음 <그림31>과 같다.

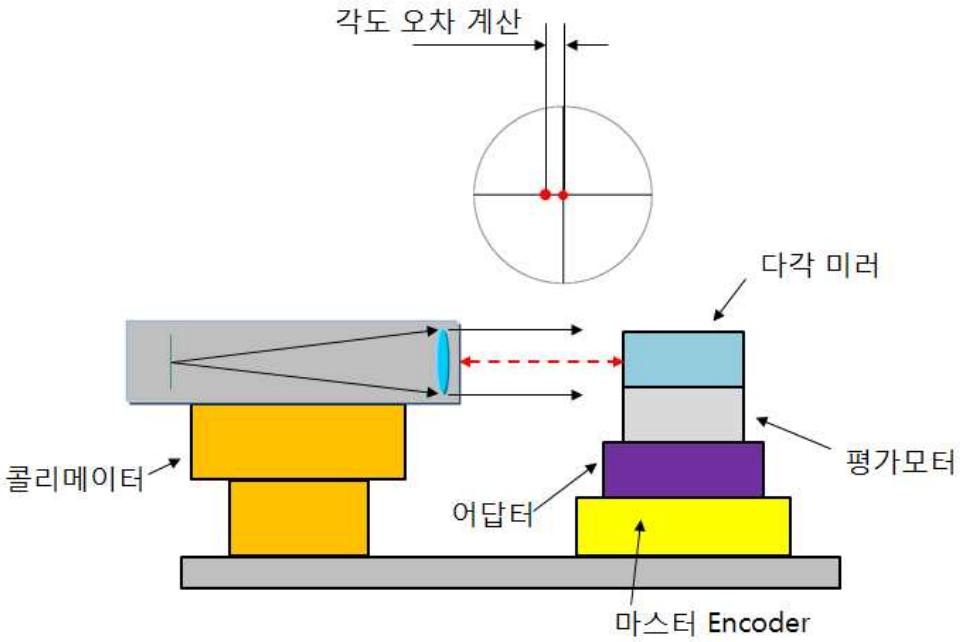


그림 31 모터 분해능 검사 개념도

성능 검사 방법에 대해 상세하게는 마스터 Encoder, 어답터(지그), 평가모터, 다각 미러, 콜리메이터, 파워서플라이로 구성된다. 콜리메이터에서의 레이저를 다각 미러에 쏜 후 반사되어 돌아온 레이저의 값을 읽어 초기 0 값을 셋팅 한 후, 마스터 Encoder를 제어하여 이동한 값만큼 평가모터를 반대 방향으로 이동한다. 이때의 레이저 포인터의 오차를 계산하여 모터의 성능 정확도를 평가한다.

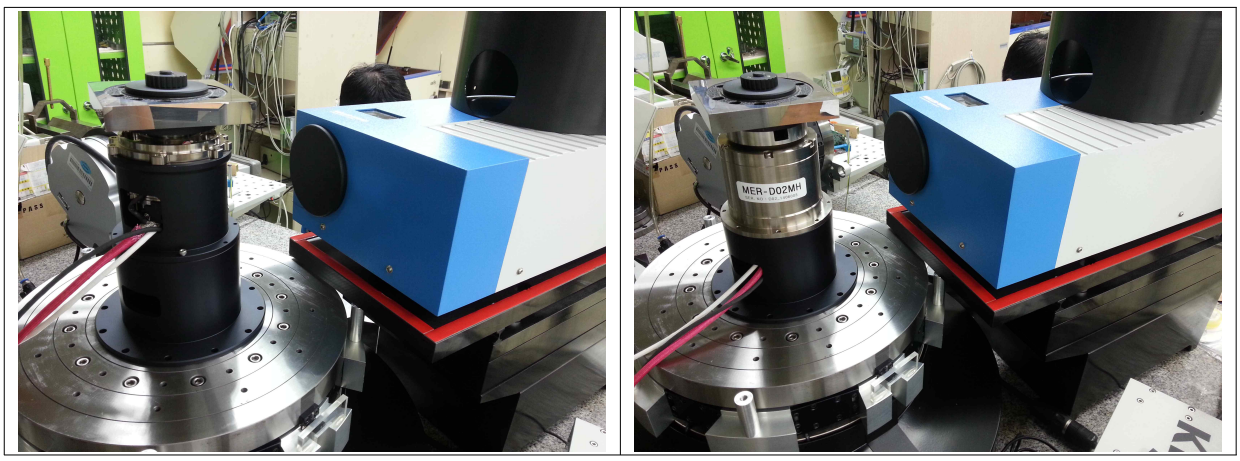


그림 32 수직(왼쪽) 모터 및 수평(오른쪽) 모터의 분해능 검사

(8) 수직모터 동적거동에 대한 기구적 설계 분석

불평형이란 회전체의 회전 중심선에 대한 회전체 중량의 불균일한 분포상태를 의미한다. (ISO: 원심력에 의해 진동력 즉 진동운동이 베어링에 전달될 때 회전체에 존재하는 어떤 상태)

불평형량 = 불평형 Weight량 x 회전 중심선으로부터 Weight까지의 거리

(단위 : gr-㎝, Oz-inch 또는 gr-inch)

불균형 진동은 반사경 하우징의 무게 중심과 회전축의 불일치로 인해 발생되는 진동으로, 불일치 차이가 클수록 진동 증가한다.

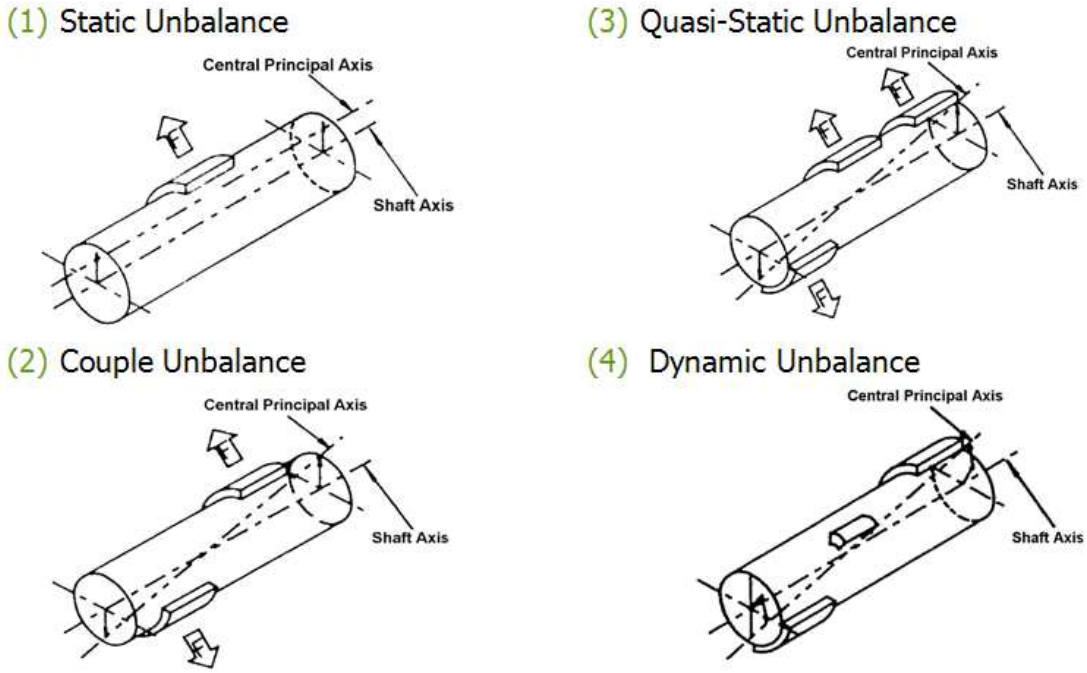


그림 33 회전 불평형의 종류

관성모멘트는 물체가 자신의 회전운동을 유지하려는 정도를 나타내는 물리량을 의미하며, 관성모멘트를 통해서 회전운동을 기술하는 데 꼭 필요한 각운동량, 각속도, 각가속도, 돌림힘 사이의 관계를 이어주는 물리량이다. 관성모멘트는 반사경 하우징의 회전과 직접적으로 관계되며, 아래의 관계가 있다.

관성모멘트↑ = 초기 회전 시 어려움, 회전 후 등속 회전 유지 쉬움

관성모멘트↓ = 초기 회전 시 쉬움, 회전 후 등속 회전 유지 어려움

수직 모터 회전체 하우징의 기구적 구조는 다음과 같다.

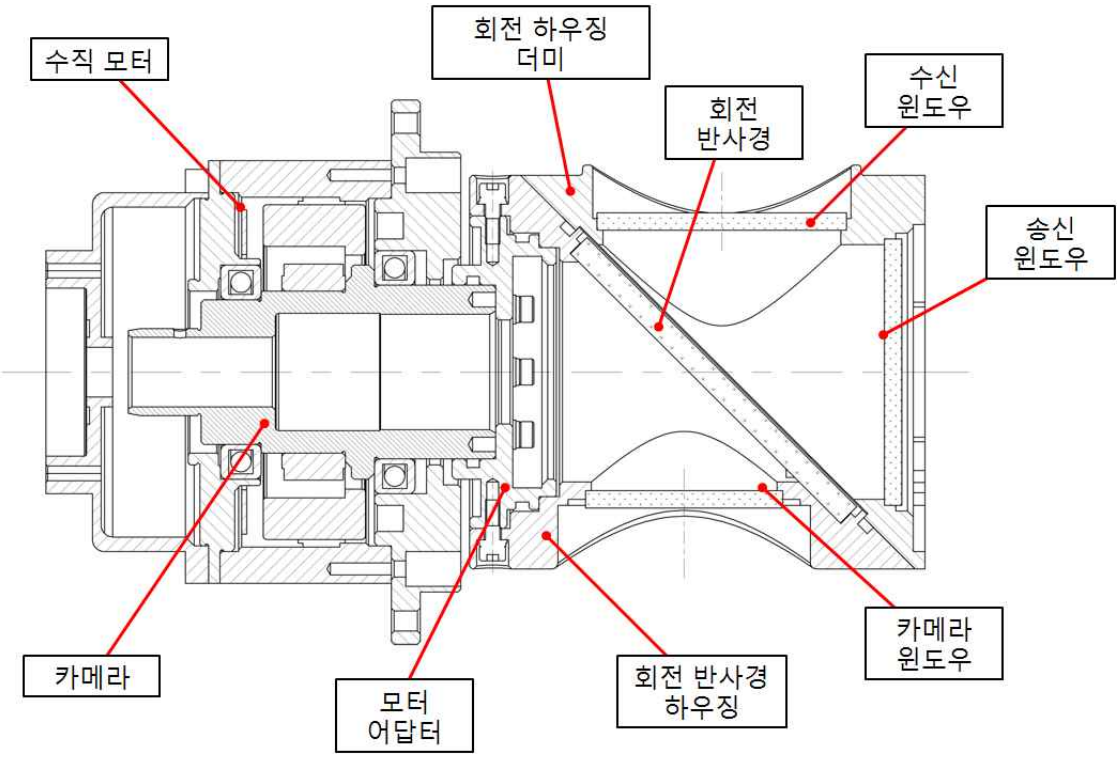


그림 34 수직 모터 하우징 모듈

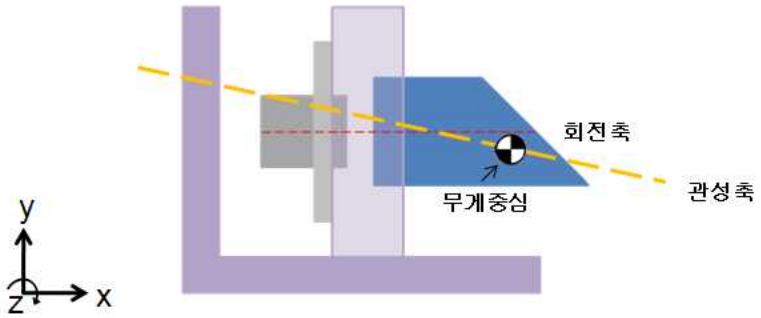


그림 35 초기 수직 모터 회전 하우징 구조와 무게중심

수직 모터 하우징의 형상을 분석하여 수직 모터 회전 시 발생하는 진동을 최소화 해야하며, 무게 추가 및 감소를 통한 기구적 분석을 하였다.

- 회전체 상단에 무게 추가를 통해 무게 중심을 회전 중심으로 이동
- 회전 중심으로 무게 중심 이동, 무게 추가로 인한 관성모멘트 증가
- 무게 감소 시 관성모멘트의 감소 및 무게 중심이 회전 중심으로 이동
- 기구적 검토(기구적 형상변경)를 통한 관성모멘트 보정이 필요

	기존회전체	무게 2.4g 추가	무게 5.6g 감소
관성 모멘트(kg・mm2)	66.97	69.05	60.64
변화%	-	3.11%↑	9.45%↓

수직 모터 모듈 반사경 하우징의 기구적 검토를 통해 불균형으로 인한 진동 문제 분석 및 검토를 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 기구적 불균형 형상에 의한 불규칙 운동으로 Motor 제어의 어려움 예상
- 하우징의 무게 중심과 회전축(운동축)의 불일치 해결
- 기구적 형상을 변경하여 운동축의 무게 중심을 회전축으로 이동
- 기구부품(더미) 추가로 운동축의 무게중심을 회전축으로 이동
- 재질 선정에 따른 총 무게 감소와 운동축을 회전축으로 이동

표 20 외경 크기 및 더미에 대한 기구적 검토

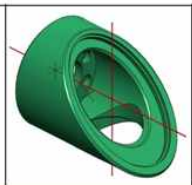
					
외경 (㎜)	Ø 54	Ø 58	Ø 60	Ø 64	Ø 68
무게중심 (㎜)	-3.741	-1.805	-1.775	-1.770	-1.789
관성모멘트 (kg · ㎟)	71.853	161.081	186.926	254.061	329.227
무게 (g)	157.179	297.427	326.147	395.743	462.403
비고	기존 모델				

표 21 무게중심에 대한 기구적 검토

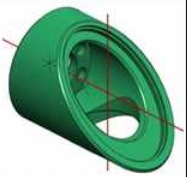
			
외경 (㎜)	Ø 54	Ø 60	Ø 60
무게중심 (㎜)	-3.741	-1.775	-0.832
관성모멘트 (kg · ㎟)	71.853	186.926	182.599
무게 (g)	157.179	326.147	321.227
비고	기존 모델	Ref	자리파기 (살빼기) 깊이 8.0 ㎜

표 22 재질 선정 및 무게중심에 대한 기구적 검토

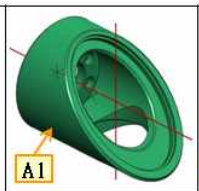
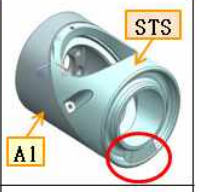
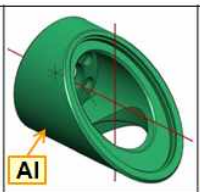
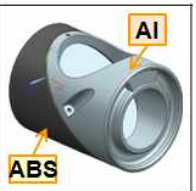
				
외경(mm)	Ø 54	Ø 60	Ø 60	Ø 60
무게중심(mm)	**-3.741**	-1.775	0.252	**-0.002**
관성모멘트 ($kg \cdot mm^2$)	71.853	186.926	310.772	314.054
무게(g)	**157.179**	326.147	527.936	**533.757**
비고	기존 모델	Ref	상부 몸체 (Steel)	조정용 추 (Steel) 추가

표 23 기타 재질 선정에 따른 기구적 검토

			
외경 (㎜)	Ø 54	Ø 60	Ø 60
무게중심 (㎜)	-3.741	-0.002	-0.0002
관성모멘트 ($kg \cdot mm^2$)	71.853	314.054	120.224
무게 (g)	157.179	533.757	180.425
비고	기존 모델	상부 몸체 조정용 추 (Steel)	하부 (ABS) 상부(Al) Mirror(Al)

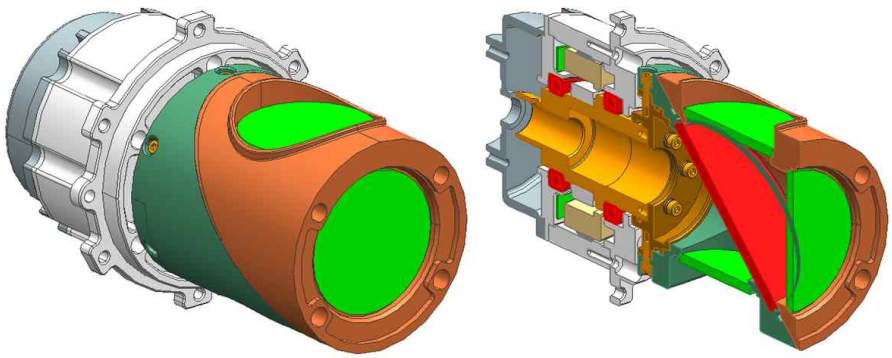


그림 36 회전 하우징

표 24 선정된 회전 하우징에 대한 기구적 검토

재질	Al + SUS	PEEK + Al
외경 (㎜)	Ø 68	
무게중심 (㎜)	(모터에서) 34.19 (축에서) -0.015	(모터에서) 37.41 (축에서) -0.056
무게 (g)	681.08	335.96

최종적으로 <그림36>과 같이 수직 모터 반사경 하우징을 설계하였으며 선정된 회전 하우징의 기구적 검토 결과는 <표24>와 같다. 축에서의 무게 중심의 위치는 100um이하로 중심에 가까워 졌으며, 알루미늄+스테인리스 재질과 PEEK+알루미늄 재질의 경우로 검토를 해보았다. 최종적으로 회전의 안정성을 위해 알루미늄+스테인리스 재질로 선정을 하였다.

추가적으로 수직모터 모듈을 진동 모드 해석을 통해 공진여부를 확인하였다.

- 조건: 2000 rpm으로 회전(33.33 Hz, 1회전 1진동)
- $f[Hz]=N[rpm]/60[rpm/rps]$
- 1800 Hz에서 공진 발생함. 즉 회전 조건인 33.33 Hz와 일치점이 없으므로 현 모델에서 공진이 발생하지 않음.

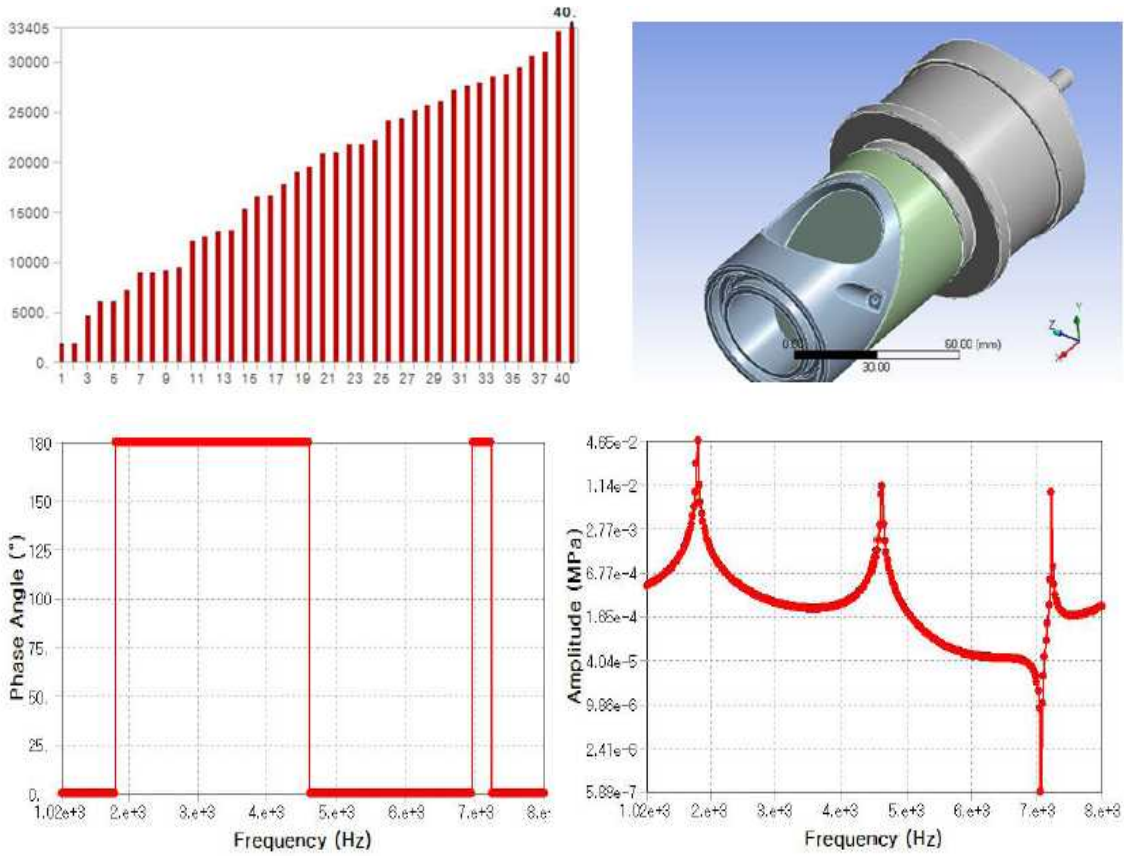


그림 37 수직 모터 모듈 진동해석 결과

다. 송수신광학부 모듈 개발 현황

1) 프로토타입 시제

송수신광학부 모듈은 송신부 광학계와 수신부 광학계로 구성된다. Fiber를 통해 송수신되는 레이저의 초점면을 X, Y, Z 축의 정렬 구조를 통해 송신부 광학부와 수신부 광학계의 광축을 정렬하는 구조이다. 송신부 광학부의 송신부 스플릿터를 지나 이너패스용 모듈를 통해 송신되는 레이저는 내부에서의 레이저 경로 추정에 사용된다. 이때 ND-FILM을 통해 이너패스 모듈로 송신되는 레이저의 광량을 조절할 수 있다.

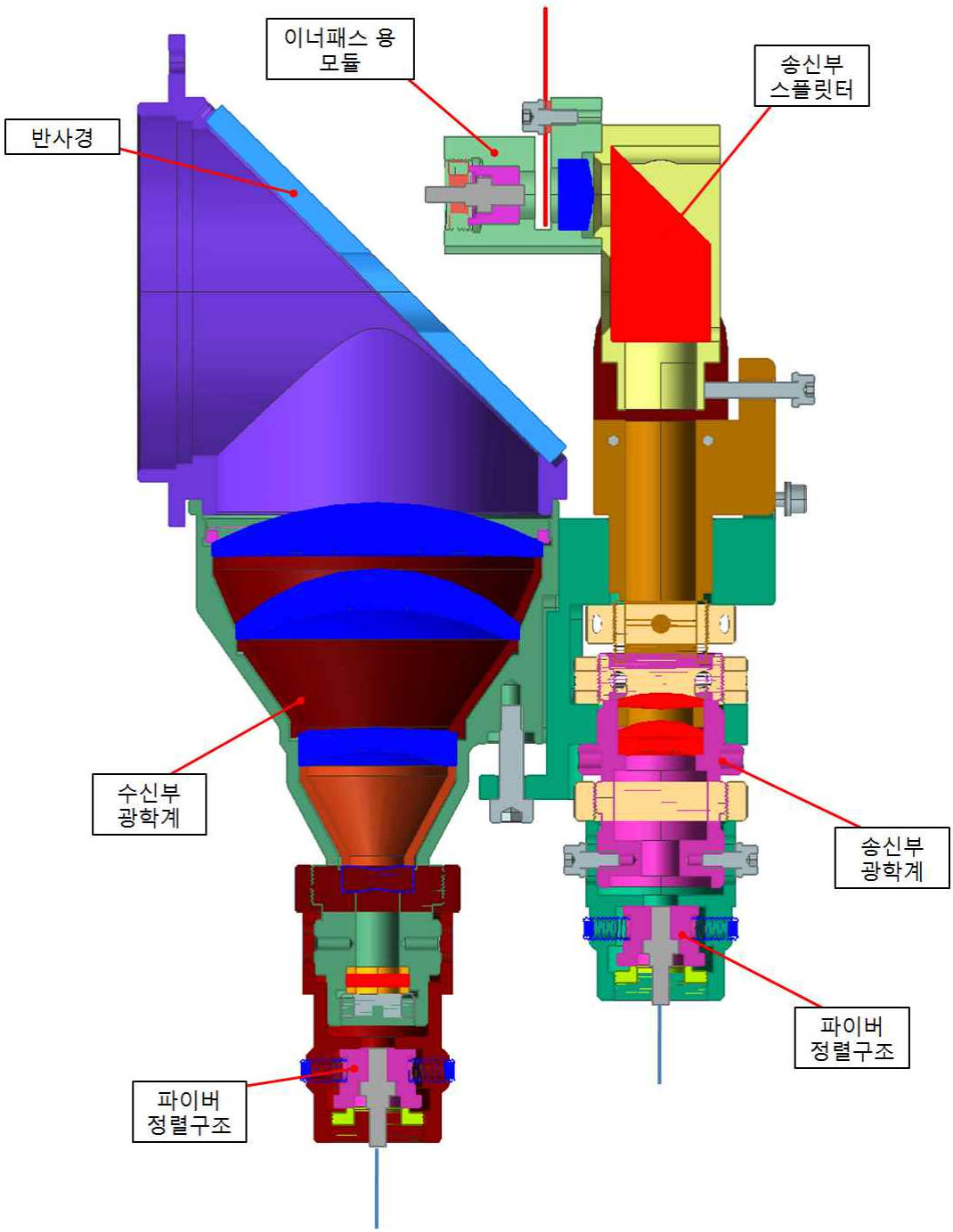


그림 38 프로토타입 광학계 구조

2) 개선 시제

레이저 모듈의 어댑터 및 Fiber를 적용한 구조로 설계 변경하였으며, 이를 통해 레이저 모듈의 변경 없이 적용이 가능하다. 또한 ND-FILM의 수동 작업 구조에서 자동 작업 구조로 모터 적용을 통한 양산성 고려 설계를 반영하였다. 이는 3차원 레이저 스캐너의 초기값 데이터 수집을 가능하고, 환경변화에 따른 오차율을 낮출 수 있다.

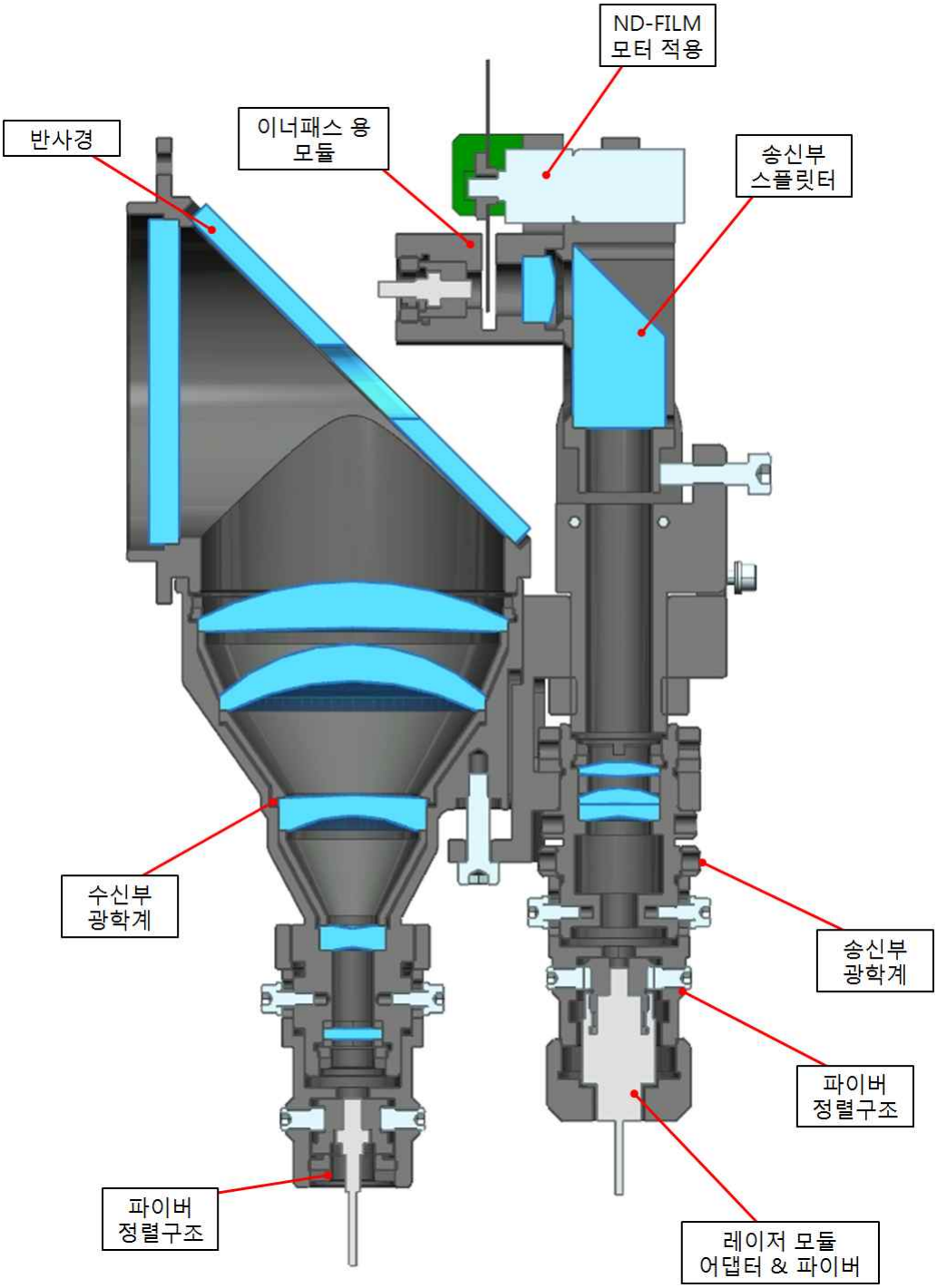


그림 39 개선 시제 광학계 구조

라. 이너패스 모듈 개발 현황

1) 프로토타입 시제

이너패스 모듈은 수신부 Fiber 레이저, 이너패스 Fiber 레이저, 스플릿터, ND-FILM 모듈, 정렬구조, APD 모듈로 구성된다. 이너패스 모듈의 광학계는 평행 광을 위한 렌즈군과 광원 집속을 위한 렌즈 군, 그리고 수신부 및 이너패스 Fiber 레이저의 광원이 APD 칩의 센서 면에 모이게 하는 스플릿터로 설계하였다. 조정구조는 수신부 및 이너패스 Fiber 레이저의 초점조절을 위한 X, Y, Z 축 조정구조와 APD 칩의 초점조절을 위한 STAGE 모듈의 X, Y, Z 축 조정구조로 구성된다. ND-FILM 모듈을 통해 내부패스를 통한 레이저와 수신된 레이저의 광량을 조절한다.

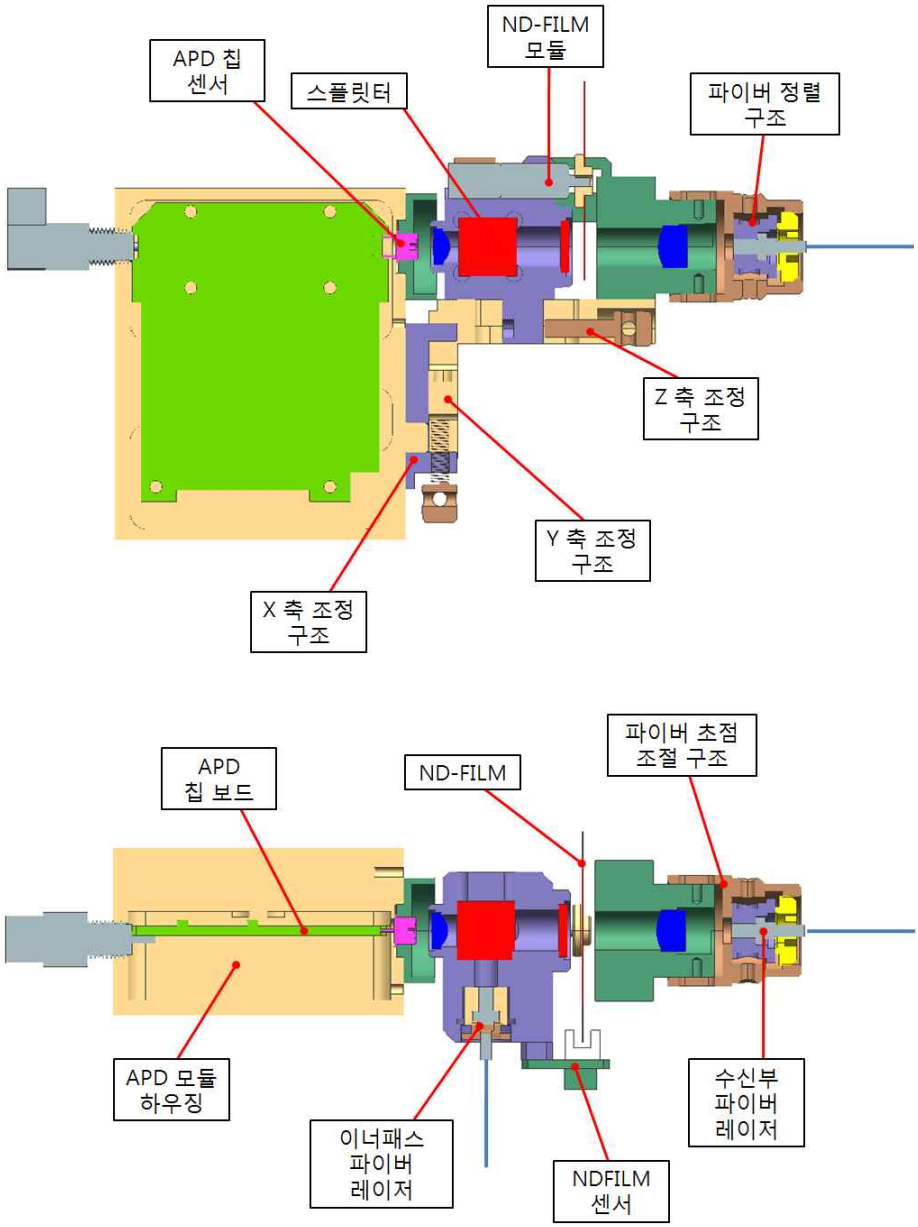


그림 40 프로토타입 이너패스 모듈 구조

1) 개선 시제

프로토타입 시제에서의 APD 모듈 하우징을 분리 및 개방형으로 설계 변경하여, 메인하우징에서 이너패스 모듈의 정비가 직접적으로 가능하다. 또한 분리되는 APD 보드 부는 APD 모듈 하우징의 가이드를 통해 위치가 결정된다. 따라서 추가적인 정렬 과정을 절약할 수 있어 양산성을 높혔다. 추가적으로 수신부 Fiber 레이저의 조정구조를 두 개에서 한 개로 통합함으로써 정렬과정을 단축시켰다.

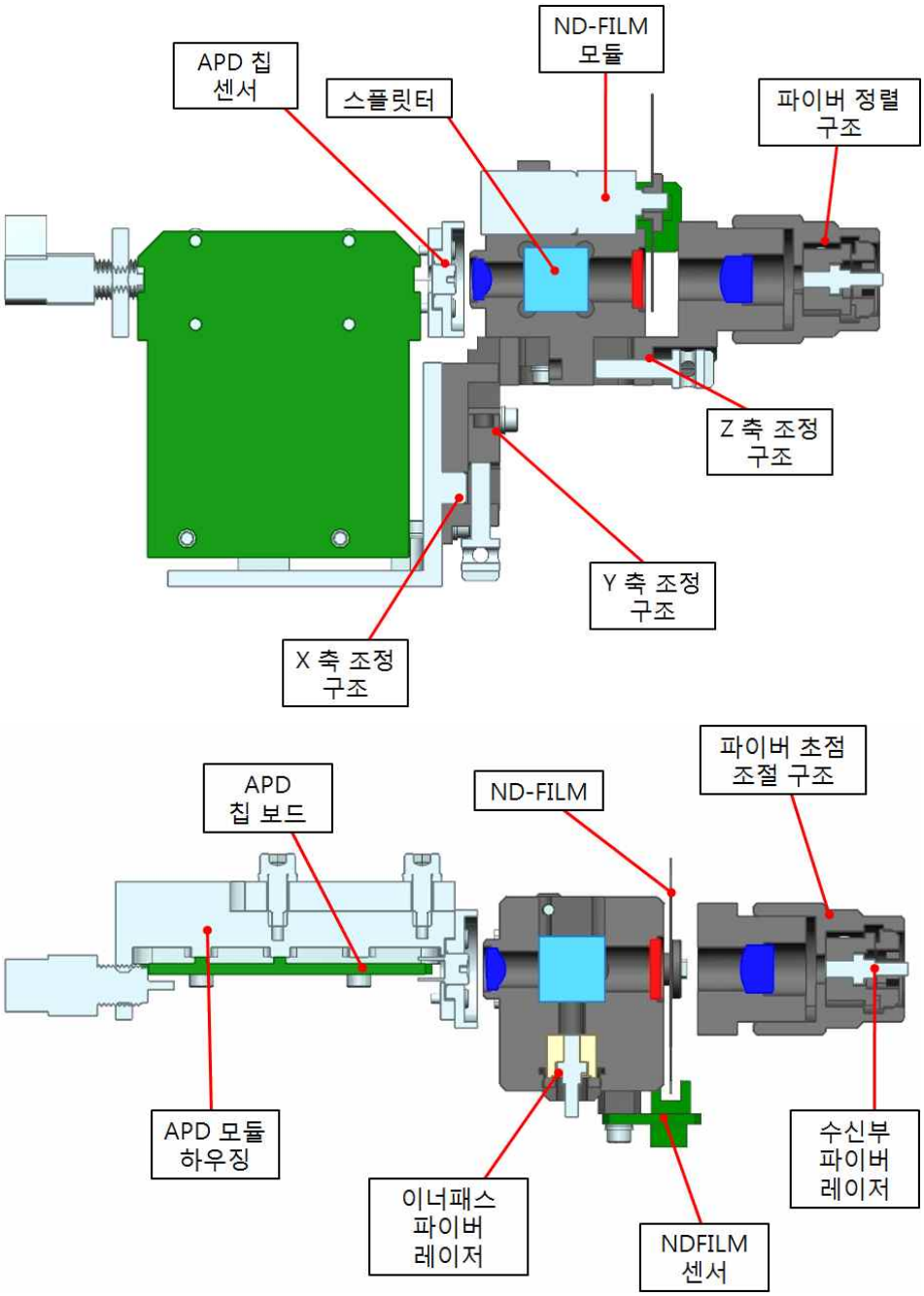


그림 41 개선시제 이너패스 모듈 구조

마. Fiber 레이저 모듈

Fiber 레이저 모듈은 방열판, Fiber 레이저 소스, 레이저 보드로 구성된다. 방열판은 Fiber 레이저 소스에서 발생하는 발열을 냉각시키는 용도로, 열전달 해석을 통해 핀의 두께 및 높이(1.0 mm× 5.5 mm)를 선정하였다.

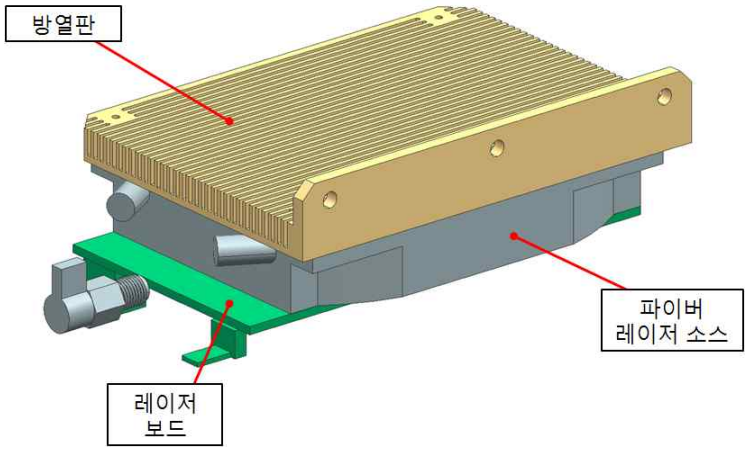


그림 42 Fiber 레이저의 방열판 구조

바. 메인보드 조립체

1) 프로토타입 시제

메인보드 조립체는 MPU 보드, DAM 보드, ASP 보드, 모터 Control 보드, 모터 Driver 보드로 구성된다. 차폐용 Plate를 통해 각 보드에서 발생하는 노이즈를 방지할 수 있으며, 마운팅 및 방열판은 육각지주와 볼트를 통해 접지되는 구조이다. 또한 모터 Driver 보드를 직접적으로 연결하여 보드에서 발생하는 열을 효율적으로 냉각시키는 방열 역할을 수행한다.

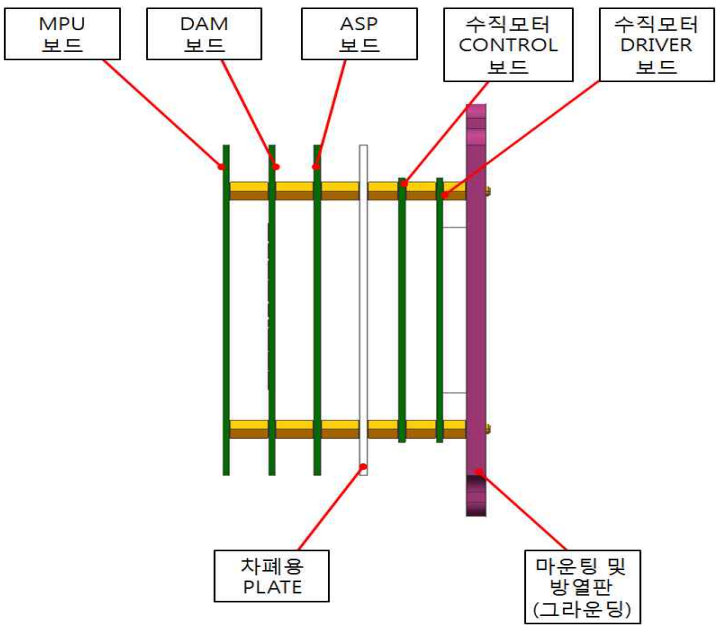


그림 43 프로토타입 시제 보드 조립체

2) 개선 시제

메인보드 조립체의 MPU 보드, DAM 보드, ASP 보드에서 발생하는 노이즈가 육각지주를 통해 메인하우징으로 흡수된다. 그러나 수직모터 보드에서 발생하는 노이즈로 인한 혼선으로 성능 확보에 문제가 된다. 따라서 두 종류의 보드 조립체를 분리하여 보드 조립체에서 발생하는 노이즈를 최소화 하였다. 또한 MPU 보드, DAM 보드, ASP 보드에서 발생하는 열은 보드 성능을 저하시킨다. 이에 대한 해결방법으로 Micro FAN 모듈을 추가하였다.

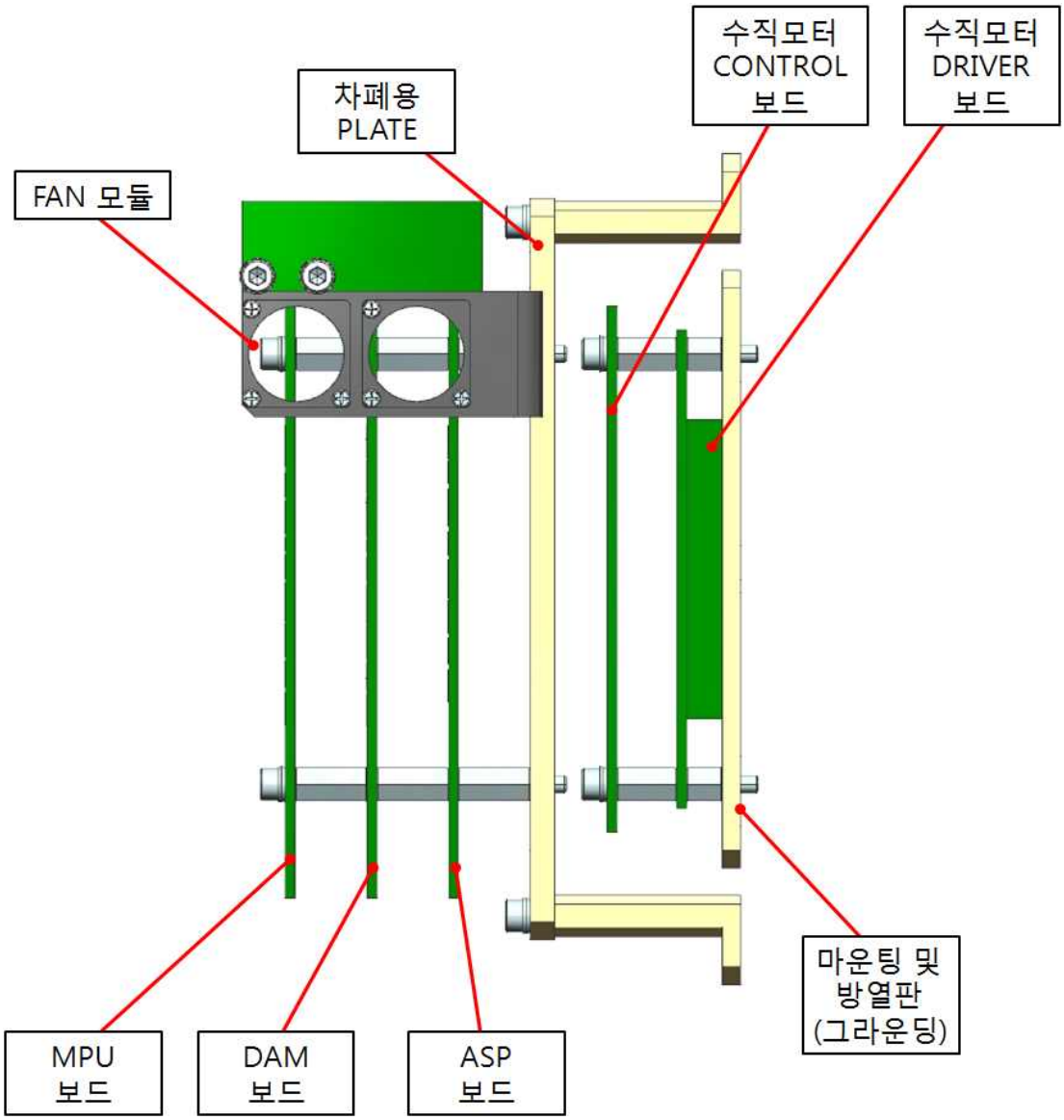


그림 44 개선시제 보드 조립체

사. 손잡이 체결부

1) 프로토타입 시제

손잡이 체결부를 개선함으로 손잡이 체결부의 안정성을 높였다. 손잡이부는 두 부품으로 나누고 체결부 조립체를 삽입한 후에 손잡이부 조립을 수행한다.

손잡이의 돌출되는 형상을 버튼식으로 변경하여 사용자 편의성을 높혔으며, 스프링 중심축과 버튼 축을 일치하여 걸쇠 동작의 동작 안정성을 높였다.

걸쇠 하부의 볼트 체결 구조를 너트 방식으로 변경하여 몸체 하우징의 내부 공간을 확보 및 무게를 줄였다(증가한 부피= 103cm2, 줄어든 무게 = 약 43g).

또한 하단부 체결부에 오링을 추가하여 밀폐 조건을 만족하였다(IP54).

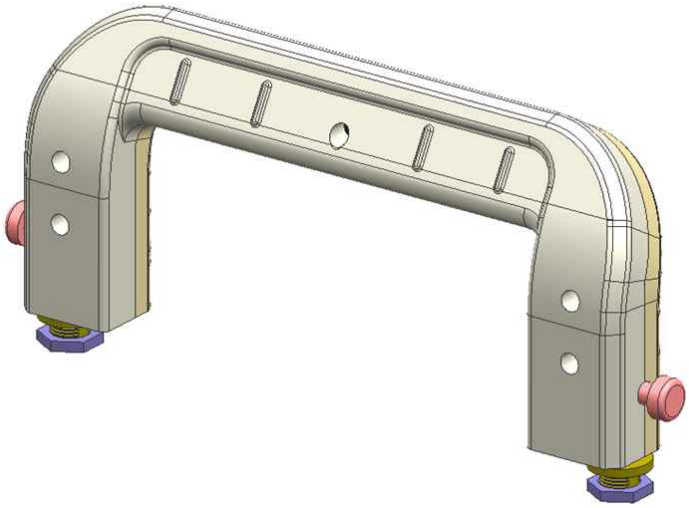


그림 45 프로토타입 시제 손잡이 조립체의 외부 형상

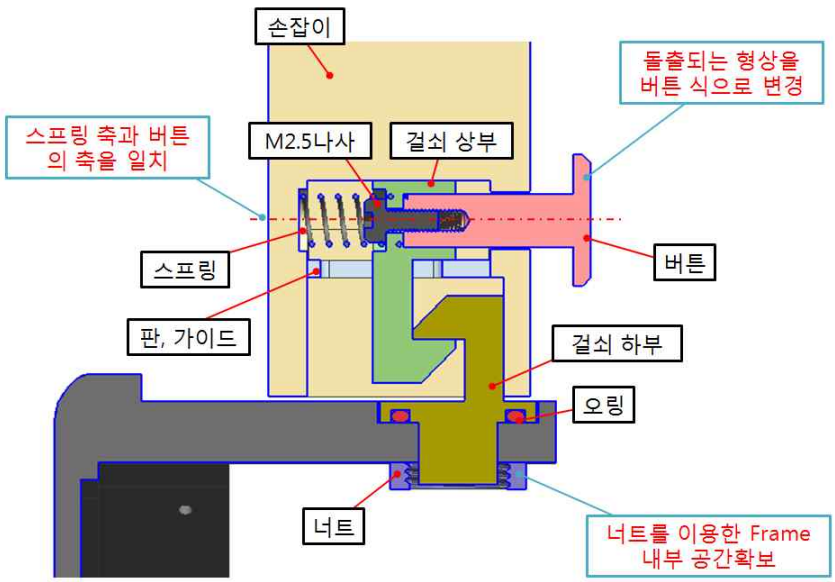


그림 46 프로토타입 시제 손잡이 조립체 조립 구조

2) 개선 시제

외부 하우징의 조립성을 고려하여 메인 하우징에서의 손잡이 조립체와의 체결되는 구조를 두 부분으로 분리하였다. 이를 통해 메인하우징의 생산성을 높였으며, 걸쇠하부의 체결을 너트 방식이 아닌 볼트 방식으로 변경하여 안정성을 높혔다.

전체 시스템의 무게 중심이 제품의 중간에 위치함에 따라 손잡이의 굽힌 구조를 수직 구조로 변경하여 운반 시 안정성을 높혔다.



그림 47 개선 시제 손잡이 조립체의 외부 형상

아. 외부 하우징

1) 디스플레이 부

디스플레이 부의 외부 하우징의 구성은 LCD 디스플레이, USB 포트, 전원 버튼, LED 표시등, FAN 조립체의 구조이다. LCD 디스플레이는 외부로 표시되어 있으며 오링을 통해 밀폐조건을 만족한다. USB 포트는 외부매체와의 연동이 가능하며, LED 표시등을 통해 3차원 레이저 스캐너의 작동 시 발생할 수 있는 사고를 예방할 수 있다. FAN 조립체는 IP54에 적합하게 설계되어 있으며, 내부의 열 순환을 위해 디스플레이 부 하단부에 위치한다.

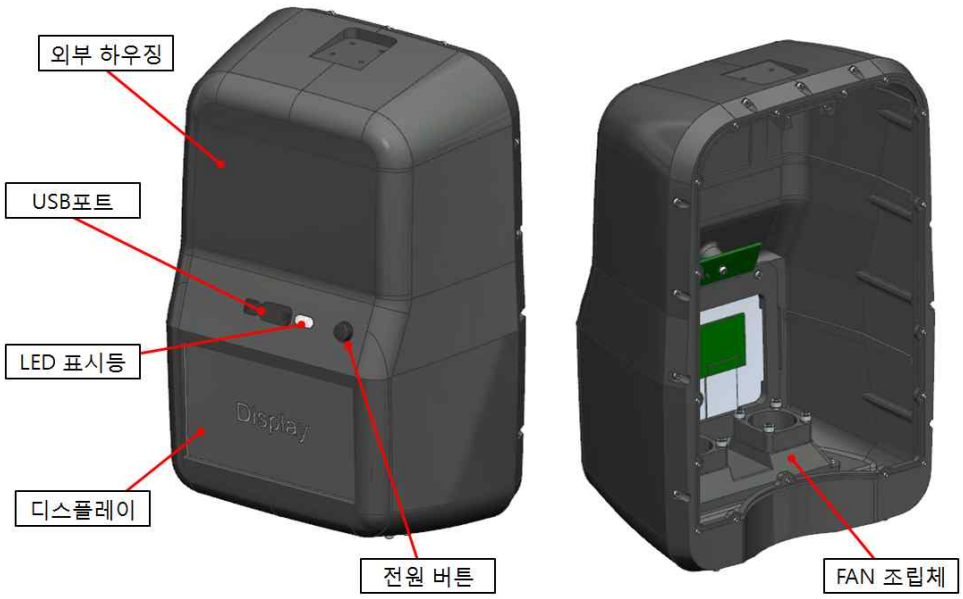


그림 48 디스플레이부 외부 하우징

2) 배터리 부

배터리 부의 외부 하우징 구성은 배터리, 배터리 커버, 배터리 버튼 구조이다. 배터리의 크기는 130X50X75 mm 이며, 용량은 24V이다. 내부 사용 배터리는 Lithium-Ion 배터리를 사용하며 총 12개의 배터리가 직병렬로 연결되어 있다. 배터리 버튼의 내부에 위치한 스프링을 통해 버튼의 복원성을 확보하였으며, 판스프링을 배터리가 닿는 면에 위치함으로써 3차원 레이저 스캐너의 작동하며 발생하는 진동 충격을 완화한다.



그림 49 배터리부 외부 하우징

3. 전자회로 보드 설계 및 제작

가. 파이버 레이저

1) 레이버 구동 보드

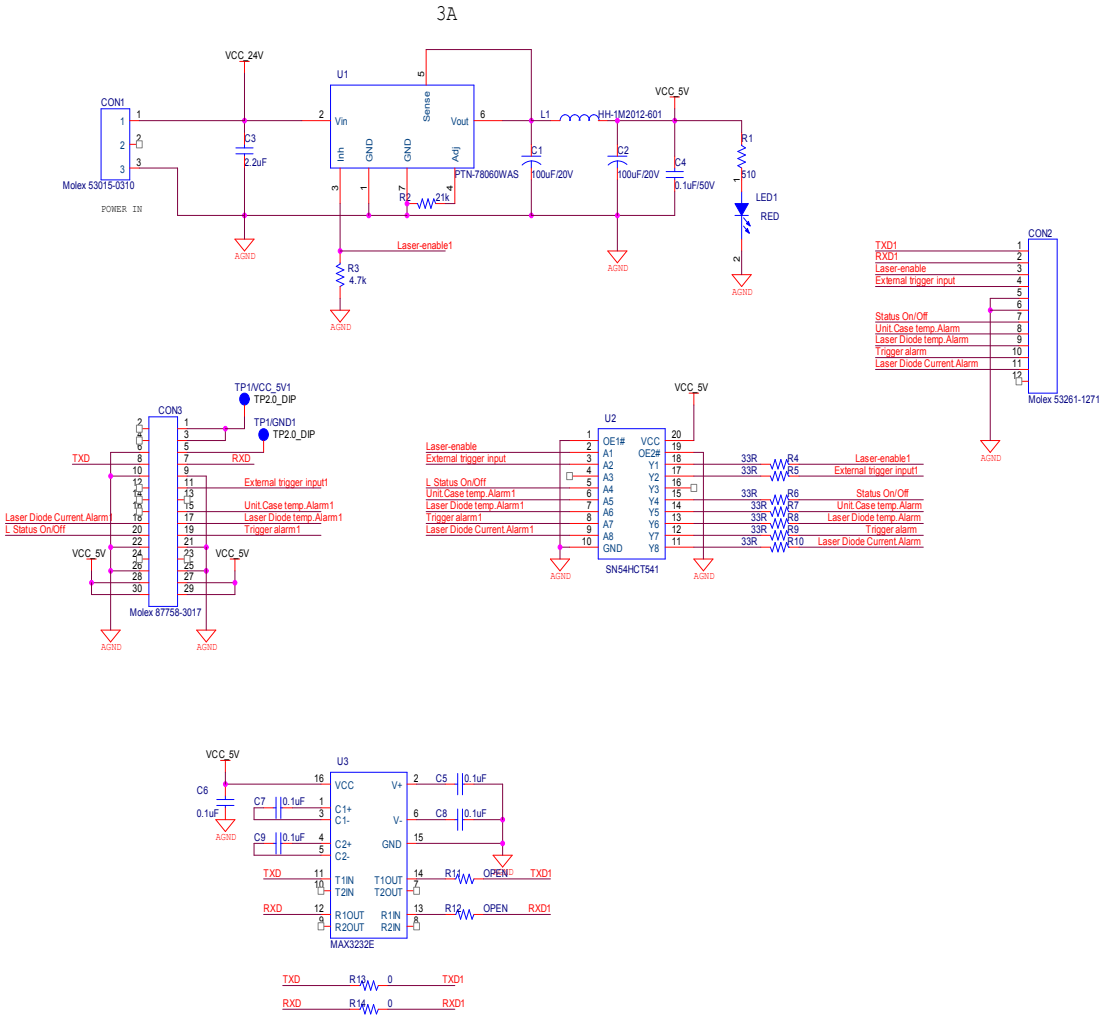


그림 50 설계된 레이저 보드

- 레이저는 이 보드를 통하여 On/Off기능과 레이저가 나가는 속도를 조절할 수 있다.
- 파이버 레이저를 동작시키는데 필요한 보드로 레이저의 전원과 RS232 통신 기능을 가지고 있다.

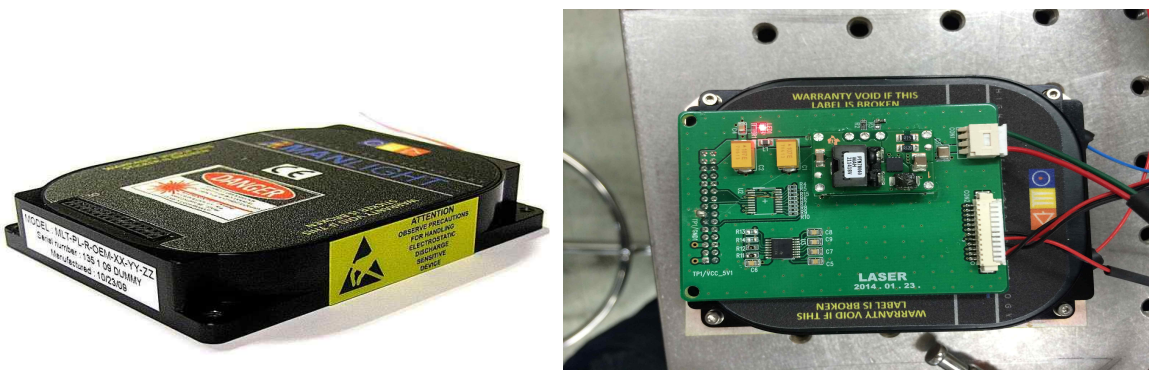


그림 51 파이버레이저 및 구동보드

2) 파이버레이저 사양

Date:	03/05/13	Reference:	2013PS064	Edition:	3
Part number:	MLT-PL-R-OEM15-02-50-08-I0-M1-B1-T1-C0-A0				

Optical specifications (all optical specifications given at 25°C except if notified)					
	3SP - Manlight				
Characteristic	Min.	Typ.	Max	Units	Notes / conditions
Mode of operation (MofO)		Pulsed			
Operating wavelength (OW)	1540	1550	1560	nm	Over entire temperature operating range
Wavelength vs temperature dependance (WVLvsT)	-	0.1	-	nm/°C	
Output signal pulse width (PW)	1	2	3	ns	FWHM, Fixed pulsewidth
External trigger front end to laser pulse delay	-	150	250	ns	
Pulse jitter delay	-	0.1	1	ns	
Pulse repetition frequency (PRF)	50	-	100	kHz	External trigger (Optional internal trigger)
Average output power (P_{avg})	-	400	-	mW	
Output signal peak power (P_{peak})	-	4	-	kW	At PW = 2ns (FWHM), PRF = 50kHz, P_{avg} = 400mW
Output pulse energy (OPE)	-	-	8	µJ	
Output signal peak power (P_{peak})	-	2	-	kW	At PW = 2ns (FWHM), PRF = 100kHz, P_{avg} = 400mW
Output pulse energy (OPE)	-	-	4	µJ	
Output power tunability (OPT)		10-100		%	
Output power instabilities (% rms over 8hours, 25°C) (OPI)	-	-	4	%	
Amplified spontaneous emission level (ASE)	-	-	20	%	At PW = 2ns, PRF = 50kHz
Emission bandwidth (BDW)	-	-	2	nm	FWHM
Optical signal to noise ratio (OSNR)	30	-	-	dB	Res 0.1nm on signal only
Output isolation (OI)		Not installed		dB	
Optical polarization (Pol)		Random			
Monitor fiber (OF)		SMF28			Ø900µm jacketed fiber
Monitor fiber length (FL)	30	50	80	cm	
Monitor termination (OT)		FC/APC			
Output fiber (OF)		SMF28			Ø900µm jacketed fiber
Output fiber length (FL)	30	50	80	cm	
Output termination (OT)		FC/APC			
Beam quality (BQ)	-	1.1	1.3	M^2	
Maximum reflectivity of external system (ORL)	-	-	-27	dB	

Electrical specifications					
Characteristic	Min.	Typ.	Max	Units	Notes / conditions
Control mode		ACC only			
Supply voltage (VDC)	4,8	5	5,2	V	
Power supply current (PSC)	-	3	4,6	A	Steady state. Maximum end of life
Power Consumption	-	16	22	W	

그림 52 파이버 레이져 사양

- 사용된 파이버레이저는 1550nm의 파장을 가지고 있으며 레이져 펄스폭은 1~3ns를 가진다.
- 사용 주파수는 50kHz~100kHz까지 외부에서 조절이 가능하다.
- 사용 전압은 5V이며 소비되는 전류는 3A~4.6A까지 사용하게 된다.
- 레이져 최대 파워는 4KW로 프로그램을 통하여 파워를 조절할 수 있는 장점이 있다.

나. Pre Amp (APD 모듈)

APD 모듈은 레이저 수신부이다. 이 부분은 레이저를 받아들여 이를 전기신호로 만드는 부분으로 APD와 Pre-AMP 이루어져 있다. APD는 레이져을 받아들여 전기 에너지로 만드는 역할을 하며, Pre-AMP는 APD에서 생성 된 작은 신호를 증폭하는 역할을 한다.

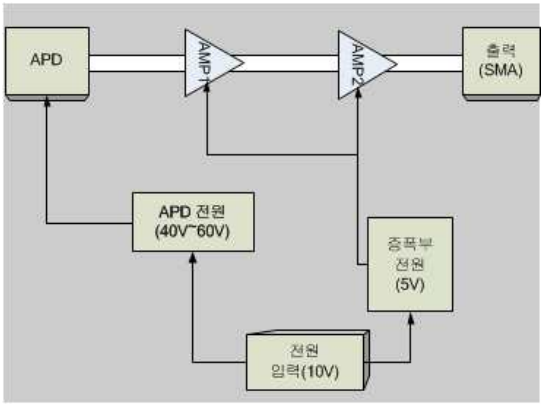


그림 53 APD 모듈 블록도

1) APD, Pre-AMP 모듈 제작

1550nm의 파장을 가진 파이버레이저는 기존의 레이저 보다 높은 파워를 가지고 있어 보다 먼거리를 측정하는데 유리하다. PerkinElmer C30645E APD를 적용하여 제작을 진행하였다.

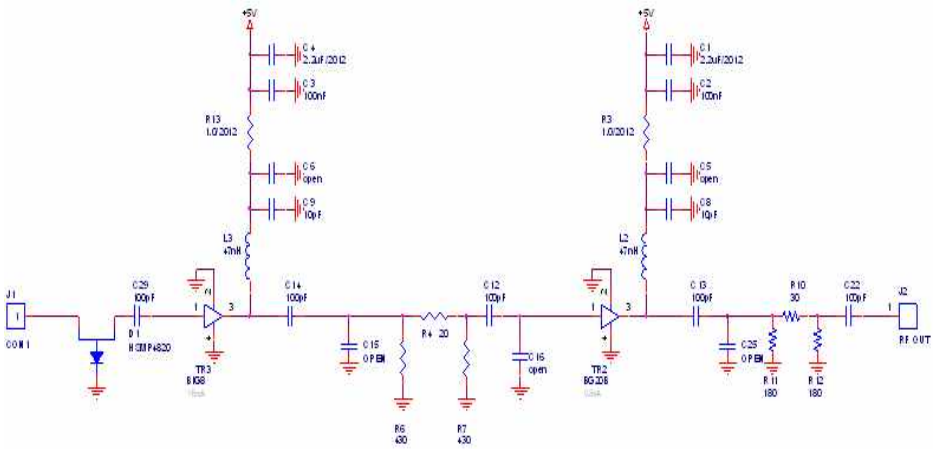


그림 54 Pre-AMP 회로도

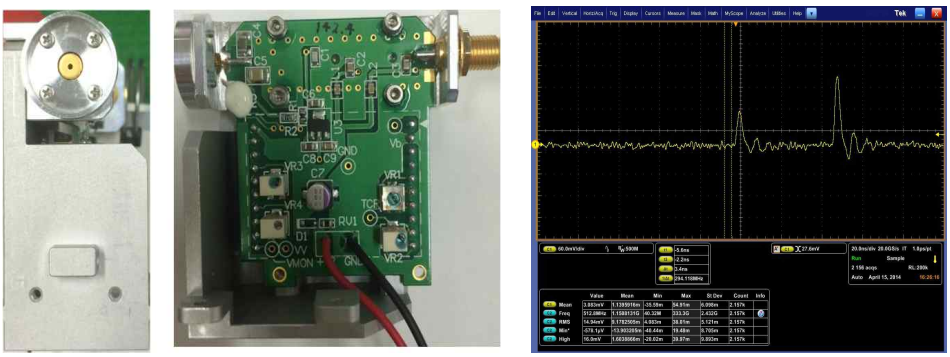


그림 55 APD 모듈 및 출력 파형

다. ASP : Analog Signal Processor

ASP 보드는 APD모듈에서 빛에너지가 전기적 에너지로 변경된 신호를 처리하는 부분이다. APD 모듈에서 만들어진 신호는 순수한 아날로그 신호이며, 아날로그 신호를 ASP 보드는 디지털 신호로 변환해주는 역할을 한다. ASP 부분은 높은 주파수의 신호를 고속으로 처리하고, 보다 깨끗하고 정확한 신호처리를 위하여 노이즈에 강한 ECL(Emitter Coupled Logic) 신호를 사용한다. ECL의 경우 1V까지를 사용하기 때문에 고속으로 신호를 처리하면서 노이즈에 강한 장점을 가지고 있다.

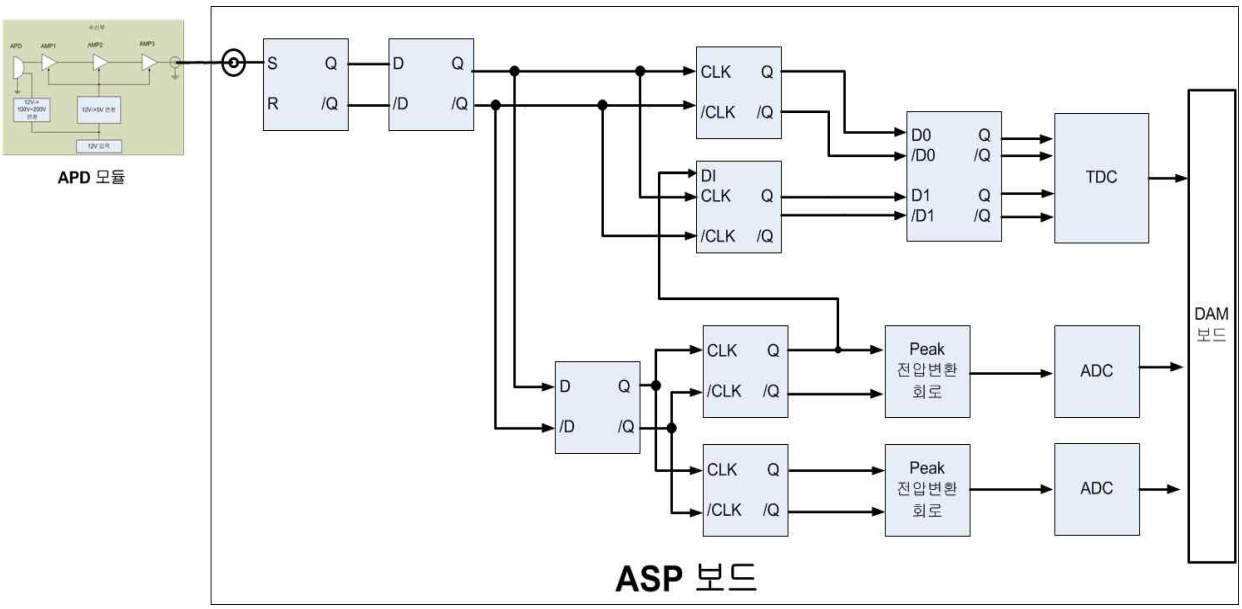


그림 56 ASP 블록도

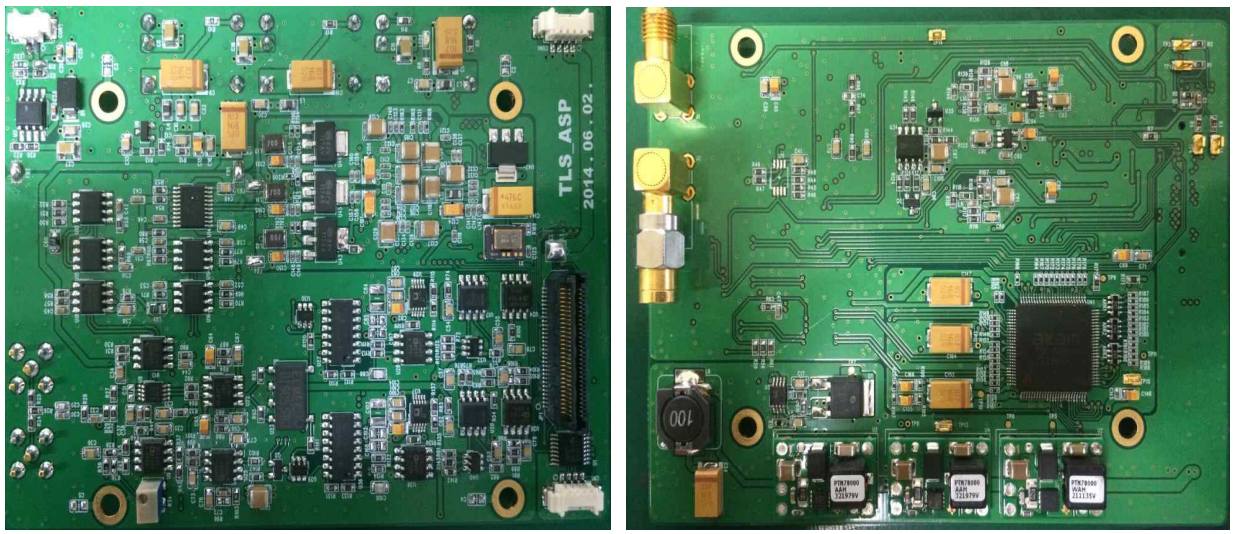


그림 57 ASP 보드

1) 신호 입력 부분

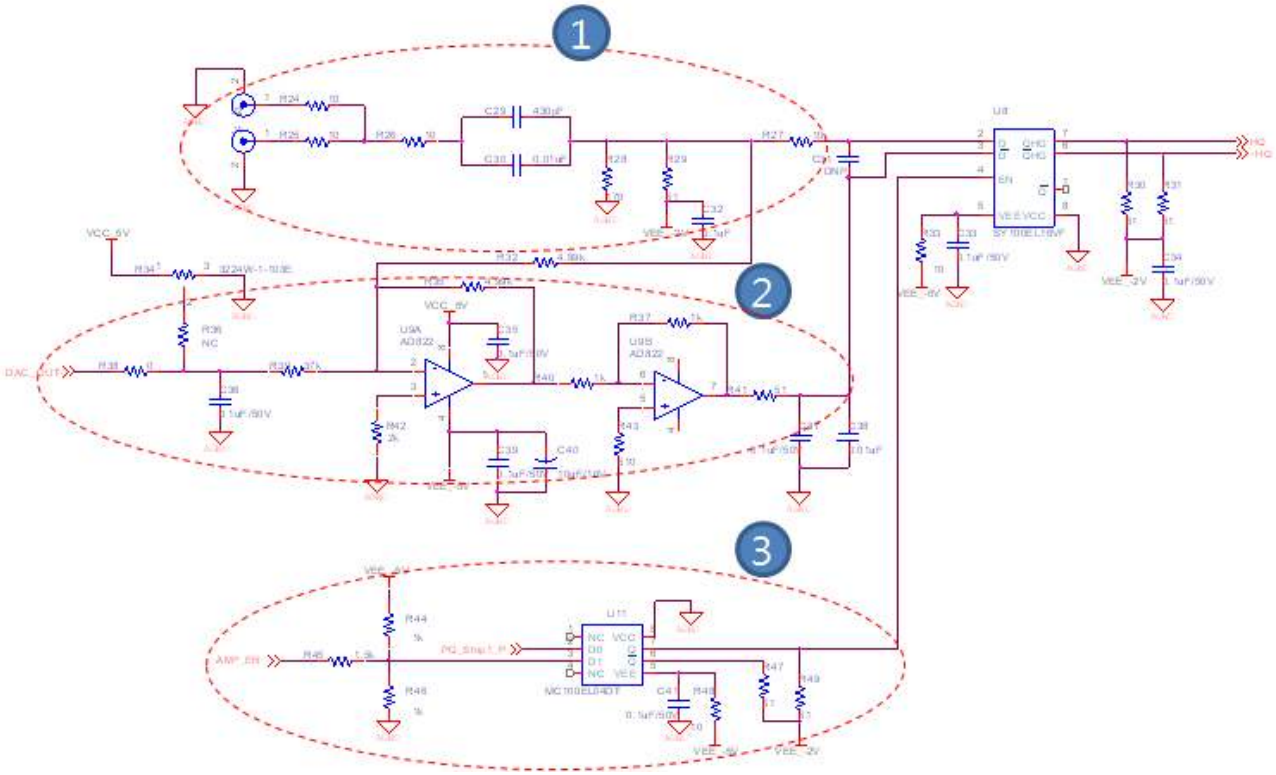


그림 58 신호 입력 회로

- ①부분은 APD에서 Pre-AMP의 신호가 입력되는 부분이다.
- ②부분은 입력된 신호를 통과시키는 기준을 만드는 부분으로 DAM회로기판에 있는 D/A Converter를 통하여 전압을 조절하여 필요한 레벨의 전압을 만든다. 전압레벨은 ①에 입력되는 전압보다 높아야 하며 노이즈를 고려하여 레벨을 결정해야 한다.
- ③부분은 Inner path의 레이저 신호가 입력된 후 일정 시간동안 U8의 동작을 멈추어 Out path의 신호가 들어오는 시간동안에 노이즈에 대하여 오동작을 방지하는 기능을 한다.



(a) 입력 신호 파형 (a) 출력 신호 파형

그림 59 U8의 입/출력 신호 파형

2) ECL 신호 변환 부분

아날로그로 신호로 입력된 신호를 ECL 신호로 변환 시켜주는 회로이다.

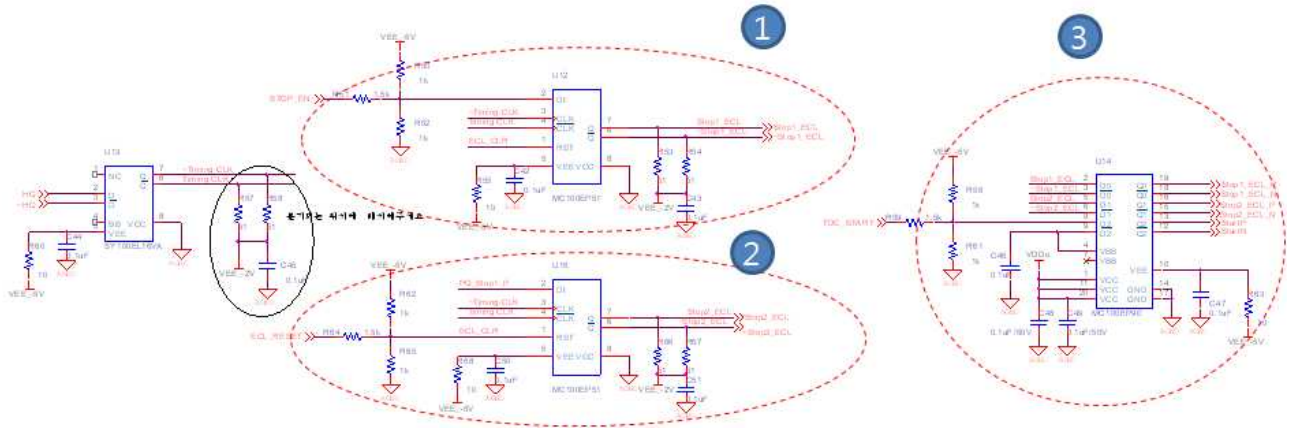


그림 60 ECL 신호 변환회로

- ①부분은 Inner path의 신호가 ECL 신호로 변화는 부분이다.
- ②부분은 Out path의 신호가 ECL 신호로 변화는 부분이다. Inner path의 신호에 반응하지 않게 Off 되어 있으며, Inner path의 신호가 입력 될 때 발생한 ECL 신호로 회로가 On 상태가 되어 Out path신호를 변화시키게 된다.
- ③부분은 변화된 ECL 신호를 TDC(Time to Digital Converter) Start 신호와 함께 TDC에 신호를 전달하는 부분이다.



그림 61 U12,U15의 입/출력 신호 파형

3) Peak 전압 측정부분

- 레이저에 대한 Peak전압을 측정하여 차이를 분석하고 거리 오차를 보정하는 부분이다.
- Peak전압을 측정할 경우 동일 위치에 반사도에 따른 색깔도 분해가 가능하게 된다.
- 차동증폭기를 이용한 Peak 검출부(충.방전회로)와 방전을 멈추는 Stop 신호 생성부분으로 이우러져 있다.
- 레이저가 동일한 거리를 측정할 때 거리는 같지만 색이 다를 경우 되돌아오는 레이저 파워가 달라진다. 이때 입력신호를 반전하여 충전된 전압이 방전되는데 이것을 신호 중간에 멈추어 A/D converter를 통하여 방전된 량을 측정하게 된다.

가) Stop 신호 생성부분

- Peak 전압을 측정하기 위한 회로 중 Stop 신호를 만들어 내는 부분이다.

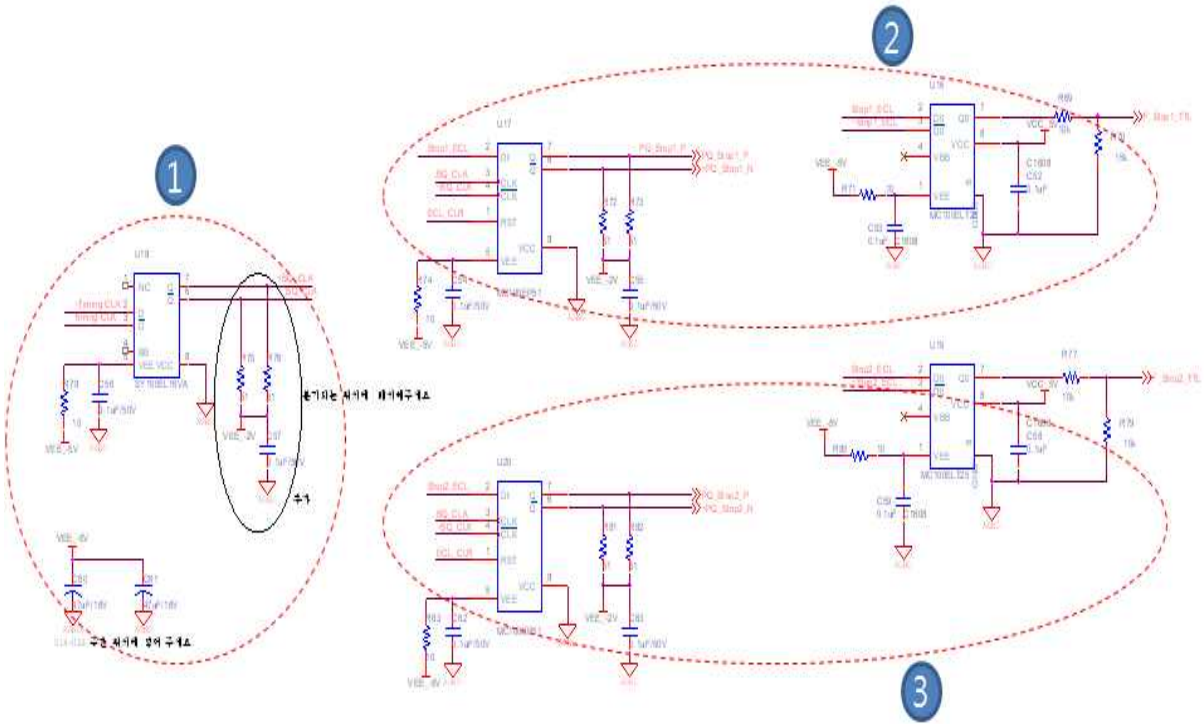


그림 62 Stop 신호 생성회로

- ①부분은 입력 신호를 2개로 전달하기 위한 버퍼이다.
- ②부분은 Inner path의 신호로 Stop를 만드는 부분이다.
- ③부분은 Out path의 신호가 Stop를 만드는 부분이다. Inner path의 신호에 반응하지 않게 Off 되어 있으며, Inner path의 신호가 입력 될 때 발생한 ECL 신호로 회로가 On 상태가 되어 Out path신호를 변화시키게 된다.

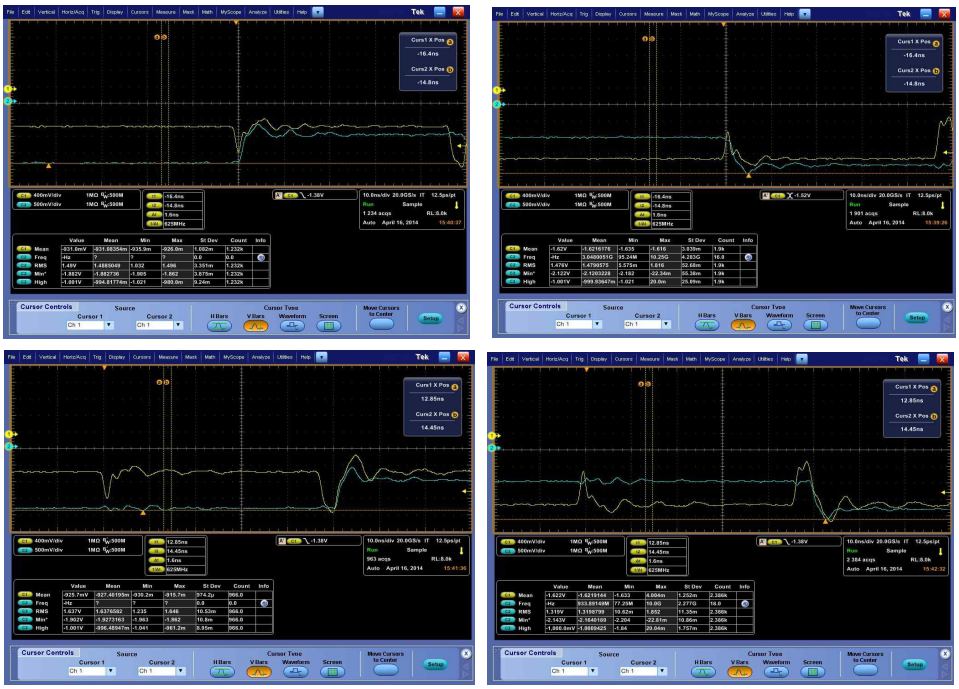


그림 63 U12,U15의 입/출력 신호 파형

4) Peak 검출부

- 차등증폭기를 이용하여 충전과 방전을 유도하는 회로이다.
- 레이저의 파워에 따라 방전되는 전기의 량이 다르며, 방전된 전기량을 측정하여 레이저의 세기를 구분하는 회로며, 이 값으로 반사되어 돌아오는 레이저의 세기를 측정할 수 있다.

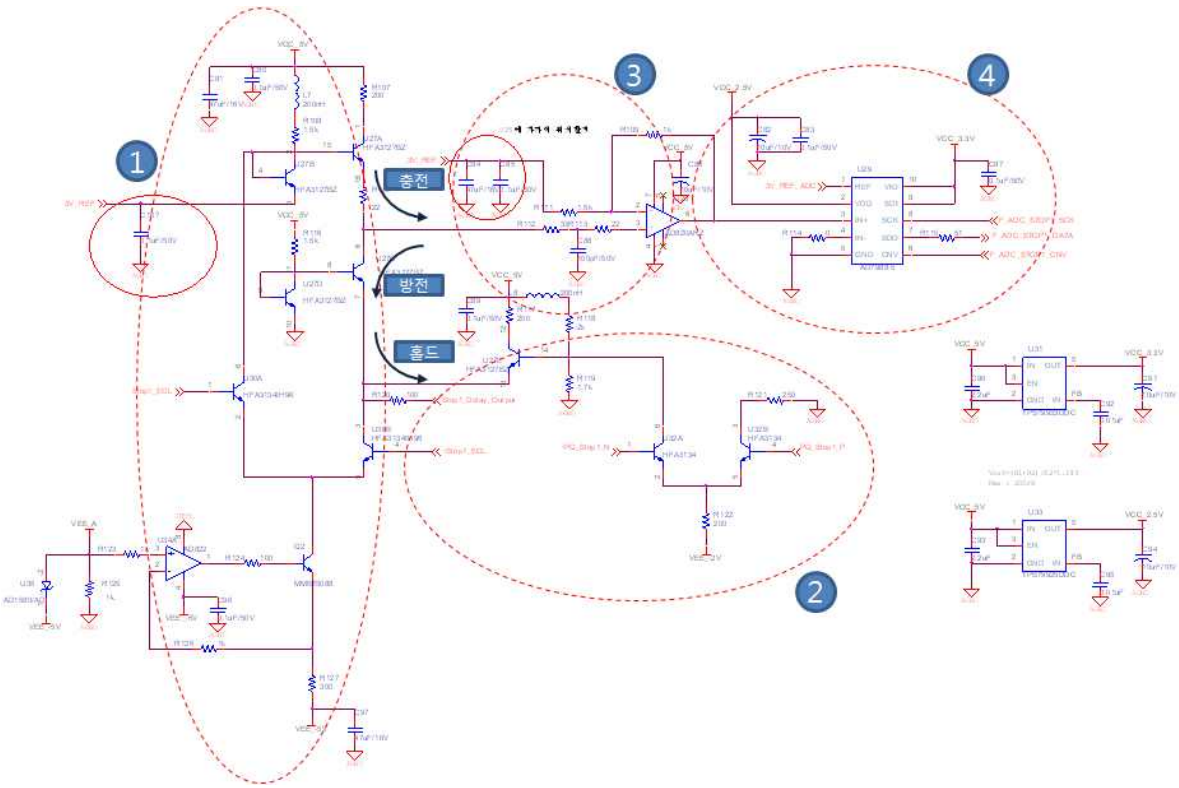


그림 64 Peak신호 검출부(Inner Path)

- ①부분은 두 개의 차동증폭기를 이용하여 충전을 하였다가 반전된 신호가 들어오면 방전을 하는 회로이다.
- ②부분은 Stop신호로 방전을 멈추어 유지시키는 회로이다.
- ③부분은 기본적으로 전류를 가두어 놓아 신호가 일어 날 때 방전을 하는 회로이다. Capacitor의 용량으로 방전량을 조절할수 있다
- ④부분은 일정하게 유지된 전압을 디지털 값으로 변환하는 회로이다.



그림 65 방전 동작 시간 파형

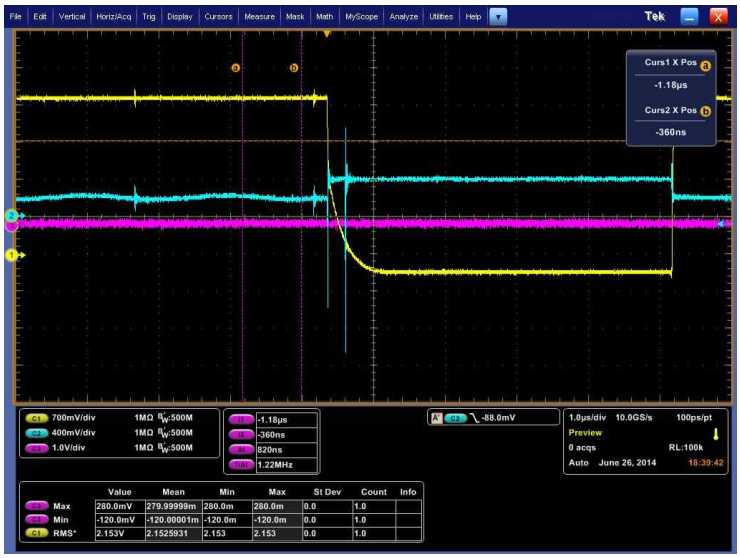


그림 66 방전 회로 동작 파형

5) TDC 회로

- Inner path의 ECL 신호와 Out path의 ECL 신호를 입력 받아 두 신호의 시간을 측정하여 거리를 계산하는 회로이다.

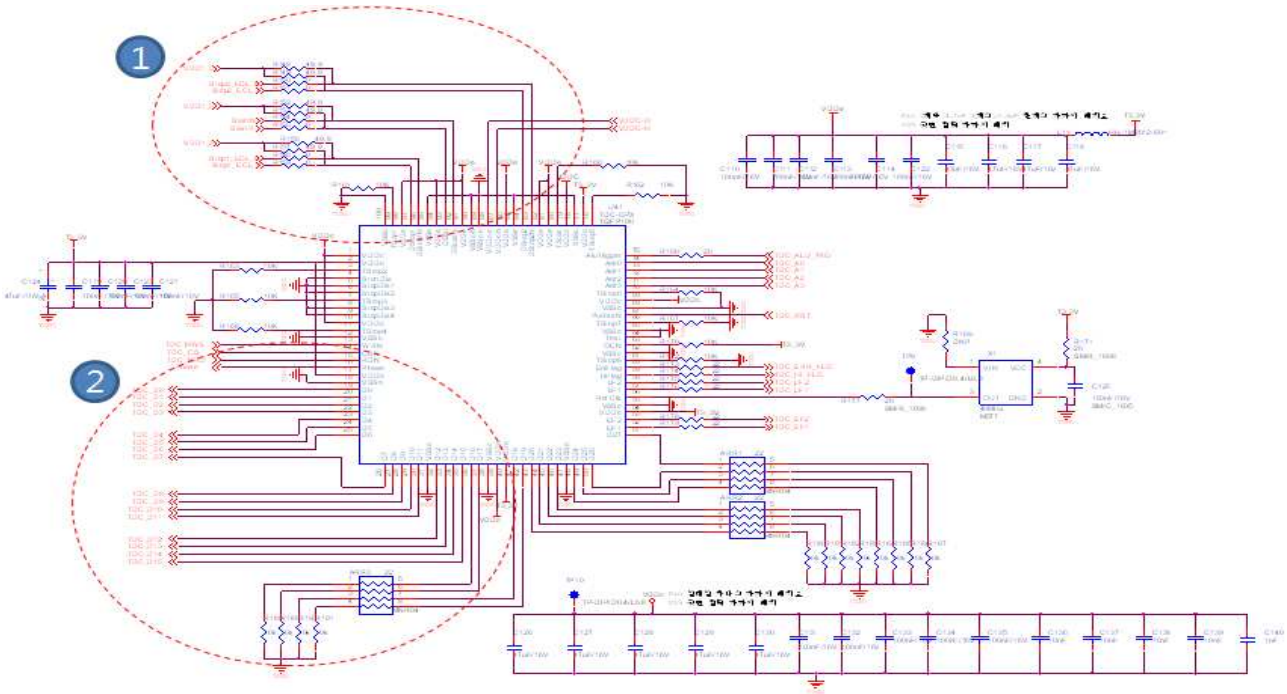


그림 67 TDC 회로

- ①부분은 ECL신호가 입력되는 부분이다
- ②부분은 신호를 처리하여 16Bit의 값으로 출력하는 부분이다.

라. DAM : Distance and Angle Measurement

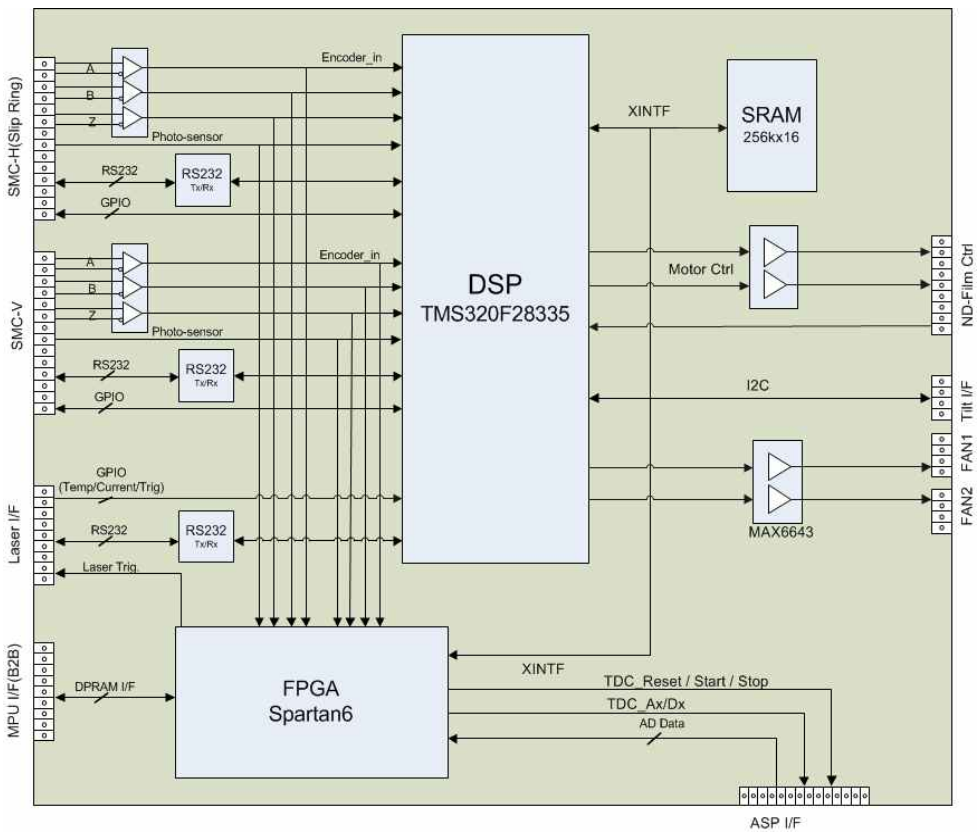


그림 68 DAM 모듈 블록도

1) 하드웨어 구성

SMC모듈에 쓰인 동일한 DSP를 설계 적용하였는데 Texas Instrument사의 TMS320F28335 32bit Digital Signal Controller는 최대 150Mhz의 클럭속도에 하버드 버스구조의 프로세서이며 64k byte의 RAM, 512k byte의 프로그램용 Flash 내장 메모리를 보유하고 있으며 부동소수점 연산 유닛과 32x32bit의 MAC(Multiply and Accumulate)유닛을 제공하여 효율적인 알고리즘 구현을 지원하며 32bit의 8M byte이상의 외부메모리 인터페이스, 32bit 타이머, CAN, UART, SPI, I2C 등의 시리얼 인터페이스와 12bit AD컨버터, 최대 80개이상의 GPIO를 제공한다.

수평,수직 SMC모듈과는 RS-232로 인터페이스하는 것과 더불어 엔코더 신호입력을 동시에 받도록되어 있으며 그 외에 GPIO도 추가로 연결해서 확장성을 고려해 놓았다. DSP에는 또한 512k byte의 외부 SRAM이 설계되어 있고 MPU모듈 인터페이스로는 듀얼포트 메모리(Dual Port Memory)를 FPGA를 통해 억세스(Access)하여 통신 및 데이터 전송하고 수직,수평 서보모터 제어모듈과는 RS232 인터페이스를 이용한다. 또한 I2C 버스를 이용하여 틸트모듈과 인터페이스한다. DC모터 콘트롤러를 통해 ND film제어를 하고 하우징내부의 4개의 FAN제어를 하는데 이중 2개의 FAN은 MAX6643L(Automatic PWM FAN Controller)를 사용하였다.

FPGA(Xilinx Spartan6 XC6SLX45)를 통해 DSP의 메모리주소 영역 디코딩을 수행하고 DSP의 SRAM데이터를 듀얼포트 메모리로 전송하는 버스제공기능을 수행하고 각 모듈간 인터럽트 입출력 및 GPIO 제어 신호들을 인터페이스 하는 역할 및 TDC(Time to Digital Converter)와 DSP 메모리버스를 통해 인터페이스하여 명령 제어를 하고 거리측정 데이터를 DSP에 전송한다.

표 25 DAM 모듈 개발 사양

항목	기 능	비고
CPU	TMS320F28335, C28x 32bit Real-Time MCU, 150Mhz, Floating-Point Arithmetic Unit, 256k X 16bit Flash, 32kX16bit SRAM	
Memory	256k X 16bit SRAM	거리데이터 DMA용
FPGA	XILINX Spartan6 XC6SLX45	
MPU I/F	16k X 16bit Dual Port RAM I/F	통신 및 거리데이터 전송
RS232	3ch UART: SMC x2, LASER모듈 통신	
I2C	1ch TILT센서 모듈 I/F	
XINT	2M X 16bit Address Space: SRAM, FPGA, TDC I/F	외부메모리 I/F
QEP	2ch Enhanced Quadrature Encoder Pulse Decoder Module	수직,수평 모터대응
기타 I/O	ASP모듈, Laser모듈, Tilt모듈, FAN, ND Film, LED 제어	

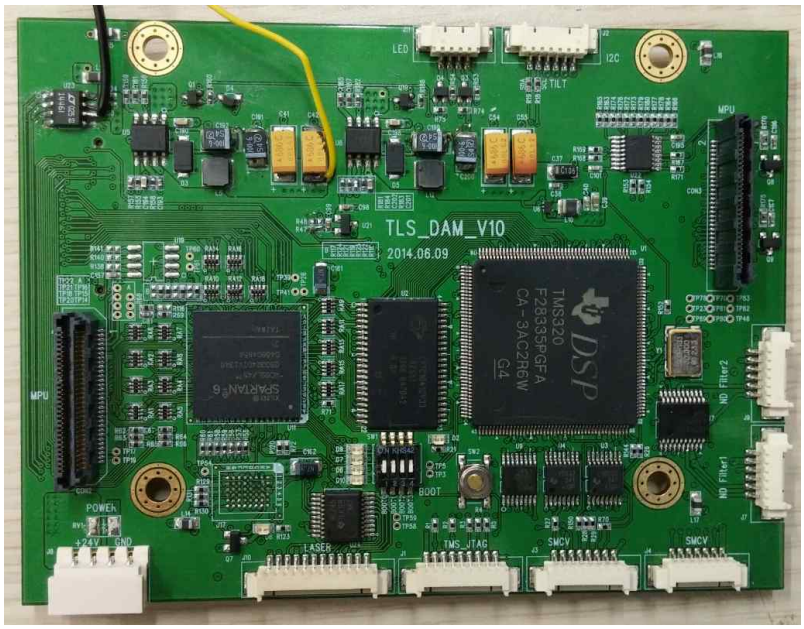
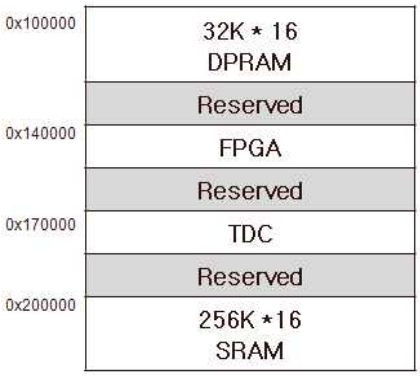


그림 69 DAM 모듈

2) DSP Memory 구성

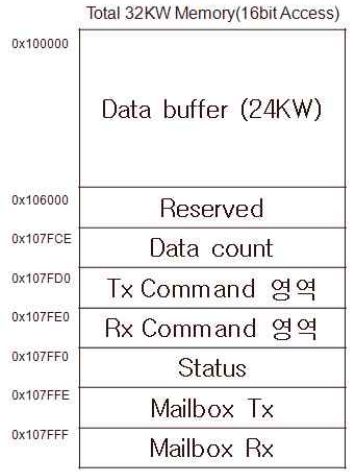
XINTF 메모리 구조



ZONE	A19	A18	A17	A16	Memory map
6	X	0	0	0	DPRAM 32k * 16 0x10 0000 ~ 0x10 7FFF
6	X	1	0	0	FPGA 0x14 0000 ~ 0x14 001F
6	X	1	1	1	TDC 0x17 0000 ~ 0x17 001F
7	X	0	X	X	SRAM 256k * 16 0x20 0000 ~ 0x23 FFFF

그림 70 DSP XINTF 메모리 구조

가) DPRAM 메모리 구조



Offset	Define	Size	comment	direction
0x0000~0x0FFF	Buffer 0	4096W	scan data buffer	DAM->MPU
0x1000~0x1FFF	Buffer 1	4096W	scan data buffer	DAM->MPU
0x2000~0x2FFF	Buffer 2	4096W	scan data buffer	DAM->MPU
0x3000~0x3FFF	Buffer 3	4096W	scan data buffer	DAM->MPU
0x4000~0x4FFF	Buffer 4	4096W	scan data buffer	DAM->MPU
0x5000~0x5FFF	Buffer 5	4096W	scan data buffer	DAM->MPU
0x6000~0x6FFF	Reserved 1	4096W		
0x7000~0x7FCD	Reserved 2	4046W		
0x7FCE~0x7FCF	data count	2W	scan data count	DAM->MPU
0x7FD0~0x7FDF	TX CMD	16W	CMD/REPORT/ACK	MPU->DAM
0x7FE0~0x7FEF	RX CMD	16W	CMD/REPORT/ACK	DAM->MPU
0x7FF0~0x7FFD	Status	14W	Status buffer	DAM->MPU
0x7FFE	TX INT	1W		MPU->DAM
0x7FFF	RX INT	1W		DAM->MPU

<DPRAM 사용 영역 설명>

그림 71 DPRAM 메모리 구조

표 26 mailbox bit 할당

bit	15	14	13	12	11	10	9	8
Define	Buffer 0	Buffer 1	Buffer 2	Buffer 3	Buffer 4	Buffer 5	X	X
bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Define	X	X	X	empty	ready	status	RX CMD	TX CMD

MPU에서 DAM에 Command 전달하는 과정

- MPU: TX CMD 영역에 Command data write
- MPU: TX Mailbox 영역의 0번 bit를 set하고 이외의 영역은 clear한 후 write
- DAM: 인터럽트 인식
- DAM: TX Mailbox 영역을 읽은 후 0번 bit가 set되어 있는지를 확인한 후 TX Command 영역 읽음.
- DAM: RX Mailbox 영역의 3번 bit(ready)를 set하고 이외의 영역은 clear 한 후 write
- MPU: 인터럽트 인식 및 Command 전달 확인.
- DAM: TX Command Parsing후 Command 처리

DAM에서 MPU에 data를 전달하는 과정

- DAM: Buffer0 ~ Buffer 5 영역에 Scan Data 저장.
- DAM: Data Count 영역에 Data Count 저장.
- DAM: RX Mailbox 영역의 15,14,13,12,11,10번 bit를 set하고 이외의 영역은 clear한 후 write.
- MPU: 인터럽트 인식.
- MPU: RX Mailbox 영역을 읽은 후 data영역에 data가 쓰여져 있음을 판단하고 data 영역을 처리.
- MPU: TX Mailbox 영역의 4, 3번 bit를 set하고 이외의 영역은 clear한 후 write.

- DAM: 인터럽트 인식 및 전송 data 전달 확인.

나) SRAM 메모리 구조

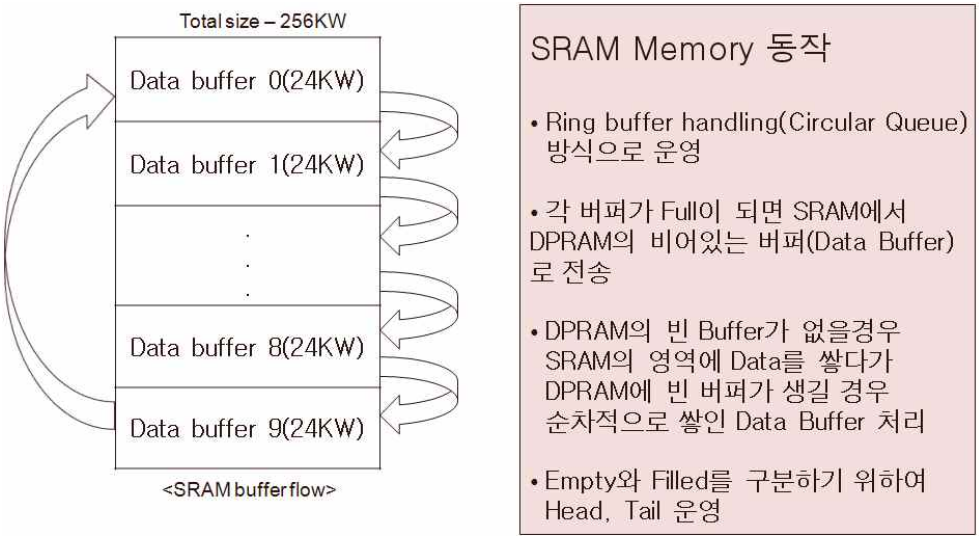


그림 72 SRAM 메모리 구조

(1) I/O Pin Assignments

direction	pin.	defined signal	Mux 0	Mux 1	Mux 2	Mux 3	connect	Functions	commnets
O	112	ASP-enable	GPIO61	MFSRB	XD18	XD18	ASP		ON/OFF
O	24	DAM_RUN	GPIO13	TZ2	CANRXB	MDRB	LED		ON/OFF, ON(LOW)
O	99	PWR_HOLD	GPIO57	SPISTEA	XD22	XD22	PWR		3.3V 전원 유지
I/O	74	SDA	GPIO32	SDAA	EPWMSYNCI	ADCSOCAO	TILT	IIC	TLS 각도 정보
O	75	SCL	GPIO33	SCLA	EPWMSYNCO	ADCSOCBO	TILT		
I/O	11	GPIOF6	GPIO04	EPWM3A			FPGA		
I/O	12	GPIOF5	GPIO05	EPWM3B	MFSRA	ECAP1	FPGA		
O	27	GPIOF7	GPIO16	SPISIMOA	CANTXB	TZ5	FPGA		fpga reset
O	28	GPIOF8	GPIO17	SPISOMIA	CANRXB	TZ6	FPGA		mode on
O	62	GPIOF9	GPIO18	SPICLKA	SCITXDB	CANRXA	FPGA		laser on
I	63	GPIOF10	GPIO19	SPISTEA	SCIRXDB	CANTXA	FPGA		laser int
I	88	GPIOF1	GPIO48	ECAP5	XD31	XD31	FPGA		dpram int
I/O	5	GPIOM0	GPIO00	EPWM1A			MPU		
I/O	6	GPIOM1	GPIO01	EPWM1B	ECAP6	MFSRB	MPU		
I/O	7	GPIOM2	GPIO02	EPWM2A			MPU		
I/O	10	GPIOM3	GPIO03	EPWM2B	ECAP5	MCLKRB	MPU		
I	98	Active_Global	GPIO56	SPICLKA	XD23	XD23	MPU		
O	21	/NDFEN	GPIO12	TZ1	CANTXB	MDXB	ND		
I	13	NDPHOTO1	GPIO06	EPWM4A	EPWMSYNCI	EPWMSYNCO	ND1		
O	19	ND1A	GPIO10	EPWM6A	CANRXB	ADCSOCBO	ND1	PWM	DC 모터 제어
O	20	ND1B	GPIO11	EPWM6B	SCIRXDB	ECAP4	ND1		
I	16	NDPHOTO2	GPIO07	EPWM4B	MCLKRA	ECAP2	ND2		
O	17	ND2A	GPIO08	EPWM5A	CANTXB	ADCSOCAO	ND2	PWM	DC 모터 제어
O	18	ND2B	GPIO09	EPWM5B	SCITXDB	ECAP3	ND2		
I	64	QEP - AH	GPIO20	EQEP1A	MDXA	CANTXB	QEP-H	QEP	수평보드 각도 정보
I	65	QEP? -BH	GPIO21	EQEP1B	MDRA	CANRXB	QEP-H		
I	67	QEP -IH	GPIO23	EQEP1I	MFSXA	SCIRXDB	QEP-H		
I	68	QEP -AV	GPIO24	ECAP1	EQEP2A	MDXB	QEP-V	QEP	수평보드 각도 정보
I	69	QEP -BV	GPIO25	ECAP2	EQEP2B	MDRB	QEP-V		
I	72	QEP -IV	GPIO26	ECAP3	EQEP2I	MCLKXB	QEP-V		
O	148	SCI-TX0	GPIO35	SCITXDA	XRnW	XRnW	SMC-H	SCI	수평보드 명령 전송
I	145	SCI-RX0	GPIO36	SCIRXDA	XZCS0	XZCS0	SMC-H		115200bps

O	89	PWR_SMCH	GPIO49	ECAP6	XD30	XD30	SMC-H		
I/O	94	RSVD4	GPIO52	EQEP1S	XD27	XD27	SMC-H		
I/O	95	RSVD5	GPIO53	EQEP1I	XD26	XD26	SMC-H		
I/O	96	RSVD6	GPIO54	SPISIMOA	XD25	XD25	SMC-H		
O	25	SCI-TX1	GPIO14	TZ3/XHOLD	SCITXDB	MCLKXB	SMC-V	SCI	수직보드 명령 전송
I	26	SCI-RX1	GPIO15	TZ4/XHOLDA	SCIRXDB	MFSXB	SMC-V		115200bps
O	66	PWR_SMCV	GPIO22	EQEP1S	MCLKXA	SCITXDB	SMC-V		
I/O	90	RSVD2	GPIO50	EQEP1A	XD29	XD29	SMC-V		
I/O	91	RSVD3	GPIO51	EQEP1B	XD28	XD28	SMC-V		
I/O	97	RSVD1	GPIO55	SPISOMIA	XD24	XD24	SMC-V		
I	113	SCI-RX2	GPIO62	SCIRXDC	XD17	XD17	LASER	SCI	LDM 명령 전송
O	114	SCI-TX2	GPIO63	SCITXDC	XD16	XD16	LASER		9600bps
O	73	LDM_ON	GPIO27	ECAP4	EQEP2S	MFSXB	LASER		
O	110	FAN_ON	GPIO59	MFSRA	XD20	XD20	FAN		
I	111	/FWARN	GPIO60	MCLKRB	XD19	XD19	FAN		
I	100	/OT	GPIO58	MCLKRA	XD21	XD21	FAN		
O	141	XZCS6n	GPIO28	SCIRXDA	XZCS6	XZCS6	XINTF	XINTF CS	0x10 0000
O	150	XZCS7n	GPIO37	ECAP2	XZCS7	XZCS7	XINTF	SRAM CS	0x20 0000
O	137	XWE0n	GPIO38		XWE0	XWE0	XINTF	WE	
I	142	XREADY	GPIO34	ECAP1	XREADY	XREADY	FPGA	XREADY	
DATA	115	D15	GPIO64	GPIO64	XD15	XD15	XINTF	DATA	
DATA	116	D14	GPIO65	GPIO65	XD14	XD14	XINTF		
DATA	119	D13	GPIO66	GPIO66	XD13	XD13	XINTF		
DATA	122	D12	GPIO67	GPIO67	XD12	XD12	XINTF		
DATA	123	D11	GPIO68	GPIO68	XD11	XD11	XINTF		
DATA	124	D10	GPIO69	GPIO69	XD10	XD10	XINTF		
DATA	127	D9	GPIO70	GPIO70	XD9	XD9	XINTF		
DATA	128	D8	GPIO71	GPIO71	XD8	XD8	XINTF		
DATA	129	D7	GPIO72	GPIO72	XD7	XD7	XINTF		
DATA	130	D6	GPIO73	GPIO73	XD6	XD6	XINTF		
DATA	131	D5	GPIO74	GPIO74	XD5	XD5	XINTF		
DATA	132	D4	GPIO75	GPIO75	XD4	XD4	XINTF		
DATA	133	D3	GPIO76	GPIO76	XD3	XD3	XINTF		
DATA	134	D2	GPIO77	GPIO77	XD2	XD2	XINTF		
DATA	135	D1	GPIO78	GPIO78	XD1	XD1	XINTF		
DATA	136	D0	GPIO79	GPIO79	XD0	XD0	XINTF		
ADDR	151	A0	GPIO40		XA0/XWE1	XA0/XWE1	XINTF	ADDR	
ADDR	152	A1	GPIO41		XA1	XA1	XINTF		
ADDR	153	A2	GPIO42		XA2	XA2	XINTF		
ADDR	156	A3	GPIO43		XA3	XA3	XINTF		
ADDR	157	A4	GPIO44		XA4	XA4	XINTF		
ADDR	158	A5	GPIO45		XA5	XA5	XINTF		
ADDR	161	A6	GPIO46		XA6	XA6	XINTF		
ADDR	162	A7	GPIO47		XA7	XA7	XINTF		
ADDR	163	A8	GPIO80	GPIO80	XA8	XA8	XINTF		
ADDR	164	A9	GPIO81	GPIO81	XA9	XA9	XINTF		
ADDR	165	A10	GPIO82	GPIO82	XA10	XA10	XINTF		
ADDR	168	A11	GPIO83	GPIO83	XA11	XA11	XINTF		
ADDR	169	A12	GPIO84	GPIO84	XA12	XA12	XINTF		
ADDR	172	A13	GPIO85	GPIO85	XA13	XA13	XINTF		
ADDR	173	A14	GPIO86	GPIO86	XA14	XA14	XINTF		
ADDR	174	A15	GPIO87	GPIO87	XA15	XA15	XINTF		
ADDR	175	A16	GPIO39		XA16	XA16	XINTF		
ADDR	176	A17	GPIO31	CANTXA	XA17	XA17	XINTF		
ADDR	1	A18	GPIO30	CANRXA	XA18	XA18	XINTF		
ADDR	2	A19	GPIO29	SCITXDA	XA19	XA19	XINTF		
ADC	42	TEMP SENSOR					ASP	ADC	
ADC	41	TEMP SENSOR					DAM		
ADC	40	ADC2					TP3		
ADC	39	ADC3					TP5		
ADC	38	ADC4					DAM		

3) FPGA 설계

가) FPGA Logic

(1) 개발환경

- H/W : SPARTAN 시리즈 XC6SLX45-2CSG324I
  Xilinx Platform Cable USB2
- S/W : Aldec사 Acive-HDL8.3 , Xilinx사 ISE Design Suite 14.4

(2) FPGA System 구성 블록도(Concept)

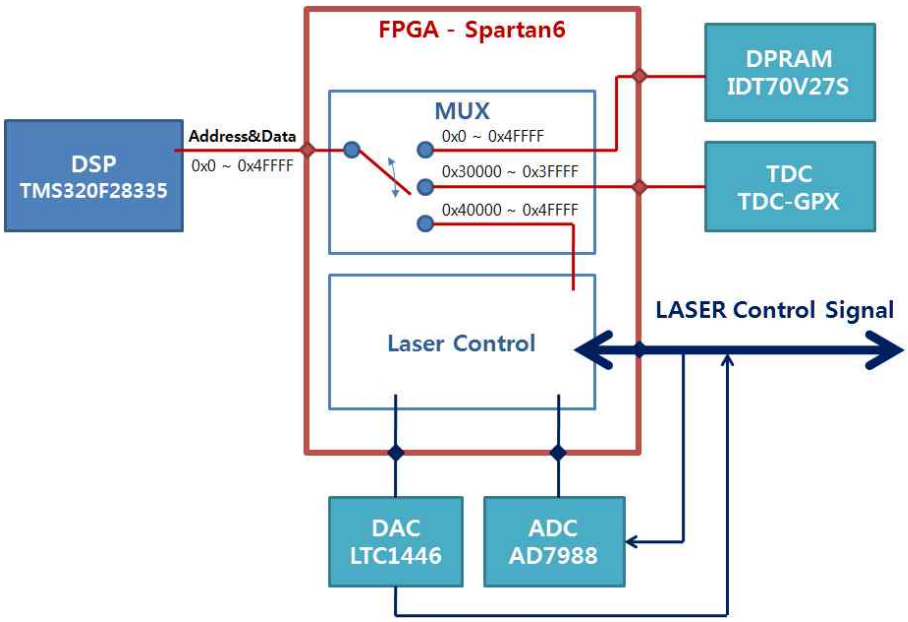


그림 73 FPGA System 구성 블록도

FPGA 내부는 크게 MUX와 Laser Control 부분으로 구분되어 있다.
MUX는 DSP 신호를 Address 신호로 구분하여 DPRAM과 TDC, FPGA내부 Laser Control 부분으로 신호를 전달하는 역할을 하며, Laser Control Block은 Laser 신호를 제어 한다.(세부내용 아래 참조)

(3) Laser Control Block.

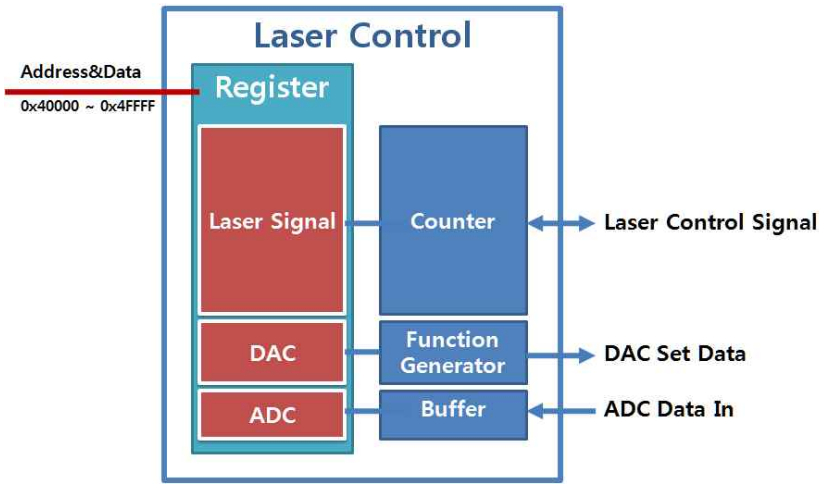


그림 74 Laser Control 개념도

FPGA의 Laser Control 부분에서는 Laser를 제어하기위한 신호들을 만들어내며 그 제어는 DSP를 통해서 이루어진다.

Laser Control 은 Laser Signal, DAC, ADC를 제어하기위한 Register와 Laser Signal은 Delay를 적용하기위한 Counter, DAC는 외부에 있는 LTC1446에 제어(시리얼) 파형을 만들기 위한 Function Generator, ADC는 AD7988의 측정 Data를 손실 없이 가져오기 위해 Buffer를 사용해 구성된다.

Laser Control Signal의 종류와 출력 파형은 아래와 같다.

표 29 Laser Control Signals

	Signal	내용
1	Master CLK	Laser 거리측정의 시간 간격, 50 ~ 100KHz
2	LD_Trigger	Laser 구동 Trigger 신호
3	TDC_Start	TDC Start 신호
4	Stop1	Laser 내부 Pass 신호 입력
5	Amp_En	ADC Enable 신호
6	Stop2	Laser 외부 Pass 신호 입력
7	TDC_ALU	TDC 거리 계산 Start 신호
8	ADC_CONV	ADC Data 변환 신호
9	ADC_Time Out	ADC 동작 Time Out 신호
10	DSP_int	DSP에 거리측정 완료를 알리는 Interrupt 신호
11	ECL_RST	거리측정 Analog 회로 Reset 신호

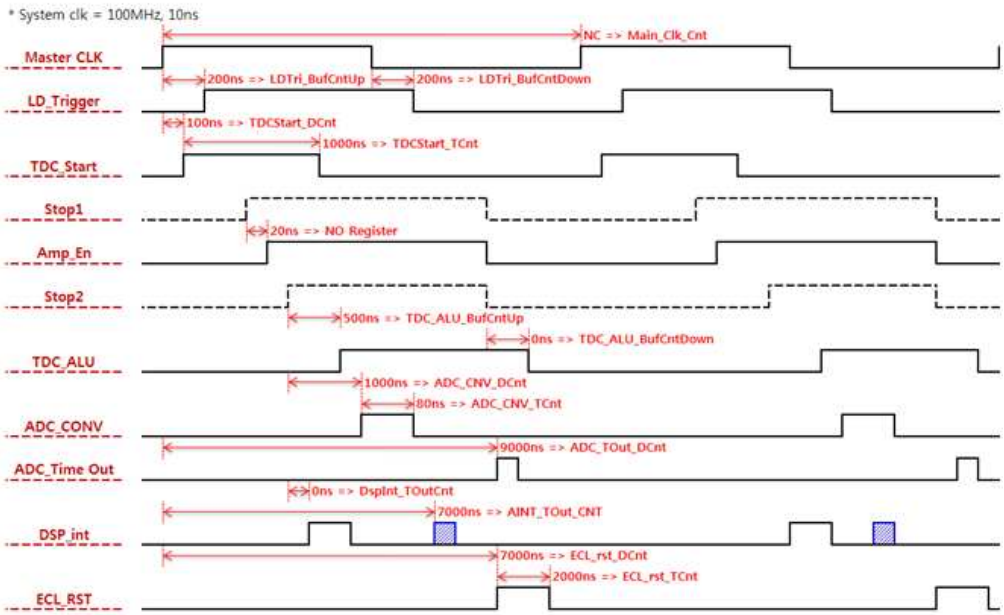


그림 75 Laser Control Signals 파형

Laser 출력 파형들은 위의 그림에서처럼 Default Delay가 적용되어 동작한다. 그리고, DSP에서 Register Setting을 통해서 수정이 가능하다.

Laser Control Register 수정은 위의 그림을 참고하여, 아래 Register 표를 통해서 쉽게 수정이 가능하다.

Control Part	signal	note	Status	address	default value	비고
Test Signal	Test_Signal	Test Signal	R/W	140000	"1010101011110000"	
DAM System Reg	DAM_SYS_REG	bit(0): System Reset (Active Low) bit(1): ADC Buffer Reset (Active Low) bit(4): Read NG bit(5): Write NG	R/W	140001	"00000000 00000011"	
Master clk Control	Main_Clk_Cnt	Master_clk: 50 ~ 100KHz clk 100MHz base 50000000/frequency = CntValue(:=integer) 50KHz => 1000, 100KHz => 500	R/W	140002	(others => '0')	Test 기준
	Main_Clk_Reg	bit(0): LaserEnable, bit(1): ModeSel	R/W	140003	(others => '0')	
Laser Trigger Delay	LDTri_BufCntUp	Laser Trigger Delay Time - UP	R/W	140004	"00010100", 200ns	M Clk 기준
	LDTri_BufCntDown	Laser Trigger Delay Time - Down	R/W	140005	"00010100", 200ns	
TDC Start Control	TDCStart_DCnt	Delay Count	R/W	140006	"0000000000001010", 100ns	M Clk 기준
	TDCStart_TCnt	Toggle(ON) Count	R/W	140007	"0000000001100100", 1000ns	
TDC ALU Control	TDC_ALU_BufCntUp	Delay Time - UP	R/W	140008	"00110010", 500ns	stop2 기준
	TDC_ALU_BufCntDown	Delay Time - Down	R/W	140009	"00000000", 0ns	
ADC Conversion Control	ADC_CNV_DCnt	Delay Count	R/W	14000a	"0000000001100100", 1000ns	stop2 기준
	ADC_CNV_TCnt	Toggle(ON) Count	R/W	14000b	"0000000000001000", 80ns	
	ADC_TOut_DCnt	ADC CNV Time out	R/W	14000c	"0000001110000100", 9000ns	M Clk 기준 9us
	ADC_CNV1_DATA	ADC1 Data	R	14000d	NA	
	ADC_CNV2_DATA	ADC2 Data	R	14000e	NA	
	ADC_Buffer_flag	bit0: ADC STATE EMPTY bit1: ADC1 DATA EMPTY bit2: ADC2 DATA EMPTY bit4: ADC STATE FULL bit5: ADC1 DATA FULL bit6: ADC2 DATA FULL	R	14000f	"00000000 00000111"	
	ADC_State_reg	7bit -> 1: ADC Time Out & ADC1, 2 Read OK 1bit -> 1: ADC2 Read OK 0bit -> 1: ADC1 Read OK	R	140010	NA	
ECL_rst Control	ECL_rst_DCnt	Delay Count	R/W	140011	"0000001010111100", 7000ns	M Clk 기준
	ECL_rst_TCnt	Toggle(ON) Count	R/W	140012	"0000000011001000", 2000ns	
DSP INT Control	DspInt_TOutCnt	DSP INT Delay Count	R/W	140013	"0000000000000000", 0ns	stop2 기준
	INT_TOut_CNT	Main Time Out Count	R/W	140014	"0000001010111100", 7000ns	M Clk 기준
	DSP_INT_flag	bit(0) 1: Time out int bit(1) 1: Stop 2 int	R	140015	NA	
DAC Control	dac_lv_selA	DAC Value Set	R/W	140016	"000111110100", 500mV	하위 12bit만 인식
	DAC_State_reg	0bit -> 1: DAC Set OK	R	140017	NA	
DAM Status Register	DAM_Status_Reg	b0: Stop1 b1: Stop2 b2: EF1 b3: EF2 b4: LF1 b5: LF2 b6: IR Flag b7: ERR Flag b8: laser on/off b9: case temp alarm b10: diode temp alarm b11: frigger alarm b12: diode cyrrent alarm	R	140018	NA	

그림 76 Laser Controller Register MAP

(4) FPGA Laser Controller 구동 방법

FPGA System에서 MUX 부분은 DSP의 Address 번지를 통해서 DPRAM, TDC, FPGA 내부 Logic으로 분기해주는 역할만 하지만, Laser Controller는 초기화 등 구동을 위해서 필요한 부분이 있음.

나) 소프트웨어 주요 기능

DAM 주요기능 블록 구성은 아래와 같다

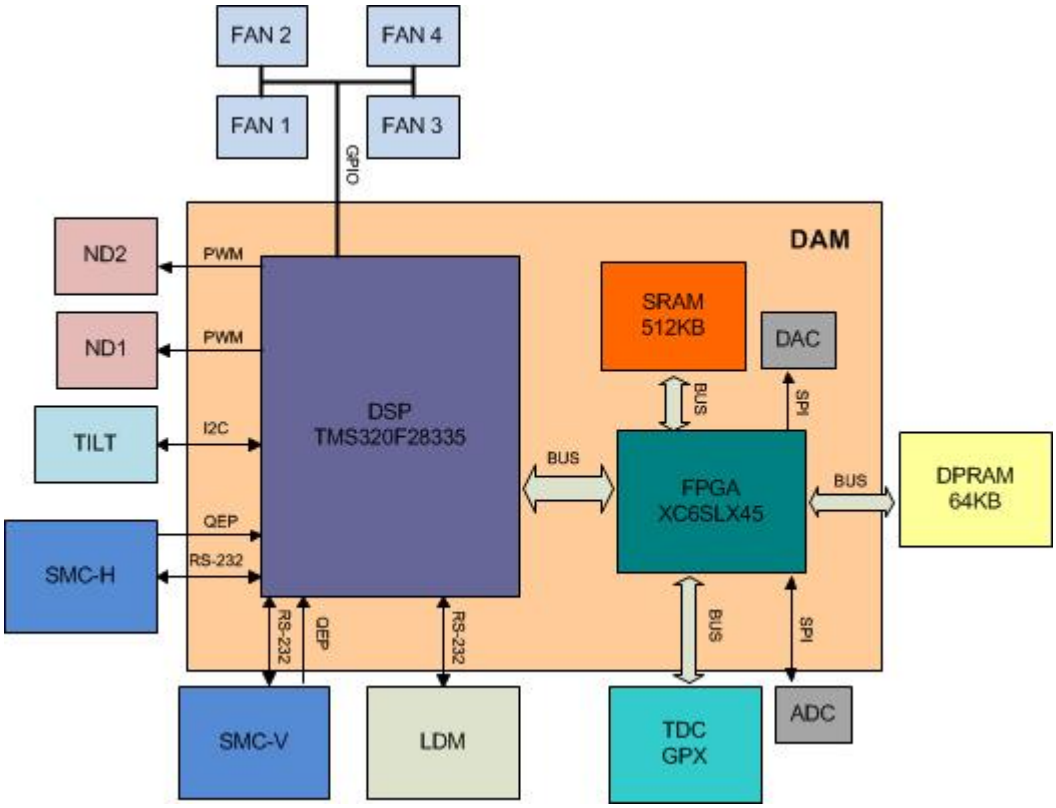


그림 77 DAM 모듈의 연결도

DAM은 레이저 스캐너 내부의 MPU로부터 DPRAM(Dual Port Memory)를 통하여 명령어 수신 및 측정 데이터(거리, 각도)를 송신한다.

수평, 수직 모터를 제어하는 SMC-H, SMC-V와 RS-232를 통하여 명령어를 전달하고, 초기화 하며 SMC-H, SMC-V 엔코더를 통해 각도 데이터를 취득한다.

레이저 모듈(LDM) 제어는 RS-232를 통하여 명령어를 전달하며, 상태정보를 수신한다.

TLS 장비내의 온도를 낮추기 위하여 FAN이 추가되었으며 GPIO로 컨트롤 한다.

광량 조절을 위하여 ND Film을 사용하며 DC 모터를 통하여 컨트롤한다.

Tilt Sensor를 통하여 기울기 정보 데이터를 획득하고 각도 정보에 대한 보상을 한다.

(5) 명령어처리

MPU 통신 명령

- DPRAM을 통하여 명령을 전달받고 리포트 하며 측정 데이터를 전송한다.
- MPU로부터 명령을 전달 받고 수행 결과를 리포트 하며 각종 측정 데이터를 MPU에게 전달한다.

SMC 제어 명령

- RS-232를 통하여 명령을 전달하고 리포트 받는다.

- 수평 및 수직 모터에 대한 초기화 및 이동, 정지 등에 대한 명령을 내리고 리포트 받으며 수평 및 수직 모터에 대한 상태 정보를 획득한다.

LDM 제어 명령
- RS-232를 통하여 명령을 전달하고 리포트 받는다.
- 레이저의 출력 세기를 설정하고 상태 정보를 획득한다.

TILT 제어 명령
- I2C 인터페이스를 사용하여 통신하고 제어한다.
- TLS 장비의 경사 정보를 획득한다.

FPGA 제어 명령
- DSP XINTF를 통한 레지스터(메모리) 방식으로 제어한다.
- 레이저 주파수 설정, TDC 제어 설정, ADC 정보 획득, DAC 출력 설정, TDC 및 LDM 모듈 상태 확인 등의 거리측정과 관련된 정보 및 시그널을 제어한다.

(가) 측정 데이터 획득

① 거리 정보 및 반사강도

- 거리 정보는 ACAM사의 TDC-GPX를 통하여 거리 정보를 획득한다.
- TDC의 거리 측정 방법은 Reference Clock 기준으로 Start와 Stop의 시간 간격을 Coarse Count와 Fine Count를 이용하여 Start와 Stop의 Fine 시간 차 및 Coarse 시간을 측정하며, 입력된 Reference Clock의 온도 보상을 위해 Cal 2에서 Cal 1의 차의 값을 이용하여 보상되어 진다.

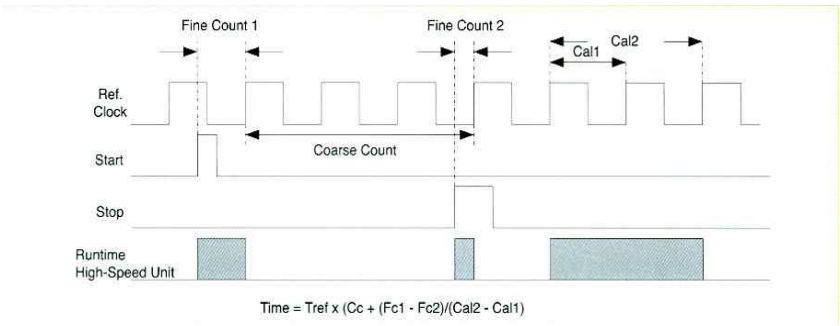


그림 78 거리 측정 방법 및 Ref Clock의 온도 보상 구조

Reference Clock 보상은 Cal 차의 값에 따라 Phase 핀을 통해 TDC의 Core 전압을 가변하게 된다. 온도에 따른 전압 변동은 TDC제조사에서 제공하는 Table에 의 하여 그 값을 변경하도록 하였다.

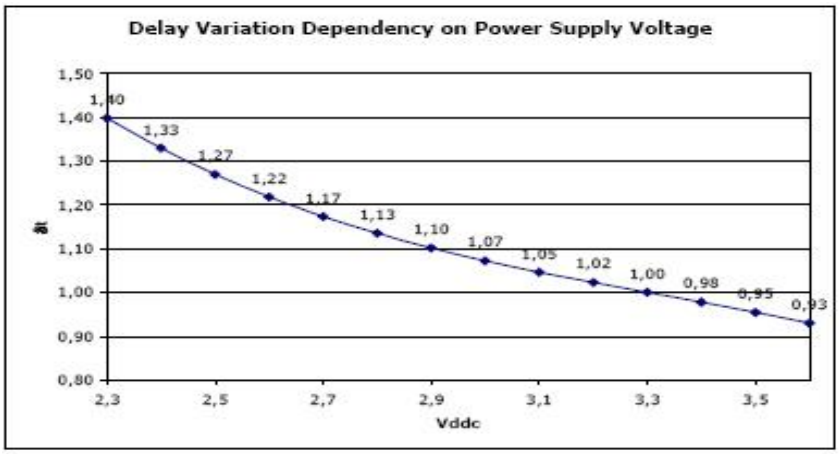


그림 79 TDC Core 전압에 따른 고유 지연의 변화

그림 90 은 TDC의 Core 전압이 높아지면 디바이스의 고유지연이 줄어들고, 전압이 낮아지면 고유 지연이 늘어나는 것을 보여 준다.

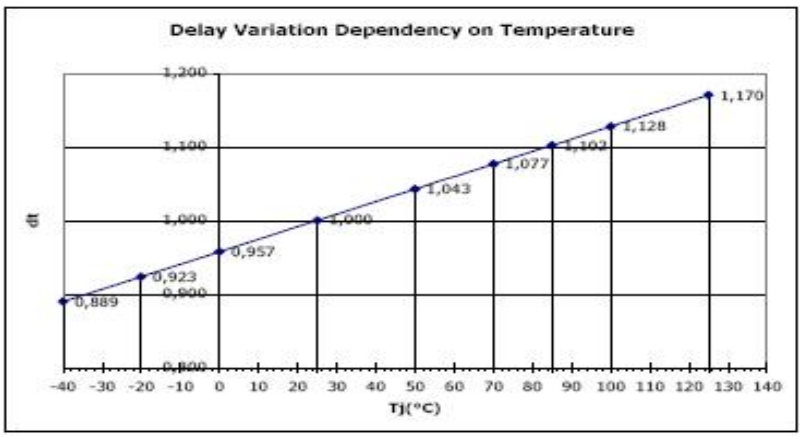


그림 80 온도 변화에 따른 TDC IC의 고유 지연의 변화

그림 91은 온도변화에 따른 디바이스의 고유지연의 변화를 보여주고 있으며, 온도가 높아지면 고유지연이 늘어나고, 온도가 낮아지면 고유지연이 줄어드는 것을 볼 수 있다.

- TLS의 경우 TDC의 M-Mode를 사용하며 M-Mode는 10ps미만의 분해능을 갖고 있으며 입력 Clock을 분주하여 가변 하여 사용할 수 있다.
- 설정방법은 아래의 수식을 이용한다.

Tref : 40MHz reference clock
RefClkDiv : Reference clock divider PLL(phase Locked Loop)
HSDiv : High speed divider PLL
MSet : resolution factors 1 to 31
The BIN size is calculated as follows :

$$BIN_{I-Mode} = \frac{T_{ref} \times 2^{refClkDiv}}{216 \times hsdiv}$$

$$BIN_{G-Mode} = BIN_{I-\mathrm{mode}} \times \frac{1}{2}$$

$$BIN_{R-Mode} = BIN_{I-\mathrm{mode}} \times \frac{1}{3}$$

$$BIN_{M-Mode} = BIN_{R-\mathrm{mode}} \times \frac{1}{MSet+1}$$

② 각도 정보

- Incremental Optical Encode의 신호를 입력 받아, Pulse Stream과 Direction Flag로 가공하고 가공된 Pulse Stream과 Direction Flag, 타이머를 이용하여 위치 및 회전 방향 정보를 획득한다.

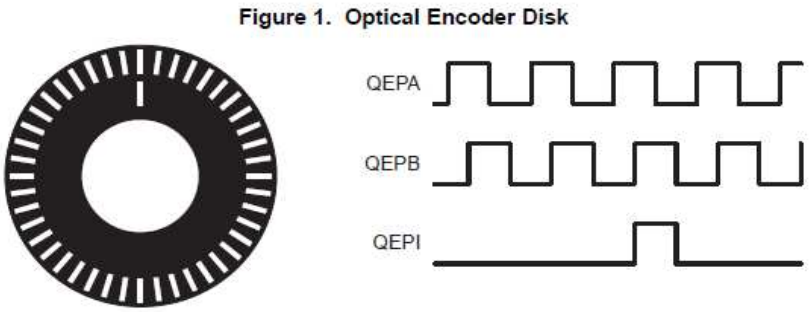


그림 81 Quadrature Encoder 생성 펄스

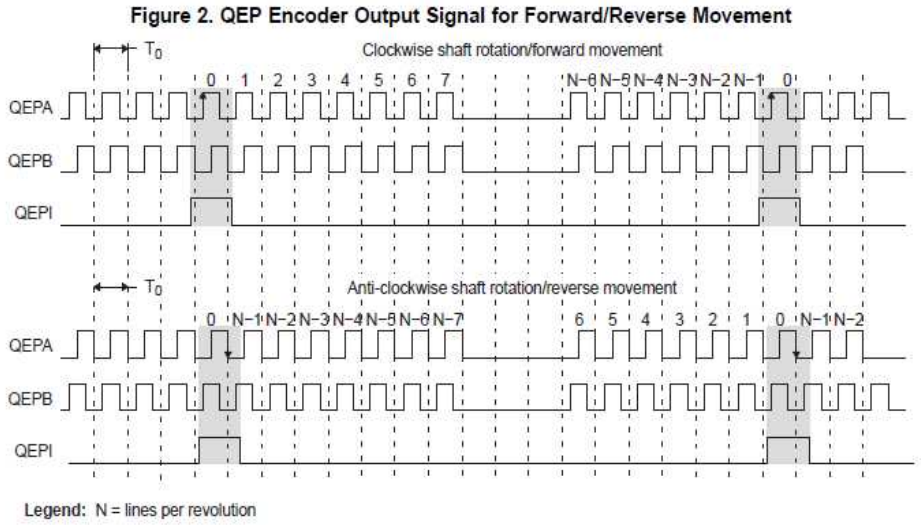


그림 82 방향에 따라 생성되는 파형 변화

- 획득된 위치 및 회전 방향 정보는 DSP의 수직 및 수평모터의 QEP9Quadrature Encoder Pulse) 정보로 반영된다.
- 수직 및 수평 보드의 QEP 신호와 DAM의 QEP를 동기화 하여 실시간으로 수직 및 수평 모터의 QEP 값을 취득 할 수 있으면 초단위의 각도정보로 변환하여 사용된다.

③ 경사 정보

- TILT 모듈을 통하여 X축과 Y축의 기울어짐을 확인하고 해당 정보를 MPU에게 Report 한다.

④ 온도 정보

- 온도 정보는 TI사의 LM50을 사용하며 DSP의 ADC를 통하여 온도 정보를 취득한다.
- 온도 정보는 거리 측정정보의 보정을 위한 측정 요소이다.

(나) 제어

① ND Film 제어

- DC 모터를 사용하여 ND Film을 제어한다.
- 광량에 따른 오차 값을 보정하기 위하여 사용한다.

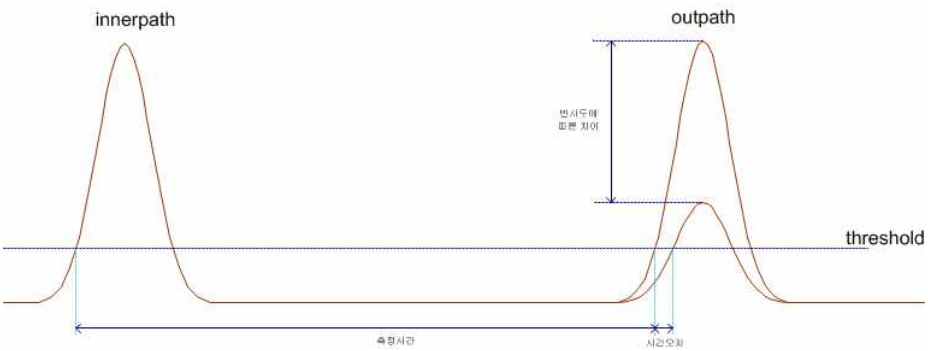


그림 83 반사도에 따른 측정오차

- 그림 95는 반사도에 따른 측정오차를 나타낸 그림이다. inner path와 out path의 시간차로 거리 측정을 하게 되는데 반사도에 따라 수신되는 레이저의 광량이 차이가 나게 되고 그에 따른 시간 오차가 발생하게 된다.

  ND Film을 통한 투과율을 변화 시키며 반사도에 따른 시간차이에 대한 table을 미리 작성해 놓음으로써 거리측정시 반사율에 따른 거리 보상을 할 수 있다.

② FAN Control

- TLS 내부에 외부의 공기를 유입시켜 내부 발생하는 열을 식혀준다.

③ DAC 제어

- 온도가 올라가거나 광량이 떨어지면 APD의 Gain값을 높이기 위해 DAC 값을 증가 시킨다.

④ FPGA 제어

- TDC 및 ASP의 Timing Generation을 위한 설정
- 레이저에 공급하는 Reference Clock 주기 설정
- SRAM, DPRAM, TDC등 XINTF를 사용하는데 있어 address mapping 역할을 해준다.
- TDC 및 레이저 모듈등 ASP 보드의 상태를 표시하는 레지스터를 가지고 있어 거리 측정시 해당 레지스터를 기준으로 측정값을 취득한다.

(다) 데이터 처리

① 측정 데이터 버퍼링

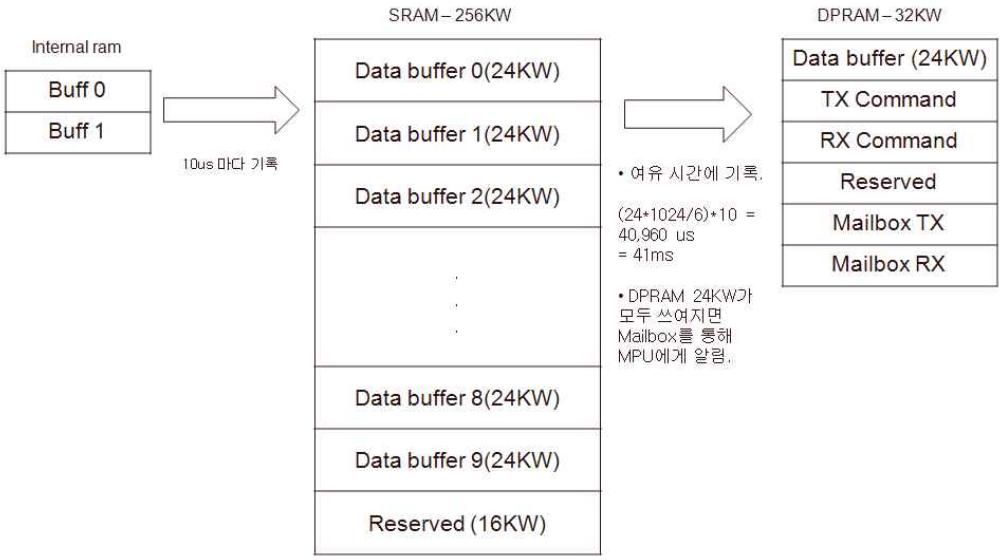


그림 84 측정 Data Flow

- 그림 96은 측정 data의 위치 이동을 나타낸다.
- 100Khz로 거리 측정시 10us마다 6Word의 측정 data가 생성되며 인터럽트 수행시간은 약 4.2us가 소요된다.
- SRAM 한 개의 버퍼 크기는 24K Word로 설정하였으며 40.96ms 마다 버퍼 한 개의 data가 생성되며 DPRAM이 비어있거나 MPU가 받을 준비가 되었을 때는 SRAM Data를 DPRAM으로 복사한다.
- SRAM의 24K Word data를 DPRAM으로 이동하는데 소요되는 시간은 약 3.8ms로 약 37ms의 IDLE 시간을 가지게 된다.
- DAM에서 버퍼링 가능한 data는 24K Word 기준 10개 버퍼 이며 최대 버퍼링 가능 시간은 409.6ms 이다.
- MPU에서 DPRAM을 통하여 41ms마다 data를 가져가지 못하여 지연이

생긴 경우 DAM은 측정데이터를 버퍼링하고 있으며 MPU에서 이전 Data를 가져간 즉시 DSP에서는 버퍼링된 Data를 지속적으로 채워준다.

② 거리 정보 처리

- 거리 정보는 inner path와 out path의 시간차를 기준으로 계산하며 빛의 속도와 공기의 굴절율을 반영하여 계산한다.
- 계산에 이용된 식은 아래와 같다.

```
TDC_SCALE: 0.892028830371798
V_LIGHT: 299792458.0
REFRACTIVE_INDEX: 1.000278041985
tdc_ext: outpath 측정시간
tdc_int: innerpath 측정시간
distance = TDC_SCALE * (tdc_ext - tdc_int) * (V_LIGHT /
REFRACTIVE_INDEX /1000000000000.0 ) / 2.0;
```

③ 각도 정보 처리

- 각도 정보는 DSP의 QEP Peri를 이용한다.
- 수직, 수평 모터의 QEP값과 DAM DSP의 QEP값을 동기화 시킨 이후 활용 가능하다.
- DSP의 QEP값은 초단위로 변환하여 활용한다.
- 각도 정보를 도출하기 위한 계산식은 아래와 같다.

```
MOTOR_RESOLUTION = LINECOUNTS * INTERPOLATOR
angle = EQep1Regs.QPOSCNT * (360*3600) / MOTOR_RESOLUTION;
```

④ 경사 정보 처리

- 경사 정보는 MPU로부터 요청이 있을 때 TILT 모듈을 통하여 X, Y 좌표를 취득하며 취득된 값을 MPU에게 전달한다.

⑤ 온도 보상

- 온도 정보는 LM50을 통하여 ADC 값으로 취득한다.
- 온도 계산식은 아래와 같다.

```
Vout = (10mV/℃ * Temp ℃) + 500mV
```

(6) 통신 프로토콜

(가) MPU 통신 프로토콜

① 명령 채널

표 30 MPU 명령 채널 프로토콜

Operation	Data length	Data	CHKSUM
1byte	1byte	0~26bytes	2byte

<명령채널 프로토콜 구조>

필드 No	필드명	바이트수	필드에 대한 설명
1	Operation (0x11-0x3F)	1	각 명령, 보고에 대한 동작지시를 나타내는 필드
2	Data Length	1	Data 길이 값에 대한 필드
3	Data	0-26	전송이 요구되는 Data 필드(2byte의 배수)
4	CHKSUM	2	Data 신뢰성을 위한 Error Check 하위 1byte 사용

<명령채널 프로토콜 설명>

② - DSP 와 MPU간의 명령 채널 프로토콜

- DPRAM을 통하여 전달하며 TX Command, RX Command 영역에 기록 되어진다.
- DAM 및 MPU 간의 CPU 특성 및 효율성을 위하여 2Byte의 배수 단위로 수정되었다.
- 명령의 종류에 따라 Data Field 길이는 가변이며 총 4~30Byte의 길이를 가진다.

③ 데이터 채널

표 31 MPU 데이터 채널 프로토클

Distance	Azimuth Angle	Elevation Angle	ADC Value
4bytes	3bytes	3bytes	2bytes

<데이터 채널 프로토콜 구조>

필드 No	필드명	바이트수	필드에 대한 설명
1	Distance	4	측정된 거리값 필드
2	Azimuth Angle	3	수평각도값에 대한 필드
3	Elevation Angle	3	수직각도값에 대한 필드
4	ADC Value	2	반사강도값에 대한 필드

<데이터 채널 프로토콜 설명>

- DSP 와 MPU간의 측정 데이터 채널 프로토콜
- DPRAM을 통하여 전달되어지며 Data Buffer 영역에 기록되어진다.
- 테이터 채널 프로토콜은 12Byte의 길이를 가지며 측정 데이터인 거리, 각도, 반사강도의 값을 가진다.
- 거리 값은 mm 단위이며 각도 값은 초 단위 값을 가진다.

④ 통신 명령어

표 32 MPU Command 프로토콜

종 류	필드 1 (Operation)	필드 2 (Data Length)	필드3 (Data)	필드 4 (CHKSUM)	동작설명
Command	0x11	0x19	스캔모드 (1) Normal 0x01 Go-and-Stop 0x02 스캔시작 수평각도 (4) 스캔마지막 수평각도 (4) 스캔 수평각도 분해능 (4) 스캔시작 수직각도 (4) 스캔마지막 수직각도 (4) 스캔 수직각도 분해능 (4)		스캔파라미터 명령
	0x12	0x08	모터이동 수평각도 (4) 모터이동 수직각도 (4)		모터이동 명령
	0x13	0	-		스캔시작 명령
	0x14	0	-		스캔취소 명령
	0x15	0	-		스캔일시정지 명령
	0x16	0	-		스캔재시작(계속) 명령
	0x17	0	-		한점 거리측정 명령
	0x18	0x04	초기화명령에 대한 모듈선택 데이터 필드 모듈명 : DAM Servo(H) Servo(V) Laser INDEX : 0 1 0 1 0 1 0 1 0: 모듈 비선택 1: 모듈 선택		초기화명령
	0x19	0x04	상태체크 명령에 대한 모듈선택 데이터 필드 모듈명 : DAM Servo(H) Servo(V) Laser INDEX : 0 1 0 1 0 1 0 1 0: 모듈 비선택 1: 모듈 선택		상태체크 명령
	0x1A	0	-		장비내 모든 모듈 POWER OFF 명령
	0x1B	0x08	카메라 이미지 캡쳐를 위한 모터이동에 대한 데이터 필드 모터이동 수평각도 (4) 모터이동 수직각도 (4)		카메라 이미지 캡쳐 및 전송 명령
	0x1C	0	-		TILT SENSOR X축, Y축
	0x1D, 0x1F	0	-		-

⑤ 통신 리포트

표 33 MPU Report/ ACK 프로토콜

종 류	필드 1 (Operation)	필드 2 (Data Length)	필드3 (Data)	필드 4 (CHKSUM)	동작설명
REPORT	0x21	0	-		준비 보고
	0x22	0	-		스캔완료 보고
	0x23	0	-		모터이동완료 보고
	0x24	0x04	초기화 결과보고에 대한 데이터 필드 모듈 명 : DAM Servo(H) Servo(V) Laser INDEX : 0 0 0 0 READY : 2 2 2 2 BUSY : 3 3 3 3 ERROR : 4 4 4 4 0 : 모듈 비 선택 2 : 준비 보고 3 : 동작 보고 4 : 통신에러 보고		각 모듈 초기화 결과 보고
	0x25	0x04	상태보고에 대한 데이터 필드 모듈 명 : DAM Servo(H) Servo(V) Laser INDEX : 0 0 0 0 READY : 2 2 2 2 BUSY : 3 3 3 3 ERROR : 4 4 4 4 0 : 모듈 비 선택 2 : 준비 보고 3 : 동작 보고 4 : 통신에러 보고		각 모듈 상태 보고
	0x26	0	-		전원 오프 보고
	0x27	0	-		스캔 일시 정지 완료 보고
	0x28	0	-		스캔 취소 완료 보고
	0x29	0x04	PROBE에 대한 거리 데이터 필드 PROBE에 대한 거리 데이터 (4)		PROBE에 대한 거리정보 보고
	0x2A	0x08	TILT SENSOR X축, Y축에 대한 경사정보 데이터 필드 TILT X축 경사정보 (4) TILT Y축 경사정보 (4)		TILT SENSOR X축, Y축 경사정보 보고
	0x2B-0x4F	-	-		
ACK	0x7F	2	Command 혹은 Report Operation (1) ASCII(Acknowledge, 0x06) (1)		COMMAND or REPORT 에 대한 ACK

(나) 서보모터 제어기 통신 프로토콜

① 통신 프로토콜

표 34 서보모터 통신 프로토콜 구조

명령체널 프로토콜 구조	STX	Data Length	Command	Parameter	CHKSUM	ETX

필드 No.	필드명	바이트수	필드에 대한 설명
1	STX	1	프레임 시작를 나타내는 필드(0x02)
2	Length	1	Command, Parameter 길이 값에 대한 필드
3	Command	1	명령어 필드
4	Parameter	0-(n-1)	명령어에 대한 구체적인 파라미터(범위, 모드 등)
5	CHKSUM	1	필드 2, 3, 4 에 대한 CHKSUM
6	ETX	1	프레임 끝을 나타내는 필드(0x03)

<프로토콜 설명>

- DAM과 SMC 간의 통신은 RS-232 인터페이스를 이용한다.

⑥ 통신 명령어

표 35 서보모터 통신 프로토콜

종 류	필드1 (STX)	필드2 (Length)	필드3 (Command)	필드4 (Parameter)	필드5 (Chksum)	필드6 (ETX)	설 명
Command	0x02	n	0xA2	-1 에서 1사이 실수 (속도 또는 위치) n-1 개		0x03	Move Position (속도 또는 위치)
	0x02	2	0xA3	0 : Position 1 : Speed		0x03	Mode Set
	0x02	1	0xA4	-		0x03	Initiation(초기화)
	0x02	1	0xA5	-		0x03	Stop(정지)
Report	0x02	1	0xC4	-		0x03	Move Complete REPORT
	0x02	1	0xC5	-		0x03	Initiation Complete REPORT
	0x02	1	0xC6	-		0x03	Stop Complete REPORT
ACK	0x02	1	Command or Report	-		0x03	통신이 잘 이루어졌음을 확인

Ex1) 5 rps로 회전 : length = 4, parameter = 5.0 (0.5의 역순)
Ex2) 90도 위치로 이동 : length = 5, parameter = 52.0 (0.25의 역순)
Ex3) 위치모드로 설정 : length = 2, parameter = 0
Initiation : 장비 전원공급이 후 서보제어기 초기화 확인, Stop : 이동 중 정지 명령

(7) DSP Interrupt Service

(가) 사용 인터럽트

표 36 DSP 사용 인터럽트

interrupt	Priority	동작	time	비고
XINT1	5	QEP 정보 획득	300ns	QEP1, QEP2
		SRAM data 저장	1100ns	이전 측정 data 기록
		tdc status check	200ns	
		tdc data 가져옴	700ns	
		tdc master reset	400ns	
		adc status 정보 획득	100ns	register 2개 (state, buff flag)
		adc 정보 획득	100ns	innerpath, outpath
		거리 계산	400ns	data 변환 70ns 추가, 기존 계산식 1.9us
				tdc 거리계산
		angle 비교 및 data 변환	300ns	3byte 단위 변환 220ns
TINT0	5	내부 동작 확인		
EPWM5	7	Outpath ND Film Control		DC 모터 제어
EPWM6	7	Innerpath ND Film Control		DC 모터 제어
QEP1	9	SW Reset		SMC-H 보드
		Zero Pulse Flag Clear		
QEP2	9	SW Reset		SMC-V 보드
		Zero Pulse Flag Clear		
SCI-C	12	LDM으로부터 수신 data 저장		레이저 보드
I2C	12	TILT 제어 I2C 처리		TILT Sensor 제어
SCI-A	13	SMC-H로부터 수신 data 저장		SMC-H 보드
SCI-B	13	SMC-V로부터 수신 data 저장		SMC-V 보드
XINT5	16	DPRAM interrupt 영역 읽음		DPRAM 인터럽트.
		CMD/DATA/ACK 등 판단		MPU에서 0x7FFE
TINT1	17	내부 시간 측정 타이머		
TINT2	18	PWM 카운트 및 제어		

(8) DAM S/W structure

(가) DAM S/W flowchart

① Main Function

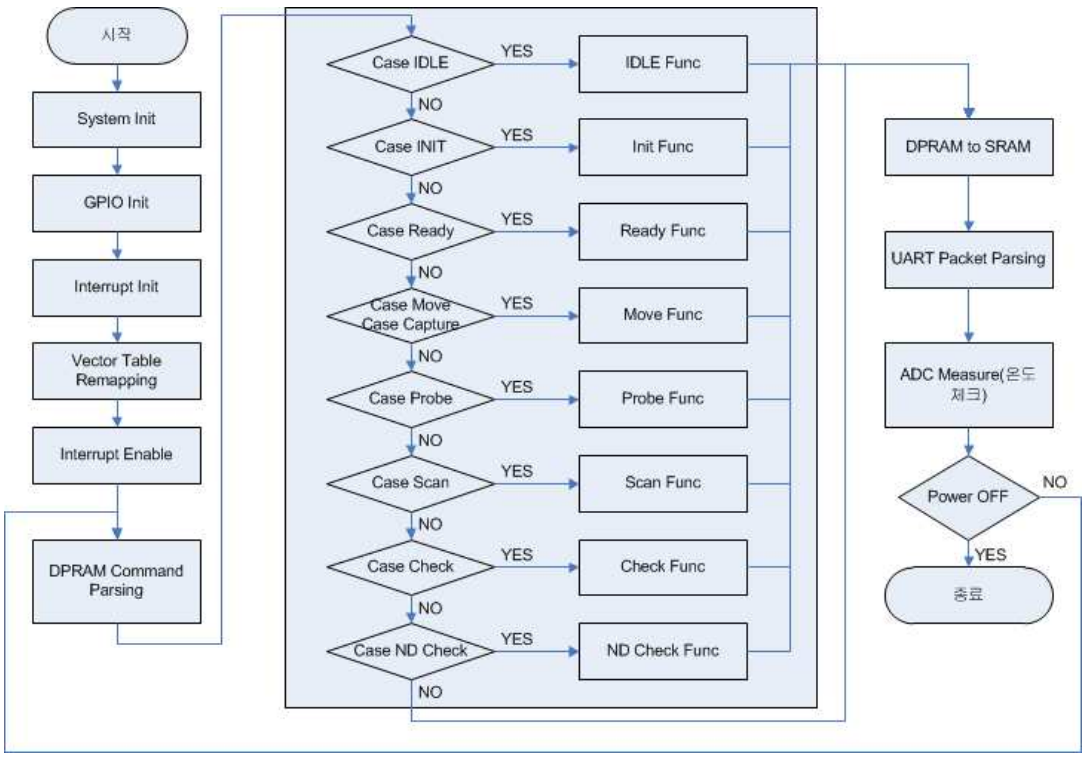


그림 85 Main Function Flowchart

② Laser Trigger Interrupt

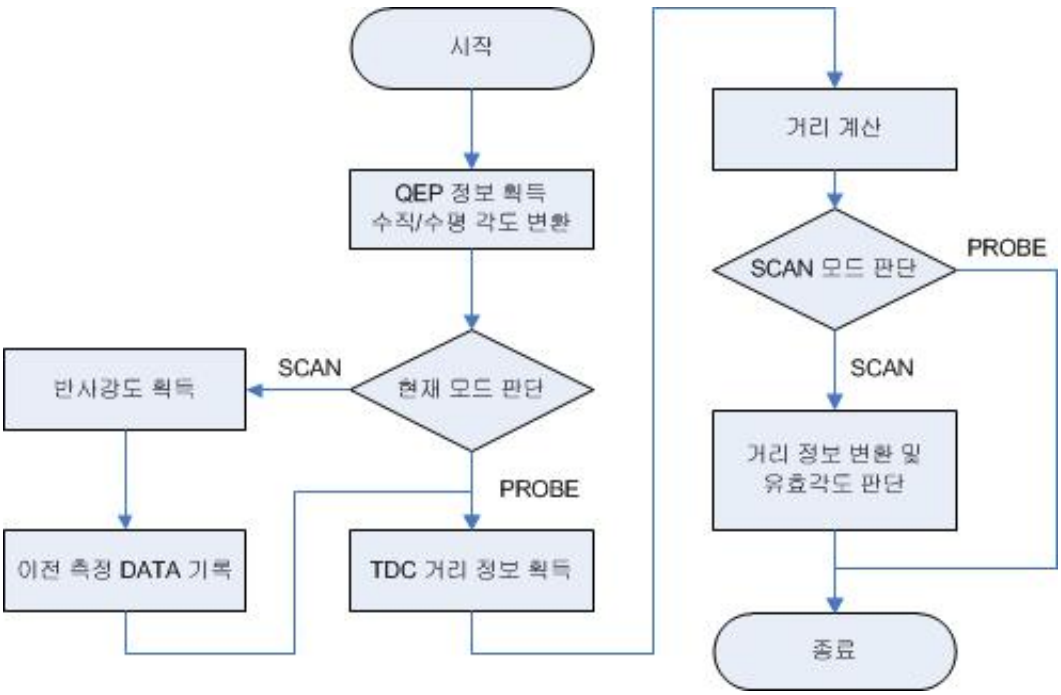


그림 86 Laser Trigger Interrupt Flowchart

③ SRAM to DPRAM Copy Function

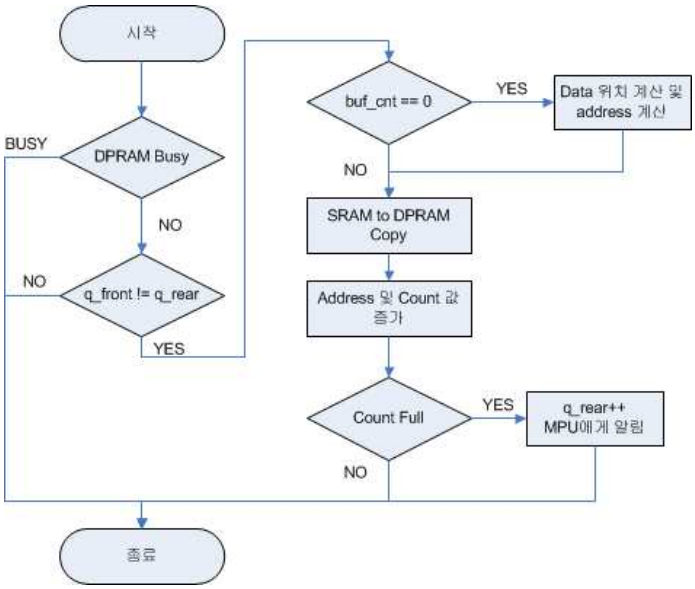


그림 87 SRAM to DPRAM Copy Flowchart

④ Init Command Function

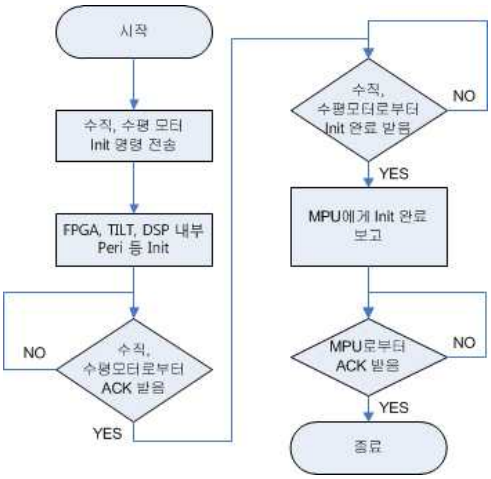


그림 88 Init Command Flowchart

⑤ Move Command Function

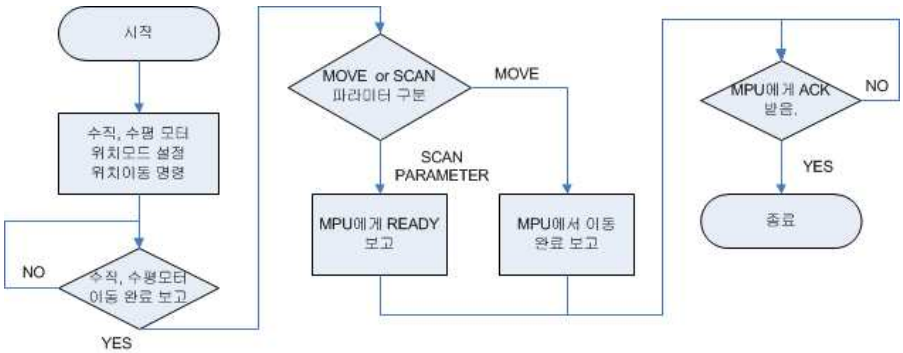


그림 89 Move Command Flowchart

⑥ Probe Command Function

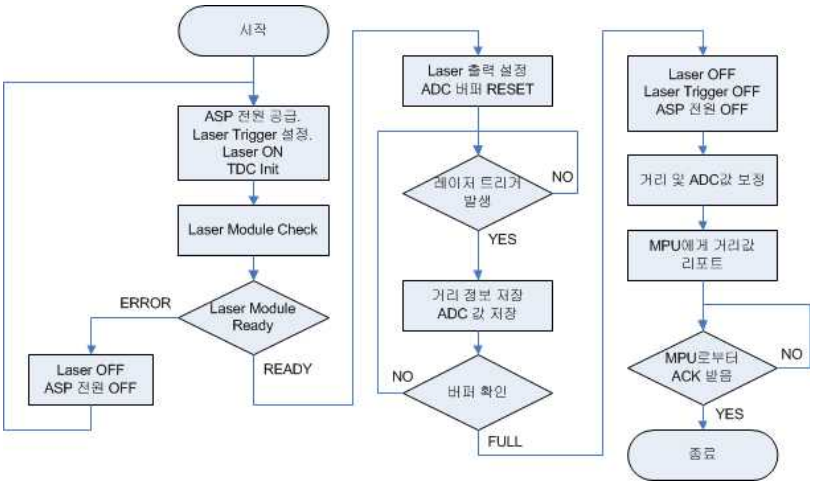


그림 90 Probe Command Flowchart

⑦ Scan Command Function

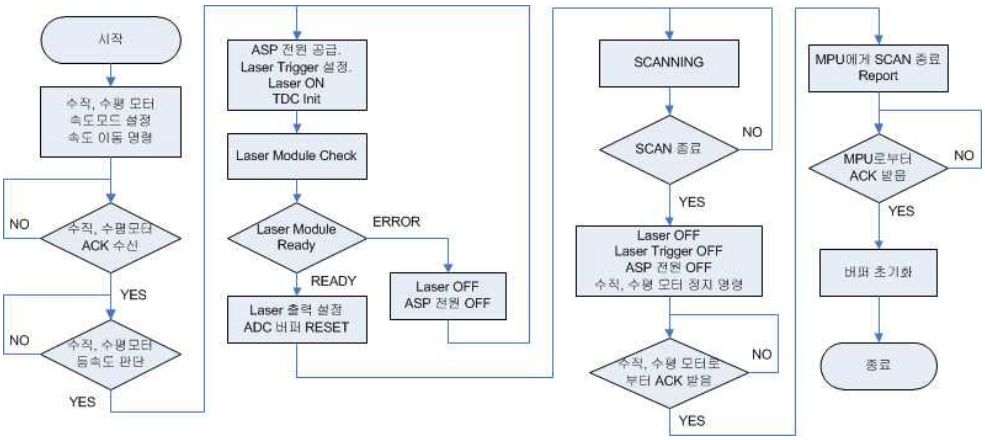


그림 91 Scan Command Flowchart

⑧ PWM Control (ND Film Control)

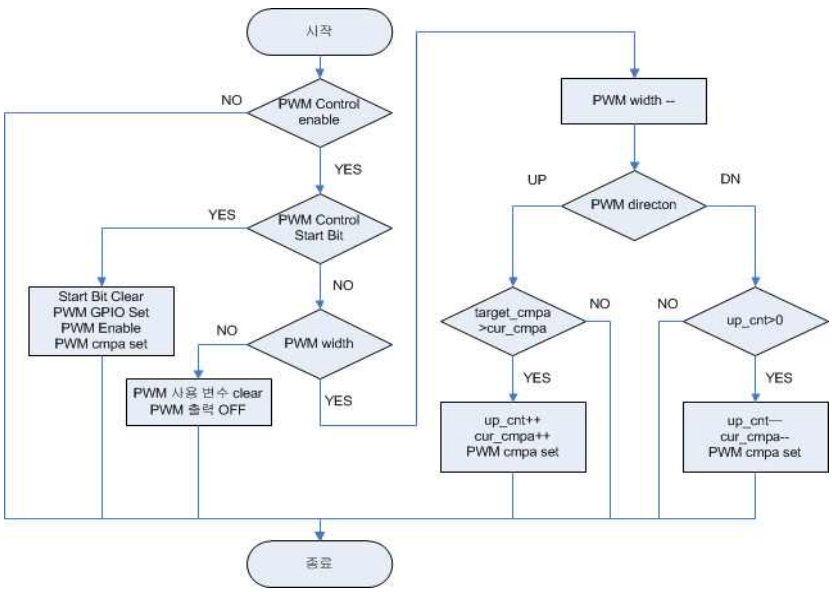


그림 92 PWM Control Flowchart

(나) DAM S/W 구현

① main() 함수

함수명: main(), 1/2
소스코드:

```
DINT;                                   /* disable global interrupt */
IER = 0x0000;
IFR = 0x0000;

//initialization
InitSysCtrl();                          /* initialize system clock : 150MHz */
Init_Hispcp(HIGH_SPD_PERI_CLK);         /* initialize high speed peripheral clock */
Init_Lospcp(LOW_SPD_PERI_CLK);          /* initialize low speed peripheral clock */
DELAY_US(3);
InitPieCtrl();                          /* initialize peripheral  */
InitPieVectTable();                     /*  initialize vetor table  */
InitAdc();                              // init the ADC
InitGpio();                             /* initialize all GPIO  : all input */
DELAY_US(1e6 * 4);                      /* FPGA Configuration Time Delay */

//Gpio Setting
Init_ASP_PWR_GPIO();
Init_Led_GPIO();
Init_PWR_HOLD_GPIO();
Init_I2C_GPIO();
Init_FPGA_GPIO();
Init_MPU_GPIO();
Init_ND_GPIO();
Init_QEP_H_GPIO();
Init_QEP_V_GPIO();
```

함수명: main() 계속, 2/2
소스코드:

```
Init_SMC_H_GPIO();
Init_SMC_V_GPIO();
Init_LDM_GPIO();
Init_XINTF_GPIO();
Init_FAN_CTL_GPIO();
FPGA_Reset();

//interrupt initialization
Az_Qep1_Init(AZ_MOTOR_RESOLUTION);          /* QEP1 setting for AZ */
El_Qep2_Init(EL_MOTOR_RESOLUTION);          /* QEP2 setting for EL */
Init_Sci();                    /* SCI interrupt initialization(default: Rx(disable), Tx(disable) */
Init_Timer();                              /* Timer interrupt initializtion(default: disable) */
Init_I2c();                                /* I2C interrupt initialization(defualt: disable) */
Init_Pwm();                                /* PWM interrupt initialization(defualt: disable) */

//Vector Table Remapping
Sci_VectTable_Remapping();
Timer_VectTable_Remapping();
I2c_VectTable_Remapping();
Xint1_VectTable_Remapping(); //laser
Xint5_VectTable_Remapping(); //dpram
Qep1_Vectable_Remapping();
Qep2_Vectable_Remapping();

//interrupt enable
En_Qep1_Zero_Pulse_Int();                  /* Qep1 interrupt enable */
En_Qep2_Zero_Pulse_Int();                  /* Qep2 interrupt enable */
En_SciRx_Int();                            /* Sci Rx interrupt enable */
En_TimerX_Int(&CpuTimer0Regs);             /* Timer 0 interrupt enable */
En_TimerX_Int(&CpuTimer1Regs);             /* Timer 1 interrupt enable */
En_TimerX_Int(&CpuTimer2Regs);             /* Timer 2 interrupt enable */
En_I2c_Int();                              /* I2C A interrupt enable */
En_Xint(XINT_NUM_1);                       // fpga interrupt
En_Xint(XINT_NUM_5);                       //dpram interrupt

measure_data_init();
sys_state_init();
Adc_Configure_Init();
Adc_Buf_Init();

// Global Interrupt enable
EnableInterrupts();
EINT;                    // Enable Global interrupt INTM
ERTM;                    // Enable Global realtime interrupt DBGM

while(1) {
    Working();
}
```

② Working() 함수

함수명: Working()
소스코드:

```
Main_Status new_state = sys_state.main;
Uint16 rst = FALSE;

new_state = Dpm_Cmd_Parsing();                    //dpram command parsing

if(new_state!=sys_state.main) {            //모드 변경 확인
    Main_Status_Change_proc(sys_state.main, new_state);    // 모드변경 설정변경
    sys_state.main = new_state;
    rst = TRUE;
}

switch(sys_state.main) {
    case MAIN_IDLE:
        new_state = Idle_Proc(&rst);    // Power ON후 1회 진입 함수
        break;
    case MAIN_INIT:
        new_state = Init_Proc(&rst);    // 초기화 함수
        break;
    case MAIN_READY:
        new_state = Ready_Proc(&rst); // 대기 함수
        break;
    case MAIN_MOVE:
    case MAIN_CAPTURE:
        new_state = Move_Proc(&rst);  // 이동, 사진촬영 함수
        break;
    case MAIN_PROBE:
        new_state = Probe_Proc(&rst); // probe 함수
        break;
    case MAIN_SCAN:
        new_state = Scan_Proc(&rst);   // 스캔중 함수
        break;
    case MAIN_CHECK:
        new_state = Check_Proc(&rst); // status check func
        break;
    case MAIN_ND_CHECK:
        new_state = ND_Check_Proc(&rst);        // ND File을 이용한 ADC Table 생성
        break;
    default:
        break;
}

if(new_state!=sys_state.main) {
    sys_state.main = new_state;
}

dpram_copy_ececute();         // 측정 data를 sram 에서 dpram으로 복사 함수
SCI_Packet_Parsing();         // 수직, 수평 모터 보드 및 LDM 보드 명령 분석
Qep_Zero_Pos_Init();          // QEP 초기점 확인 함수
test_func();                  // test 용 함수
Adc_Measure_Data();           // adc 온도 및 전압 체크
```

③ Laser_Trigger_Isr() 함수

함수명: Laser_Trigger_Isr()
소스코드:

```
Uint16 area_check = FALSE;

Motor_Curr_Angle(&az_angle.l, &el_angle.l);        /* 수평/수직 각도 획득 */

if(sys_state.main!=MAIN_PROBE) {                   /* 버퍼에 이전 측정 data 기록 */
    if(measure_buf.idx!=-1) {
        if(measure_buf.idx>1)
            measure_buf.idx = 0;

        get_asp_adc_value();                       // 반사강도 획득
        measure_buf.data[measure_buf.idx].adc = outpath_intensity;
        Sram_en_data(&measure_buf.data[measure_buf.idx],&sram_queue);// 측정 data 기록
    }
    else
        measure_buf.idx = 0;
}

get_tdc_value();      /* TDC Data Read */

probe_distance = caculate_distance(&tdc_outpath.l, &tdc_innerpath.l);  /* distancd calc */
ldm_check.trigger = FLAG_SET;          // LDM 모듈 보호를 위함.

if(sys_state.main==MAIN_SCAN)
{
    measure_buf.data[measure_buf.idx].distance = probe_distance;

    // 각도 정보 기록 시간 줄이기 위함.
    measure_buf.data[measure_buf.idx].angle[0] = az_angle.u.msb;
    measure_buf.data[measure_buf.idx].angle[1] = (Uint16)az_angle.u.lsb<<8 | el_angle.u.msb;
    measure_buf.data[measure_buf.idx].angle[2] = el_angle.u.lsb;

    // 유효각도 범위 판단
    if((az_angle.l>=Dam_Scan_Para.start_angle_h)&&(az_angle.l<=Dam_Scan_Para.end_angle_h))
    {
        if((el_angle.l>=Dam_Scan_Para.start_angle_v)&&(el_angle.l<=Dam_Scan_Para.end_angle_v))
            area_check = TRUE;
    }
}

if(area_check==FALSE)         // 유효 data 판단
    measure_buf.idx = -1;

laser_trigger_cnt++;
PieCtrlRegs.PIEACK.all |= PIEACK_GROUP1;
```

④ Sram_en_data() 함수

함수명: Sram_en_data(MEASURE_DATA *endata, QUEUE *q)
소스코드:

```
memcpy((Uint16 *)&sram_buff[q->data_pos], (Uint16 *)endata, 6);     // 12byte data 기록
q->data_pos+=6;                                                     // 다음 기록 위치 증가

if(q->data_pos>=SRAM_SIZE)                                          // 다음 기록 위치 Overflow 판단
    q->data_pos = 0;

q->buf_front = (q->data_pos/SRAM_BANK_SIZE); // data 기록 버퍼 판단

if(q->buf_front != q->buf_rear) {                                   // data 복사 필요 판단
    dpram_copy_set(q->buf_rear);                                    // DPRAM으로 DATA 이동 명령.
    q->buf_rear++;

    if(q->buf_rear>=SRAM_BANK_MAX)
        q->buf_rear = 0;

    measure_blk_cnt++;
}
```

⑤ dpram_copy_ececute() 함수

함수명: dpram_copy_ececute()
소스코드:

```
Uint32 data_pos;
DP_QUEUE *dpq = &dpram_queue;

if(check_is_dpram_data_empty)           // MPU에서 이전 data를 모두 가져갔는지 확인.
    return;
if(dpq->buf_front==dpq->buf_rear)       // 옮길 dataa가 존재하는지 판단.
    return;

if(dpq->buf_cnt==0) {                   // 복사 시작 확인
    data_pos = (Uint32)dpq->q_buff[dpq->buf_rear]*SRAM_BANK_SIZE; // data 위치 확인
    dpq->src_addr = (Uint16 *)&sram_buff[data_pos];       // source 위치 설정
    dpq->dst_addr = (Uint16 *)&dpram_buff0[0];            // dest 위치 설정
}

memcpy(dpq->dst_addr,dpq->src_addr,SRAM_TO_DPRAM_CNT);       // data 복사 실행

dpq->dst_addr += SRAM_TO_DPRAM_CNT;       // dest address 증가
dpq->src_addr += SRAM_TO_DPRAM_CNT;       // source address 증가
dpq->buf_cnt += SRAM_TO_DPRAM_CNT;        // data  위치 증가

if(dpq->buf_cnt>=SRAM_BANK_SIZE) {        // data 위치 Overflow 확인
    dpram_buff_full_int();                // DPRAM status bit set
    dpram_data_cnt_set();
    dpq->q_buff[dpq->buf_rear++] = -1;
    dpq->buf_cnt = 0;
    if(dpq->buf_rear>=SRAM_BANK_MAX)
        dpq->buf_rear = 0;
}
```

⑥ dpram_mailbox_Isr() 함수

함수명: dpram_mailbox_Isr()
소스코드:

```
Uint16 checksum;

dpram_int_cnt++;                        // dpram interrupt count
dpram_rx_int_var.all = dpram_rx_int;    // dpram interrupt flag read

if(dpram_rx_int_var.bit.rx_cmd)         //mpu->dam cmd, command flag
{
    dpram_rx_int_var.bit.cmd_flag = TRUE;
    memcpy(pmpu_cmd, (unsigned int *)dpram_rx_cmd, 0x0F);
}

if(dpram_rx_int_var.bit.ready)          // ready flag
    check_is_dpram_ready = 0;

if(dpram_rx_int_var.bit.data_empty)     // empty flag
    check_is_dpram_data_empty = 0;

if(dpram_rx_int_var.bit.cmd_flag==TRUE)// command checksum
{
    checksum = CheckSum_Dpm((unsigned int *)pmpu_cmd);// checksum 확인
    if(checksum != pmpu_cmd->data[(pmpu_cmd->cmd.bit.length)/2]) // checksum 비교
    {
        //error
        dpram_rx_int_var.bit.cmd_flag = NULL;
    }
}

dpram_rx_int = 0x0000;
PieCtrlRegs.PIEACK.all |= PIEACK_GROUP12;
```

⑦ caculate_distance() 함수

```
함수명: int32 caculate_distance(Uint32 *tdc_ext, Uint32 *tdc_int)
소스코드:

#define TDC_SCALE          0.892028830371798          // TDC 셋팅값, ps
#define REFRACTIVE_INDEX   1.000278041985             // 공기 굴절율
#define V_LIGHT            299792458.0                // 빛의 속도
#define V_SCALE            V_LIGHT / REFRACTIVE_INDEX

int32 distance = (int32)((TDC_SCALE * (double)(*tdc_ext - *tdc_int) * (V_SCALE
/1000000000000.0 ) / 2.0)*1000.0);

return distance;
```

자. SMC : Servo Motor Controller

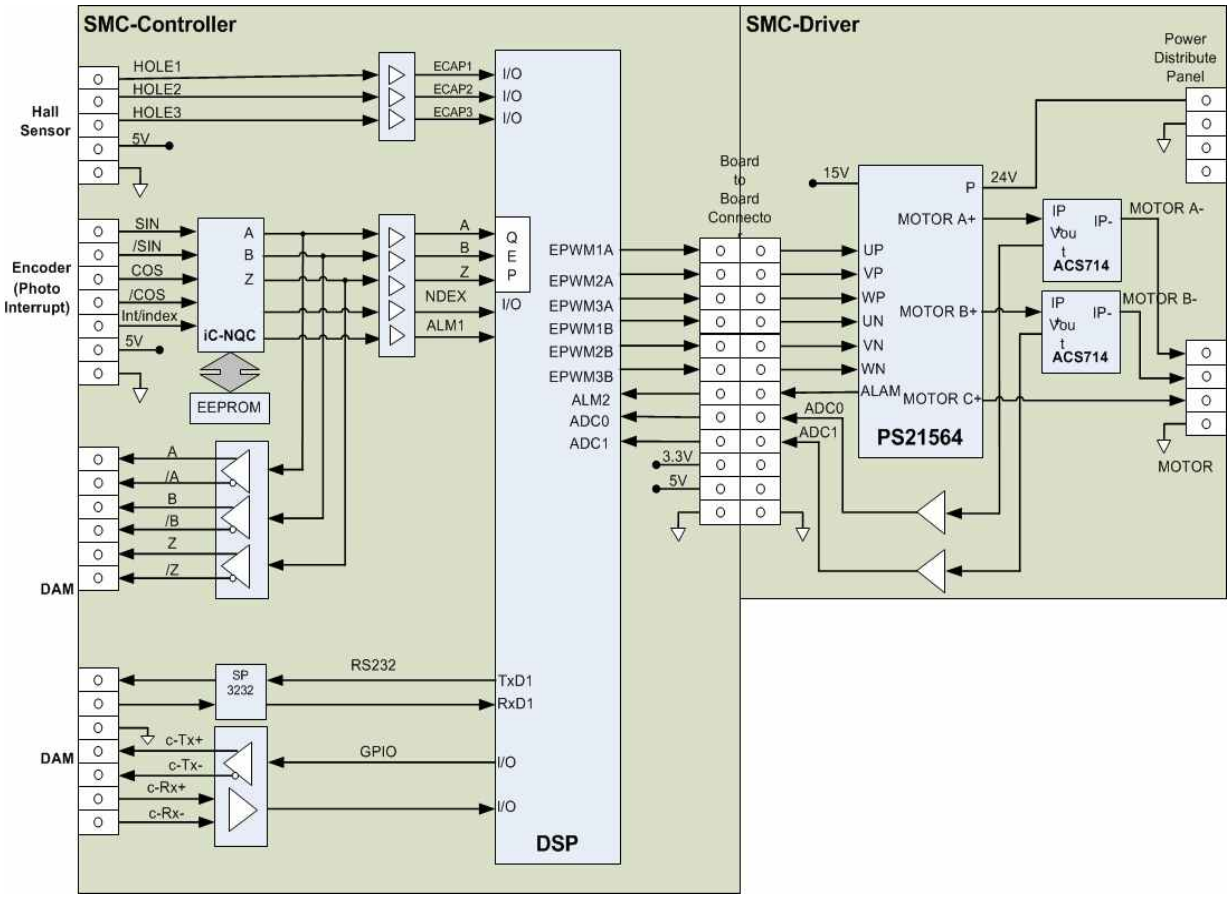


그림 93 SMC 모듈 블록도

6) 제어기 하드웨어 구성

수평 서보모터제어 모듈과 수직 서보모터 제어모듈로 각각 동일한 보드구조로 구성이 되며 DSP IC가 장착되는 BASE보드와 서보모터 드라이버 IC가 장착되는 MDRV보드가 위 그림과 같이 서로 보드끼리 연결되어 전체 서보콘트롤 모듈을 구성하는 구조로 설계가 되어 있다. 모터 각도의 정밀도를 확보하기 위한 엔코더 입력신호 인터폴레이션(Interpolation)용으로 설계 적용한 iC-NQC(13-bit Sin/D CONVERTER WITH

SIGNAL CALIBRATION)는 광학식 엔코더 설계용으로 쓰이는 인터폴레이터 디바이스로 입력되는 Sine/Cosine 신호를 최대 8,192개의 스텝으로 잘게 쪼개어 AD컨버젼하여 정밀한 모터제어를 구현할 수 있게 해준다.

입력신호의 설정 파라미터들은 외부 E2PROM에 저장해서 초기 구동시 저장해 놓은 설정값을 로드하여 사용할 수 있게 되어 있다. 인터폴레이터 출력신호는 DSP IC 내부의 QEP(Quadrature Encoder Pulse)입력에 바로 인가하여 모터 회전 방향에 따라 카운터 값을 증가, 감소 시켜, 제어기의 위치 및 속도 제어에 활용 된다.

인터폴레이터 출력을 DAM(Distance & Angle Measurement)모듈에 전달하여, 스캔시 각도 정보를 획득 할 수 있게 하였으며, SMC와 동기 되어 있다.



그림 94 SMC-H 모듈



그림 95 SMC-V 모듈

가) 위치 정보 감지 센서

모터 제어에 필요한 위치 정보는 인크리메털 엔코더와 사인, 코사인을 체배하는 인터폴레이터로 구성되는데, 수직모터 각도 분해능은 4096 L/C ＊ 128 체배로 약 2.5초이며 ,수평모터의 각도분해능은 9000L/C ＊ 1024 체배로 약 0.15초이다.

스캐너 구동 특성상 수평축 회전은 아주 저속으로 구동되고, 수직회전은 고속으로 구동됨에 따라 각도 분해능을 선정하였다

각도 분해능을 담당하는 인터폴레이터 파라미터 세팅과정과 결과는 아래와 같다.

인터폴레이터 IC에서 제공하는 다양한 기능 파라미터들을 이용하여 엔코더로부터 입력되는 신호의 컨디션을 조정할 수가 있는데 입력신호의 게인(Gain)과 오프셋(Offset), 위상(Phase), 진폭(Amplitude)등이 있으며 기본적으로 변환해상도(Resolution), 최대변환주파수(Max. Converter Frequency)를 설정하여야 한다.

IC내부 블록도는 다음 그림과 같다

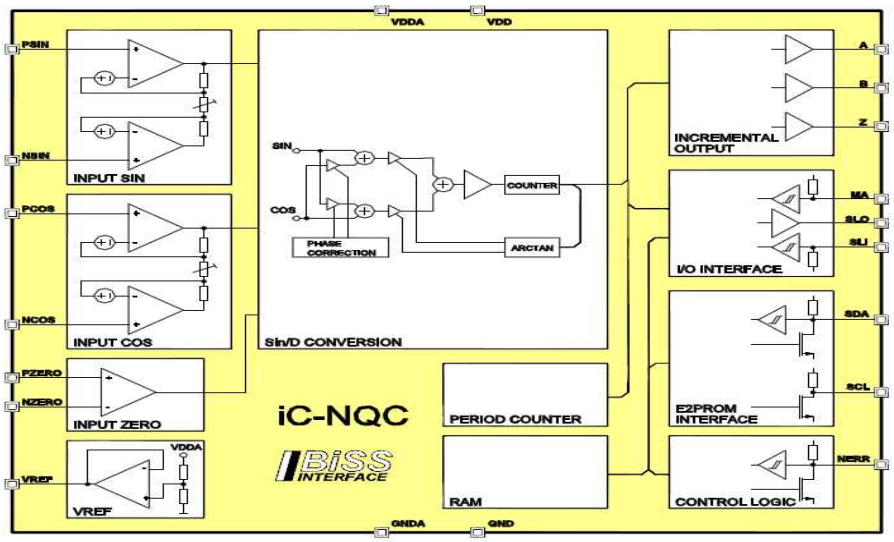


그림 96 인터폴레이터 내부 블록도

iC-NQC 인터폴레이터 Evaluation모듈을 이용하여 설정을 하는 방법을 다음에 설명을 하였다.

설정하고자 하는 엔코더와 Evaluation모듈의 엔코더 각신호에 해당하는 부분을 케이블을 이용하여 연결을 한다음 Evaluation모듈과 PC와 BISS-USB Interface로 연결한다.

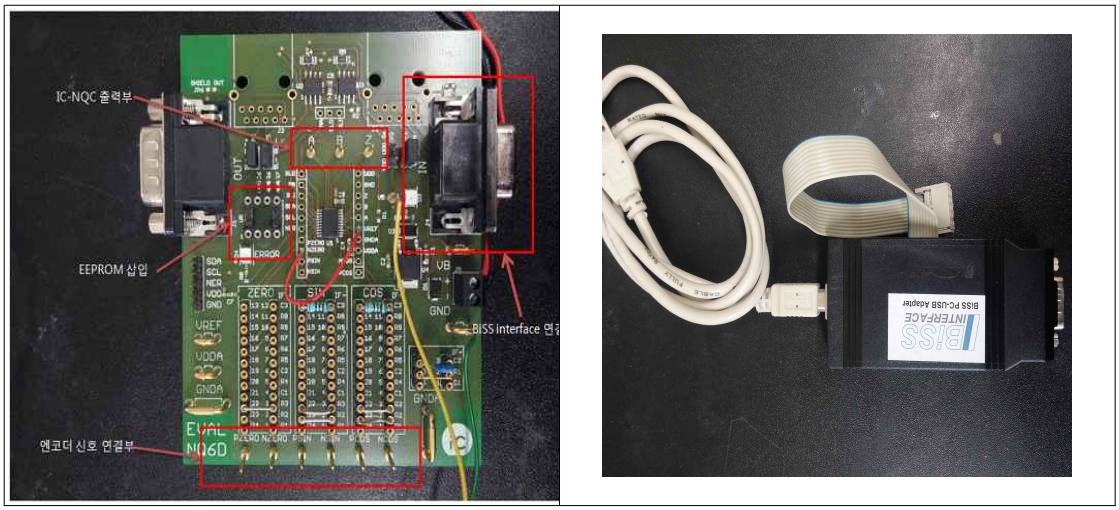


그림 97 iC-NQC EVAL NQ6D Module, BiSS Interface 케이블

NQC1SO_gui_C4를 실행하고 Interface 부분을 눌러 "Connect" 상태로 변경한다.

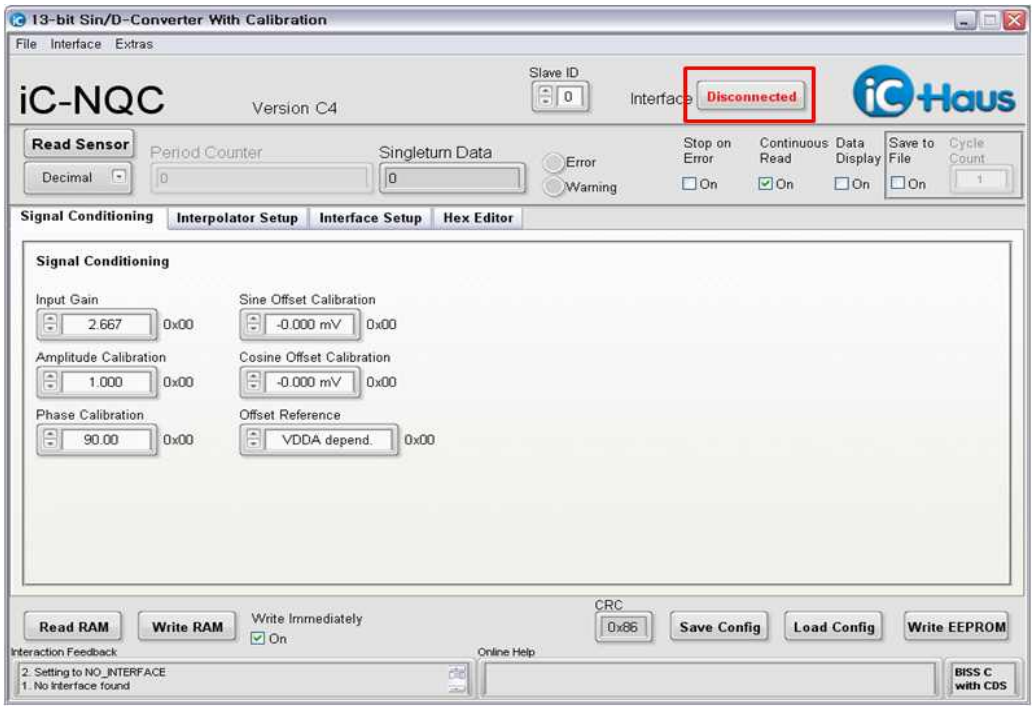


그림 98 NQCISO_gui_C4 실행 화면

NQC1SO_gui_C4의 Interface Setup 메뉴에서 Analog Test Mode의 Enable에 체크하고 iC-NQC의 출력 PIN A, PIN B, PIN SDA, PIN SCL를 측정하여 sine 과 cosine 파형을 아날로그 신호로 확인할 수 있다.

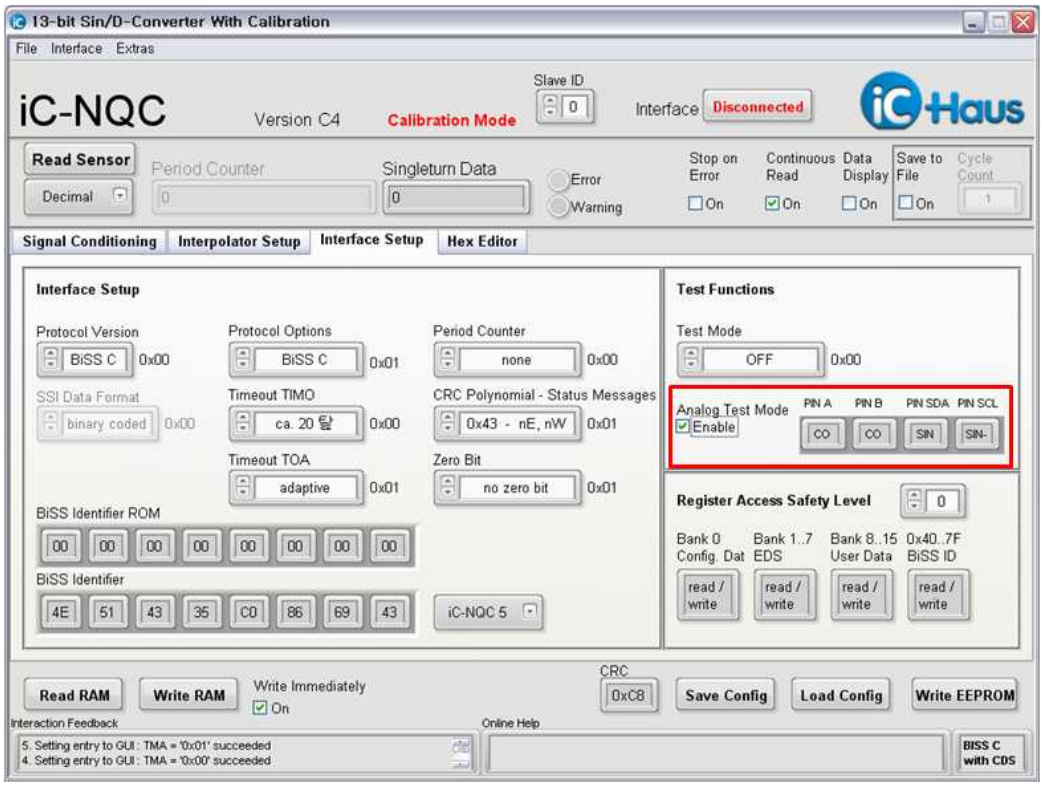


그림 99 Analog 출력 파형을 보기 위한 설정

- NQC1SO_gui_C4의 Signal Conditioning 의 Input Gain 설정
  : Input Gain 값 설정으로 sine 신호의 크기를 2Vpp 로 설정



그림 100 Signal Conditioning Input Gain 설정(sine 파형 기준)

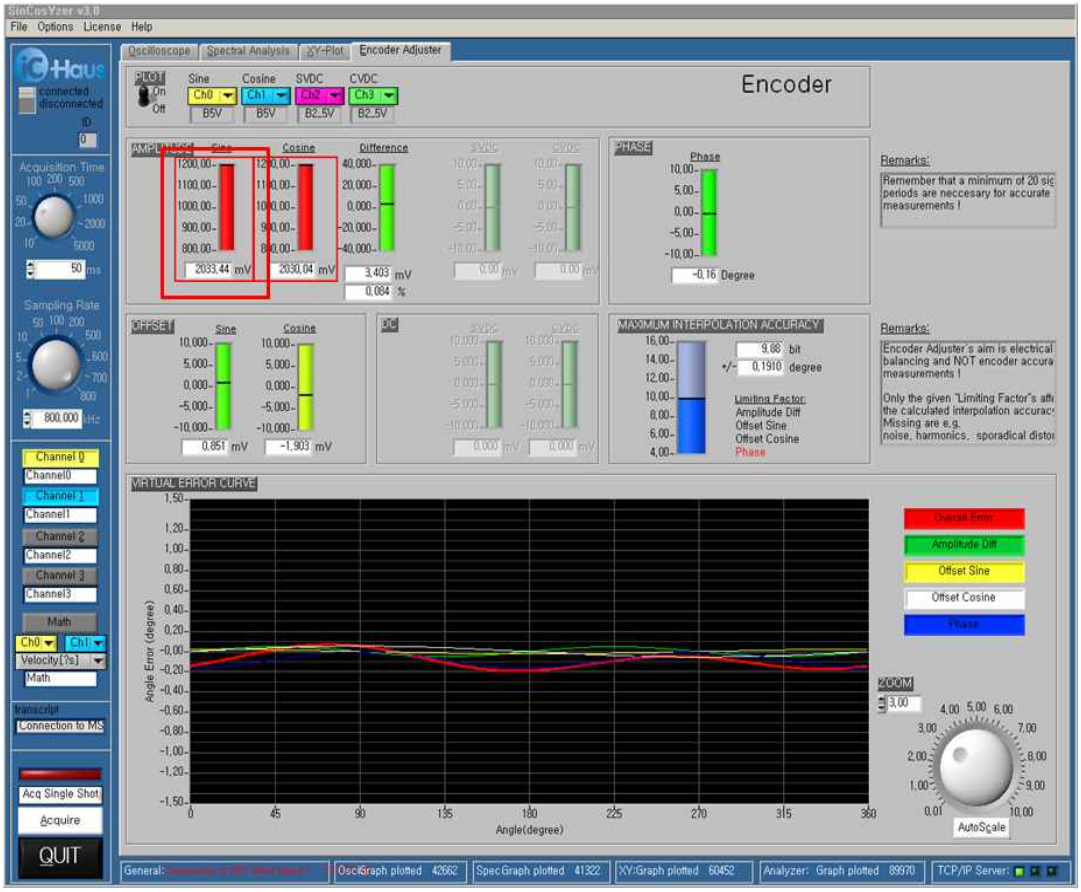


그림 101 Input Gain 값 조정에 따른 결과 값 확인 (Amplitude Sine, 약2000mV)

Amplitude Calibration 설정 (cosine 파형 기준 설정)

- NQC1SO_gui_C4의 Signal Conditioning 의 Amplitude Calibration 설정
  : Amplitude Calibration 값 설정으로 cosine-GND 신호의 크기를 2Vpp 로 설정

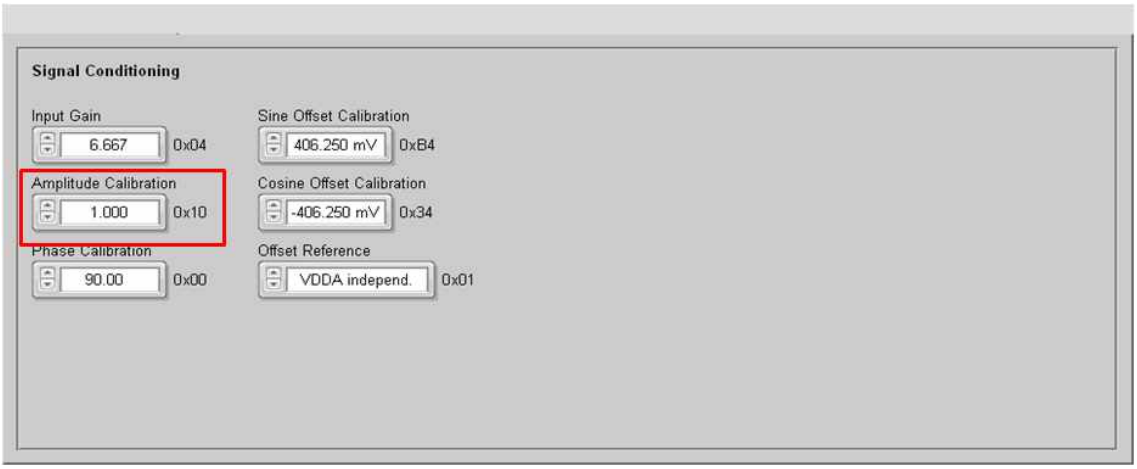


그림 102 Signal Conditioning Amplitude Calibration 설정 (cosine 기준)

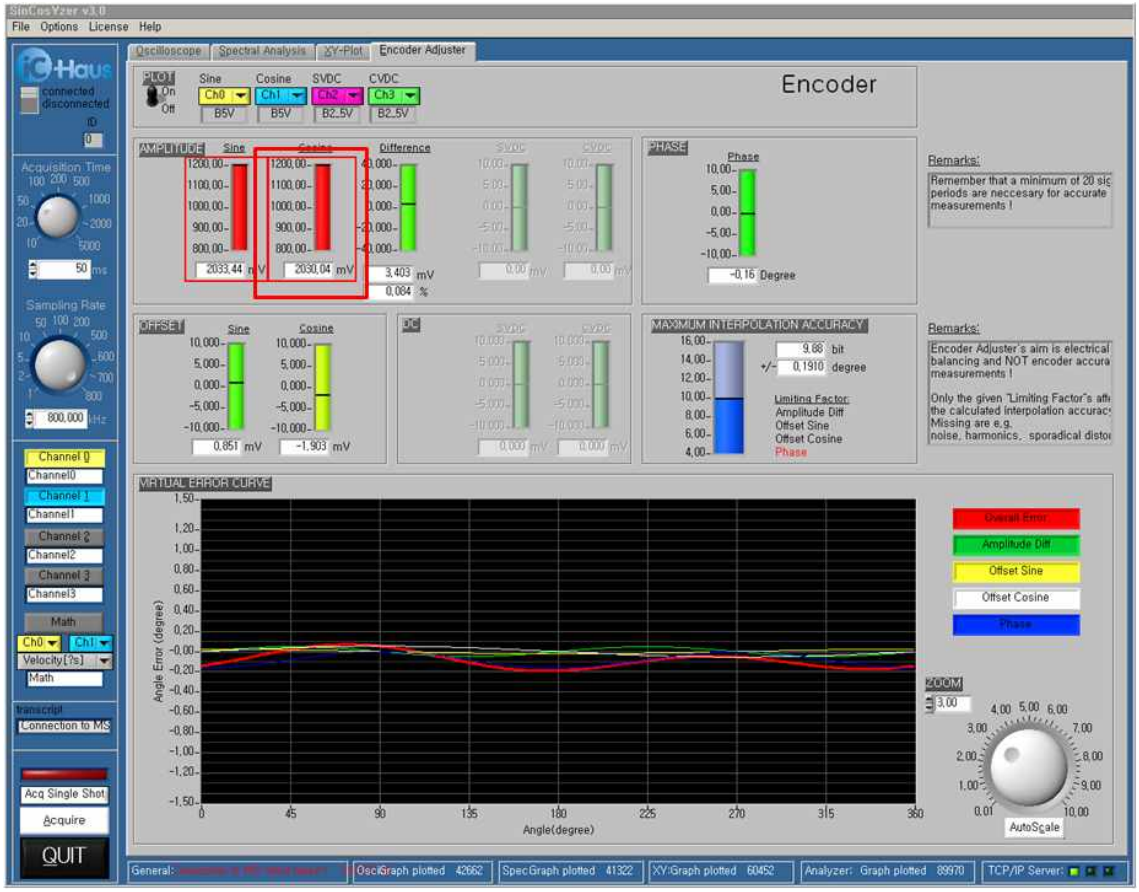


그림 103 Amplitude Calibration 값 조정에 따른 결과 값 확인 (Amplitude Cosine, 약2000mV)

Sine Offset Calibration, Cosine Offset Calibration 설정

- NQC1SO_gui_C4의 Signal Conditioning 의 Sine Offset Calibration, Cosine Offset Calibration 설정

  : sine , cosine 파형의 offset 값을 설정.

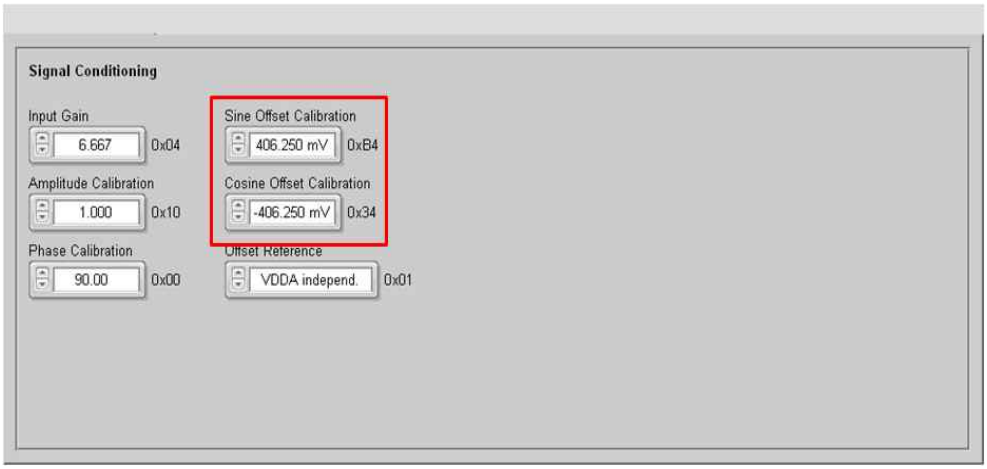


그림 104 Signal Conditioning Sine, Cosine Offset Calibration 설정

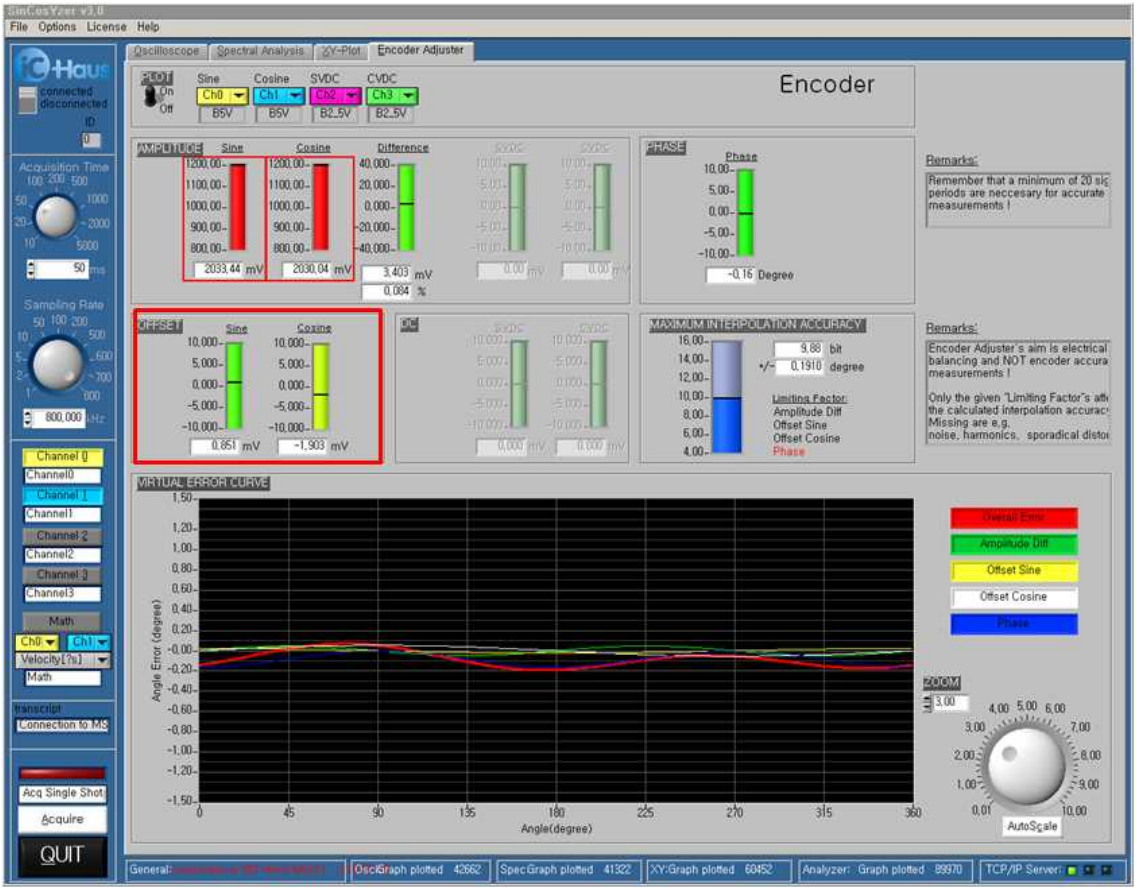


그림 105 Sine,Cosine Offset Calibration 설정에 따른 결과 값 확인 (Offset Sine, Cosine 약 0mV)

Phase Calibration 설정

- Phase Calibration 값을 변경하여 0 degree 에 가깝게 조정.

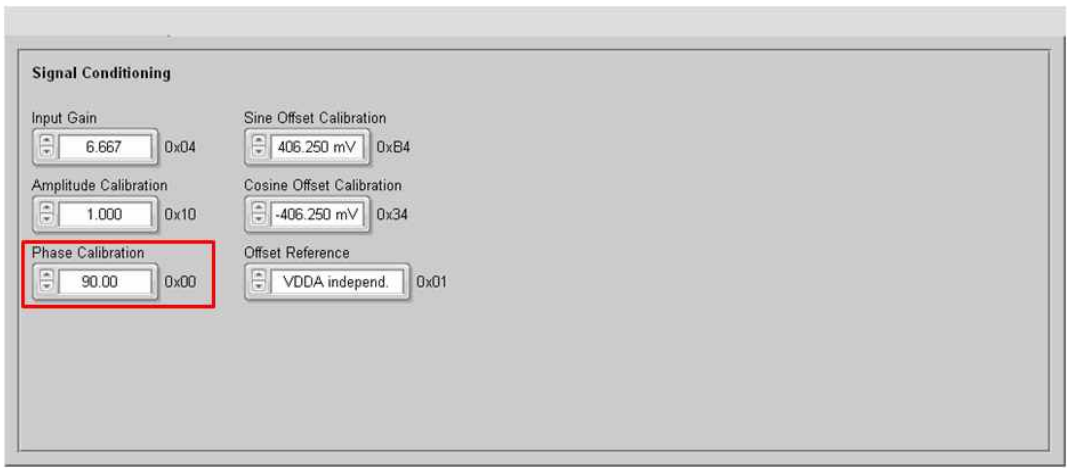


그림 106 Signal Conditioning Phase Calibration 설정

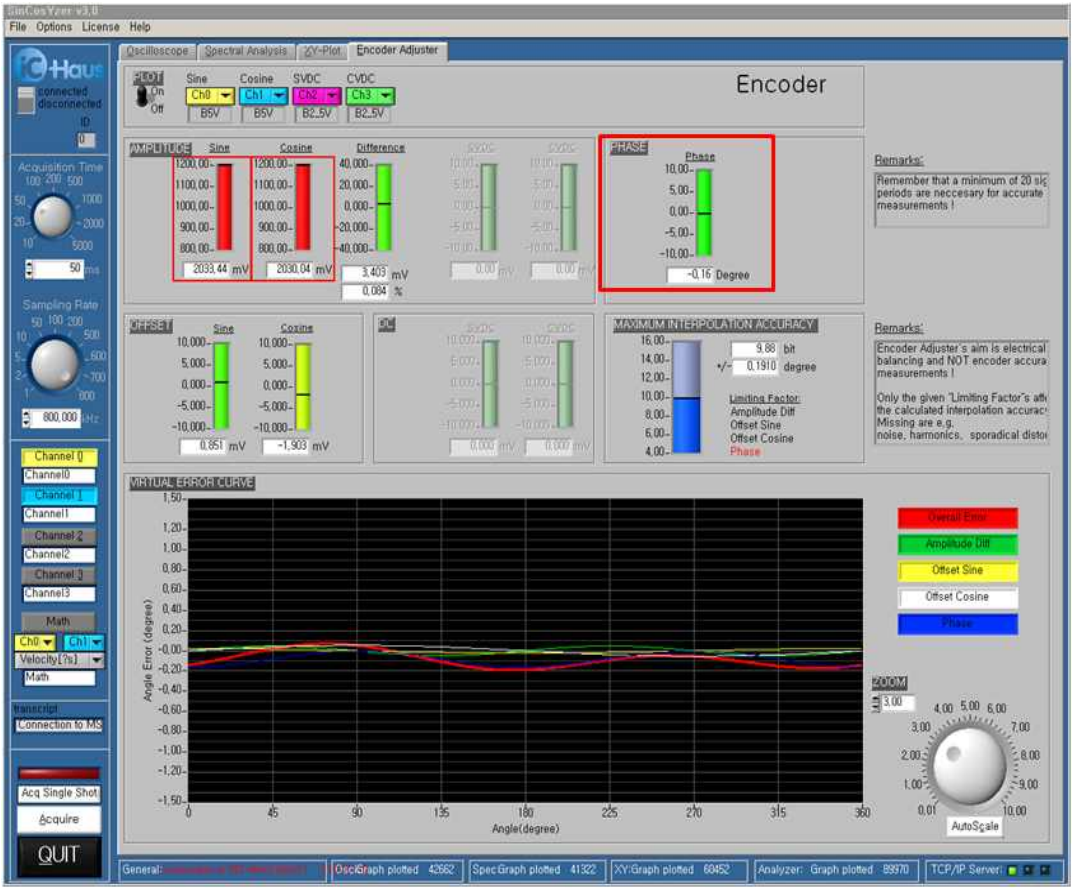


그림 107 Signal Conditioning Phase Calibration 설정에 따른 결과값 확인(Phase 약0 Degree)

Signal conditioning 설정 완료 후 확인 사항

- 분해능

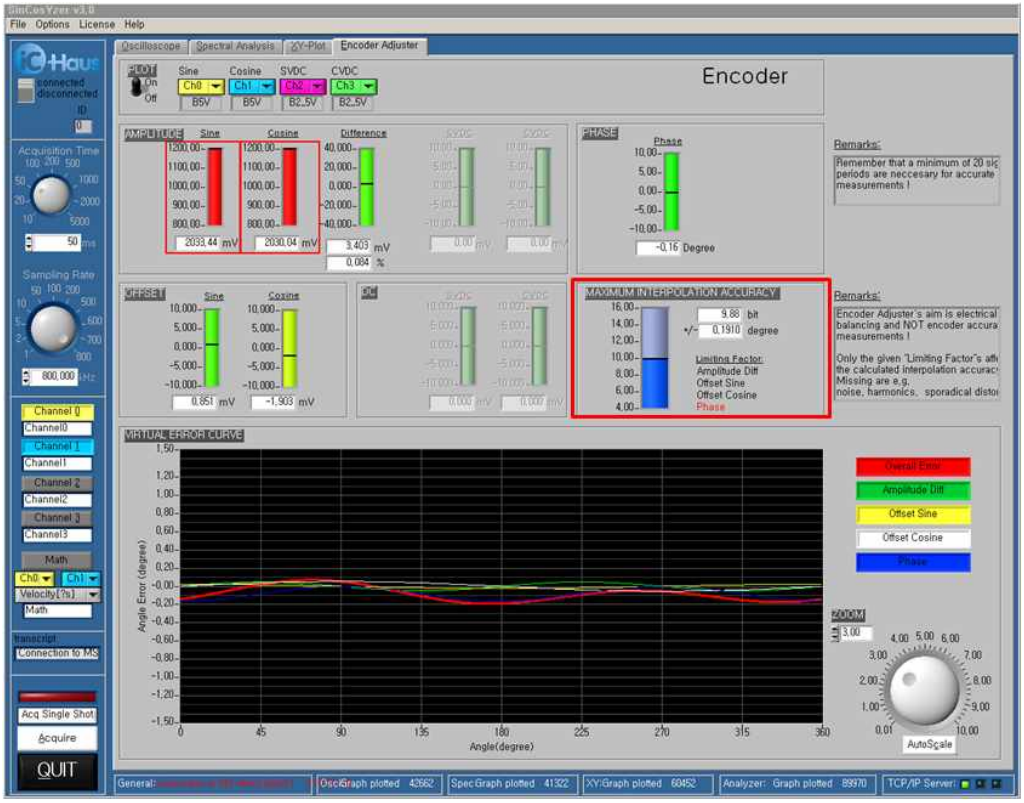


그림 108 Signal Conditioning 설정 완료 후 분해능

- Sine, Cosine Vector Plot이 원형임을 확인

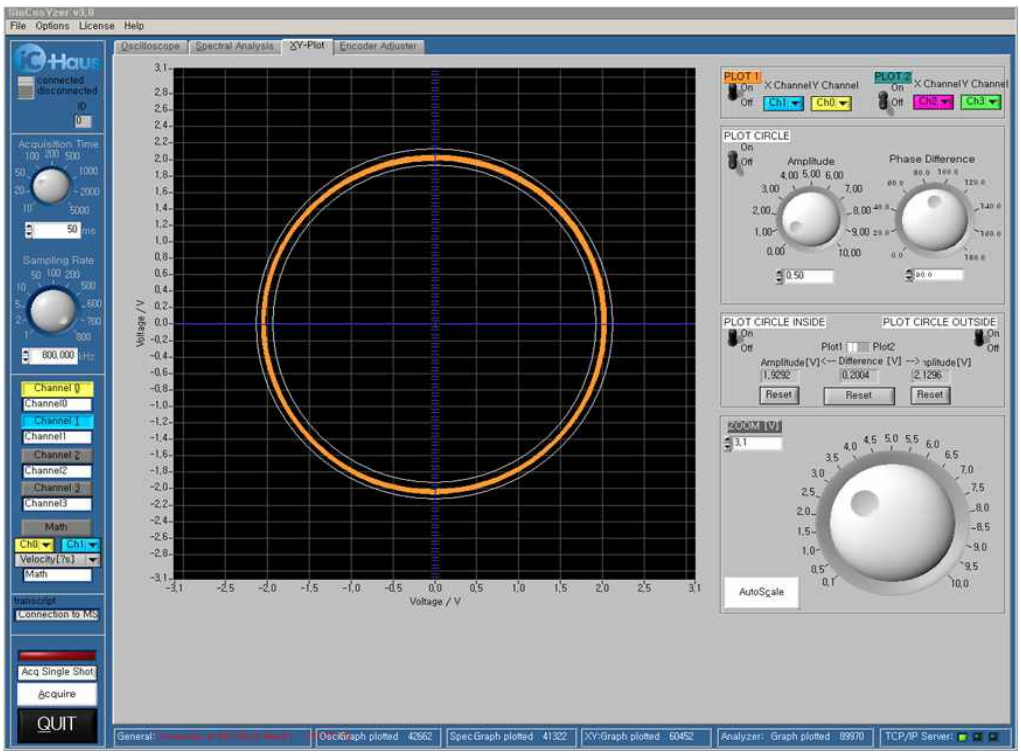


그림 109 X-Y Plot

나) 모터 드라이버 구성

3상 BLDC 모터에 전류를 구동하는 회로 DC to AC 인버터 브리지 디바이스 PS21564-P를 사용하였으며, 내부 구성은 아래 그림과 같다,

토크제어에 필요한 전류센서는 홀효과를 이용한 ACS714 사용하여 최대 5A까지 측정이 가능하다.

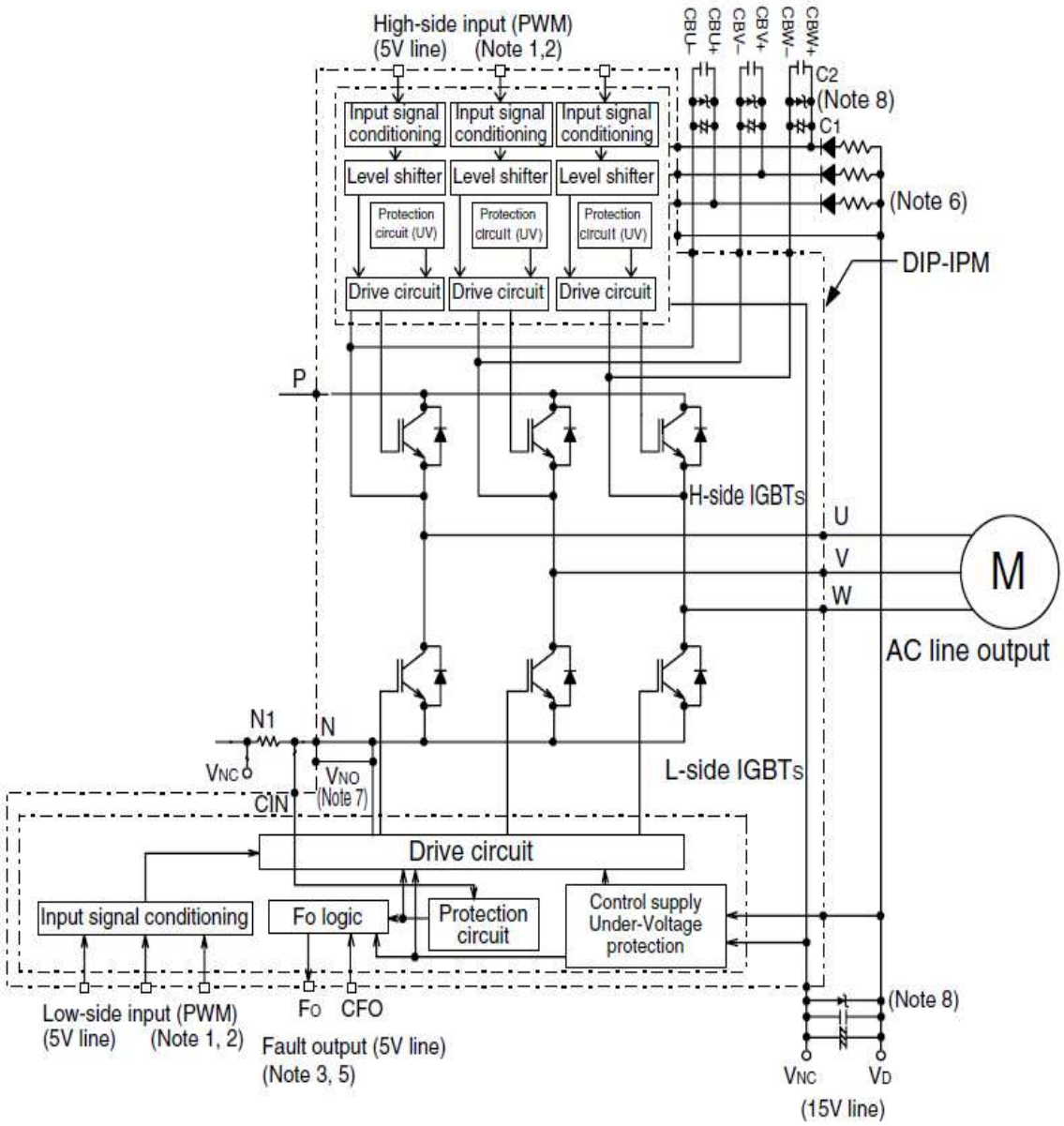


그림 110 모터 드라이버 내부 회로도

마. MPU :Main Processor Unit

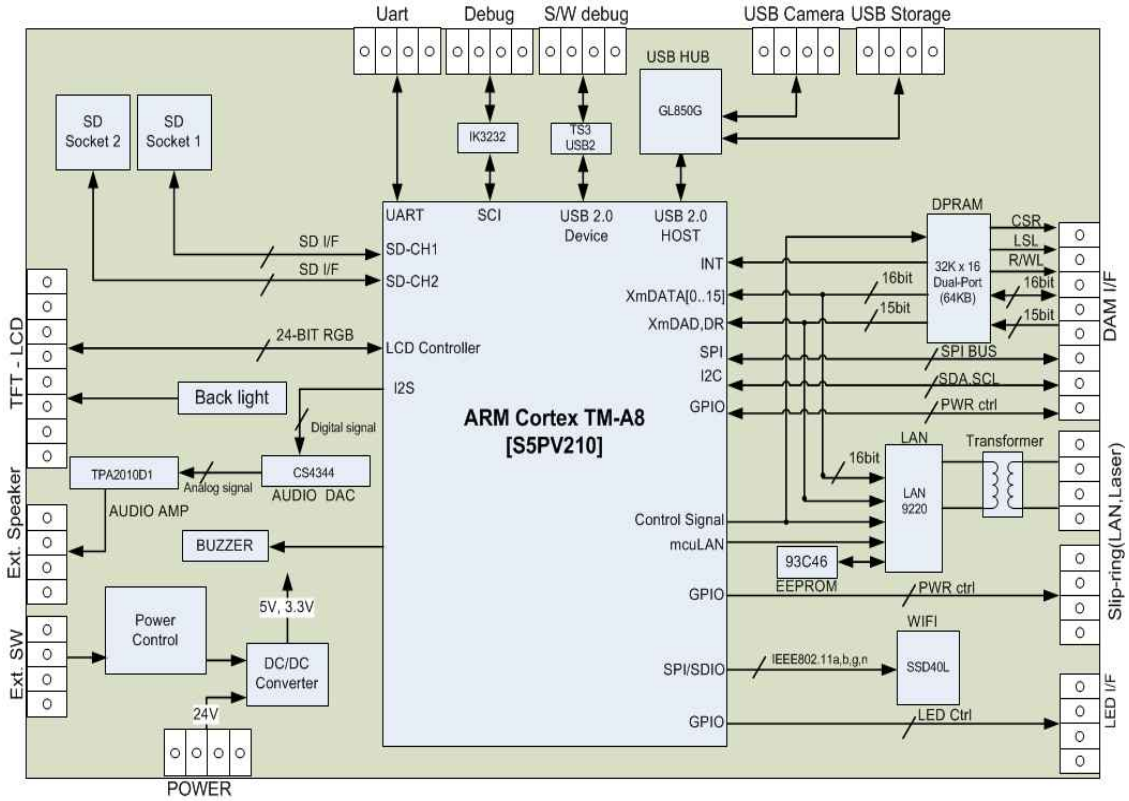


그림 111 MPU모듈 블록도

1) HW 개발 내용

메인 CPU로 선정한 S5PV210는 ARM Cortex-A8 core의 32bit RISC(Reduced Instruction Set Computer)로서 최대 동작클록속도는 1Ghz 이며 비디오영상처리 및 디스플레이 콘트롤러 하드웨어를 내장하고 있고 다양한 외부장치 인터페이스를 지니고 있어 중앙처리 디바이스로서의 기능을 수행한다. 내부 버스구조는 64bit로 되어 있고 Mpeg1-4, H.264,VC1등의 비디오 멀티포맷 코덱(MFC)을 내장하고 있으며 HDMI, NTSC/PAL 아날로그 비디오 출력을 지원한다. 외부 메모리는 DDR2등 다양한 DRAM 인터페이스를 지원하고 Flash/Rom포트로는 NAND, NOR, SRAM 등의 각종 Flash메모리를 지원한다.

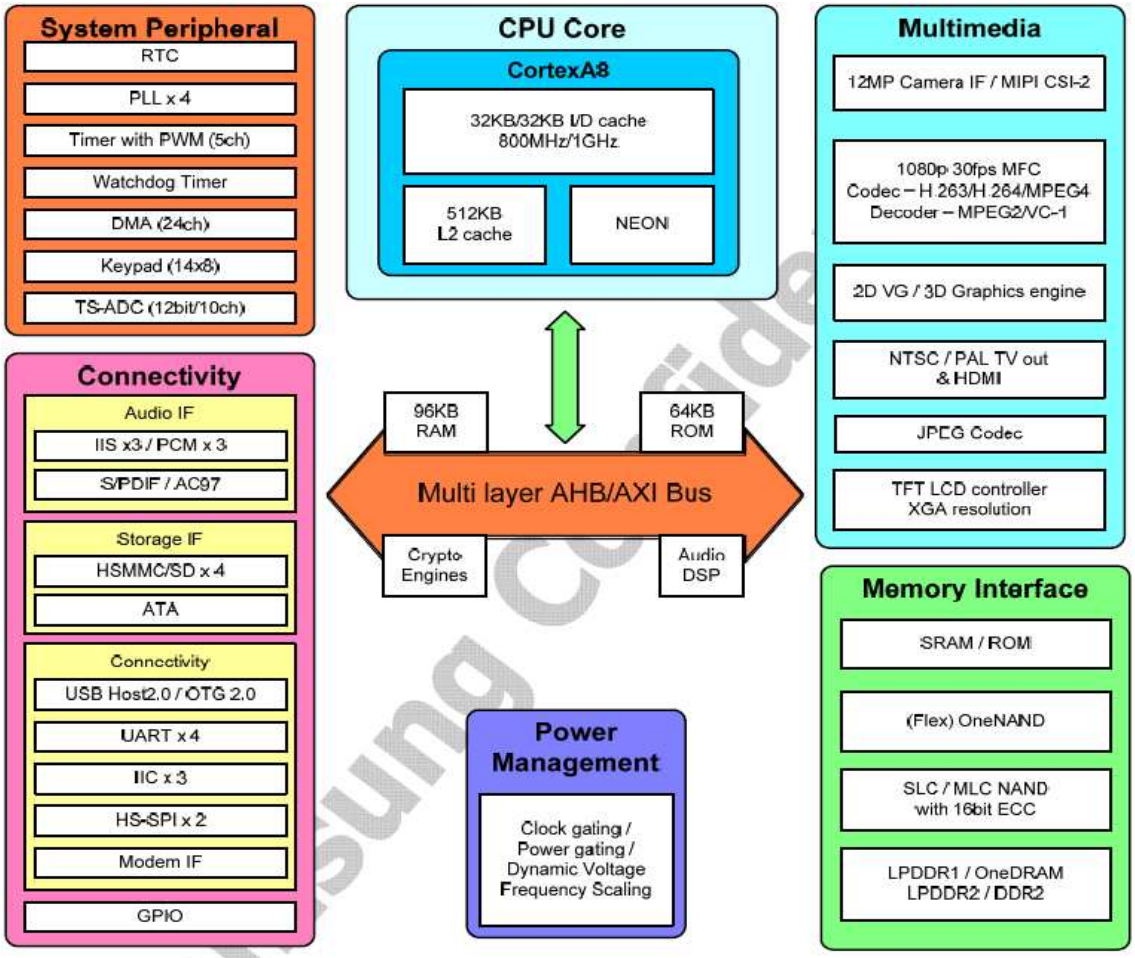


그림 112. S5PV210 블록도

카메라와는 USB 호스트 인터페이스를 통해 실시간 프리뷰 카메라 디스플레이를 제공하며 5인치 WVGA(800*480) LCD디스플레이에 장착된 저항막 방식 터치 스크린을 통해 사용자 인터페이스를 제공한다. 거리측정모듈(DAM모듈)과는 데이터 전송량을 고려한 Dual Port Memory를 이용하여 데이터 및 명령체계 통신까지 수행하도록 설계 하였다. 호스트 인터페이스로 유무선 LAN을 Ethernet과 Wi-Fi로 지원하게 하였고 모듈 내장 SD메모리(32GB x 2)로 점군데이터를 로컬영역에 저장할 수 있게 설계하였다. USB 호스트 채널에는 HUB 콘트롤러를 추가하여 최대 4채널로 확장 가능하게 되어 있으며 이중 한 개 채널은 사용자 데이터 백업용으로 외부로 인터페이스 되어 있다.

표 37 MPU모듈 개발 세부 사양표

순번	항목	채널수	개발사양	세부스펙 및 인터페이스 정의
1	CPU	-	S5PV210	1GHz
2	MEMORY	-	DDR2	128MB X 4ea
3	DPM(Dual Port Memory)	-	64Kbytes, 16bit access	초당 2Mbytes 이상 데이터 처리
4	RS-232	1	MCU B/D I/F(1ch)	예비포트 (예외처리 등으로 사용)
5	UART	1	Debug	MPU 보드 자체의 디버깅포트(OS 포팅시)
6	USB Host 2.0	2	USB Memory I/F(1ch) CAMERA I/F(1ch)	JPG, BMP 포맷지원, 동화상프리뷰 (640X480, 30fps)
7	USB Device 2.0	1	Active Sync.	응용프로그램 다운로드 및 파일관리과 타겟 디버깅
8	WiFi	1	Wi-Fi	속도 16Mbps(2MB/sec)이상
9	LAN	1	MCU B/D I/F(1ch)	MCU 제어용 (명령)
11	SD Card	3	SD type I/F(내부 2ch) microSD I/F(내부 1ch)	메모리는 Class 6(6MB/sec)의 SLC, MLC를 사용하며, 속도 4MByte/sec. microSD는 OS용
12	TFT-LCD (Touch Screen)	1	WVGA, RGB I/F	디스플레이 인터페이스
13	GPIO	5	DAM B/D I/F(1ch)	콘트롤 인터페이스
14	INTERRUPT	1	POWER B/D I/F(1ch)	전원 OFF 시그널
15	I2C	1	POWER B/D I/F	파워보드의 CPU로부터 배터리정보 이용
16	DAC	1	Mono speaker IF	오디오 인터페이스(부팅,지시음 등)
17	B/D Size	-	100 X 80 (mm)	
18	Operating Temperature	-	-20~70℃	
19	OS	-	WinCE 6.0	

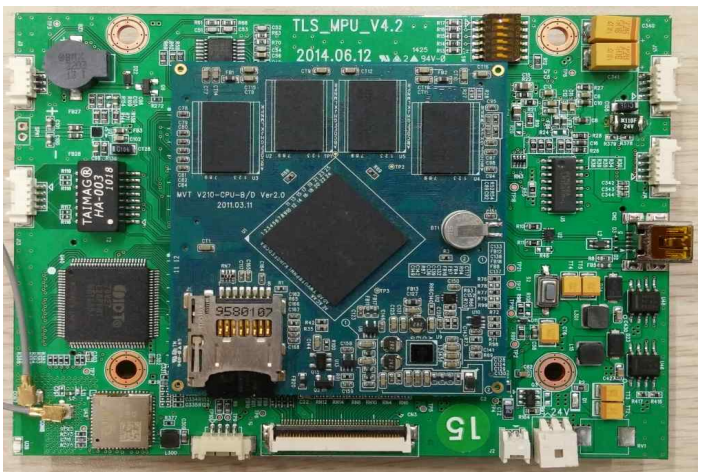


그림 113 MPU 모듈

적용한 카메라는 오토포커스 기능을 갖춘 3M 픽셀의 CMOS타입 카메라로서 사양은 다음과 같다.

- Image Sensor : OV3640(1/4 inch) CMOS
- Pixel Size : 1.75 um x 1.75 um
- DSP : SM371
- Pixels : 3.2Mega
- Max. Resolution : 2048*1536
- Lens : Auto Focus
- Focusing Length : 2,000mm
- View Angle : 70도
- Frame Rate : 30 fps up to @XGA(1024*768)

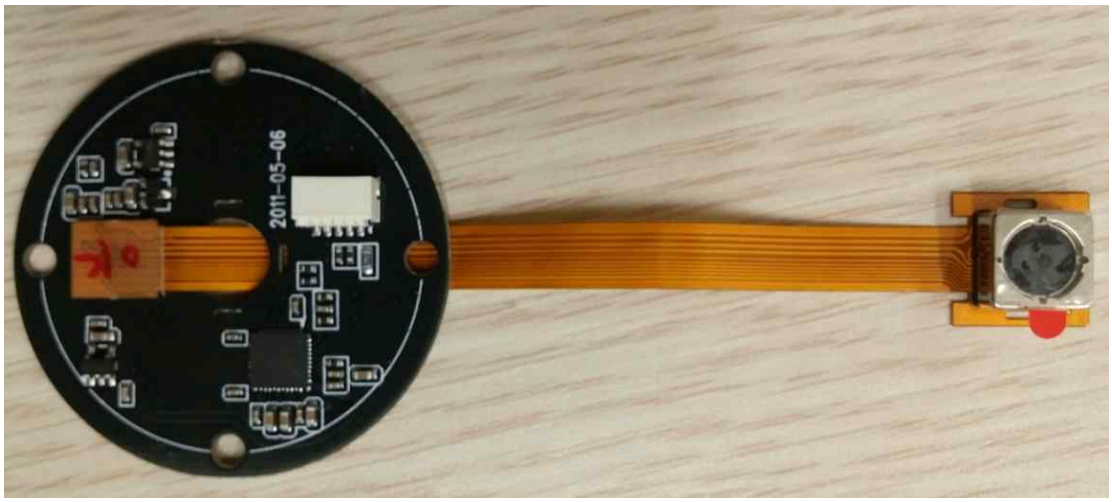


그림 114 AF3M Camera

2) S/W 개발 내용

가) BSP(Board Support Package) 와 검증 프로그램

MPU 보드를 개선 제작함에 따라 주변 드라이버와 이를 검증하기 위한 프로그램도 개발하였다.

나) 드라이버

여러 드라이버들이 동작하지만, 현재 보드를 위해 제작된 드라이버는 "LSC_IOCTL" 이므로, 이에 대해서만 설명함.

다) "LSC_IOCTL"는 Dual Port RAM, GPIO, PWM으로 이루어져 있다.

라) 드라이버 호출 순서

- DLL 로딩 : DllEntry(), 메모리에 로딩될 때 호출된다.
- 초기화 : LSC_Init (), 로딩된 후 드라이버 관리자에 의해 자동으로 호출된다. 각 기능별로 초기화를 실행한다.
- 어플리케이션과 통신 : LSC_IOControl (), 어플리케이션에서 받는 명령을 처리한다.

dwCode	기 능
IOCTL_GPIO_SETDAT	GPIO 전압 레벨을 설정한다.
IOCTL_GPIO_GETDAT	GPIO 전압 레벨을 읽는다.
IOCTL_BUZZER_ON	부저를 켠다
IOCTL_BUZZER_OFF	부저를 끈다
IOCTL_BACKLIGHT_SETDIM	LCD 밝기를 설정한다
IOCTL_DPRAM_READ	DUAL PORT RAM를 읽는다
IOCTL_DPRAM_WRITE	DUAL PORT RAM에 쓴다

마) REG, BIB에 추가

- 레지스트리에 추가해야 OS는 부팅하면서 이 드라이버를 실행한다.
- Platform.reg에 다음과 같이 추가한다.

```
[HKEY_LOCAL_MACHINE₩Drivers₩BuiltIn₩IOCTL]
   "Dll"="LSC_IOCTL.dll"
   "Prefix"="LSC"
   "Order"=dword:30
   "Index"=dword:0
       "FriendlyName"="laser scan IO_Control Driver"
```

- BIB에 추가해야 OS에 DLL파일이 추가된다.
- Platform.bib에 다음과 같이 추가한다.

```
LSC_IOCTL.dll  $(_FLATRELEASEDIR)₩LSC_IOCTL.dll NK SH
```

3) 검증 프로그램

가) GPIO

- DRIVER OPEN

```
HANDLE hDrv = CreateFile( TEXT("LSC0:"), GENERIC_READ|GENERIC_WRITE, 0,
NULL, OPEN_EXISTING, 0, NULL);
```

- IO_CONTROL

```
typedef enum
{
	IOCTL_GPIO_SETDAT = 0x100,	IOCTL_GPIO_GETDAT,
	IOCTL_BUZZER_ON,	IOCTL_BUZZER_OFF,
	IOCTL_BACKLIGHT_SETDIM,	IOCTL_WIFI_RESET,
	IOCTL_DPRAM_READ,	IOCTL_DPRAM_WRITE,
} LSC_IOCTL_ENUM;

typedef enum
{
	GPIOENUM_0,	GPIOENUM_1,
	GPIOENUM_2,	GPIOENUM_3,
	GPIOENUM_4,	GPIOENUM_5,
	GPIOENUM_6,	GPIOENUM_7,
	GPIOENUM_8,	GPIOENUM_9,
	GPIOENUM_PWR_SMCH,	GPIOENUM_PWR_SMCV,
	GPIOENUM_PWR_GBL,	GPIOENUM_PWR_DAM,
	GPIOENUM_LED0,	GPIOENUM_LED1,	GPIOENUM_MAX,
} GPIOENUM;
```

```
IOCTL_GPIO_STR gpiostr;
gpiostr.gpio = [GPIOENUM]
gpiostr.val = [0 OR 1]
DeviceIoControl(hDrv, IOCTL_GPIO_SETDAT, &gpiostr, 0, NULL, 0, NULL, NULL);
```

- DRIVER CLOSE

```
CloseHandle(hDrv);
```

나) BACKLIGHT

- DRIVER OPEN

```
HANDLE hDrv = CreateFile( TEXT("LSC0:"), GENERIC_READ|GENERIC_WRITE, 0, NULL,
OPEN_EXISTING, 0, NULL);
```

- IO_CONTROL

```
typedef enum
{
	IOCTL_GPIO_SETDAT = 0x100,
	IOCTL_GPIO_GETDAT,
	IOCTL_BUZZER_ON,
	IOCTL_BUZZER_OFF,
	IOCTL_BACKLIGHT_SETDIM,
	IOCTL_WIFI_RESET,
	IOCTL_DPRAM_READ,
	IOCTL_DPRAM_WRITE,
} LSC_IOCTL_ENUM;

UINT32 val = [0(MIN)~100(MAX)]
DeviceIoControl(hDrv, IOCTL_BACKLIGHT_SETDIM, &val, 0, NULL, 0, NULL, NULL);
```

- DRIVER CLOSE

```
CloseHandle(hDrv);
```

다) BUZZER

- DRIVER OPEN

```
HANDLE hDrv = CreateFile( TEXT("LSC0:"), GENERIC_READ|GENERIC_WRITE, 0, NULL,
OPEN_EXISTING, 0, NULL);
```

- IO_CONTROL

```
typedef enum
{
	IOCTL_GPIO_SETDAT = 0x100,
	IOCTL_GPIO_GETDAT,
	IOCTL_BUZZER_ON,
	IOCTL_BUZZER_OFF,
	IOCTL_BACKLIGHT_SETDIM,
	IOCTL_WIFI_RESET,
	IOCTL_DPRAM_READ,
	IOCTL_DPRAM_WRITE,
} LSC_IOCTL_ENUM;

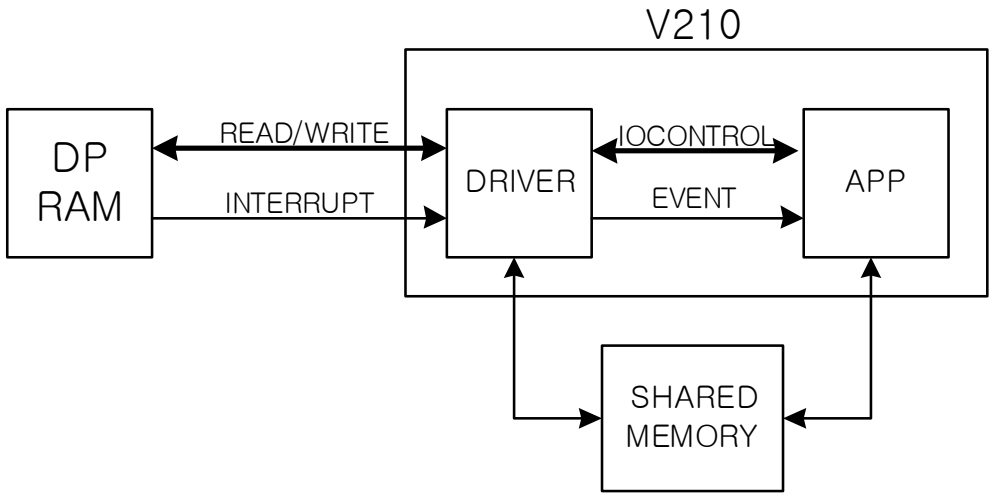
DeviceIoControl(hDrv, IOCTL_BUZZER_ON, NULL, 0, NULL, 0, NULL, NULL);
DeviceIoControl(hDrv, IOCTL_BUZZER_OFF, NULL, 0, NULL, 0, NULL, NULL);
```

- DRIVER CLOSE

```
CloseHandle(hDrv);
```

라) DUAL PORT RAM

- 반대편 디바이스에서 마지막 번지의 WRITE가 끝나면 인터럽트가 발생
- 드라이버에서는 인터럽트 발생시에 DPRAM을 읽어 공유메모리에 저장하고, 이벤트 발생
- 어플리케이션은 이벤트 발생 시에 공유메모리를 참조하여 작업을 한다.



- DRIVER OPEN

```
HANDLE hDrv = CreateFile( TEXT("LSC0:"), GENERIC_READ|GENERIC_WRITE, 0, NULL,
OPEN_EXISTING, 0, NULL);
```

- SHARED MEMORY OPEN

```
HANDLE hMapping = CreateFileMapping(INVALID_HANDLE_VALUE, NULL,
PAGE_READWRITE, 0, DPRAM_SIZE8, _T("LSC_DPRAM_CACHEBUF"));
volatile UINT16* DPRAM_CacheBuf = (UINT16*)MapViewOfFile(hMapping,
FILE_MAP_ALL_ACCESS, 0, 0, 0);
```

- IO_CONTROL

```
- READ
typedef enum
{
      IOCTL_GPIO_SETDAT = 0x100,
      IOCTL_GPIO_GETDAT,
      IOCTL_BUZZER_ON,
      IOCTL_BUZZER_OFF,
      IOCTL_BACKLIGHT_SETDIM,
      IOCTL_WIFI_RESET,
      IOCTL_DPRAM_READ,
      IOCTL_DPRAM_WRITE,
} LSC_IOCTL_ENUM;
DeviceIoControl(hDrv, IOCTL_DPRAM_READ, NULL, 0, NULL, 0, NULL, NULL);

- WRITE
typedef enum
{
      IOCTL_GPIO_SETDAT = 0x100,
      IOCTL_GPIO_GETDAT,
      IOCTL_BUZZER_ON,
      IOCTL_BUZZER_OFF,
      IOCTL_BACKLIGHT_SETDIM,
      IOCTL_WIFI_RESET,
      IOCTL_DPRAM_READ,
      IOCTL_DPRAM_WRITE,
} LSC_IOCTL_ENUM;

// WRITE TO SHARED MEMORY
for(i=0; i<DPRAM_SIZE16; i++)
     DPRAM_CacheBuf[i] = i;
DeviceIoControl(hDrv, IOCTL_DPRAM_WRITE, NULL, 0, NULL, 0, NULL, NULL);

- INTERRUPT RECEIVE
#define DPRAM_EVENT_NAME L"DPRAM_EVENT"

CloseHandle(CreateThread(NULL, 0, (LPTHREAD_START_ROUTINE) DPRamIntrThread,
      NULL, 0, NULL));

VOID DPRamIntrThread()
{
```

```
        hDPRAMIntrEvent = CreateEvent(0, FALSE, FALSE, DPRAM_EVENT_NAME);
        ResetEvent(hDPRAMIntrEvent);
        while(bThreadRun)
        {
  WaitForSingleObject(hDPRAMIntrEvent, INFINITE);
          if(bThreadRun == FALSE)       break;
        // 인터럽트 발생 후 드라이버에서 READ하므로, 여기서 READ 명령을
           줄 필요 없음
        }
        CloseHandle(hDPRAMIntrEvent);
  }
```

- DRIVER CLOSE

```
CloseHandle(hDrv);
```

- SHARED MEMORY CLOSE

```
bThreadRun = FALSE;
SetEvent(hDPRAMIntrEvent);  // DPRamIntrThread() 종료를 위해
UnmapViewOfFile((LPCVOID)DPRAM_CacheBuf);
CloseHandle(hMapping);
```

바. 기능 세분화

1) PC 연동모드(PC Mode)

가) Field SW가 포함된 PC와 연결되어 장비 운용

나) Filed SW의 제어 명령을 각 모듈로 전달

다) 각 모듈로 부터 받은 작업 데이터들을 Filed SW로 전달

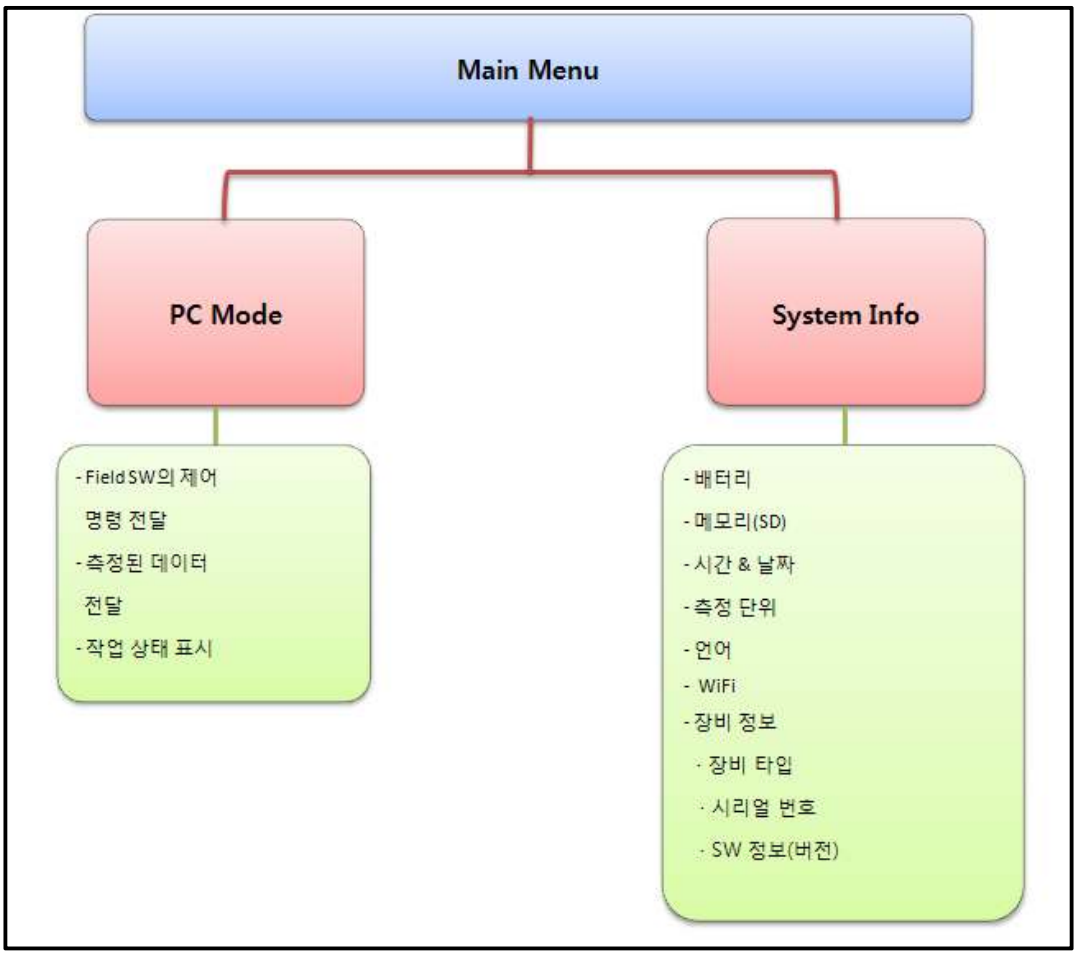
라) 작업 진행 상태 표시

2) 시스템 정보(System Info.)

바) 장비타입, 시리얼번호, 배터리, 메모리 정보등 장비의 각종 정보 제공

사) 측정단위, 언어 등 장비 정보 설정메뉴구성 및 구현

3) 메뉴 구성



4) 메인 화면 구현



가) PC연동모드: Field SW가 포함된 PC와 연결되어 장비를 운용하는 것으로, PC의 각 명령들을 각 모듈에 전달하고 각 작업 데이터들을 PC에 전송

나) 시스템 정보: 장비의 각종 정보를 제공

사. 소프트웨어 기능

1) 화면 구성



2) PC 연동 모드

가) 현재 작업 진행 상태 표시



3) 시스템 정보

가) 배터리, 메모리, 시간, 날짜, 장비타입, 시리얼번호, SW 정보 등 장비의 각종 정보 제공



가) 측정단위, 언어, WIFI 설정 유•무 설정 가능



아. Tilt Sensor

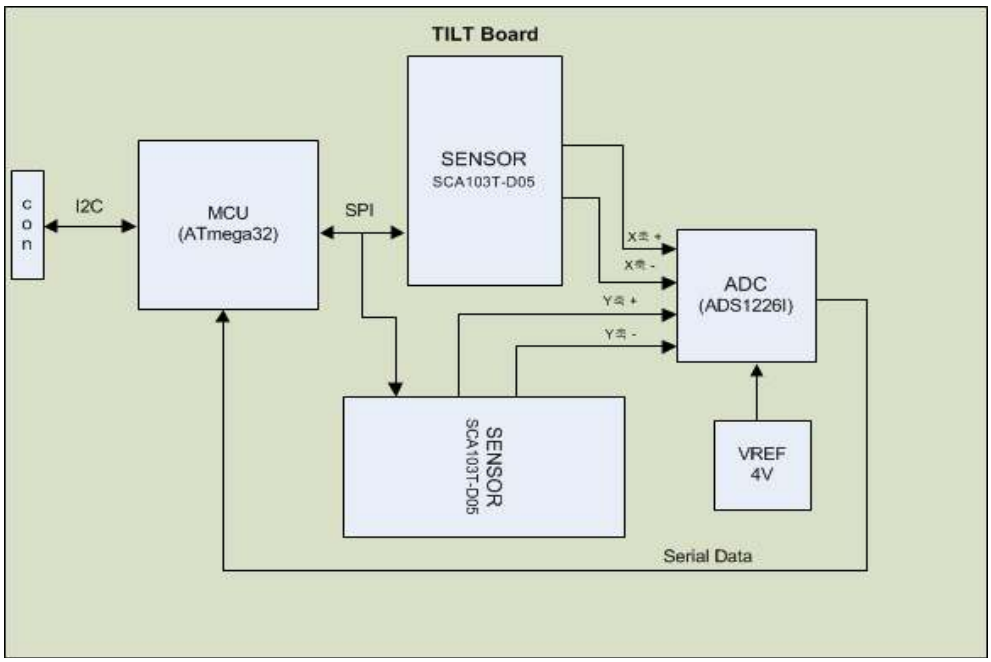


그림 115 틸트모듈 블록도

SCA103T 기울기 센서와 MCU콘트롤러가 기존에 두 개의 보드로 나뉘어 설계되어있던 것을 하나의 보드에 합쳐서 설계변경을 하였다.
두 개의 기울기 센서를 직교하는 방향으로 배치하여 X, Y축을 각각 할당하고 출력되는 아날로그 기울기 신호를 AD컨버터에 입력하여 출력된 디지털 신호를 MCU에서 취합하여 DAM보드로 전송하는 구조로 설계되어 있다.
선정한 기울기 센서 SCA103T(Murata社)는 ± 30° 를 측정할 수 있으며 고충격 내성(20000g)을 지니고 있으며 0.001° @10hz 의 각도 분해능을 가지고 차동출력(Differential Output)을 이용하여 Common Mode 에러 및 잡음을 줄일 수 있도록 제작된 센서이다.

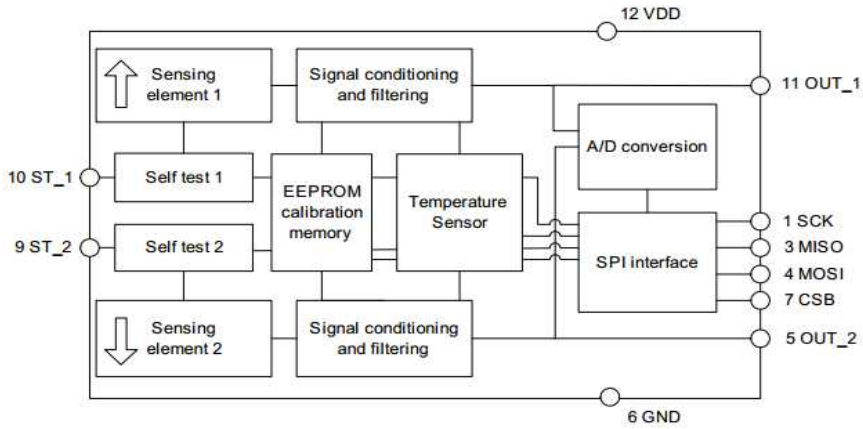


그림 116 틸트센서 내부도

SPI(Seial Peripheral Interface)를 통해서 Host 인터페이스 및 기울기 데이터를 제공하는데 본 설계에서는 디지털채널을 이용해서는 컨버젼 명령만을 전송하고 데이터는 아날로그 출력을 이용하도록 하여 고분해능 데이터를 취할 수 있게 하였다. 외부에서 주변 온도변화에 따른 기울기값 보상을 할수있도록 내부에 온도센서를 내장하고 있어서 온도값을 읽을 수 있게 되어 있다.

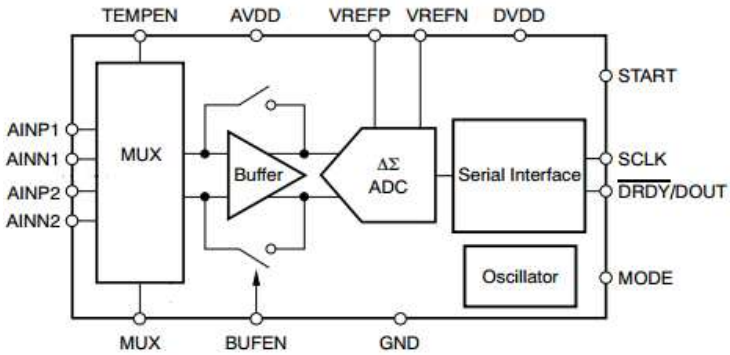


그림 117 ADS1226 AD컨버터 내부도

AD 컨버터 또한 2채널 차동입력을 가진 ADS1226(Texas Instrument社)를 이용하여 두개의 차동 기울기입력을 Multiplexing하여 24bit의 분해능으로 초당최대 100개의 샘플을 디지털 변환하도록 하였고 2-wire 시리얼 인터페이스를 통해 데이터출력을 제공하도록 되어 있다.

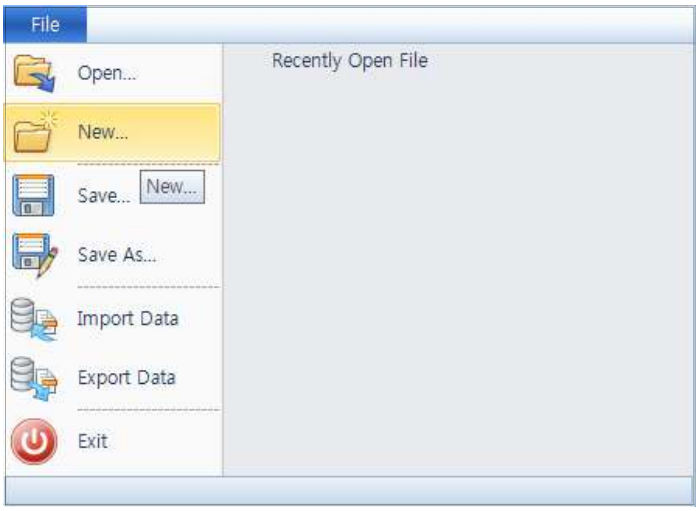
자. 시스템 소프트웨어 개발

(1) 프로젝트 관리

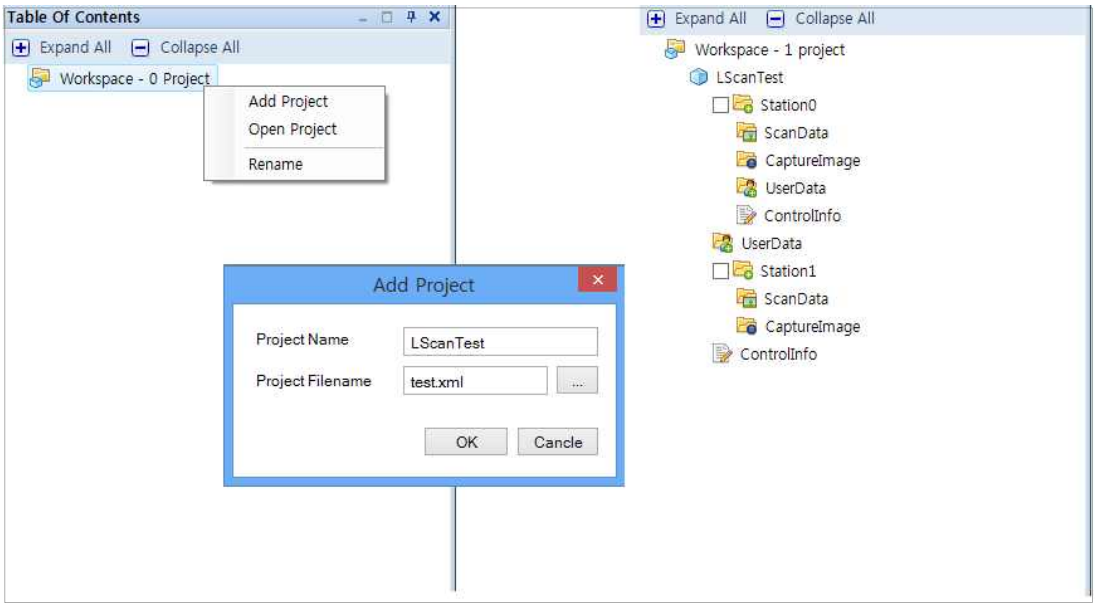
사용자가 레이저 스캐너의 작업을 수행하기에 앞서 작업 데이터가 저장될 프로젝트를 생성하고 관리할 수 있다. 사용자는 [File] 메뉴의 [New],[Open] 기능을 통하여 Workspace를 생성하거나 읽어올 수 있으며, 프로젝트 관리 창에서 팝업 메뉴를 통하여 하위 작업을 수행할 수 있다. 사용자는 작업을 모두 수행한 후 [Save], [Save as] 기능을 통하여 작업한 데이터를 저장할 수 있다. 프로젝트 관리 창에서는 트리뷰 형식으로 각각의 구성요소를 관리하며 구성요소 목록은 다음과 같다.

명칭	상위 노드	하위 노드	설명
Workspace	없음	Project	최상위 노드로써 전체 프로젝트를 관리한다. 하위 노드로 여러개의 프로젝트를 가질 수 있다.
Project	Workspace	Project Station UserData ControlInfo	한 개의 스캔 작업을 총괄하는 노드
Station	Project	ScanData CaptureImage UserData ControlInfo	장비로부터 획득된 하나의 획득 데이터
ScanData	Station		레이저 스캐너로부터 취득된 점·군 데이터
CaptureImage	Station		레이저 스캐너로부터 취득된 이미지 데이터
UserData	Project Station		편집된 데이터 및 정합 데이터를 관리
ControlInfo	Project Station		정합을 수행할 때 사용되는 제한조건인 타겟의 위치와 같은 정보들을 정리 및 보관

작업을 시작하려면 리븐 메뉴의 [File]>[New] 버튼을 클릭하여 기본 Workspace가 생성된다.

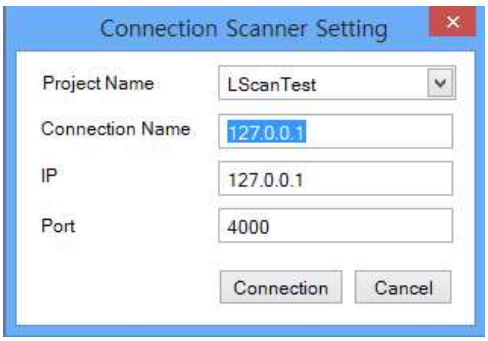


Workspace를 생성하였다면 사용자는 팝업 메뉴를 이용하여 Project를 생성할 수 있다. Project를 생성하기 위해서는 Project의 이름과 저장경로를 설정하여야 하며 Station, UserData, ControlInfo 등 작업 영역을 생성 및 관리할 수 있다.



(2) 레이저 스캐너 연결 및 데이터 스캐닝

스캐닝을 하기 위해서 레이저 스캐너와 LScanField S/W간의 통신 연결 및 해제 그리고 데이터를 스캔하기 위한 기능이다. [Scan]>[Connect] 버튼을 클릭하여 레이저 스캐너 장비와 통신을 연결할 수 있다.



IP, Port를 입력하면 클라이언트 소켓을 생성하여 레이저 스캐너와 통신을 연결하며 통신시에는 MPU 모듈이 호스트가 되며, LScanField S/W는 클라이언트가 되어 통신을 한다. 통신을 해제하기 위해서는 [Scan]>[Disconnect] 버튼을 클릭하여 접속을 해제한다. 접속이 완료되면 [Scan]>[Start],[Stop],[Pause] 기능을 통하여 점·군 데이터를 추출한다. 레이저 스캐너는 추출한 데이터를 소켓을 통하여 LScanFiled S/W에 전송하며, LScanField S/W는 전송받은 데이터를 파일로 저장하고 PointCloud View에 가시화 한다.

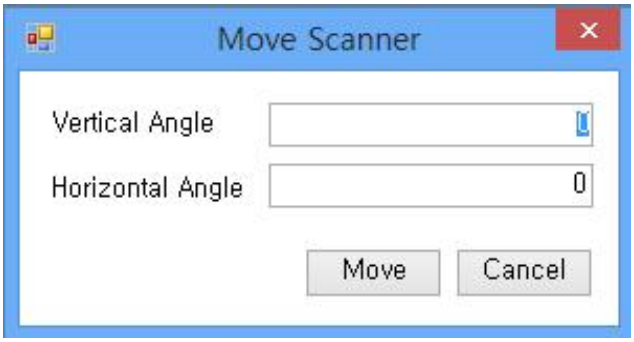
(3) 레이저 스캐너 명령 처리

레이저 스캐너와 통신상태에 있으면 명령 기능들이 활성화 되고 이동, 측정 등의 명령기능과 작업 영역, 온도·기압 입력 등의 설정기능을 사용할 수 있다.

(가) 이동

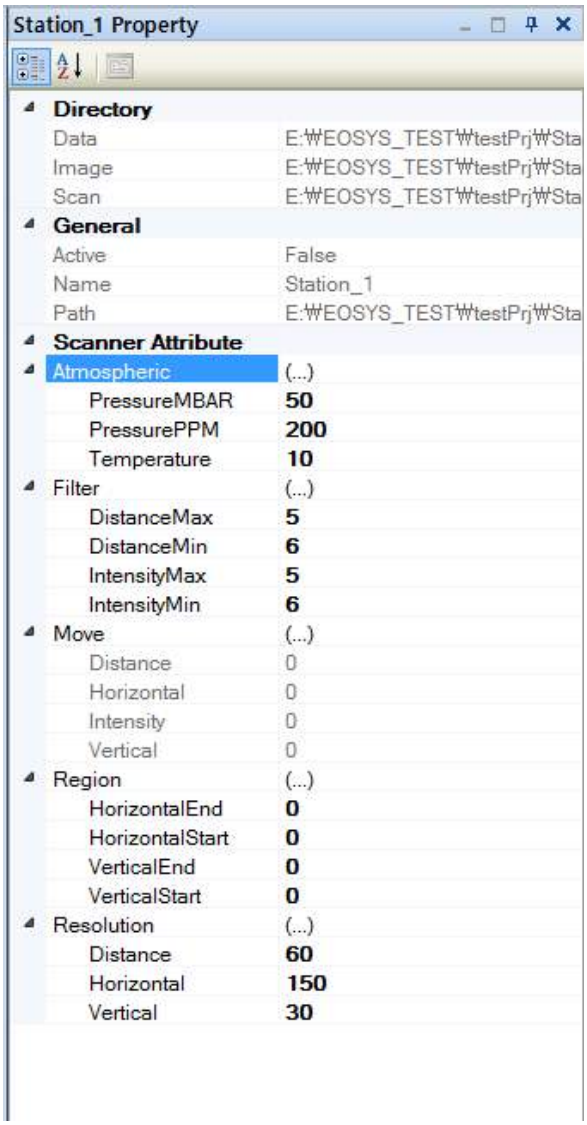
레이저 스캐너의 레이저 기준점의 바라보는 방향을 사용자가 원하는 방향으로 이동시키기 위한 명령으로 [Command]>[Move] 버튼을 클릭하여 사용할

수 있다. 수직・수평각도 값을 입력하면 LScanFiled S/W는 소켓 통신을 통하여 레이저 스캐너에 이동 명령 을 전달하며 레이저 스캐너는 이동 명령을 분석하여 레이저 기준점을 입력 지점으로 이 동시킨다.



(4) 스캐너 속성 설정

레이저 스캐너의 실시간 데이터를 후 처리 작업 할 온도・기압・작업영역・필터 정보를 설정하여 레이저 스캐너에서 전송되는 데이터를 처리하는 기능으로 [Scan]>[Property] 버튼을 클릭하여 사용할 수 있다.



(5) 기울기 표시

레이저 스캐너의 기울기 상태를 표시하는 기능으로 [Command]> [BubbleBalance] 버튼 을 클릭하여 사용할 수 있다. 기울기 상태표시에서 동심원의 반지름은 20초이며, 가운데 의 녹색원은 현재의 기울기 지점에 표시된다. X, Y 기울기가 20초 이내 이면 녹색 원으로 표시되며, 20초 이내 범위를 벗어나면 붉은색 원으로 표시된다.

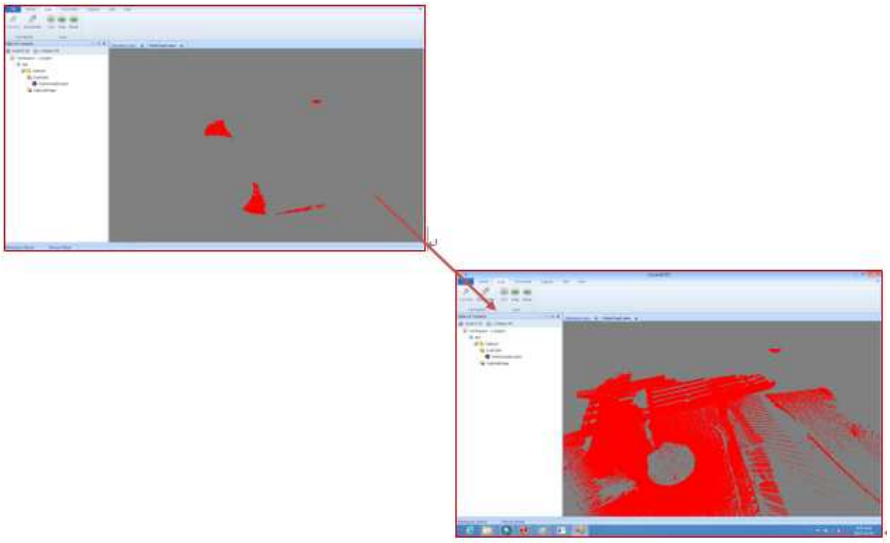


가) 실시간 점·군 데이터 가시화

레이저 스캐너로 추출한 점·군 데이터를 3차원으로 가시화하고, 기본 화면제어 기능, 3차원 데이터 후처리 기능을 지원하는 PointCloud View 기능이다. PointCloud View에서 제공하는 기본적인 보기 설정은 다음과 같다.

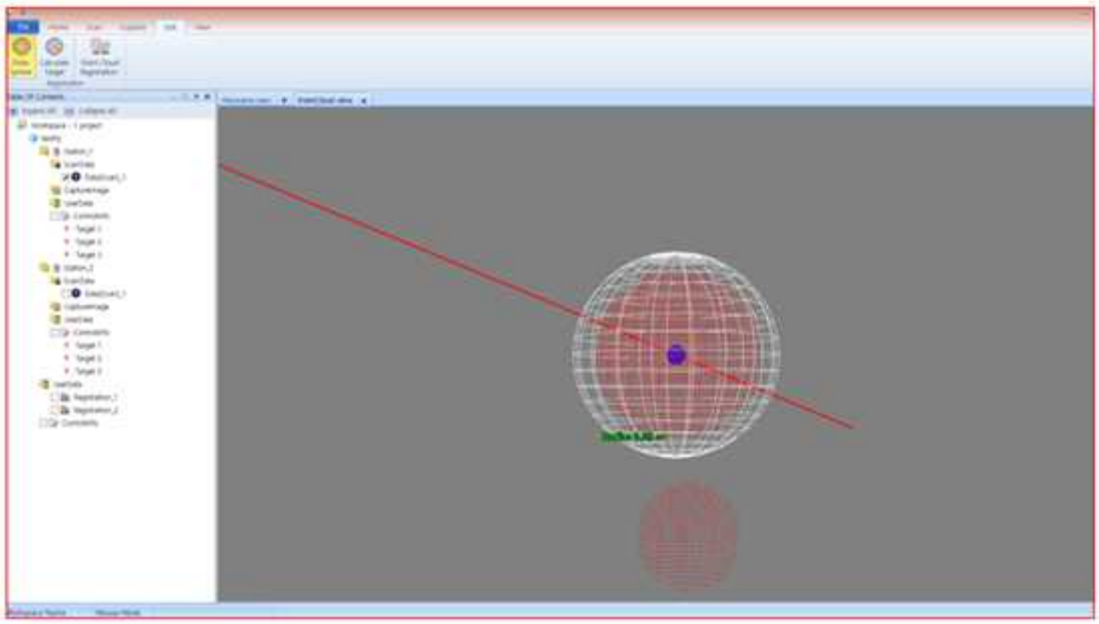
버튼	내용
Zoom to Fit	데이터의 전체가 보이도록 랜더링 중심점을 화면 중앙으로 이동한다.
Front	화면을 3D 모델의 정면 시점으로 조정한다.
Rear	화면을 3D 모델의 뒷면 시점으로 조정한다.
Left	화면을 3D 모델의 왼쪽 시점으로 조정한다.
Right	화면을 3D 모델의 오른쪽 시점으로 조정한다.
Top	화면을 3D 모델의 윗면 시점으로 조정한다.
Bottom	화면을 3D 모델의 아랫면 시점으로 조정한다.
ISOMetric	화면을 3D 모델의 X, Y축 30도 윗 선상 시점으로 조정한다.

레이저 스캐너와의 통신 상태에서 점·군 데이터를 전송받으면 LScanField S/W는 전송받은 데이터를 저장한 후 이를 가시화하기 위하여 PointCloud View에 추출된 데이터를 전달한다. PointCloud View에서는 현재 화면의 시점과 데이터를 기준으로 사용자에게 보이는 영역에 해당하는 데이터를 실시간으로 가시화 한다.

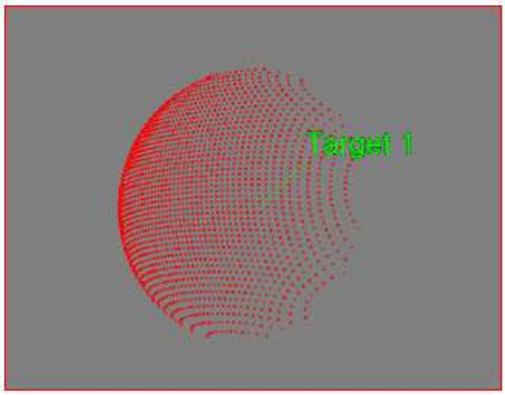


PointCloud View에서는 가시화된 점・군 데이터 간의 거리를 측정하는 기능을 제공하는데 [Home]>[Picking] 버튼을 통하여 객체를 선택하고 [Home]>[Point Distance] 버튼을 클릭하여 거리를 측정하거나 [Home]>[Point Distance] 기능을 사용하여 화면상의 두 지점을 클릭하여 거리를 측정할 수 있다.

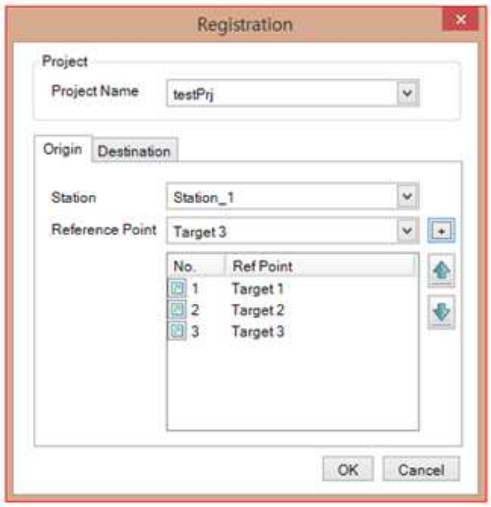
Target을 구하기 위해 [Edit]>[Draw Sphere] 기능으로 Target을 구할 객체로 화면을 이동한 후 마우스 왼쪽을 클릭하여 최초 중심점을 설정하고 마우스를 클릭한 후 드래그를 통하여 해당 Target을 포함하는 Sphere를 그린다.



다음으로 [Edit]>[Calculate Target] 기능으로 Draw Sphere에서 그려진 객체를 기준으로 내부에 포함된 Target에서 Reference Point를 추출한 후 등록한다.



[Edit]>[Point Cloud Registration] 기능은 3개 이상의 Reference Point를 가지고 있는 Station이나 기존에 정합한 Registration 을 선택하여 Reference Point간의Mapping 순서를 맞춘 후 정합을 수행한다.



나) 외부 데이터 입출력

사용자가 레이저 스캐너로 취득한 점·군 데이터와 모델링한 데이터를 저장하거나, 3차원 데이터를 출력하는 기능으로 [File]>[Import Data], [Export Data] 버튼을 클릭하여 사용할 수 있다. 지원하는 포맷은 다음과 같다.

입력 포맷(Import Format)	*.pts, *.fcs, *.stl, *.asc, *.las
출력 포맷(Export Format)	*.asc, *.pts

제3절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등

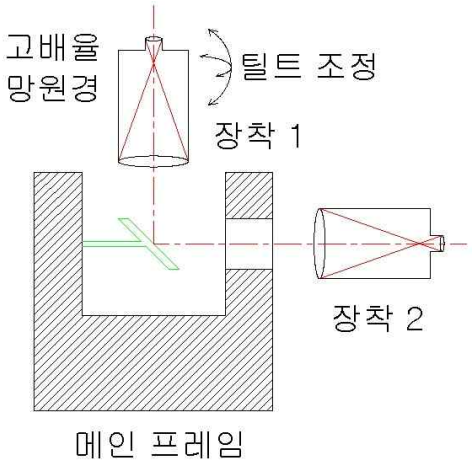
1. 광기구 축 조정 방법

가. 축 오차 측정

1) 오차 측정을 위한 장비 및 치구

가) 고배율 망원경

레이저 스캐너에는 주간광학계가 없기 때문에 명확한 기준이 존재하지 않는다. 그렇기 때문에 별도의 기준을 만들고, 그 기준에 따라 장비의 정밀도 및 정확도를 확인 할 수밖에 없다. 다음은 별도의 기준을 위한 치구에 대한 개념 설계 내용이다.

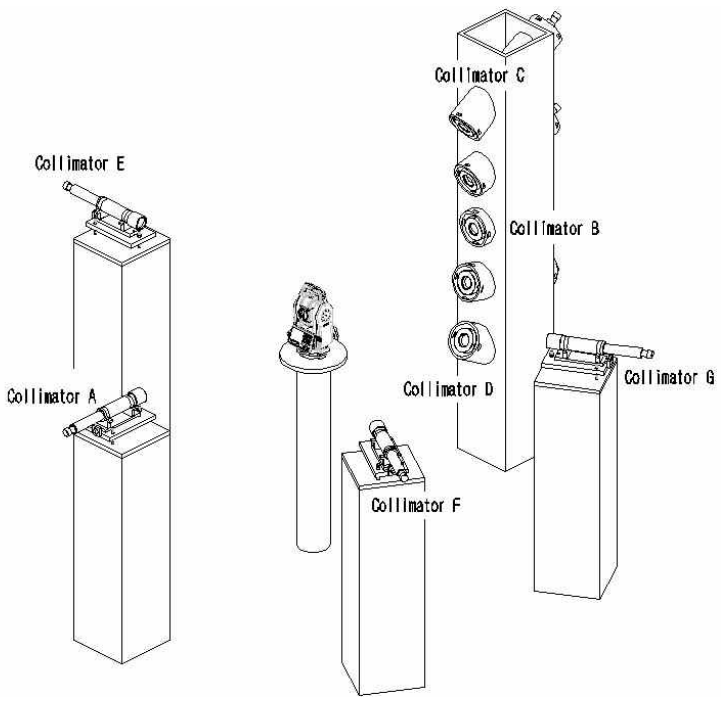


레이저 스캐너의 광축 정렬 기준은 광파기 광축 정렬용 장비인 콜리메타 세트를 활용하도록 한다. 이때 고배율 망원경은 메인 프레임에 장착하여 콜리메타 세트의 광축 오차를 확인하는데 사용하며, 장착 시 마다 콜리메타를 이용하여 정렬하도록 한다.

왼쪽 그림과 같이

고배율 망원경은 두 방향으로 장착될 수 있어야 하며, 장착 시 광축 정렬을 위해 틸트 조정이 필요하다. 고배율 망원경은 반드시 메인 프레임에 장착하고, 충격이나 진동에 안정적일 수 있도록 고정하여야 한다.

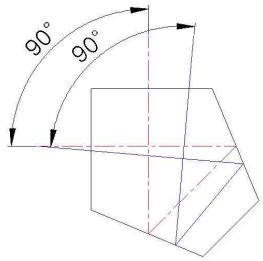
고배율 망원경으로 광파기의 주간 광학계가 활용 가능하다.



< 광축 정렬용 콜리메타 세트 >

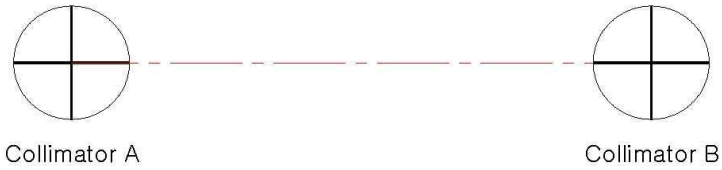
나) 펜타프리즘(penta-prism)

LSCAN의 광축 정렬의 기준이 되는 콜리메타 세트와 고배율 망원경을 셋팅하기 위한 치구로써 펜타프리즘을 사용한다. 펜타프리즘은 프리즘 입사광의 각도와 관계없이 출사광을 수직으로 굴절시키는 특징이 있다.

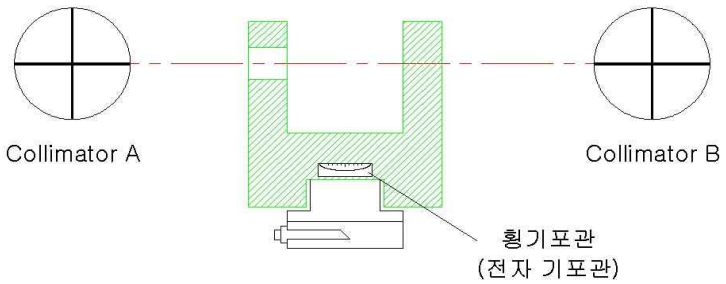


- 펜타프리즘을 이용한 고배율 망원경 셋팅 절차 : 수평각 정밀도 검사 시(장착위치 1)

(1) 콜리메타 세트의 Collimator A와 Collimator B를 일치시킨다.



(2) Collimator A와 Collimator B 사이에 장비를 거치시키고, 장비에 장착된 횡기포관이나 전자 기포관을 이용하여 기울기 조정을 한다. 이때 기울기 조정은 10″ 이내로 한다.



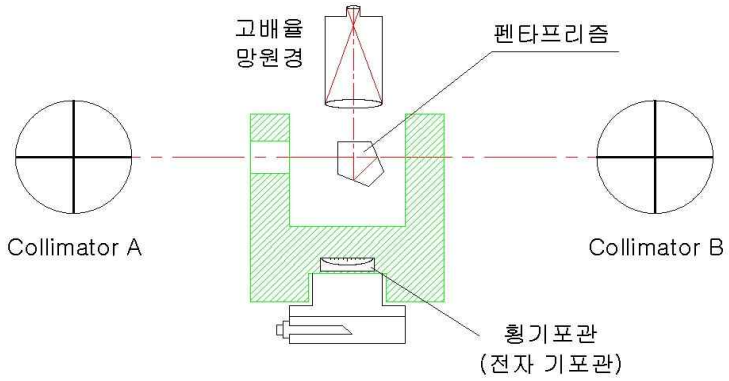
(3) 장비 중앙에 프리즘 고정 치구를 이용하여 펜타프리즘을 고정한다. 이때 펜타프리즘의 위치 및 틸트 오차가 발생한다.

(가) 펜타프리즘의 위치 오차 : 콜리메타 특성상 편심 오차는 측정에 영향을 주지 않는다.

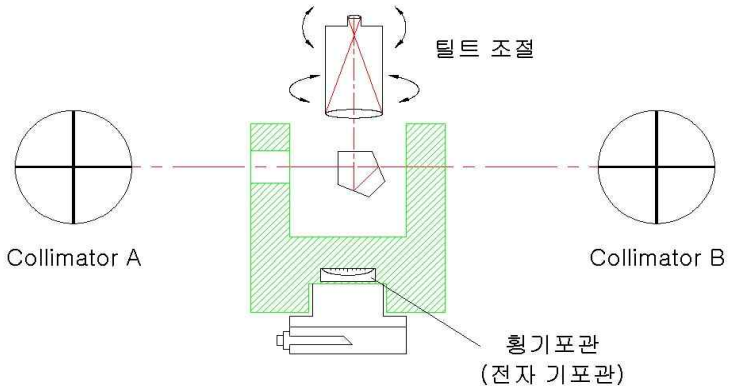
(나) 펜타프리즘의 상하 틸트 오차 : 펜타프리즘의 특성상 상하오차는 모두 직각으로 굴절시키기 때문에 측정에 영향을 주지 않는다

(다) 펜타프리즘의 좌우 틸트 오차 : 콜리메타의 십자 망선 중 가로선을 기준으로 측정하기 때문에 좌우 틸트 오차는 측정에 영향을 주지 않는다.

가능한 펜타프리즘 고정 치구의 공차를 이용하여 조립 할 수 있도록 한다.

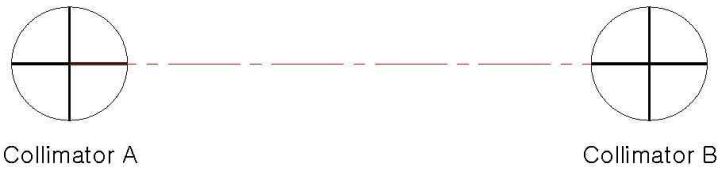


(라) Collimator A의 십자 망선 중 가로 선과 고배율 망원경의 십자 망선 중 가로 선을 일치 시킨다.

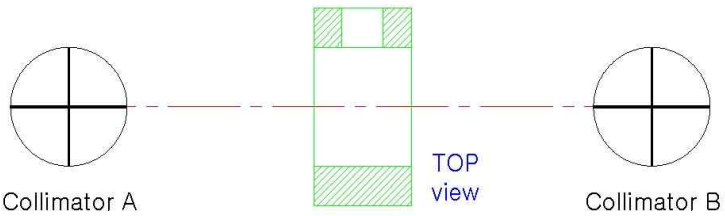


- 펜타프리즘을 이용한 고배율 망원경 셋팅 절차 : 축 오차 측정 시(장착 위치 2)

(마) 콜리메타 세트의 Collimator A와 Collimator B를 일치시킨다.



(바) Collimator A와 Collimator B 사이에 장비를 거치시키고, 장비에 장착된 횡기포관이나 전자 기포관을 이용하여 기울기 조정을 한다. 이때 기울기 조정은 10″ 이내로 한다.

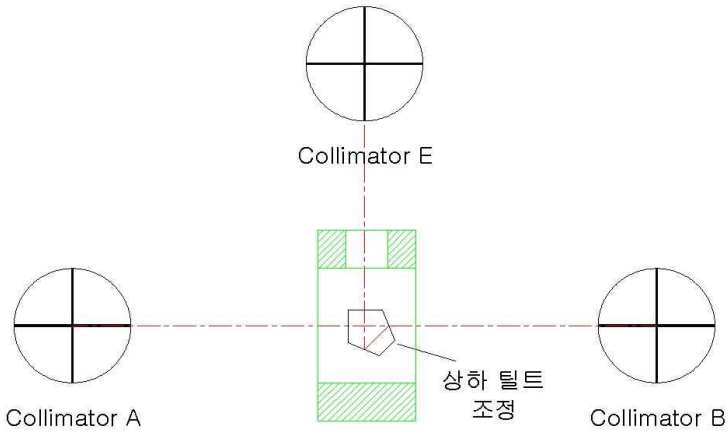


(사) 장비 중앙에 프리즘 고정 치구를 이용하여 펜타프리즘을 고정한다. 이때 펜타프리즘의 위치 및 틸트 오차가 발생한다.

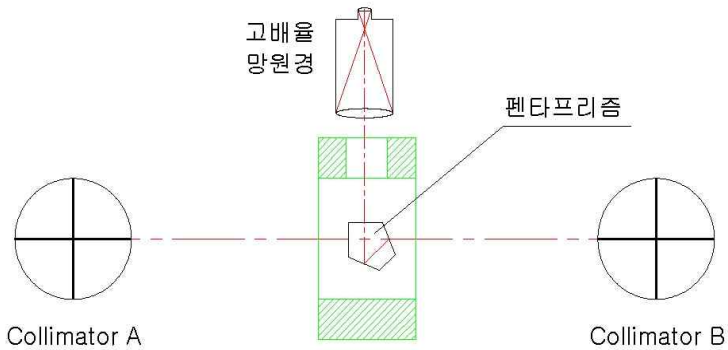
① 펜타프리즘의 위치 오차 : 콜리메타 특성상 편심 오차는 측정에 영향을 주지 않는다.

② 펜타프리즘의 좌우 틸트 오차 : 펜타프리즘의 특성상 좌우오차는 모두 직각으로 굴절시키기 때문에 측정에 영향을 주지 않는다.

③ 펜타프리즘의 상하 틸트 오차 : 축 오차 중 상하 오차 측정 시 측정 오차를 발생시킬 수 있으므로 Collimator E와 Collimator A의 십자 망선 중 가로선이 일치하도록 펜타프리즘을 조정하도록 한다.

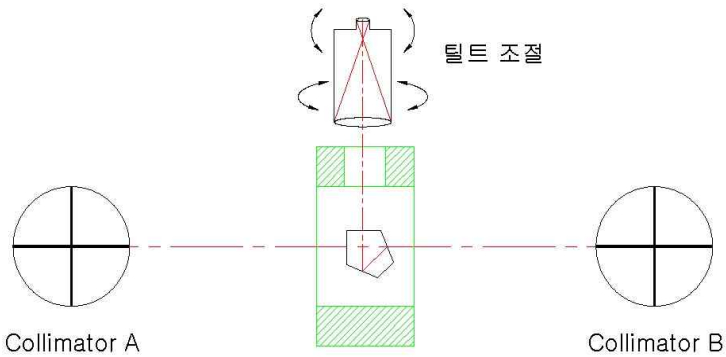


위의 그림과 같이 Collimator E를 통해 Collimator A의 십자 망선 중 가로선이 일치하도록 펜타프리즘의 상하 틸트 조정을 한다.



가능한 펜타프리즘 고정 치구의 공차를 이용하여 조립 할 수 있도록 한다.

(아) Collimator A의 십자 망선과 고배율 망원경의 십자 망선을 일치 시킨다.



2) 오차 측정 방법

다음은 위에서 설계 및 제작된 고배율 망원경과 장착대를 활용하여 광축 오차를 측정한다.

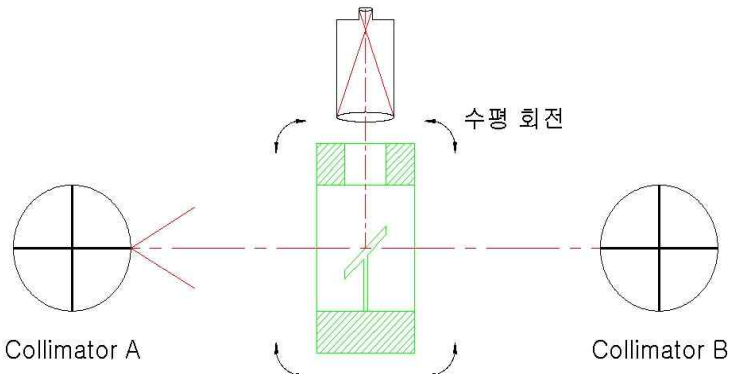
가) 수평각 오차 측정 절차

(1) Collimator A와 Collimator B를 일치시킨다.

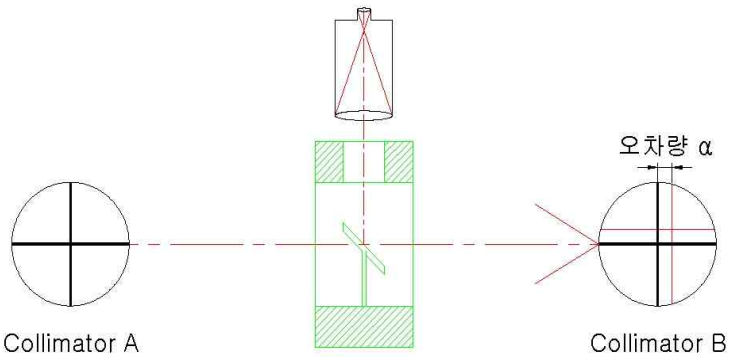
(2) 고배율 망원경을 TLS 메인 하우징의 장착 위치 2에 장착한 후, 고배율 망원경 셋팅 방법에 따라 조정한다.

(3) Collimator A와 Collimator B 사이에 장비를 거치시키고, 장비에 장착된 횡기포관이나 전자 기포관을 이용하여 기울기 조정을 한다. 이때 기울기 조정은 10″ 이내로 한다.

(4) 고배율 망원경을 이용하여 Collimator A의 십자 망선 중 세로 선이 일치하도록 장비의 수평 회전 모터를 회전 시킨다.



(5) 장비 내 수직 회전 모터를 이용하여 Collimator B의 십자 망선 중 세로선과 고배율 망원경의 십자 망선 중 세로 선과의 오차량을 확인한다.



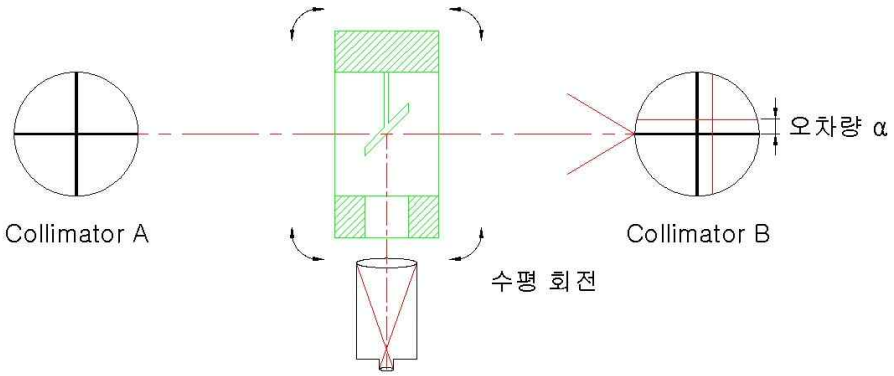
(6) 오차량 α를 기록하고, 반대방향에서도 같은 방법으로 측정하여 $\alpha/2$를 오차량으로 정한다.

나) 수직각 오차 측정 절차

(1) 수직각 오차 측정은 수평각 오차 측정 절차와 동일하게 장비 셋팅하도록 한다.

(2) 수평각 오차 측정과 다리 Collimator A의 십자 망선 중 가로 선과 일치하도록 수직 회전 모터를 이용하여 조정한다.

(3) 수평 회전 모터를 이용하여 Collimator B의 십자 망선 중 가로 선과 고배율 망원경의 가로선과의 오차량을 측정한다.



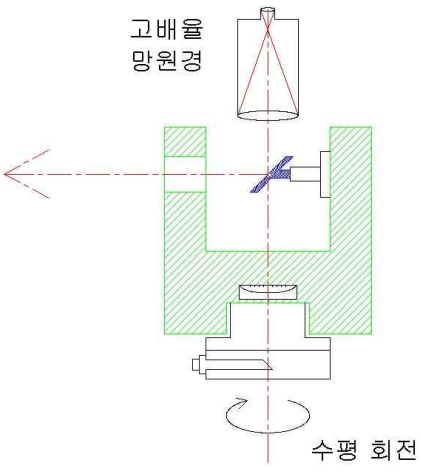
(4) 오차량 α를 기록하고, 반대방향에서도 같은 방법으로 측정하여 $\alpha/2$를 오차량으로 정한다.

나. 수평/ 수직 각도 측정

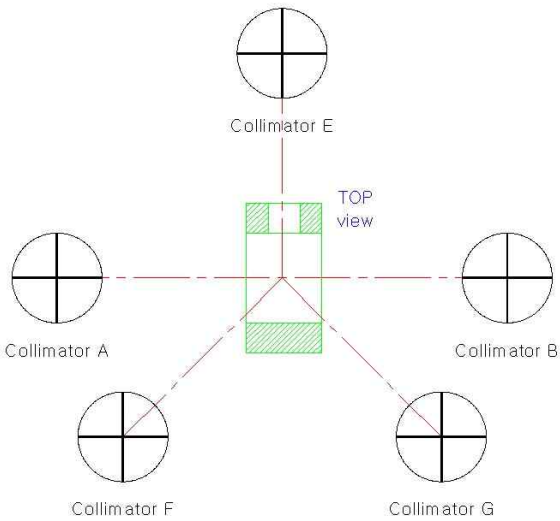
1) 오차 측정을 위한 장비 및 치구

수평/ 수직 각도 정밀도 및 정확도 측정을 위한 장비와 치구는 축 오차 측정 시 사용했던 장비와 치구를 사용한다.

2) 수평각 오차 측정



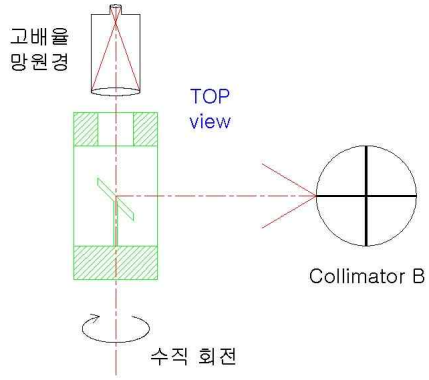
< 고배율 망원경을 이용한 각도 측정 >

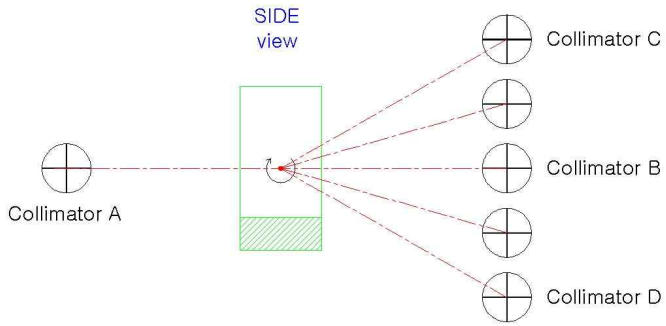


< 콜리메타 세트를 이용한 정밀/ 정확도 검사 >

검사 방법은 위의 그림과 같이 셋팅 후 ISO17123-3 각도 측정 방식에 따라 측정하고, 성능 검사를 진행한다.

3) 수직각 오차 측정





< 고배율 망원경을 이용한 각도 측정 > < 콜리메타 세트를 이용한 정밀/ 정확도 검사 >

검사 방법은 위의 그림과 같이 셋팅 후 ISO17123-3 각도 측정 방식에 따라 측정하고, 성능 검사를 진행한다.

2. 거리 측정 방법 및 결과: 기선장 및 반복도 측정 방법

가. 실외 기선장 이용 방법 : 성균관 대학교 실외 기선장

: 토탈 스테이션(광파거리측정기) 거리 성능 측정 방법 응용

(국토지리정보원 고시 제2011-385호 측량기기 성능검사 규정)



그림 118 성균관대학교(수원캠퍼스)내 실외 기선장 구성

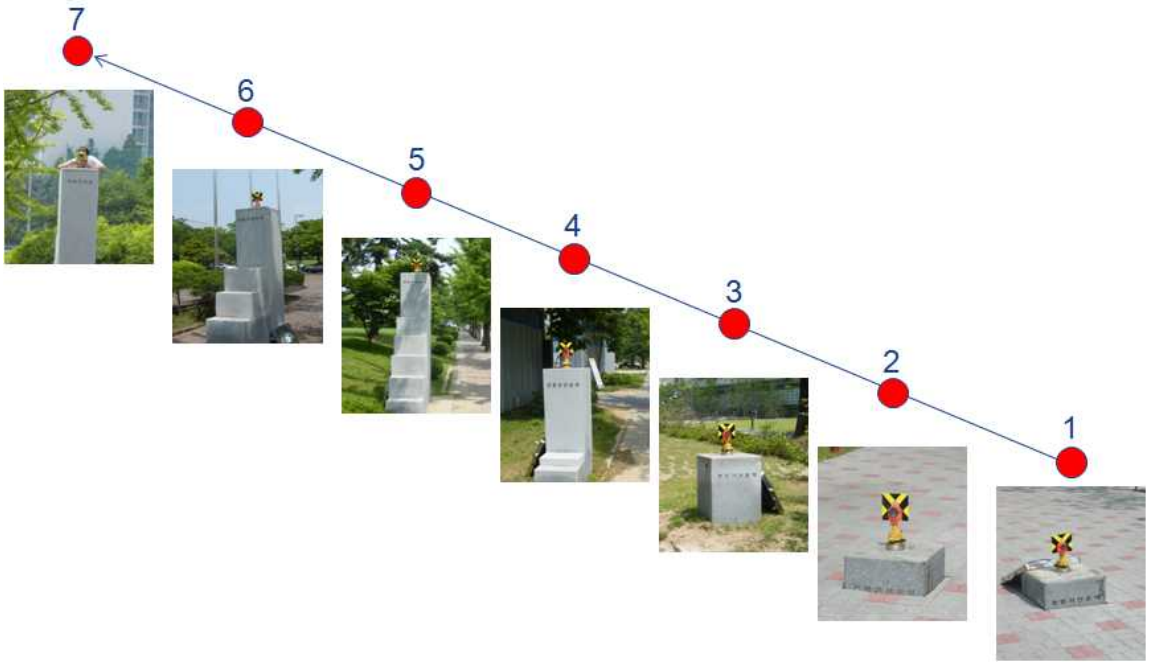
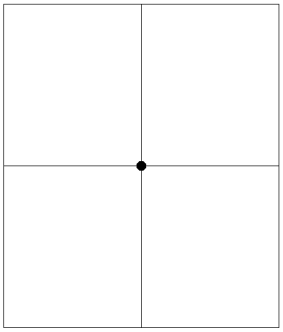


그림 119 실외 기선장 pillar(7개소)

나. 정확도 측정 방법

그림 119의 실외 기선장 1번 pillar 위치에 스캐너를 장착 시킨 후 2~7까지 타깃을 이동시키며 측정한다.

※ 타깃은 아래와 같은 방법을 이용하도록 한다.



White Balance card

① 삼각대를 이용하여 타깃(White Balance card) 설치
② 왼쪽의 그림과 같이 White Balance card의 중심점 표시 후 LEICA TS09 (광파거리 측정기)를 이용 거리 측정
(필요할 경우 중간 지점 및 최외각 모서리 부분 추가 측정)
③ LEICA TS09의 장착대만 분리 후 TLS 설치
(설치 시 기계점 높이 보상 방법 및 조정 고려)
④ TLS를 이용하여 one shot 측정, scan 진행
⑤ one shot 측정의 경우 LEICA TS09 측정 결과와 직접 비교
⑥ scan 데이터의 경우 타깃에 표시된 중심점에 대한 데이터 확인
⑦ 반사율 변경(90%, 18%) 후 동일 실험 진행
(반사율 변경 시 위치 이동에 주의할 것)

scan data 중 유효 데이터를 선정하여 표 54의 기선 값과 정확도를 비교한다.

표 44 기선 값(성균관대학교 측량기술센터 제공)

구분	1→2	1→3	1→4	1→5	1→6	1→7
기선 값	10.286m	79.682m	170.865m	366.221m	465.178m	504.984m

유효 데이터 선정은 타깃의 중앙으로부터 ±20mm 정사각형 내부에 분포한 값들의 평균으로 정한다.

※ 10m(1→2)측정 시 거리 오차 가장 크게 발생한다고 예상할 경우

$$\tan^{-1}\frac{20mm}{10{,}000mm}=0.115^\circ \rightarrow \text{최외각거리측정결과}=\frac{10{,}000mm}{\cos 0.115^\circ}=\text{무시가능}$$

다. 반복도 측정 방법

위와 같은 방법으로 측정을 5~10회 반복하여 반복 오차를 확인한다.

라. 기타 거리 성능 관련 오차 측정 방법

실외 기선장의 laser interferometer와 측정 결과 비교

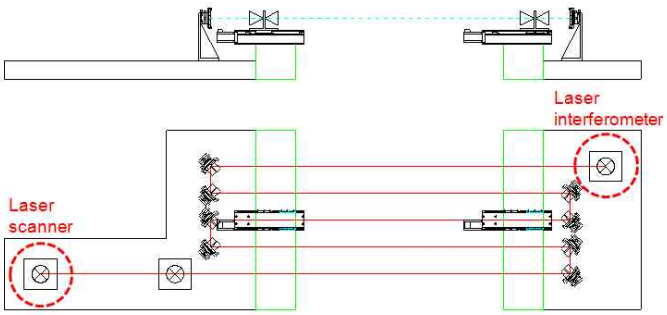


그림 120 실내 기선장 구성(최대 50m 측정 가능)



그림 121 laser interferometer

그림 120과 같은 구성의 실내 기선장(이오시스템 보유)과 nm급 거리 변화량 측정 장비인 그림 121 laser interferometer를 활용하여 아래와 같은 측정 방법으로 분해능 및 기타 오차들을 확인한다.

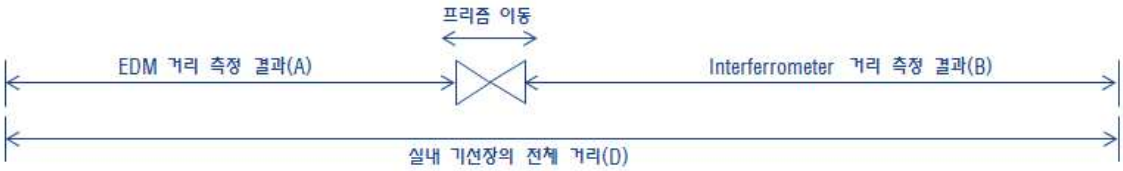


그림 122 실내 기선장을 이용한 거리 측정 방법

그림 122와 같은 방식으로 프리즘을 이동하며 laser scanner와 laser interferometer의 측정 결과에 대해 상호 비교를 통하면 분해능과 기타 오차(scale, cyclic)를 확인할 수 있다. 아래의 그림들은 레이저 거리 측정기의 모듈상태에서의 측정 결과이다.

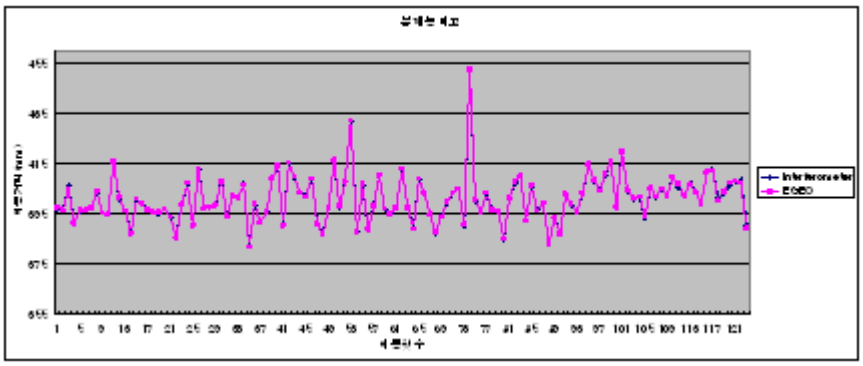


그림 123 LRF 모듈과 laser interferometer 거리 오차 비교

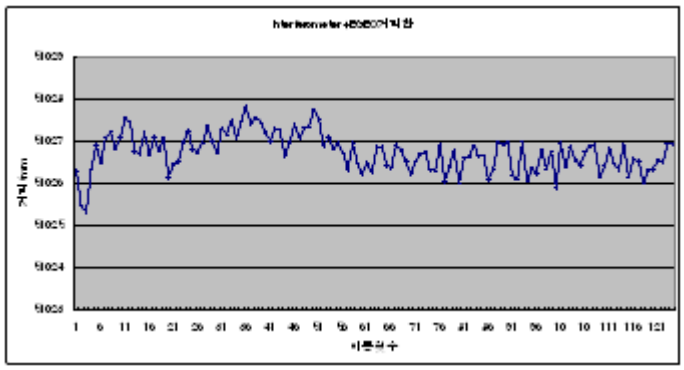


그림 124 LRF 모듈과 laser interferometer 거리합의 변화량 결과

그림 123과 그림 124와 같이 nm급 laser interferometer의 비교 측정 결과를 통해 거리 성능과 관련있는 cyclic/ scale error를 확인할 수 있다. 아래는 거리 정밀도 측정 결과이다.

근접 데이터 그룹	반복 횟수	Eastin g	Northin g	Elevati on	거리 계산 결과	근접 데이터 그룹	반복횟 수	Eastin g	Northin g	Elevati on	거리 계산 결과
A	1회	28.307	2.863	-0.546	28.457	B	1회	28.552	2.121	-0.345	28.633
	2회	28.309	2.885	-0.556	28.461		2회	28.554	2.125	-0.344	28.635
	3회	28.305	2.854	-0.556	28.454		3회	28.553	2.122	-0.342	28.634
	4회	28.308	2.864	-0.554	28.458		4회	28.552	2.125	-0.341	28.633
	5회	28.307	2.875	-0.552	28.458		5회	28.549	2.128	-0.339	28.630
	6회	28.302	2.859	-0.554	28.451		6회	28.551	2.130	-0.348	28.632
	7회	28.304	2.866	-0.554	28.454		7회	28.545	2.125	-0.333	28.626
	8회	28.307	2.854	-0.549	28.456		8회	28.555	2.125	-0.348	28.636
	9회	28.310	2.867	-0.548	28.460		9회	28.551	2.122	-0.350	28.632
	10회	28.308	2.878	-0.550	28.459		10회	28.548	2.125	-0.340	28.629
	11회	28.305	2.858	-0.551	28.454		11회	28.545	2.121	-0.339	28.626
	12회	28.307	2.867	-0.549	28.457		12회	28.552	2.121	-0.340	28.633
	13회	28.306	2.869	-0.552	28.456		13회	28.552	2.125	-0.337	28.633
	14회	28.303	2.871	-0.551	28.454		14회	28.555	2.128	-0.340	28.636
	15회	28.304	2.880	-0.556	28.456		15회	28.553	2.127	-0.341	28.634
	16회	28.304	2.874	-0.557	28.455		16회	28.551	2.125	-0.345	28.632
	17회	28.307	2.865	-0.548	28.457		17회	28.549	2.124	-0.348	28.630
	18회	28.309	2.868	-0.550	28.459		18회	28.548	2.121	-0.345	28.629
	19회	28.308	2.869	-0.559	28.459		19회	28.547	2.123	-0.344	28.628
	20회	28.307	2.864	-0.560	28.457		20회	28.549	2.129	-0.351	28.630
표준 편차					0.002	표준 편차					0.003

3. 위치정밀도 측정 방법

가. 위치정밀도 및 위치정확도

1) 자체 테스트 방안

구분	기준값 (x, y=타깃 크기)	1회		…		○회		위치 정밀도
		scan 결과	비교 값					
A	(0, 0, d_1)	(x_1', y_1', z_1')	(0, 0, z_1')	-	-	-	-	-
B	(0, y, d_2)	(x_2', y_2', z_2')	($x_2'-x_1'$, $y_2'-y_1'$, $z_2'-z_1'$)					-
C	(x, y, d_3)	(x_3', y_3', z_3')	($x_3'-x_1'$, $y_3'-y_1'$, $z_3'-z_1'$)					-
D	(x, 0, d_4)	(x_4', y_4', z_4')	($x_4'-x_1'$, $y_4'-y_1'$, $z_4'-z_1'$)					-
위치 정확도								

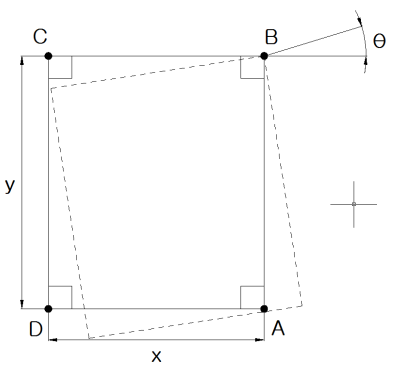
※ 위치정확도 및 위치정확도 계산

위치정확도 =

$$\sqrt{(\text{기준값의}\,x\,\text{값} - \text{비교값의}\,x\,\text{값})^2 + (\text{기준값의}\,y\,\text{값} - \text{비교값의}\,y\,\text{값})^2 + (\text{기준값의}\,z\,\text{값} - \text{비교값의}\,z\,\text{값})^2}$$

- B, C, D점에 대한 기준값과의 오차 값을 위 수식을 이용하여 계산
- B, C, D점에 대한 위치 정확도 중 최대값을 위치정확도로 정의
- 위치정밀도는 10회 이상 측정한 데이터의 표준편차값으로 정의

※ 데이터 수집 방법



White Balance card

① 타깃(White Balance card) 준비
  ※ 타깃 고정시 유의 사항
    - 타깃의 크기(x, y) 및 직각도 확인
    - 타깃의 기울기(θ) : <0.5° (횡수포관 사용)
② LEICA TS09를 이용 A, B, C, D 거리 측정 후 각각에 대한 기준값 산출
③ TLS를 이용하여 타깃 scan
④ A, B, C, D에 해당되는 point 확인 및 좌표 산출
⑤ 위 표에 따라 비교 값 산출
⑥ 위치정확도 및 위치정밀도 계산

※ 분석 항목

가) 위치정확도 : 위치오차에 대한 정확도 확인

(1) 위치정밀도 : 위치오차에 대한 반복도 확인

(2) 포인트간 간격 확인 : 엔코더 정확도 및 정밀도 산출 결과 분석 및 문제점 확인

(3) 스캔 스피드

(가) 최대/ 최소 스피드 성능 확인

(나) 점군데이터 확인으로 포인트간 간격 및 모터 동작 상태 확인

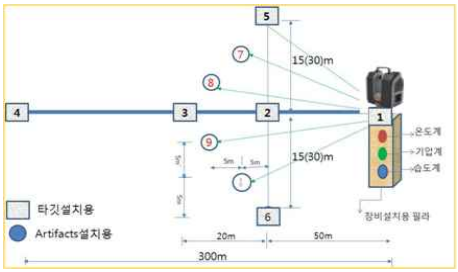
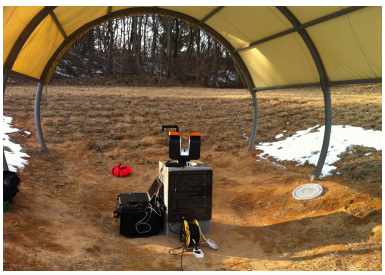
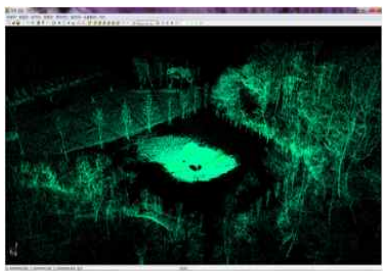
-Total station(LEICA TS09) 측정 값

x bar	y bar	z bar
28.301	2.865	-0.550
x' bar	y' bar	z' bar
28.550	2.122	-0.345

근접 데이터 그룹	반복횟수	Easting	x	Northing	y	Elevation	z	위치 정밀도 오차
A	1회	28.307	0.006	2.863	-0.002	-0.546	0.004	0.007
	2회	28.309	0.008	2.885	0.020	-0.556	-0.006	0.022
	3회	28.305	0.004	2.854	-0.011	-0.556	-0.006	0.013
	4회	28.308	0.007	2.864	-0.001	-0.554	-0.004	0.008
	5회	28.307	0.006	2.875	0.010	-0.552	-0.002	0.012
	6회	28.302	0.001	2.859	-0.006	-0.554	-0.004	0.007
	7회	28.304	0.003	2.866	0.001	-0.554	-0.004	0.005
	8회	28.307	0.006	2.854	-0.011	-0.549	0.001	0.013
	9회	28.310	0.009	2.867	0.002	-0.548	0.002	0.009
	10회	28.308	0.007	2.878	0.013	-0.550	0.000	0.015
	11회	28.305	0.004	2.858	-0.007	-0.551	-0.001	0.008
	12회	28.307	0.006	2.867	0.002	-0.549	0.001	0.006
	13회	28.306	0.005	2.869	0.004	-0.552	-0.002	0.007
	14회	28.303	0.002	2.871	0.006	-0.551	-0.001	0.006
	15회	28.304	0.003	2.880	0.015	-0.556	-0.006	0.016
	16회	28.304	0.003	2.874	0.009	-0.557	-0.007	0.012
	17회	28.307	0.006	2.865	0.000	-0.548	0.002	0.006
	18회	28.309	0.008	2.868	0.003	-0.550	0.000	0.009
	19회	28.308	0.007	2.869	0.004	-0.559	-0.009	0.012
	20회	28.307	0.006	2.864	-0.001	-0.560	-0.010	0.012
표준편차								0.004

근접 데이터 그룹	반복횟수	Easting	x'	Northing	y'	Elevation	z'	위치 정밀도 오차
B	1회	28.552	0.002	2.121	-0.001	-0.345	0.000	0.002
	2회	28.554	0.004	2.125	0.003	-0.344	0.001	0.005
	3회	28.553	0.003	2.122	0.000	-0.342	0.003	0.004
	4회	28.552	0.002	2.125	0.003	-0.341	0.004	0.005
	5회	28.549	-0.001	2.128	0.006	-0.339	0.006	0.009
	6회	28.551	0.001	2.130	0.008	-0.348	-0.003	0.009
	7회	28.545	-0.005	2.125	0.003	-0.333	0.012	0.013
	8회	28.555	0.005	2.125	0.003	-0.348	-0.003	0.007
	9회	28.551	0.001	2.122	0.000	-0.350	-0.005	0.005
	10회	28.548	-0.002	2.125	0.003	-0.340	0.005	0.006
	11회	28.545	-0.005	2.121	-0.001	-0.339	0.006	0.008
	12회	28.552	0.002	2.121	-0.001	-0.340	0.005	0.005
	13회	28.552	0.002	2.125	0.003	-0.337	0.008	0.009
	14회	28.555	0.005	2.128	0.006	-0.340	0.005	0.009
	15회	28.553	0.003	2.127	0.005	-0.341	0.004	0.007
	16회	28.551	0.001	2.125	0.003	-0.345	0.000	0.003
	17회	28.549	-0.001	2.124	0.002	-0.348	-0.003	0.004
	18회	28.548	-0.002	2.121	-0.001	-0.345	0.000	0.002
	19회	28.547	-0.003	2.123	0.001	-0.344	0.001	0.003
	20회	28.549	-0.001	2.129	0.007	-0.351	-0.006	0.009
표준편차								0.003

나. 테스트 베드 활용

<table>
<tr><td>테스트 베드 특징</td></tr>
<tr><td>- 테스트베드 위치 : 세종시 은하수 공원내 9 자연장지
- 세종시 은하수공원 내에 70× 60m 이상의 현장검증을 위한 시설 마련
- 직선거리 300m에 대한 대책 : 은하수공원입구 직선도로 300m 이상 거리 확보
- 은하수 공원내에 70× 60m의 공간조건은 거리정밀도, 위치정밀도, 각도 정밀도 등 장비의 주요 성능을 검증하는 조건임.</td></tr>
<tr><td>테스트 베드 구조 및 사진</td></tr>
<tr><td>
<table>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>< 테스트 베드 구조 ></td><td>< 테스트 베드 타깃 ></td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>< 테스트 베드 장비 설치 ></td><td>< 테스트 베드 스캔 결과 ></td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

※ 인증 규격 및 검증관련

- 국제적인 3D Laser Scanner 성능 평가 규격이나, 기관이 없으며, 선행연구단계에서 개발된 테스트베드(테스트베드 구조)를 국가 표준 연구기관(한국표준과학연구원)과 협력하여, 각 기선간 정밀거리와 각도를 측정하고, 레이저 스캐너 검증을 위한 타겟을 설치하여, 스캔한 점군 데이터를 제시함으로써, 공식력 있는 장비 성능을 보장함

-현재 ISO에서 3D Laser Scanner 평가 관련 규격을 제정 중에 있으며, 제정 완료시 국제 규격에 맞는 시설에서 장비 성능평가 데이터를 제공하겠음

다. 현장 검증

: 레이저 스캐너 활용 현장이나 테스트용 특수 구조물 측정 후 실측치와 비교



4. 카메라 이미지 메핑 방법 및 결과

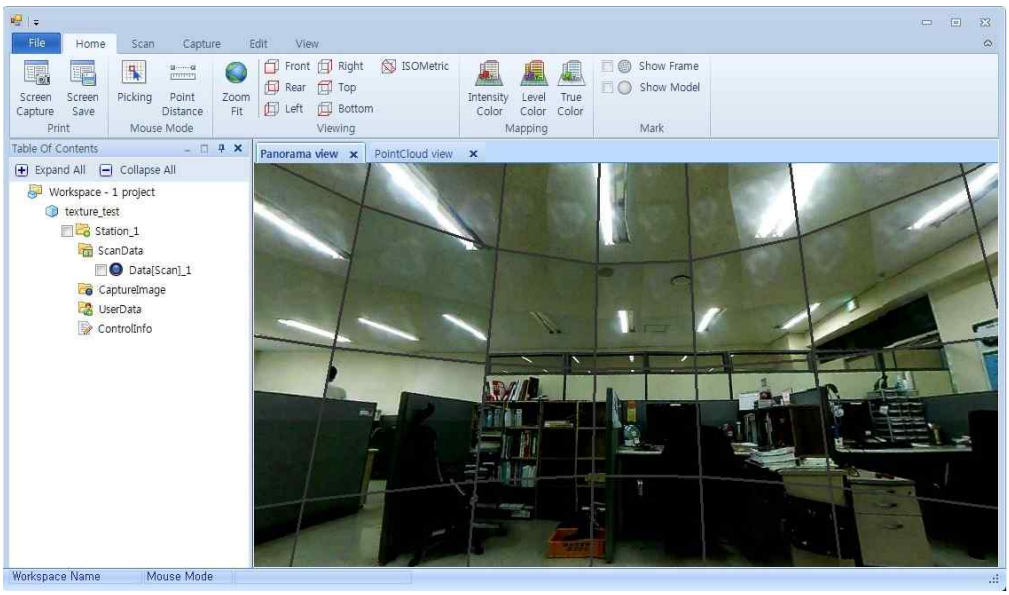
가. 이미지 캡처 및 파노라마 이미지 생성

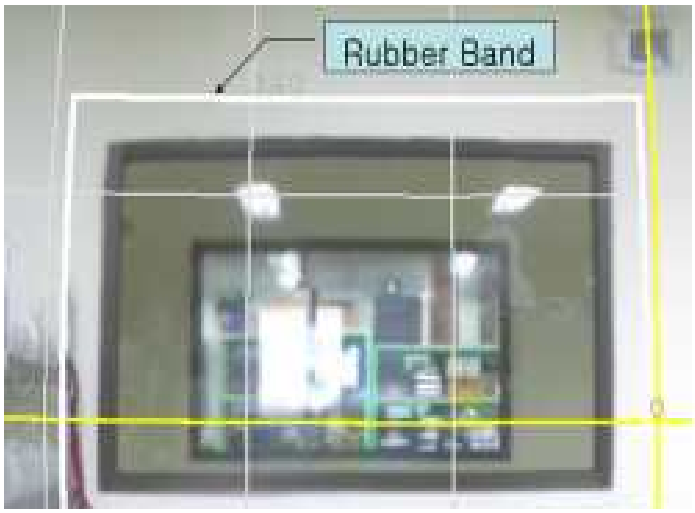
레이저 스캐너가 파노라마 이미지 구성을 위한 이미지 캡처를 수행하도록 작업명령을 전송하는 기능이다. [Capture]>[Capture] 버튼을 클릭하여 사용할 수 있다. 캡처 기능을 사용하면 LScanField S/W는 레이저 스캐너의 이미지 캡터를 해야 할 위치를 검색하고, 검색되어진 위치들에서 카메라가 캡처할 수 있도록 레이저 스캐너에 이동 명령을 전송하고 해당 위치에 이동 완료가 되면 이미지 캡터를 수행하는 것을 작업을 마칠 때 까지 반복한다.



나. 파노라마 이미지 가시화 및 작업영역 선택

Panorama View 는 사용자가 레이저 스캐너로 작업 시에 작업 설정 및 작업 진행 상태를 확인하는 사용자 편의성을 제공하는 인터페이스이다. Panorama View에서는 파노라마 이미지를 구 형태로 가시화 하고 사용자가 마우스를 통하여 회전, 확대, 축소 등의 화면제어를 수행할 수 있다. 캡처 작업을 통해 만들어진 파노라마 이미지는 이미지의 중심 각도를 알고 있기 때문에 펼쳐진 전체 파노라마 이미지의 해당 픽셀 아래 정해진 인덱스를 기준으로 이미지를 맵핑한다.

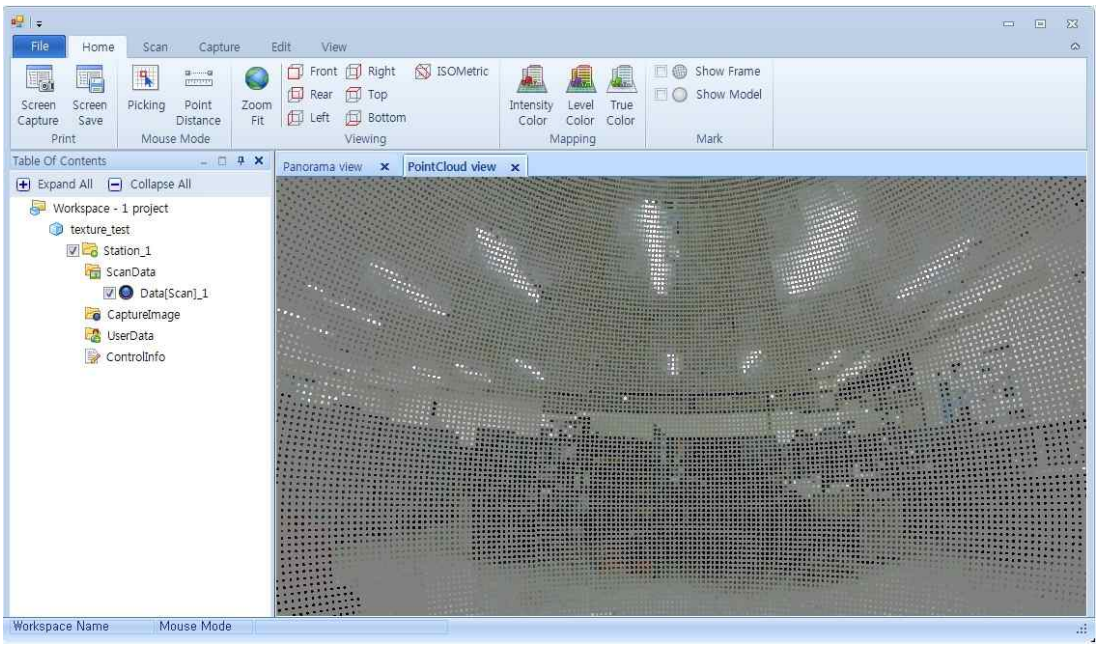




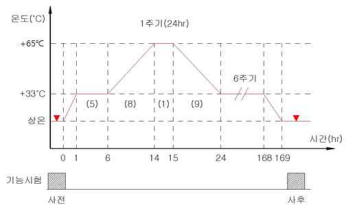
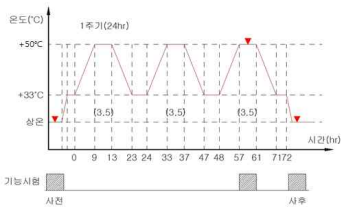
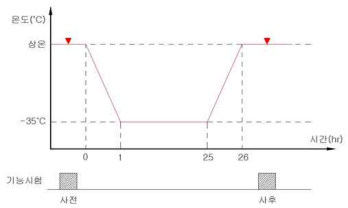
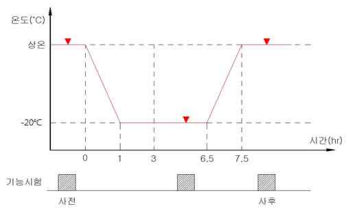
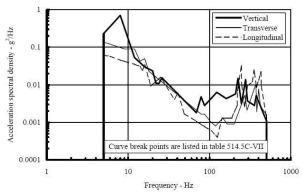
작업 영역은 [Home]>[Select Region] 버튼을 클릭하여 사용할 수 있는 기능으로 사용자가 Panorama View에서 마우스 드래그를 통하여 작업 영역을 설정할 수 있도록 인터페이스를 제공한다. 사용자가 작업 영역을 설정하면 내부적으로 위치 검사를 수행하여 영역을 저장하고 파노라마 영역에 밴드 형식으로 표시하여 준다. 작업영역은 내부 작업 파라미터로 저장되어 사용된다.

다. 파노라마 이미지와 점·군 데이터를 이용한 True Color 매핑

레이저 스캐너로 취득한 점·군 데이터에 실제 객체의 컬러를 맵핑하는 기능으로 스캐닝 작업을 통해 취득된 점·군 데이터의 좌표 점은 카메라와 거리측정 모듈의 축이 일치한다는 가정 하에 이미지 데이터의 픽셀 좌표로 변환할 수 있다. 점·군 데이터의 좌표를 2차원 평면좌표계로 변환하고 스케일 변환을 통해 파노라마 이미지의 컬러를 맵핑하고 저장한다.



5. 환경시험평가

구분		시험 그래프	성능 규격	비고
온도 시험	고온 저장		1. 시험 전/ 후 : 위치정밀도 시험 2, 시험 중 : 없음. 3. 물리적 결함 확인	이오시스템 설비
	고온 운용		1. 시험 전/ 후 : 위치정밀도 시험 2, 시험 중 : 전기전자적 성능 동작 스캔 동작 확인 3. 물리적 결함 확인	
	저온 저장		1. 시험 전/ 후 : 위치정밀도 시험 2, 시험 중 : 없음. 3. 물리적 결함 확인	
	저온 운용		1. 시험 전/ 후 : 위치정밀도 시험 2, 시험 중 : 전기전자적 성능 동작 스캔 동작 확인 3. 물리적 결함 확인	
진동		 ※ 수송진동 규격 적용	1. 시험 전/ 후 : 위치정밀도 전기전자적 성능 동작 2. 시험 중 : 없음 3. 물리적 결함 확인	제품 출시 시점 인증 추진
방수방진		IEC-529 Standard IP54 5 : 방진 (먼지의 유입은 있으나 기기에 영향 없음) 4 : 방수 (모든 방향에서 뿌려지는 물에 대한 보호)	1. 시험 전/ 후 : 위치정밀도 전기전자적 성능 동작 2. 시험 중 : 없음 3. 물리적 결함 확인	제품 출시 시점 인증 추진
전자파적합성		FCC part15 CLASS B	1. 시험 전/ 후 : 위치정밀도 전기전자적 성능 동작 2. 시험 중 : 없음	제품 출시 시점 인증 추진

제4절 제어기 개발 및 성능평가 내용 (위탁과제)

1. 서보모터 제어기 프로그램 구성

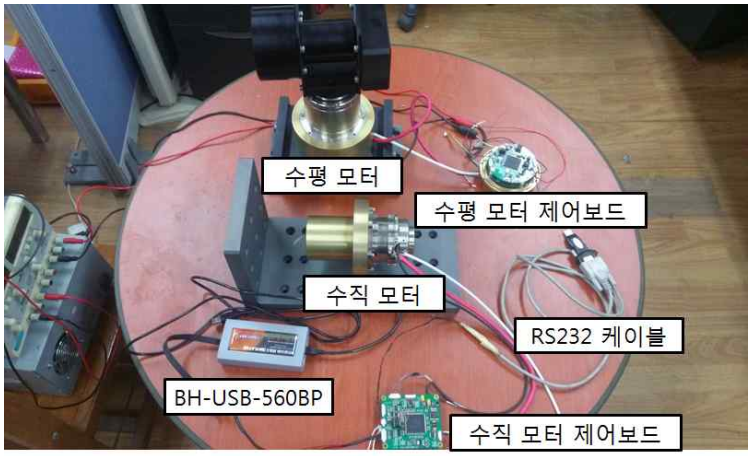


그림 125 수직·수평모터 제어기 구성도

가. 제어 프로그램 환경설정

모터제어 프로그램은 제어대상 구분 없이 통합형으로 되어있어 컴파일 전에 수직 또는 수평모터를 지정하여야 한다. 지정이 잘못되는 경우 모터의 극수나 엔코더 해상도등이 실제 시스템과 다르게 되어 제어가 불가능해 진다. 따라서 본 장에서는 수직 또는 수평모터 제어를 위한 기본적인 코드설정을 해야한다.

1) 모터선택

수직 또는 수평모터의 제어기를 가동시키기 위해서는 관련 정의를 수정해야 한다. 프로젝트에 포함된 헤더파일 중 'select_mode.h' 파일에 있는 모터 선택을 한 후 컴파일 해야 한다. (예시- 수직모터 선택 : #define CM335 1(수직모터), #define CM5002 0(수평모터).

2) 제어 선택

제어기 모드를 위치제어로 할 것인지 속도제어로 할 것인지도 설정하여야 한다. 이는 'select_mode.h' 파일에서 위치제어 (#define SMC_PID_LOOP (POSITION_CONTROL_CLOSEDLOOP)), 속도제어 (#define SMC_PID_LOOP (SPEED_CONTROL_CLOSEDLOOP)) 중 하나를 주석 처리하여 선택하면 된다.

3) link 모드 선택

컴파일 된 프로그램을 RAM에서 실행할 것인지 아니면 Flash에서 실행할 것인지를 설정하여야 한다. 제어코드가 완성되기 전에는 일반적으로 RAM에서 코드를 실행하는데, 이를 위해서는 'select_mode.h' 파일에서 STANDALONE을 0으로 변경하여야 한다. 또한 컴파일 결과를 링크하는데 필요한 cmd 파일인 "Example_Flash28335_API .cmd" 을 소스설치폴더\SMC 폴더에 있는 "28335_RAM_lnk_SMC.cmd" 로 변경하여야 한다.

4) Flash 쓰기 및 다운로딩

가) Flash Programmer 설정

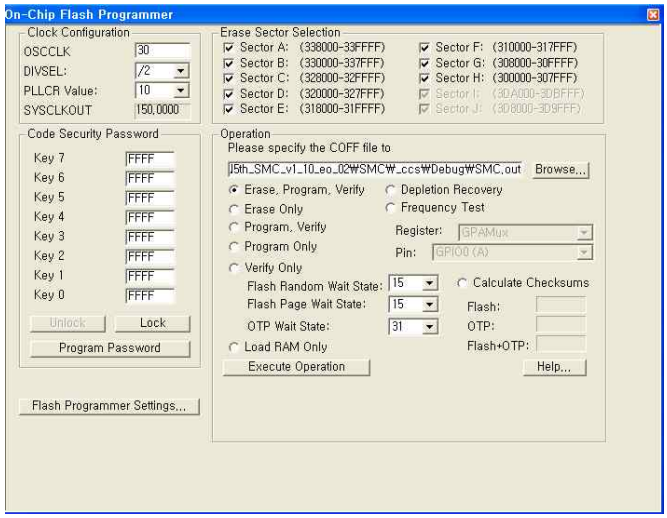


그림 126 Flash 쓰기 설정화면

(1) tools 탭에서 F28xx On-Chip Flash Programmer를 클릭

(2) Clock Configuration에서 아래와 같이 설정 후 OK단추을 클릭

* OSCCLK : 30, DIVSEL : /2, PLLCR Value: 10

(3) Flash Programmer Settings에서 OK를 클릭

(4) On-Chip Flash Programmer에서 아래의 폴더경로에 있는 SMC.out 파일이 잘 설정되어 있는지 확인

* 폴더경로 - ..\SMC_ccs\Debug\SMC.out

(5) Option-Customize-Debug Properties 탭에서 "Perform Go Main automatically" 해제

(6) Option-Customize-Program/Project/CIO 탭에서 "Load Program After Build" 해제

※주의 5번,6번 항목은 flash쓰기가 끝난 후 원상복구 시켜야 함

나) 컴파일 및 프로그램

(1) Stand alone 1로 설정

(2) CCS에서 프로젝트 안에 있는 28335_RAM_lnk_SMC.cmd를 제거

(3) 프로젝트를 마우스 커서로 우클릭하여 Add Files to Project를 선택한 후 Example_ Flash28335_API.cmd를 추가

(4) Project 탭에서 build all을 실행

(5) Execute Operation 단추을 클릭하여 다운로드

(6) 성공시 아래의 상태 출력(그림 3-2)을 확인

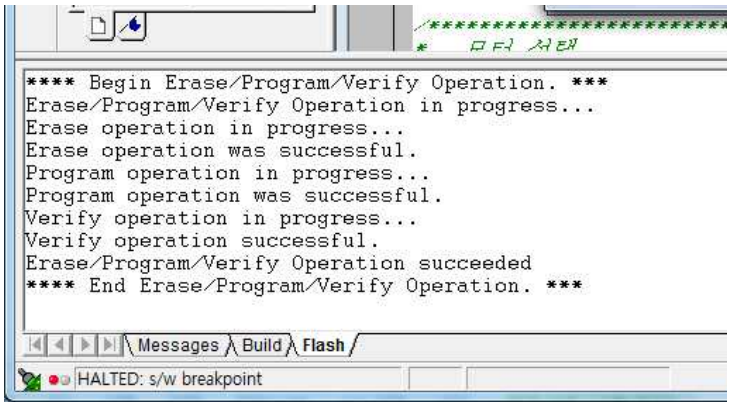


그림 127 성공시 상태 출력화면

나. 제어 명령체계

모든 명령어는 'Stnc_PMSM_Sensored_280x.c:DebugPacketParsing()'에서 RS232를 통하여 전송된 수신신호를 옳은 명령인지를 판단하고 무슨 명령인지를 판단 후 해당 명령을 수행 하도록 처리한다.

표 49 통신 패킷

STX	Length	Command	data	Check Sum	ETX
2	n	xx	n-1개	cs	3

위 표에서 'data'부분에 위에서 설명한 명령어에 해당하는 값이 역순으로 기록되며 만약 0.533을 전달하고자 할 경우 335.0dl 기록되게 된다. 이때 인수로 전달되는 값(소수)은 주로 2바이트의 8진 값의 조합으로 변환되어 기록된다. 이 경우 길이는 2가 된다. 또한 위 표의 cs는 STX부터 data까지 각 바이트의 합에 carry를 더한 값이다. 스캔과 파노라마 촬영을 위한 명령 조합은 부록의 '모터제어 명령 순서'를 참고한다.

1) 모드 설정

표 50 파라미터 설정 명령

명령	보낸 data	응답 data	report data	비고
mode set(A3) Position(Default)	02 02 A3 30 D7 03 Position mode set	02 01 A3 A6 03 mode ack	없음	0x30 = '0'
mode set(A3) Speed	02 02 A3 31 D8 03 Speed mode set	02 01 A3 A6 03 mode ack	없음	0x31 = '1'

표 50 파라미터 설정 명령을 보면 Position과 Speed명령이 있으며, 보낸data, 응답 data에 따른 패킷이 나와있다. 비고에 적혀 있는 0x30의 값이 0일 때 Postion, 1일 때 Speed이다.

2) 동작명령

모터의 정속 운전이나 특정 위치로 이동시키기 위해서는 'MOVE_COMMAND'명령을 RS232를 통하여 PC에서 제어기로 전달해야 한다. 속도제어 모드인 경우 1rps로 정속회전을 시키는 명령이 수신되면 모터의 목표 속도는 0.1로 설정이 되고 PID제어를 통해 PwmIsr 인터럽트가 걸릴 때마다 제어가 유지되어 1rps의 속도를 유지한다. 위치제어

모드일 경우 180도 위치를 목표로 하는 제어 명령이 수신되면 모터의 목표위치는 0.5로 설정이 되고 목표하는 위치에 도달할 때까지 지속적인 PID제어가 수행된다.

표 51 동작 명령

명령	보낸 data	응답 data	report data	비고
move command(A2) 위치 모드	02 0A A2 39 39 39 39 39 39 31 2E 30 95 03	02 01 A2 A5 03 move ack	02 01 C4 C7 03 move complete	0.1999999
move command(A2) 속도 모드	02 0A A2 39 39 39 39 39 39 31 2E 30 95 03	02 01 A2 A5 03 move ack	02 01 C5 C8 03 set complete	0.1999999
stop command(A5)	02 01 A5 A8 03	02 01 A5 A8 03 stop ack	02 01 C6 C9 03 stop complete	

표 51 동작 명령에 따라 보낸data, 응답 data, report data에 따른 패킷이 정의 되어 있다.

3) 상태보고

모터의 위치나 속도 등의 상태를 확인하기 위해서는 'READ_POSITION'명령을RS232를 통하여 PC에서 제어기로 전달해야 한다. 상태확인 명령이 수신되면 즉시 모터의 위치와 속도가 컴퓨터로 전송이 된다. 모터의 Gain 파라미터를 읽고자 할 경우 READ_GAIN 명령을 제어기로 전달해야한다.

표 52 상태보고 명령

명령	보낸 data	응답 data	report data	비고
init command(A4)	02 01 A4 A7 03	02 01 A4 A7 03	02 01 C3 C6 03 servo ready	
			02 01 C2 C5 03 servo init(진행중)	
read gain	02 01 BF C2 03	02 01 BF C2 03	02 XX Bf (position PID, D,Q PID) YY 03	
			02 XX Bf (speed PID, D,Q PID) YY 03	
read position	02 01 A1 A4 03	02 01 A1 A4 03	02 XX A1 (Position) YY 03	
auto report start	02 01 E1 E4 03	02 01 E1 E4 03	02 XX E3 (Position , Speed) YY 03	주기적 전송 10ms (전송속도에 제한이 있음)
auto report stop	02 01 U E5 03	02 01 E2 E5 03		

가) XX는 report data의 길이, YY는 report data의 Check Sum 값이다.

표 52 상태보고 명령에 따라 보낸data, 응답 data, report data에 따른 패킷이 정의 되어 있다.

다. 모터 제어 프로그램

1) 제어 흐름도

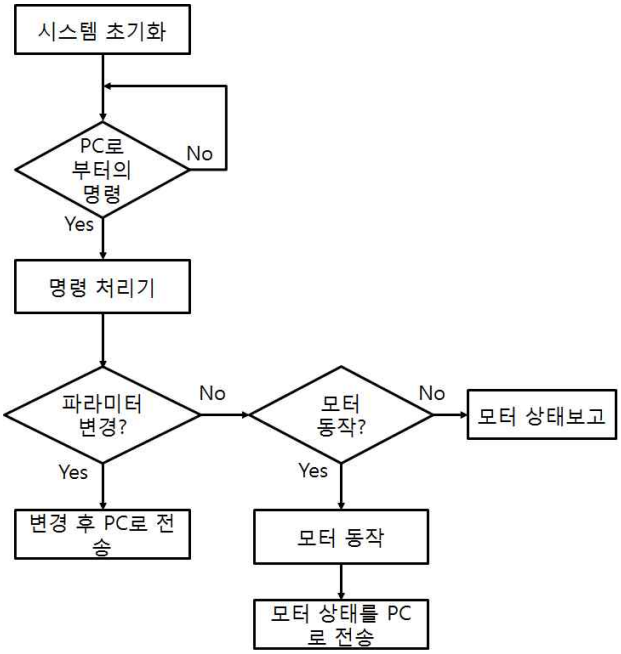


그림 128 시스템 제어 흐름도

3D 스캐너의 시스템 제어 흐름은 그림 3-3과 같다. 전원이 켜지면 시스템을 초기화한다. 초기화 시 레지스터들을 초기화하며, 모터를 초기위치로 이동 시킨다. 초기화가 완료 되면 PC로부터의 명령을 기다린다. 명령을 수신 받으면 올바른 명령인지 판단하고 명령처리기로 넘어간다. 명령 처리기에서는 어떤 명령인지 구별하고 그에 맞는 명령을 실행한다. 상태 보고, 모터 동작, 파라미터 설정 3개의 명령 파트로 구분되며, 상태보고와 파라미터 설정은 모터 동작 없이 수행된 후 호스트프로그램을 통해 보고한다. 모터 동작일 시 제어모드를 판단하고 그에 맞게 제어 후 상태를 PC에 보고한다. 이와 같은 과정으로 시스템이 동작한다.

3D스캐너 시스템은 먼저 그림 145와 같이 시스템 초기화를 한다. Initsysctrl()에서 클럭을 설정하고 Memcopy()에서 플레쉬에 저장된 프로그램을 램으로 복사한다. 복사한 후 InitFlash() 플래시 제어 레지스터를 초기화 하고 InitPiectrl()와 InitPieVectTable()에서 PIE 벡터테이블을 설정한다.

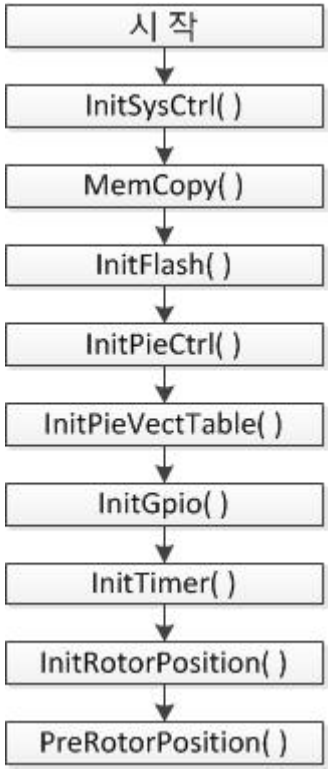


그림 129 초기화 과정

InitRotorPosition()함수 안에 PreRotorPosition()함수가 포함되어 있으며, PWM 신호 발생 업데이트 기능을 호출하는 역할을 한다.

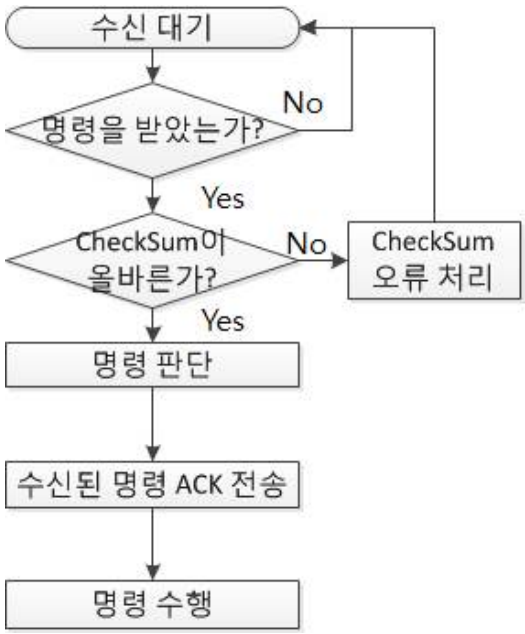


그림 130 명령 판단 및 처리

초기화가 끝난 후 명령판단 및 처리과정은 그림 147과 같다. 시스템은 명령을 대기한다. PC에서 시리얼 통신으로 명령을 보내면 Packetparsing() 함수에서 CheckSum이 올바른지 판단하고 올바르지 않은 경우 오류 처리로 PC에 보고하며, 올바른 경우 DebugPacketparsing() 함수에서 수신된 명령을 ACK 전송하며, 명령을 수행한다.

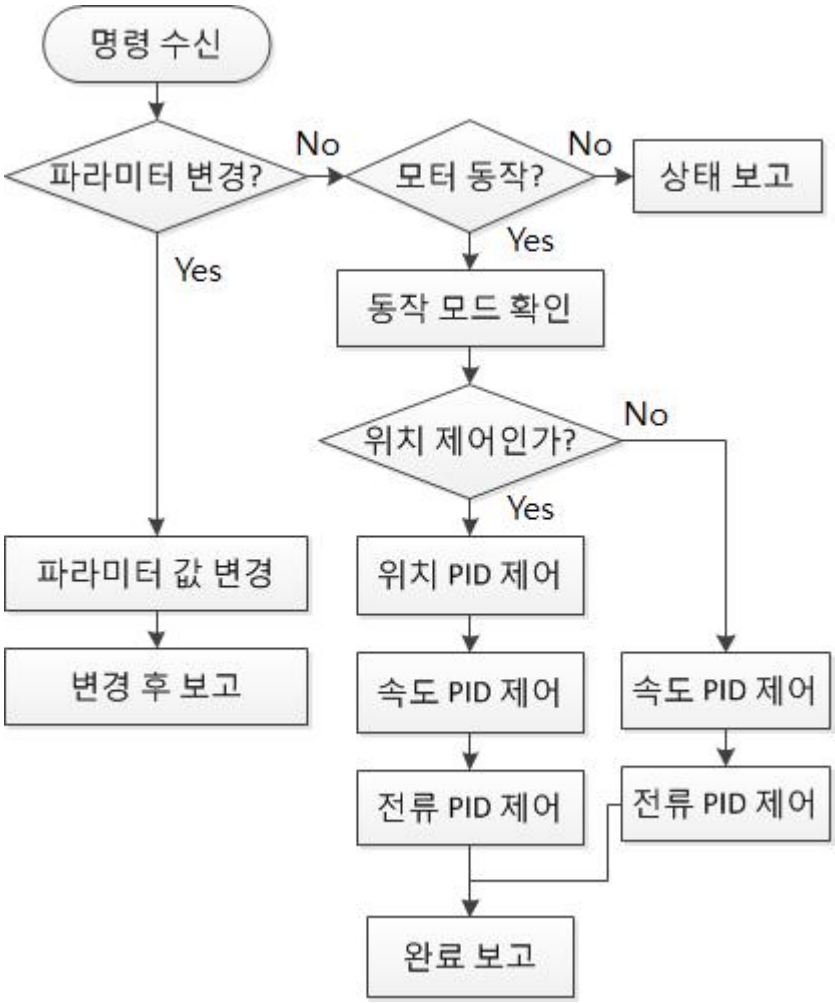


그림 131 모터 동작 및 PC에 보고

PC에서 보낸 명령을 확인 후 모터 동작 함수 인 PwmIsr()에 명령이 수신되면 그림 3-6과 같은 과정으로 동작한다. 먼저 수신된 명령이 파라미터, 모터 동작, 상태 보고 중 어떤 명령인지 판단한 후 명령에 맞게 실행한다. 모터 동작에 관한 명령인 경우 동작 제어 방식에 따라 다른 과정으로 명령을 실행하며, pid_reg3_calc()함수를 통하여 PID 제어를 하게 된다. 각 명령에 따른 실행을 마치면 PC로 보고하게 된다.

모터의 초기기점 동기를 위해 한 바퀴에 한번 씩 일정 위치에서 신호가 나오는 Strobe 신호를 추가함

```
“f280xqep.h”
/*********************************************************
위치비교기능 초기화 설정
*********************************************************/
#define QPOSCTL_INIT_STATE       ( PCE_ENABLE +₩ //위치비교 적용
                                   PCPOL_HIGH+₩              //펄스를 High 로 출력
                                   PCLOAD_QPOSCMP+₩ //QPOSCMP에서 로드
                                   PCSHDW_ENABLE) //위치비교 셰도우 적용
//스트로브 신호 활성화 설정
```

그림 132 QPOSCTL 초기상태 레지스터 설정

```
“f280xqep.c”
/*********************************************************
위치비교기능 세부 설정
*********************************************************/
void  F280X_QEP_Init(QEP *p)
{
.....
      EQep2Regs.QPOSCMP=MOTOR_QPOSINIT;  //포지션 비교 값
      EQep2Regs.QDECCTL.BIT.SPSEL=1          //싱크 출력을 스트로브 핀으로 설
정
      EQep2Regs.QDECCTL.BIT.SOEN=1;          //싱크 출력 적용
      EQep2Regs.QPOSCTL.bit.PCE=1;           //위치비교 적용
      EQep2Regs.QPOSCTL.bit.PCSHDW=1;        //위치비교 셰도우 적용
      EQep2Regs.QPOSCTL.bit.PCLOAD=1;        //위치비교를 QPOSCMP일 때 불러
옴
      EQep2Regs.QPOSCTL.bit.PCPOL=0;         //펄스를 High 로 출력
      EQep2Regs.QPOSCTL.bit.PCSPW=0xfff;     //4096 * 4 * SYSCLKOUT cycles
}// 스트로브 신호 활성화 설정
```

그림 133 F280X_QEP_Init에 Strobe 신호 레지스터 추가

2) 엔코더 초기화

2차년도의 제어기에서는 엔코더 해상도를 K(MOTOR_RESOLUTION)라 정의하면, 카운터의 초기값을 2K(그림 3-9)로 설정한 후 그 값이 K만큼 증가(그림의 B지점; 감소의 경우 A지점)하면 Overflow (Underflow)로 판단한 후 다음과 같이 카운터 값을 조정하였다.

Underflow A <-모터의 동작범위-> B Overflow

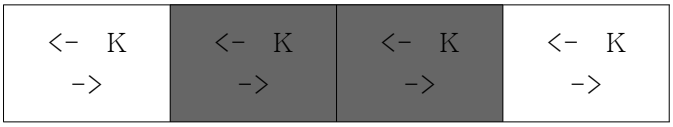


그림 134 모터 초기 동작 범위

그러나 모터의 고속 회전 시 엔코더 값의 인식이 1~2 비트 잘못 인식이 될 수 있음에 대한 문제점이 제기되어 다음과 같은 형식으로 수정되었다.

Underflow A <- 모터의 동작범위 -> B Overflow

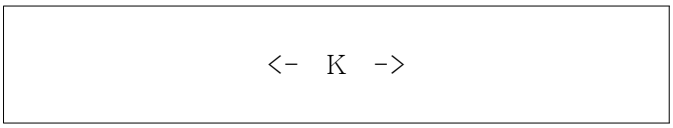


그림 135 모터 초기 동작 범위

제어기의 CPU인 DSP320f28335의 기능중 하나인 오버플로우일 시 0으로 초기화 시켜주고 언더플로우 일 시 MAX값으로 자동으로 초기화 시켜주는 기능을 이용하였으며. 이에 따라서 엔코더 초기 값을 엔코더 해상도의 절반으로 설정하고 오버플로우와 언더플로우 발생 시 급격한 속도 값 변화에 대한 함수를 인터럽트에 추가하였다. 이를 위하여 변경된 소스코드는 다음과 같다.

```
“select_mode.h”
/*********************************************************
모터 엔코더 해상도 입력부
*********************************************************/
#define MOTOR_RESOLUTION
((float)MOTOR_STANDARD_LINECOUNTS * (float)MOTOR_INTERPOLATOR)
//라인카운터*인터폴레이터
#define MOTOR_HALF_OF_RESOLUTION ((float)MOTOR_RESOLUTION /
2.0) //모터 레졸루션의 절반
#define MOTOR_QPOSINIT
(float)MOTOR_HALF_OF_RESOLUTION//((float)MOTOR_RESOLUTION * 2.0)
//모터 초기위치
#define MOTOR_QPOSMAX ((float)MOTOR_RESOLUTION)
//모터 최대값
```

그림 136 select_mode.h에 레지스터 추가

```
“Stnc_PMSM_Sensored_280x.c”
/*********************************************************
QEP관련 인터럽트 발생시 실행되며 본 소스코드에는 오버플로우 언더플로우 인덱스 신호 발생 시 기능함
*********************************************************/
interrupt void eQEP2ISR(void)
{
   //unsigned char tx_buf[SERIAL_BUF_SIZE]={0}; //keonyi zpulse
   if(EQep2Regs.QFLG.bit.PCO == 1)//오버플로우 때 초과하는 명령값 변경
   {
      EQep2Regs.QEINT.bit.PCO = 1; //인터럽트 재설정
      gMove_cycle_flag  = 1;          //회전플래그 설정
      gSpeed_cycle_flag = 1;          //회전플래그 설정
      gRamp_set_point_flag = 1;     //회전플래그 설정
      EQep2Regs.QCLR.bit.PCO = 1; //인터럽트 재설정
      if(gWhich_pid_loop == POSITION_CONTROL_CLOSEDLOOP)
      gCmd_value = gCmd_value - 1; //오버플로우 때 초과하는 명령값 변경
   }
   if(EQep2Regs.QFLG.bit.PCU == 1)//언더플로우 때 초과하는 명령값 변경
   {
      EQep2Regs.QEINT.bit.PCU = 1; //인터럽트 재설정
      gMove_cycle_flag  = -1;         //회전플래그 설정
      gSpeed_cycle_flag = -1;         //회전플래그 설정
      gRamp_set_point_flag = -1;    //회전플래그 설정
      EQep2Regs.QCLR.bit.PCU = 1; //인터럽트 재설정
      if(gWhich_pid_loop == POSITION_CONTROL_CLOSEDLOOP)
      gCmd_value = gCmd_value +  1; //언더플로우 때 초과하는 명령값 변경
   }
.....
}
```

그림 137 인터럽트에 오버플로우, 언더플로우 처리

모터 동작 인터럽트에서 위치제어 시 중앙값이 아닌 오버 혹은 언더플로우일 경우 처리하도록 그림 3-12와 같이 소스가 구현되어 있다.

3) 기동 시 부드러운 초기위치 설정

모터 기동 시 초기위치로 동작 할 때 부드럽지 못한 부분이 있어 그 부분을 수정하였다.

```
“Stnc_PMSM_Sensored_280x.c”
/*******************************************************
전기적 각도 초기화 및 엔코더 점검
*******************************************************/
void PreRotorPosition(float32 i_angle)     //모터 D,Q축 보정 함수
{
   Uint32 encoder_A=0, encoder_B=0, encoder_error = 100;
   Uint32 k = 0;

    do{
       encoder_A = EQep2Regs.QPOSCNT;       //이동 전 초기 엔코더 값 저장

   /                                                                    *
-----------------------------------------------------------------
   *      Connect inputs of the INV_PARK module and call the inverse park
transformation
   *     calculation function.

-----------------------------------------------------------------*/
       ipark1.Ds = 0;//VdTesting;
       ipark1.Qs = IPARK_QS;//VqTesting;
       ipark1.Angle = i_angle;                    //전기적 각도 설정

        ipark1.calc(&ipark1);
.....
            encoder_B = EQep2Regs.QPOSCNT;  //이동 후 엔코더 값 저장
                encoder_error = abs(encoder_B - encoder_A); //오차비교
                if (encoder_error < 5) k++;
         }while(k < 10);                                  //오차 감소 시 다음으로 이동

         DELAY_US(20000);
}
```

그림 138 IPARK_QS 값 입력

초기위치로 동작할 때 부드럽지 못한 부분을 개선하기 위해서는 그림 3-13과 같이 “Stnc_PMSM_Sensored_280x.c” 파일에 모터 D,Q축 보정함수인 PreRotorPosition을 살펴보아야 한다. 함수 중 IPARK_QS라는 변수 값을 재설정하여 기동 시 부드러운 움직임으로 개선하였다.

4) 다중 인덱스펄스 처리

수직 모터 동작 시 인덱스 펄스가 여러번 나오기에 첫 펄스를 기준으로 초기값을 잡고 나머지 펄스를 무시하도록 한다.

```
#if CM335
/*********************************************************
QEP관련 인터럽트 발생시 실행되며 본 소스코드에는 오버플로우 언더플로우 인덱스 신호 발생 시 기능함
*********************************************************/
interrupt void eQEP2ISR(void)
{
..... (그림 3-9)

   if(EQep2Regs.QFLG.bit.IEL == 1) {      //인덱스 이벤트 발생
     if (gZero_pulse_flag < 0){
         gZero_pulse_flag = -1;
         EQep2Regs.QEINT.bit.IEL = 1; //  index interrupt enable
         PieCtrlRegs.PIEIER5.bit.INTx2 = 1;    // enable: eQEP2 INT
      }
      else
      {
      // 'gElec_offset_angle' is bouned in "-360 ~ +360"
         gElec_offset_angle = MOTOR_POLE_PAIRS * fmod(EQep2Regs.QPOSCNT - MOTOR_QPOSINIT, MOTOR_RESOLUTION) * MOTOR_ANGLE_PER_RESOLUTION;

         EQep2Regs.QEPCTL.bit.SWI = 1; // initialize position counter

         gZero_pulse_flag = 1;

         EQep2Regs.QEINT.bit.IEL = 0; //  index interrupt disable
         PieCtrlRegs.PIEIER5.bit.INTx2 = 0;    // disable: eQEP2 INT
      }

      EQep2Regs.QCLR.bit.IEL = 1;  //clear IEL interrupt flag
   }

   EQep2Regs.QCLR.bit.INT = 1; //global interrupt clear ?????
   PieCtrlRegs.PIEACK.all |= PIEACK_GROUP5;
}
#endif
```

그림 139 index interrupt 함수

그림 156 index interrupt 함수에서 gZero_pulse_flag < 0 조건으로 인하여 그림 3-15에 나온 조건문이 실행되어 #if이 실행된다. 플래그가 0이 되어 그림 3-14의 else문으로 들어오게 된다.

```
/*******************************************************
모터 초기화시 모터 회전을 위한 설정 및 다중인덱스 펄스 처리를 위한 모터 flag 설정
*******************************************************/
if(gZero_pulse_flag <= 0){ // 처음 ZERO PULSE 찾기 전까지.
#if CM335
      if((GpioDataRegs.GPBDAT.bit.GPIO49==0)&&(gZero_pulse_flag==-1))
      {
        gZero_pulse_flag = 0;
      }
#endif
      rc1.TargetValue = 1;//jhb 역방향 회전 후 정방향으로 zero pulse확인
      rc1.calc(&rc1);//rmp_cntl_calc flash jhb
      gCmd_value = rc1.SetpointValue;
      pid1_pos.Ref = gCmd_value;

   }
else if(gZero_pulse_flag == 1){ // ZERO PULSE를 찾은 후, 한번에 그 자리에 멈춰있기 위함임.
      rc1.TargetValue = 0;
      rc1.SetpointValue = 0; // ZERO PULSE 찾은 이후, 움직직임을 위한 초기화 작업.
      gCmd_value = rc1.SetpointValue;
      pid1_pos.Ref = gCmd_value;
      InitalizePIDGain(); // Initialize PID Gain
      MakeOneLengthData(tx_buf, SERVO_READY);
      SendData(tx_buf, SCIA_DEBUG);
      gZero_pulse_flag = 2;
   }
else{ // ZERO PULSE를 찾은 이후의 움직이기 위함.   jhbfind
      if(gWhich_pid_loop == POSITION_CONTROL_CLOSEDLOOP){
         if(gMove_cycle_flag == 1){
            if(gCycle_cnt == ENABLE){
               gCmd_value = gCmd_value - 1;
            }
         }
         else if(gMove_cycle_flag == -1){
            if(gCycle_cnt == ENABLE){
               gCmd_value = gCmd_value + 1;
            }
         }
         pid1_pos.Ref = gCmd_value;
      }
   }
```

그림 140 zero pulse 처리 조건문

이어서 그림 157의 else if문이 실행되어 zero puse 찾은 이후, 초기화 작업이 이루어진다.

5) Openloop control

엔코더 테스트를 위한 피드백이 필요 없는 Openloop control이다.

```
#if ENCTEST
/*********************************************************
엔코더 피드백이 필요없는 D,Q축 제어를 이용한 Openloop control
move 명령어 입력시 해당 값에따라 모터의 회전속도가 결정됨
(주의점) 모터의 속도입력시 고속의 경우 단계적인 가속이 필요함
*********************************************************/
if(gWhich_pid_loop == SPEED_CONTROL_CLOSEDLOOP)
{
        ipark1.Ds = 0;
        ipark1.Qs = gCmd_value/3.6+0.2;  //입력된 명령에 따른 전류값 조정
        ipark1.Angle = TstDeg;
        if(gCmd_value == 0.0)
                DebugCnt=1000;
        else if(gCmd_value < 0.0)
                DebugCnt = -250 / gCmd_value; //입력된 명령에 따른 타이머 변경
        else
                DebugCnt = 250 / gCmd_value; //입력된 명령에 따른 타이머 변경

        GpioDataRegs.GPBDAT.bit.GPIO51 = 0;
        if((DebugTmr++%(1))==0)
        {//360/16/gCmd_value
                GpioDataRegs.GPBDAT.bit.GPIO51 = 1;
                TstDeg += (10.0/7.0) * gCmd_value;
                ipark1.calc(&ipark1);//ipark_calc flash jhb
        }
} // D, Q축 제어로 Openloop control 시행(일정한 시간 마다 이동할 위치 지정)
```

그림 141 Openloop control 소스 코드

이는 테스트를 위한 전용 소스코드의 Stnc_PMSM_Sensored_280x.c파일에서 PwmIsr 함수 내에 그림 3-16과 같은 Openloop control함수를 추가하여 엔코더 테스트가 필요시 사용이 가능하도록 하였다. 테스트 방법은 피드백 없이 속도 명령을 주어서 엔코더가 정상 동작함을 확인 한다.

2. 제어 모니터링 프로그램 개발

제어 모니터링 프로그램은 2차년도에 개발대상인 제어기의 통합분석을 위한 자체 특성 시험용으로 제작하였다. 1절 프로그램 개요는 1차년도 보고서에 언급되어 있기 때문에 간략하게 기술 되어있다. 2절 Wi-Fi 설정은 당해 연구에 추가된 기능인 Wi-Fi를 설정 및 사용법이 기술되어 있고 3절과 4절에서는 파노라마 촬영과 스캔에 관한 내용이며, 이 둘 기능은 복합명령으로 되어 있어서 제어 모니터링 프로그램을 이용해야 실험이 가능하다.

가. 프로그램 개요

두 제어기의 상태 및 통합성능을 분석하기 위하여 수직모터와 수평모터의 제어 프로그램과 통신을 하여 3D레이저 스캐너의 파노라마 촬영과 스캔 촬영의 모사기능을 갖춘 프로그램 그림 159 3DLS_GUI이 개발되었다. 그림 159의 ①은 Connect, 파노라마와 스캔, 디버그 버튼으로 이루어져 있다. Connect는 모터와의 연결하는 것이고, 파노라마와 스캔은 각각이 모드로 변경 해 주는 버튼이다. 디버그 버튼은 모터의 상태를 가시화 하여 확인 할 수 있는 프로그램을 실행시킨다. 그림 159의 ②는 수직모터와 수평모터의 log를 텍스트로 표현 해주며, 파노라마와 스캔의 진행 상황을 알 수 있는 진행 바로 이루어져 있다. ③은 현 모드와 모터들의 현 상태와 원하는 이동 구간을 명령 내릴 수 있다.

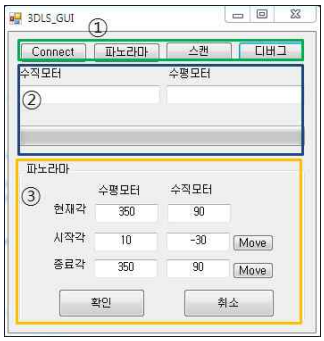


그림 142 3DLS_GUI 창

①에 있는 파노라마, 스캔 버튼을 누르면 아래의 그림 160, 그림 161으로 나온다.

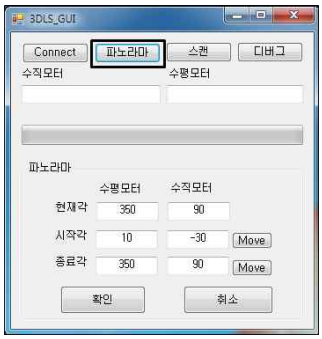


그림 143 파노라마 모드

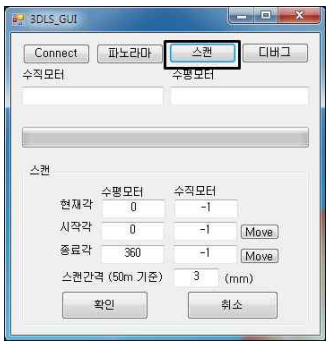


그림 144 스캔 모드

그림 4-1의 ①에 있는 디버그버튼을 누를 시 나오는 그림 4-4의 프로그램 MFE_GUI이 실행된다.

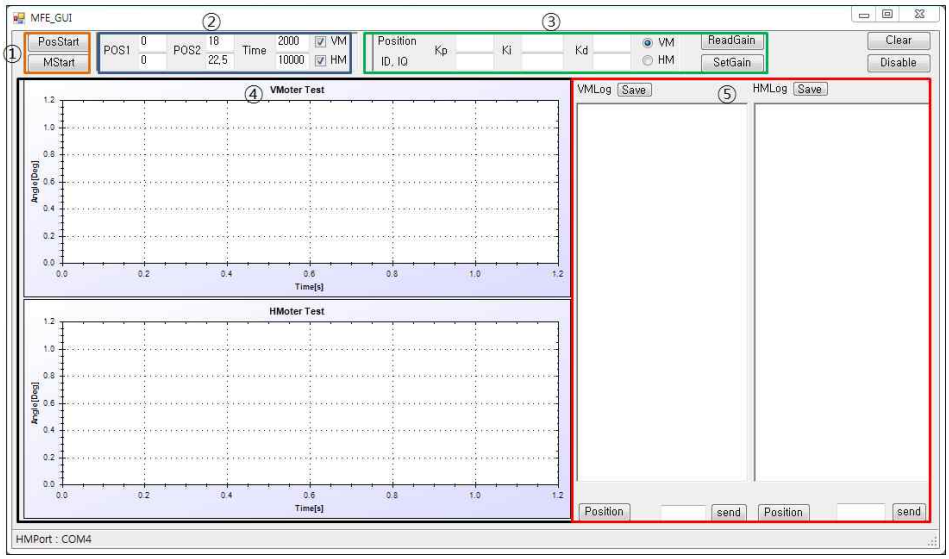


그림 145 MFE_GUI 창

그림 162 MFE_GUI는 모터의 상태를 실시간으로 나타내주는 프로그램이다. 그림 162 ①의 PosStart 버튼을 누르면, 모터의 위치 값과 속도 값이 ⑤에 표시 되며, 그 값으로 ④에 그래프로 표시된다. 이 데이터 값은 10ms 간격으로 수신되며, PosStart 버튼이 변경된 PosStop버튼을 누를 때까지 지속된다. 따라서 이 기능을 활용하면 위치 제어 특성과 속도 특성을 알아 볼 수 있다.②는 모터에 반복동작 명령을 주는 기능이 있으며 ①의 MStart 버튼을 누르면 POS1의 명령과 POS2의 명령을 TIME간격으로 반복한다 ③에 ReadGain 버튼을 누르면 PID 파라미터인 Kp, Ki, Kd의 값을 읽어 올 수 있으며, 파라미터를 변경하여 SetGain 버튼을 눌러서 파라미터를 수정 할 수 있다.⑤에는 각 모터의 로그가 실시간으로 나타난다. 각 모터의 로그는 대상 모터이름 우측에 Save버튼을 눌러 저장이 가능하다.

나. Wi-Fi 설정

모터의 시리얼 통신에 Wi-Fi 모듈을 연결하여 무선으로 모터 제어가 가능하도록 개선하였다. 구조는 다음 그림과 같다.



그림 146 Wi-Fi 연결 구조

Wi-Fi 모듈은 모터의 보드에 연결되어 PC와의 시리얼통신을 무선통신으로 가능하게 한다. W-Fi모듈을 Server로 하고 PC가 Client가 되어 연결하는 구조이며, 이에 사용된 모듈은 Wiznet사의 WizFi220_EVB이다. 이 모듈의 전원은 5V이며, 테스트 시 전원은 파워 서플라이 혹은 PC로 공급하였다.

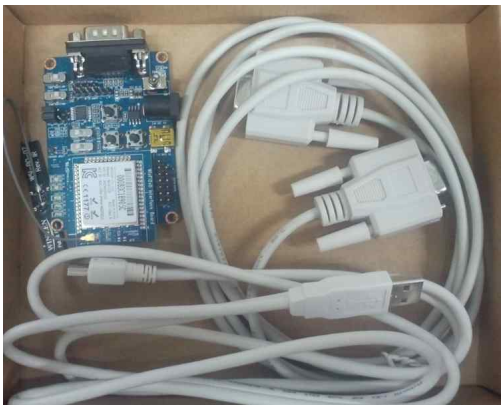


그림 147 Wi-Fi 모듈 WizFi220_EVB

모듈을 사용 하기위하여 먼저 Server로 설정해야 한다. 설정 방법은 PC와 WizFi220_EVB를 시리얼로 연결하여 터미널 프로그램으로 직접 명령어를 입력하여 설정하는 방법과 Wiznet사에서 제공되는 설정 프로그램(WIZSmartScript.exe)를 사용하는 방법이 있다. 고급 설정은 직접 명령으로 해야 하지만 간단한 설정은 프로그램을 이용하는 것이 편리하다. 설정 프로그램으로 설정하는 법을 간략하게 보면 그림 165과 같이 창이 나오며, 먼저 Model을 선택하고 Wizard 버튼을 클릭한다. 그림 166와 같이 Step1.창이 나오며, PC와 WizFi연결을 설정한다. 기본 Baud는 115200이다. Step2에서는 그림 167과 같이 모듈을 연결할 AP를 검색 및 선택한다. Step3에서는 그림 168과 같이 선택한 AP의 암호를 입력하여 연결하는 과정이다. WEP1에 선택한 AP의 암호를 입력한다.



그림 148 설정 프로그램 실행

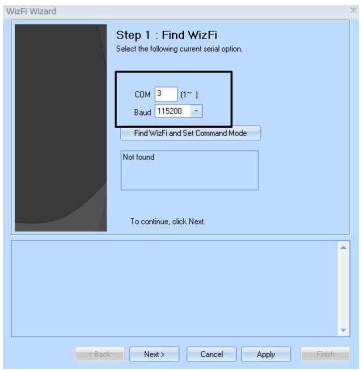


그림 149 모듈 설정 Step1

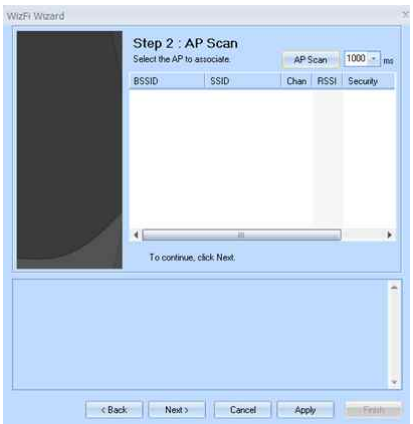


그림 150 모듈 설정 Step2



그림 151 모듈 설정 Step3

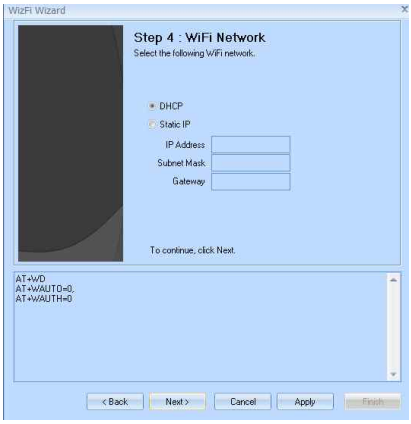


그림 152 모듈 설정 Step4

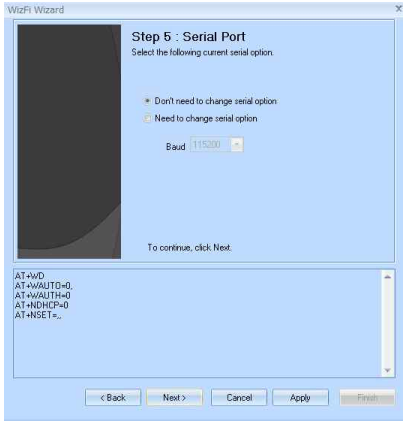


그림 153 모듈 설정 Step5

Step4에서는 그림 169와 같이 유동 IP로 할지 고정 IP로 할지 선택 및 입력하는 과정이다. Server로 이용하기에 고정으로 할당하는 것이 편리하다 생각하여 임의의 IP로 할당하였다. Step5에서는 시리얼 포트 설정부분인데 여길 수정할 이유가 없기에 바로 다음으로 넘어간다. Step6에서는 모듈을 TCP, UDP로 사용할지 Server, Client인지 선택하는 부분이다. IP를 통한 무선통신 이므로 TCP로 모드는 Server로 하며, 테스트 시에는 WizFi220 제품의 Server Port는 8011로 하였다. 본 제품의 예제를 따라 했다.

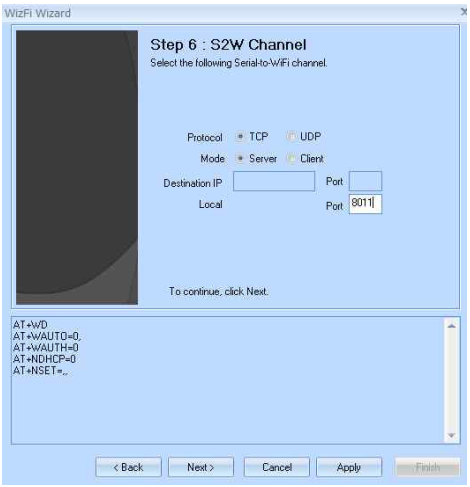


그림 154 모듈 설정 Step6

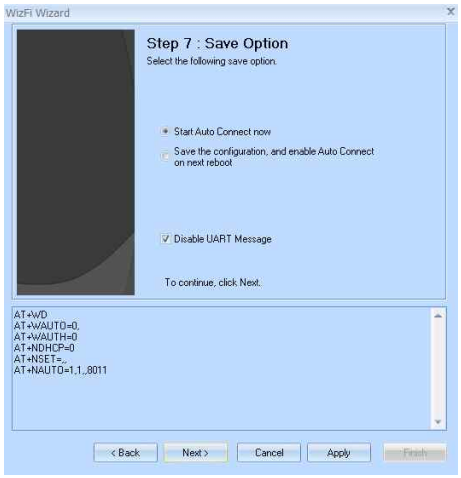


그림 155 모듈 설정 Step7

마지막으로 Step7에서는 지금까지 설정한 값에 대한 저장 부분이다. 두 번째에 있는 리부팅 한 다음에도 자동 연결로 설정한다. 이와 같이 설정해야 재시작한 다음에도 계속 자동 연결이 된다.

PC에서 사용되는 호스트 프로그램에서도 설정이 필요하다. 호스트 프로그램 소스에 각 서버의 IP 주소와 포트를 입력한 후 프로그램을 실행 시킨다.

```
private void frmMain_Load(object sender, EventArgs e)
{
    Mfe = new frmMFE(this);
    this.Location = new Point(50, 50);
    HmAddress = IPAddress.Parse("192.168.0.99");// WiFi Server IP
    VmAddress = IPAddress.Parse("192.168.0.100");
    HmEndPoint = new IPEndPoint(HmAddress, 8012);//WiFi Server Port
    VmEndPoint = new IPEndPoint(VmAddress, 8011);
}
```

그림 156 Wi-Fi 연결 설정

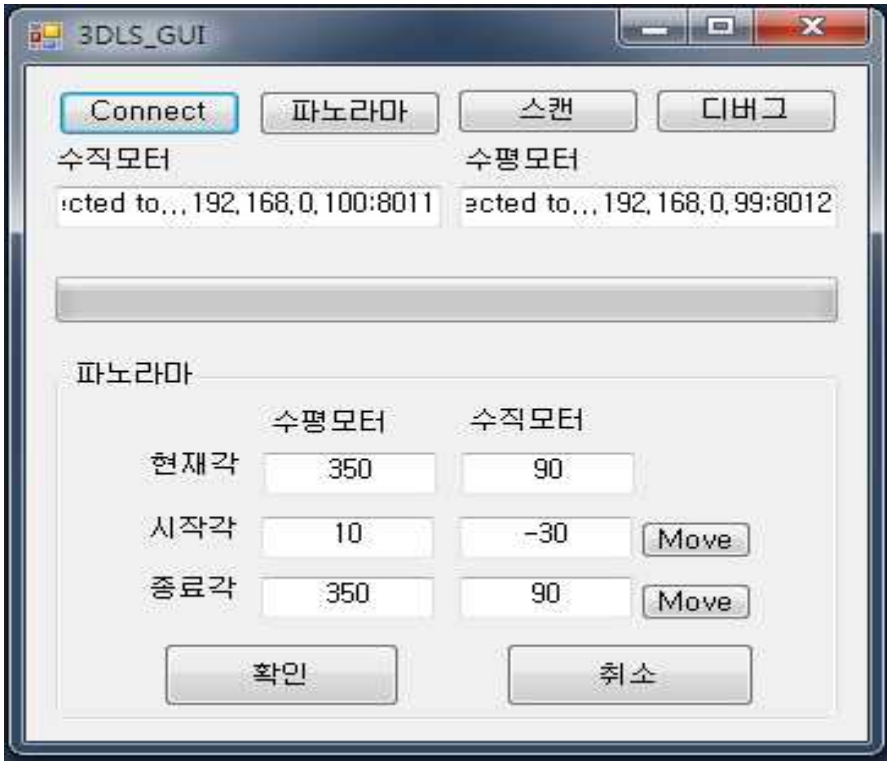


그림 157 호스트 프로그램 Connect모습

실행 시키면 4.1에서 설명한바와 같이 그림 이 나오고 Connect 버튼을 누르면 각 모터와 무선으로 연결된 것을 확인 할 수 있다.

다. 파노라마 촬영

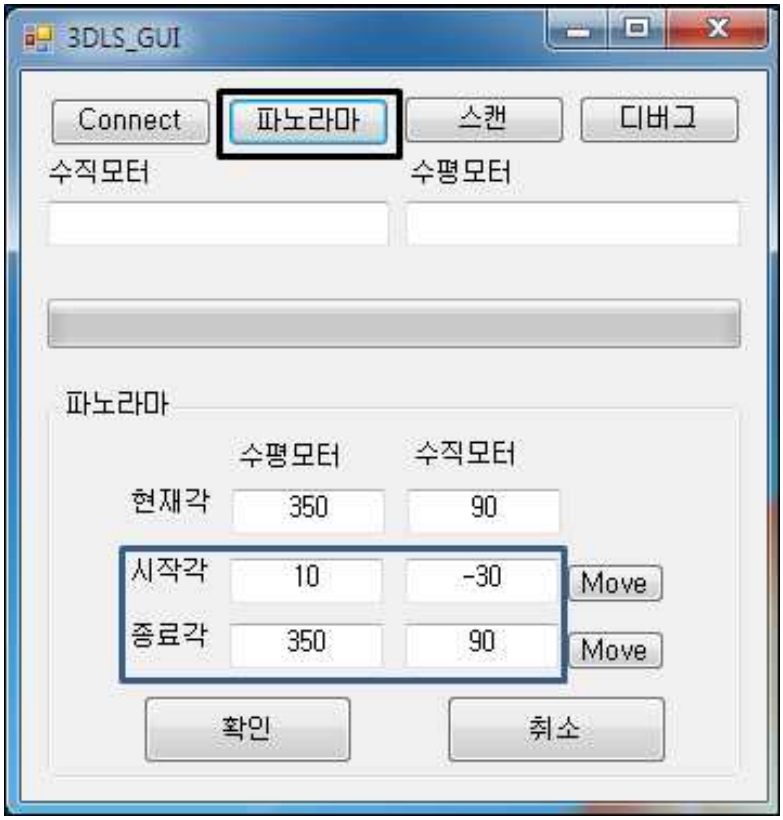


그림 158 파노라마 촬영 설정

파노라마 촬영은 그림 175와 같이 3DLS_GUI 창에서 파노라마 버튼을 클릭한다. Connect 시 모터의 현재각이 나오며, 각 모터의 시작각과 종료각의 값을 지정해 주어야 한다. 시작각과 종료각은 -180° ~+180° 사이의 값으로 입력해야 하며, 종료각은 시작각보다 큰 값이 들어가야 한다. 각을 입력하는 테스트 박스 옆에 있는 Move의 버튼은 입력된 각으로 모터를 이동 시켜 움직임을 확인 할 수 있다. 각 모터의 각도를 입력 한 후 확인 버튼을 누르면 파노라마 촬영 시작하며, 회색 바에 진행률이 표시 된다.
파노라마촬영의 진행순서는 그림 176과 같다. 그림 176 파노라마촬영 소스코드를 살펴보면 for문으로 이루어져 있으며, 순차적으로 진행됨을 알 수 있다.

```
panorama()//파노라마 함수
        {
            for (j = StartPH; j <= EndPH; j = j + 20) {

    //수평모터를 일정간격으로 이동시키는 명령(최초에는 시작위치)
                k = j / 360.0;
                a = MakeSendFile(k.ToString(), MOVE_POSITION);
                HMCompl = false;
                serialPort2.Write(a, 0, a.Length);

    //수직모터를 시작위치로 이동시키는 명령
                k = StartPV / 360.0;
                a = MakeSendFile(k.ToString(), MOVE_POSITION);
                VMCompl = false;
                serialPort1.Write(a, 0, a.Length);

    //수평모터와 수직모터 동작 완료까지 대기
                while (!HMCompl || !VMCompl)
                    ;
                //사진촬영;
                progressBar1.PerformStep();

                for (i = StartPV+20; i <= EndPV; i = i + 20) {

        //수직모터를 다음 위치로 이동시키는 명령
                    k = i / 360.0;
                    a = MakeSendFile(k.ToString(), MOVE_POSITION);
                    VMCompl = false;
                    serialPort1.Write(a, 0, a.Length);

        //수직모터 동작 완료까지 대기
                    while (VMCompl != true)
                        ;
                    //사진촬영;
                    progressBar1.PerformStep();
                }
            }

//수평모터와 수직모터를 홈 위치(0,0)까지 이동
            k = 0;
            a = MakeSendFile(k.ToString(), MOVE_POSITION);
            serialPort1.Write(a, 0, a.Length);
            serialPort2.Write(a, 0, a.Length);
            Pano_Btn.Text = "파노라마";
            Scan_Btn.Enabled = true;
        }
```

그림 159 파노라마촬영 소스코드

변수를 살펴보면 StartPH: 파노라마 측정 시 수평모터의 시작위치 StartPV: 파노라마 측정 시 수직모터의 시작위치, EndPH: 파노라마 측정 시 수평모터의 끝위치, EndPV : 파노라마 측정 시 수직모터의 끝위치, HMCompl: 수평모터의 이동완료 확인 변수, VMCompl: 수직모터의 이동완료 확인 변수이다. 각 모터는 시작위치로 이동하고 동작 완료 확인 변수를 통해(VMCompl, HMCompl) 이동완료를 확인 후 다음위치로 이동을 반복하여 정해진 구간의 촬영이 끝나면 홈 위치로 돌아간다.

라. 스캔

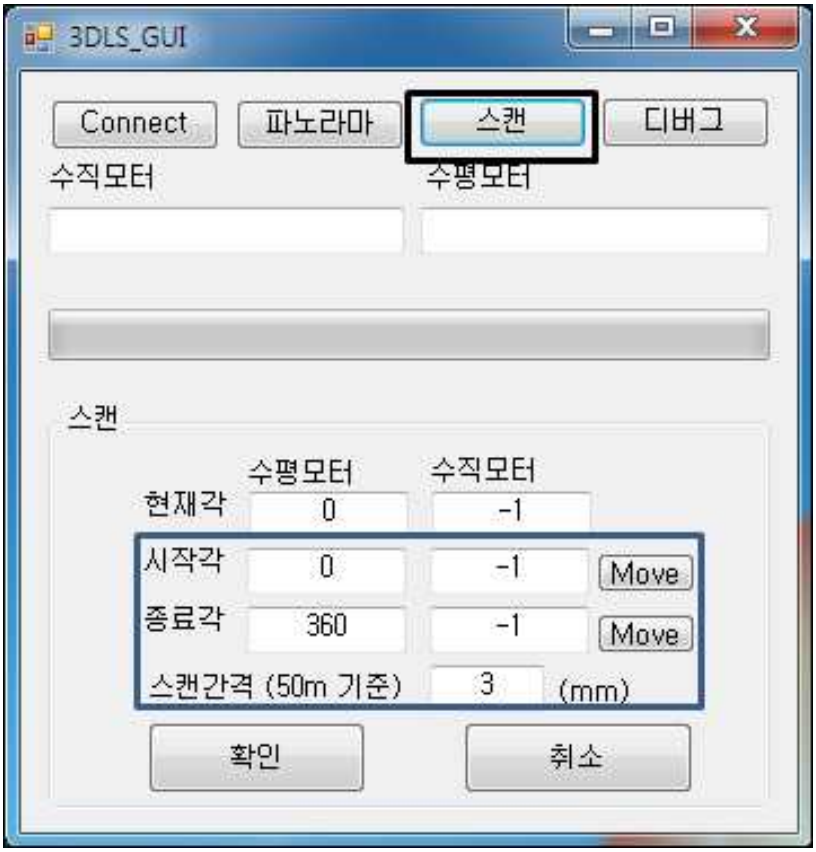


그림 160 스캔 설정

스캔은 그림 177과 같이 3DLS_GUI 창에서 스캔 버튼을 클릭한다. 앞절의 파노라마 촬영과 동일하게 Connect시 모터의 현재각이 나오며, 각 모터의 시작각과 종료각의 값을 지정해 주어야 한다. 시작각과 종료각은 -180° ~+180° 사이의 값으로 입력해야 하며, 종료각은 시작각보다 큰 값이 들어가야 한다. 각을 입력하는 테스트 박스 옆에 있는 Move의 버튼은 입력된 각으로 모터를 이동 시켜 움직임을 확인 할 수 있다. 수직 모터인 경우 -1의 값으로 입력되면 전체 스캔한다. 스캔간격은 정밀도 설정이며, 50m기준 3mm(정밀스캔), 50m기준 15mm(일반스캔), 50m기준 30mm(고속스캔)으로 설정 할 수 있다.

스캔의 소스코드는 그림 4-20같다. 소스코드의 변수들을 살펴보면 StartSH : 수평모터 스캔 시작위치, StartSV: 수직모터 스캔 시작위치, EndSH: 수평모터 스캔 끝위치, EndSV: 수직모터 스캔 끝위치, Dst: 스캔 간격, MtPos: 수직모터의 현재 각도, HMCompl: 수평모터의 이동완료 확인 변수, VMCompl: 수직모터의 이동완료 확인 변수이다. 스캔의 진행순서는 수직, 수평모터를 각자의 시작위치로 이동시키고 동작 완료 확인 변수를 통해(VMCompl, HMCompl) 이동완료를 확인 후 수직모터를 속도 제어하여 등속 회전을 한다. 스캔 정밀도에 따라 모터의 이동간격을 계산하고 스캔 구간에 맞게 수직모터가 회전 한 후 수평 모터가 계산된 이동 간격으로 스캔한다.

```
      Scan()//스캔함수{
//수평모터를 시작위치로 이동시키는 명령
            cmd = StartSH / 360.0;
            a = MakeSendFile(cmd.ToString(), MOVE_POSITION);
            serialPort2.Write(a, 0, a.Length);

//수직모터를 시작위치로 이동시키는 명령
            cmd = StartSV / 360.0;
            a = MakeSendFile(cmd.ToString(), MOVE_POSITION);
            serialPort1.Write(a, 0, a.Length);

//수직모터와 수평모터의 이동 완료까지 대기
            while (!HMCompl || !VMCompl)
                ;

//수직모터를 속도제어 모드로 전환(상태응답은 대기하지 않고 무시)
            a = MakeSendFile("0", MOD_SPEED);
            serialPort1.Write(a, 0, a.Length);

//수직모터에 등속 회전 명령
            cmd = 12 * Dst / 360.0;
            a = MakeSendFile(cmd.ToString(), MOVE_POSITION);
            serialPort1.Write(a, 0, a.Length);
//이동간격 계산
            ainc = Math.Asin(Dst * 1.5 / 5000) / Math.PI * 180;

            for (angle = StartSH; angle < EndSH + ainc; angle = angle + ainc) {

    //수직모터 전 구간 스캔
                if (StartSV == -1 && EndSV == -1){

    //수직모터의 한바퀴 회전 대기 (수직모터의 원점신호 대기)
                    while (VMCompl != true)
                        ;
                }

    //수직모터 특정구간 스캔 (수직모터의 원점신호 무시)
                else {
                    pos = MtPos * 360;

                    if (check) {

    //수직모터의 끝위치 까지 회전 대기
                        while (pos < EndSV)
                            pos = MtPos * 360;
                        cmd = -12 * Dst / 360.0;
                        check = false;
                    }
                    else {

    //수직모터의 시작위치 까지 회전 대기
                        while (pos > StartSV)
                            pos = MtPos * 360;
                        cmd = 12 * Dst / 360.0;
                        check = true;
                    }

    //수직모터에 역방향 등속 회전 명령
                    a = MakeSendFile(cmd.ToString(), MOVE_POSITION);
                    serialPort1.Write(a, 0, a.Length);
                }
                VMCompl = false;
                progressBar1.PerformStep();

    //수평모터 스캔간격으로 이동명령(동작 완료 까지 대기는 생략 : 수직모터 회전시간에 포함됨)
                cmd = angle / 360.0;
                a = MakeSendFile(cmd.ToString(), MOVE_POSITION);
                serialPort2.Write(a, 0, a.Length);
            }

//스캔 완료 후 수직모터를 위치제어 모드로 전환
            a = MakeSendFile("0", MOD_POSITION);
            serialPort1.Write(a, 0, a.Length);
            Scan_Btn.Text = "스캔";
            Pano_Btn.Enabled = true;
        }
```

그림 161 스캔 소스코드

3. 제어기 성능평가 시험

본 과제에서 제시한 제어기 성능지표는 다음과 같다.

표 53 제어기 목표 성능

제어 대상	제어 방식	목표 성능	오차범위
수직모터	속도제어	속도제어(1~10 rps) 오차 범위	1%
	위치제어	파노라마 스텝이동시간	0.8초
수평모터	속도제어	속도제어(0.3~3 rpm) 오차 범위	3%
	위치제어	파노라마 스텝이동시간	1.8초
	정밀 위치제어	정밀스캔 스텝이동시간	0.5초
	수직/수평 모터 동기화	수직/수평 모터 동기화 오차	1%

수직 모터의 경우 스캔을 위한 속도제어와 파노라마 촬영을 위한 위치제어가 수행되며, 각각의 목표 성능은 위 표와 같다. 수평모터의 경우는 수직모터와 동일한 제어 목표 외에도 스캔을 위한 정밀 위치제어와 수직 수평 두 모터 사이의 동기화를 위한 목표 성능이 위 표와 같이 제시되었다.

본 장에서는 이들 각각이 성공적으로 달성되었음을 설명하였다.

가. 수직모터 속도제어

3D 스캔을 하기 위해서는 수평모터가 회전하는 동안 수직모터도 동시에 회전하여 3차원 공간으로 레이저 빔을 발사하고 그 수신거리를 측정하여야 한다. 이 경우 수직모터의 속도제어는 정해진 속도로 정밀한 정속 회전이 되도록 하여야한다. 목표 속도는 고속 스캔과 일반 스캔, 정밀스캔에 따라 특정 값으로 설정되는데, 본 과제에서는 고속스캔과 정밀스캔에서 사용되는 10rps와 1rps에 대한 성능 실험을 하였다.

실험을 위해서는 제어기 모드를 속도모드로 전환하여야 하는데 이는 그림 5-1 (그림 4-4 우측 하단 부)의 Position 버튼을 클릭하면 된다. 이 때 해당 버튼의 텍스트가 Speed로 변경된다.



그림 162 모드 설정 및 명령 값 설정(그림 4-4 우측 하단부)

모터의 회전 속도를 설정하기 위해서는 좌측 send버튼(우측은 수평모터 제어용)의 좌측 텍스트 박스에 속도 값을 넣은 후 send버튼을 클릭하여 속도를 설정한다. 1rps 회전을 위해서는 0.1을, 10rps 회전을 위해서는 1을 입력한다. 표 5-2은 실험 시 설정된 PID 파라미터 값이다.

표 54 수직 모터 속도 제어 PID 파라미터

	1rps~9rps	9rps~10rps
Kp_Pos	550	200
Ki_Pos	0.0005	0.003
Kd_Pos	0	0
Kp_ID, IQ	0.35	0.35
Ki_ID, IQ	0.0001	0.001
Kd_ID, IQ	0	0

1) 수직모터 속도제어 고속 스캔

고속스캔을 위한 회전(10rps)의 제어 성능 분석을 위한 속도 응답 특성을 알아보기 위하여 수신된 속도를 그래프로 나타내었다. 2차년도 그래프의 시간단위는 10ms이며, 3차년도 그래프의 시간단위는 1s이다.

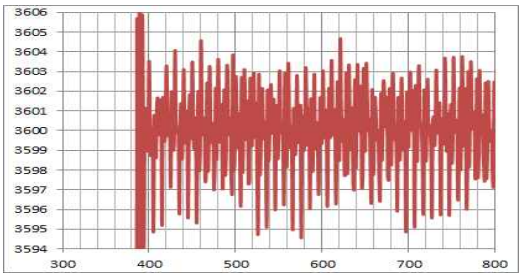


그림 163 2차년도 10rps 5도 오차(0.014%)

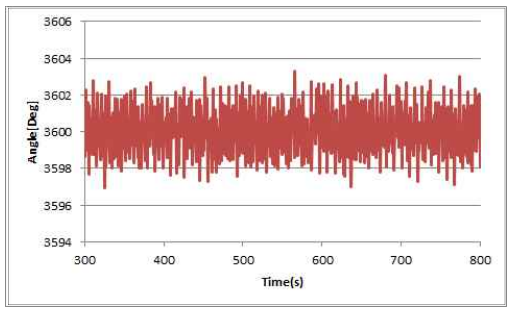


그림 164 3차년도 10rps 3.5도 오차(0.0098%)

그림 180의 2차년도 실험결과는 10바퀴를 회전 하여 Y축 값이 목표 값인 10rps의 ±5도의 오차인 0.014%(5/3600, 1차년도 보고서 35쪽)의 오차율을 갖는다. 당해년도 연구 결과에서는 제어대상인 모터가 변경되었음에도 불구하고 이전 연구결과보다 약간 개선된 결과인 0.0098%(속도 오차가 5° 에서 3.5° 로 감소)를 달성하여 연구 목표인 1%를 초과달성 하였다.

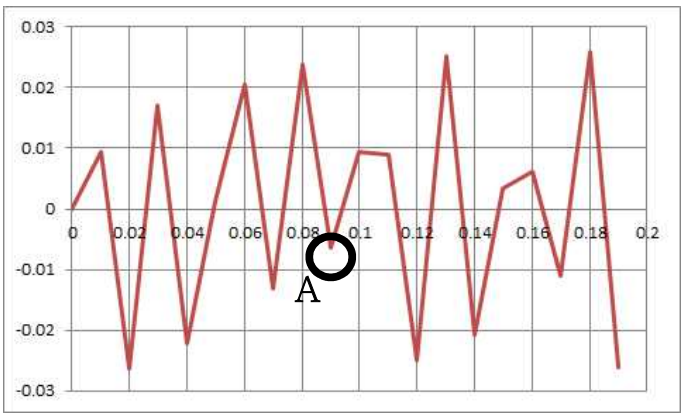


그림 165 10rps 속도제어 위치 오차 그래프

속도제어 결과는 목표치 이상으로 완수 되었으나 고속 스캔의 경우 매 샘플마다 0.034도 씩 위치가 이동 되어야 하는데 이를 확인하기 위하여 10ms 단위로 수신된 위치 데이터의 변위를 그림으로 표시하였다. 그림 182의 A는 한 바퀴 회전이 완료 되어 이전 각과의 각도 차가 360도 발생하여 인위적으로 데이터를 수정한 부분이다. 그림에서 알 수

있듯이 오차가 -0.026° ~ 0.025° 사이에 머물고 있어 목표오차범위인 0.034° 를 만족함을 알 수 있다.

2) 수직모터 속도제어 정밀 스캔

정밀스캔을 위한 회전(1rps)의 제어 성능 분석을 위한 속도 응답 특성을 알아보기 위하여 수신된 속도를 그래프로 나타내었다. 2차년도 그래프의 시간단위는 10ms이며, 3차년도 그래프의 시간단위는 1s이다.

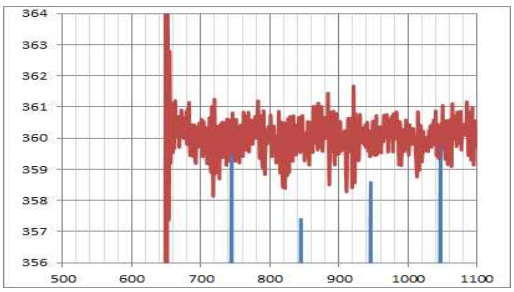


그림 166 2차년도 1rps 2도 오차(0.556%)

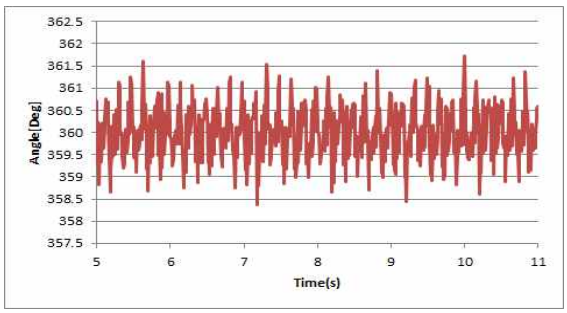


그림 167 2차년도 1rps 1.99도 오차(0.553%)

그림 183의 2차년도 실험결과는 1바퀴를 회전 하여 Y축 값이 목표 값인 1rps의 ±2도의 오차인 0.556%(2/360)의 오차율을 갖는다. 3차년도 연구 결과에서는 제어대상인 모터가 변경으로 이전 연구결과보다 약간 개선된 결과인 0.553%(속도 오차가 2° 에서 1.99° 로 감소)를 보였다.

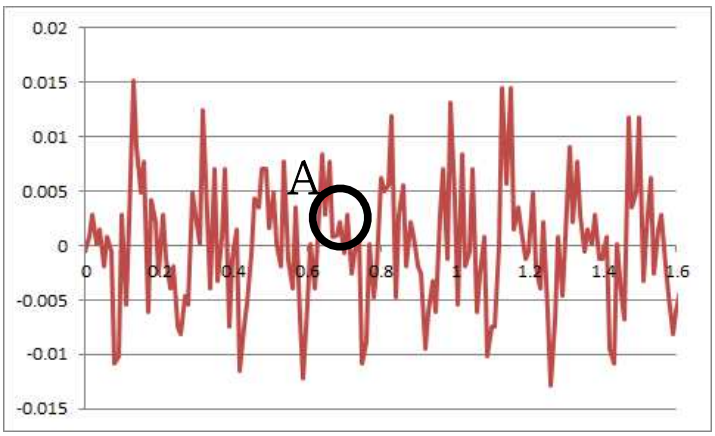


그림 168 1rps 속도제어 위치 오차 그래프

속도제어 결과는 목표치 이상으로 완수 되었으나 정밀 스캔의 경우 매 샘플마다 0.0034도 씩 위치가 이동 되어야 하는데 이를 확인하기 위하여 10ms 단위로 수신된 위치 데이터의 변위를 그림으로 표시하였다. 그림 185의 A는 한 바퀴 회전이 완료 되어 이전 각과의 각도 차가 360도 발생하여 인위적으로 데이터를 수정한 부분이다. 그림에서 알 수 있듯이 오차가 -0.0129° ~ 0.015° 사이에 머물고 있어 목표오차범위인 0.0034° 를 다소 벗어남을 알 수 있다.

현재의 분해능은 목표값의 3배이므로 제어기 파라미터를 좀 더 조정하거나 엔코더 분해능을 올리면 목표 제어값인 0.0034° 를 달성 할 것으로 기대되나, 그림에서 보는바와 같이 현제 오차는 12극 모터의 극 성분으로 인해 극간 이동 중 발생하는 오차로 보인다. 이는 지난 연구 중 발표하였던 수직모터 부하모델링 에서와 같은 전향경로에 극 특성을

반영하면 해결될 것으로 보이나 현재 수직모터에 사용되고 있는 엔코더가 개발상의 문재로 안정화 되어 있지 않아 엔코더 정보에 신뢰성이 부족하여 현 상태로는 반영이 불가하다. 또한 수직모터 엔코더의 분해능은 1펄스 당 0.001373°(360/(4096*64))이므로 0.0034° 이내의 값을 산출하기 어렵다.

표 55 수직모터 속도별 오차분석표

속도	목표 성능	2차 년도 오차	3차 년도 오차
10rps	1%	0.14%	0.0098%
1rps	1%	0.56%	0.553%

표 55은 2차년도와 3차년도의 오차율을 비교한 표이다. 두 속도 모두 목표성능인 1%에 만족하며, 10rps는 다소 오차가 감소된 모습을 보이고 1rps또한 약간 오차가 감소한 모습을 볼 수 있다.

나. 수직모터 위치제어

3D 스캔에서 파노라마촬영을 하기 위해서는 한 바퀴 회전하는 것이 아니라 원하는 시작각에서 종료 각으로 이동해야한다. 따라서 속도제어가 아닌 위치제어가 필요하다. 파노라마 촬영처럼 20° 구간 반복 이동하는 실험을 하였다.

표 56 수직모터 위치제어 PID
파라미터

	Position	Speed	ID,IQ
P	400	90	0.35
I	0.0006	0.0003	0.0001
D	0.0	0.0	0.0

표 56은 수직모터 위치제어 실험 시 입력된 PID 파라미터 값이고 실험을 위해서는 구간이동 설정을 해야 한다. 이는 그림 186에 나와 있는 텍스트 박스에 값을 넣으면 된다. 모터는 POS1과 POS2의 구간을 반복 이동하며, Time은 이동 간격을 나타낸다. 우측의 체크박스는 이동 할 모터 설정하는 부분이다.



그림 169 모터 구간이동 설정(그림 4-4의 2번)

수직모터 20° 구간의 반복이동 하는 실험을 위하여 그림 5-8의 우측에 있는 VM 체크박스를 체크하고 POS1에는 0, POS2에는 20의 값을 입력하고 Time은 2000을 입력하여 2초 간격으로 이동 하도록 설정하였다. 실험결과는 그림 5-9과 같다.

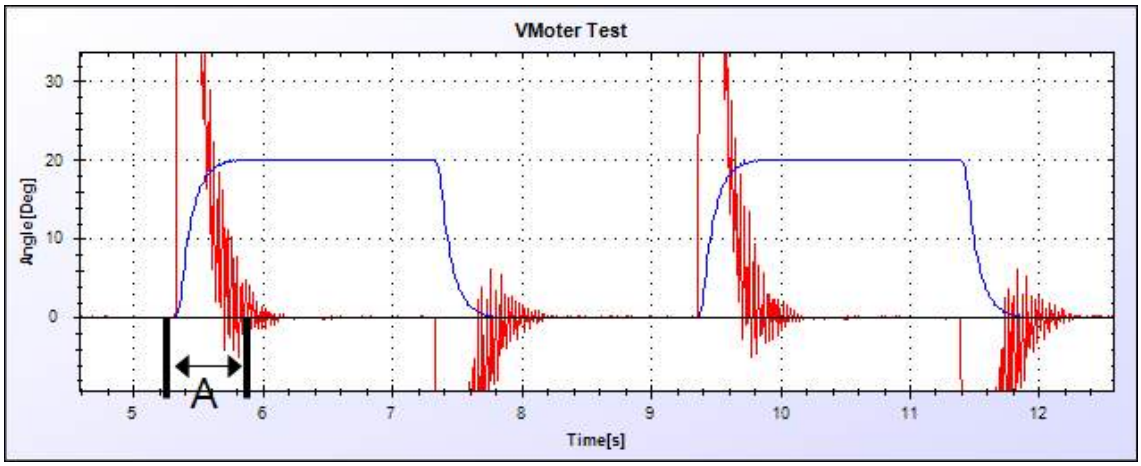


그림 170 수직모터 20° 구간 반복 이동(파노라마 스텝이동)

그림 187에서 A구간이 0° 에서 20° 까지 이동하는데 걸린 시간 즉, 파노라마 스텝이동시간이다. A구간 위치 값으로 그리면 아래의 그림과 같다.

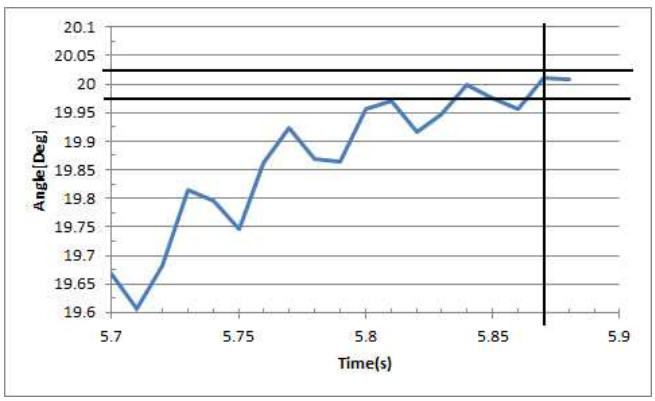


그림 171 수직모터 파노라마 스텝이동 시간

그림 188은 그림 187의 A구간 확대한 것으로 x축이 시간(s)이고 y축이 각도 이다. 모터의 위치가 0° ~20° 까지의 구간을 오차범위 ±0.025° 이내인 20.1° 로 0.55초(587ms-533ms)에 도달한 것을 확인 할 수 있다. 이는 목표성능인 0.8초 보다 0.24초 빠르게 도달하였다.

다. 수평모터 속도제어

3D 스캔을 하기 위해서는 수직모터가 회전하는 동안 수평모터도 동시에 회전하여 3차원 공간으로 레이저 빔을 발사하고 그 수신거리를 측정하여야 한다. 이 경우 수평모터의 속도제어는 정해진 속도로 정밀한 정속 회전이 되도록 하여야한다. 목표 속도는 고속 스캔과 일반 스캔, 정밀스캔에 따라 특정 값으로 설정되는데, 본 과제에서는 고속스캔과 정밀스캔에서 사용되는 3rpm와 0.3rpm에 대한 성능 실험을 하였다. 표 5-5는 수직모터 위치

표 57 수평 모터 속도 제어 PID 파라미터

제어 실험 시 입력된 PID

	0.3~3rpm
Kp_Pos	100
Ki_Pos	0.001
Kd_Pos	0
Kp_ID, IQ	0.45
Ki_ID, IQ	0.0001
Kd_ID, IQ	0

실험 방법은 5.1절의 수직모터 속도제어와 동일하며, 모터의 회전 속도를 설정하기 위해서는 그림 5-8의 우측 send버튼(좌측은 수직모터 제어용)의 좌측 텍스트 박스에 속도 값을 넣은 후 send버튼을 클릭하여 속도를 설정한다. 3rpm 회전을 위해서는 0.1을, 0.3rpm 회전을 위해서는 0.01을 입력한다.

1) 수평모터 속도제어 고속스캔

정밀 스캔을 위한 회전(3rpm)의 제어 성능 분석을 위한 속도 응답 특성을 알아보기 위하여 수신된 속도를 그래프로 나타내었다. 2차년도 그래프의 시간단위는 10ms이며, 3차년도 그래프의 시간단위는 1s이다.

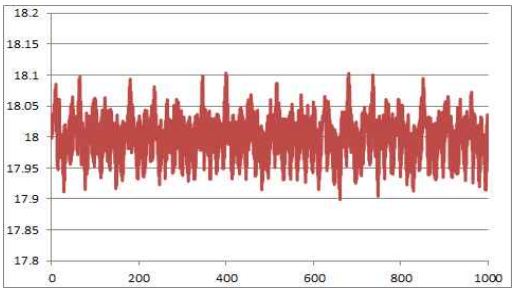


그림 172 2차년도 3rpm 0.1도 오차(0.56%)

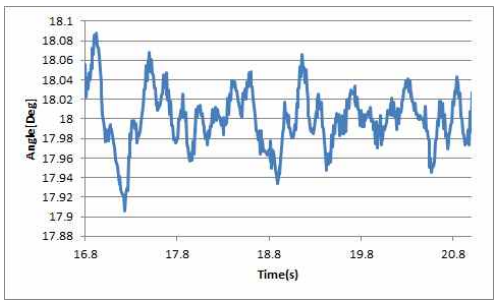


그림 173 3차년도 3rpm 0.1도 오차(0.56%)

Y축의 목표 값인 18° 를 산출하는 방법은 rpm을 rps로 변환하고 3rpm/60하여 0.05rps의 값이 나온다. 즉, 18도만큼 이동하는 것이다. 그 때 ±0.1도의 오차인 0.56%(0.1/18)의 오차율을 갖는다. 3차년도 연구결과에서는 제어대상인 모터가 변경되어서도 이전 연구와 동일한 결과인 0.56%를 달성하여 연구 목표에 달성하였다.

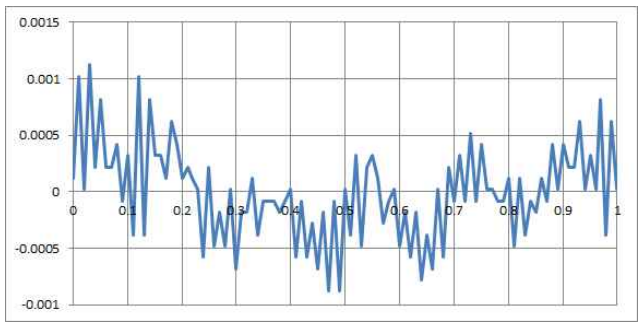


그림 174 3rpm 속도제어 위치 오차 그래프

수직 모터 속도제어와 동일하게 고속 스캔의 경우 매 샘플마다 0.034도 씩 위치가 이동되어야 하는데 이를 확인하기 위하여 10ms 단위로 수신된 위치 데이터의 변위를 그림

으로 표시하였다. 그림 191은 3rpm으로 이동시의 위치 오차 그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이 오차가 -0.0011° ~ 0.0008° 사이에 머물고 있어 목표오차범위인 0.034° 이내임을 알 수 있다.

2) 수평모터 속도제어 정밀스캔

정밀 스캔을 위한 회전(0.3rpm)의 제어 성능 분석을 위한 속도 응답 특성을 알아보기 위하여 수신된 속도를 그래프로 나타내었다. 2차년도 그래프의 시간단위는 10ms이며, 3차년도 그래프의 시간단위는 1s이다.

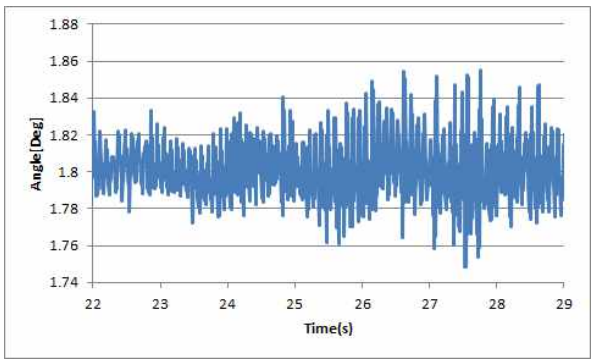


그림 175 3차년도 0.3rpm 0.047도 오차(2.6%)

수평모터의 0.3rpm 실험은 1차 년도에 하지 않았던 실험이다. 그림 71의 2차년도 그래프를 보면 Y축은 각도를 나타내며, 값은 1.8도 이다. X축은 시간은 나타내며 단위는 s이다. 1.8도 값을 산출하는 방법은 rpm을 rps로 변환하고 0.3rpm/60하여 0.005rps의 값이 나온다. 즉, 1.8도만큼 이동하는 것이다. Y축 목표 값인 1.8도에서 ±0.047도의 오차인 2.6%(0.047/1.8)를 달성하여 목표성능인 연구 목표인 3%를 초과 달성하였다.

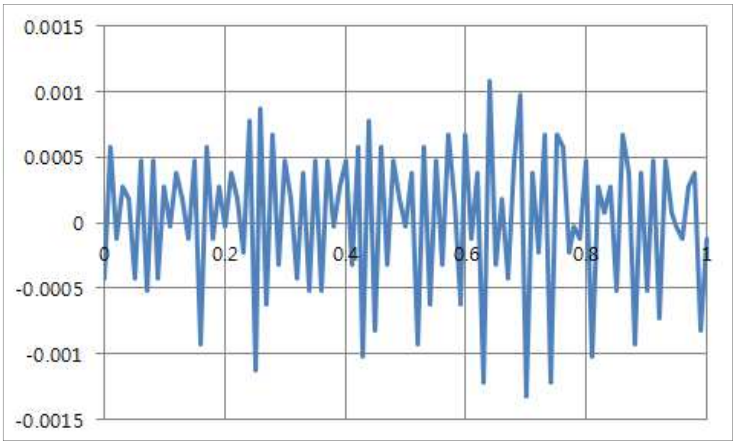


그림 176 0.3rpm 속도제어 위치 오차 그래프

수평모터 정밀 스캔의 경우 매 샘플마다 0.0034도 씩 위치가 이동 되어야 하는데 이를 확인하기 위하여 10ms 단위로 수신된 위치 데이터의 변위를 그림으로 표시하였다. 그림 5-15는 0.3rpm으로 이동시의 위치 오차 그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이 오차가 -0.0013° ~ 0.0011° 사이에 머물고 있어 목표오차범위인 0.034° 이내임을 알 수 있다.

라. 수평모터 위치제어

3D 스캔에서 수평모터는 스캔촬영 및 파노라마촬영하기 위해서는 한 바퀴 회전하는 것이 아니라 원하는 시작 각에서 종료 각으로 이동해야한다. 따라서 속도제어가 아닌 위치제어가 필요하다. 수직모터와 동일하게 파노라마 촬영처럼 20° 구간 반복 이동하는 실험을 하였고 수평모터는 스캔 촬영 시에도 위치제어를 이용하기 때문에 고속스캔(0.034°)과 정밀스캔(0.0034°) 때의 스텝이동 하는 실험을 하였다. 파노라마 스텝이동 실험, 고속스캔 스텝이동 실험, 정밀스캔 스텝이동 실험 순으로 실험하였다.

표 58 수평모터 위치제어 PID 파라미터

	Position	Speed	ID,IQ
P	100	30	0.45
I	0.0001	0.0005	0.0001
D	0.0	0.0	0.0

표 58은 위의 수평모터 위치제어 실험 시 설정된 PID 파라미터 값이다.

1) 파노라마 스텝이동 실험

실험을 위해서는 구간이동 설정을 해야 한다.



그림 177 모터 구간이동 설정

3가지 실험 중 먼저 파노라마촬영에서 사용되는 20° 구간의 반복이동 하는 실험을 위해 POS1에는 0, POS2에는 20의 값을 입력하고 Time은 2000을 입력하여 2초 간격으로 이동 하도록 설정하였다. 수평 모터 구간 위치제어의 파형은 그림 5-17과 같다.

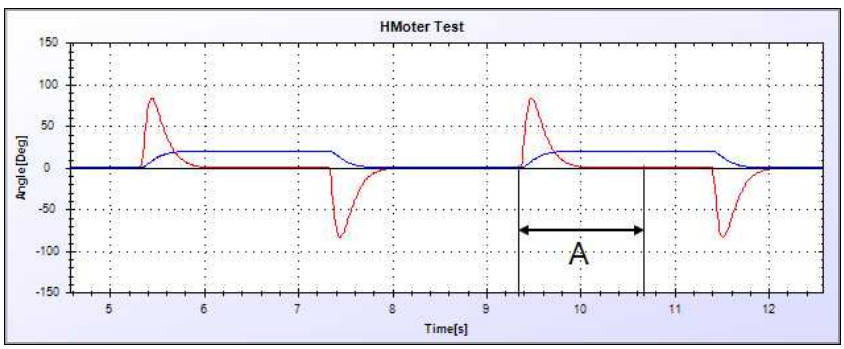


그림 178 수평모터 20° 구간 반복 이동

그림 195에서 A구간이 0° 에서 20° 까지 이동하는데 걸린 시간 즉, 파노라마 스텝이동시간이다. A구간의 위치 값으로 그래프를 그리면 아래의 그림과 같다.

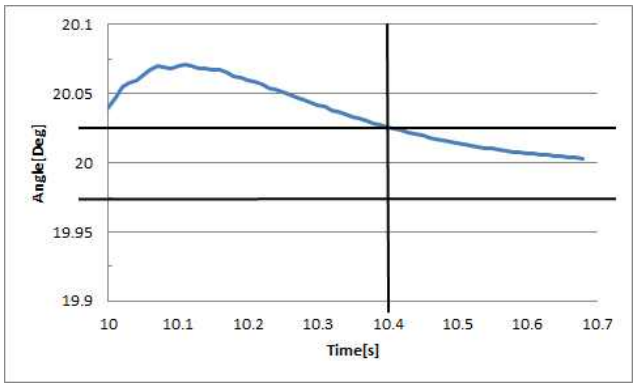


그림 179 수평모터 파노라마 스텝이동 시간

그림 196은 그림 195의 A구간 확대한 것으로 x축이 시간(10ms)이고 y축이 각도 이다. 모터의 위치가 0° ~20° 까지의 구간을 오차범위 ±0.025° 내인 20.025° 로 1.03초 (10.4s-9.37s)에 도달한 것을 확인 할 수 있다. 이는 목표성능인 1.8초 보다 0.77초 빠르게 도달하였다.

2) 고속 스캔 스텝이동 실험

스캔 스텝이동 실험은 고속 스캔과 정밀 스캔 실험이 있으며, 고속 스캡의 스텝은 0.034° 이고 정밀 스캔의 스텝은 0.0034° 이다.

고속스캔 스텝이동 실험에서 사용되는 0.034° 구간의 반복이동 하는 실험을 위하여 그림 5-16 우측의 HM 체크박스를 체크하고 POS1에는 0, POS2에는 0.034의 값을 입력하고 Time은 1000을 입력하여 1초 간격으로 이동 하도록 설정하였다.

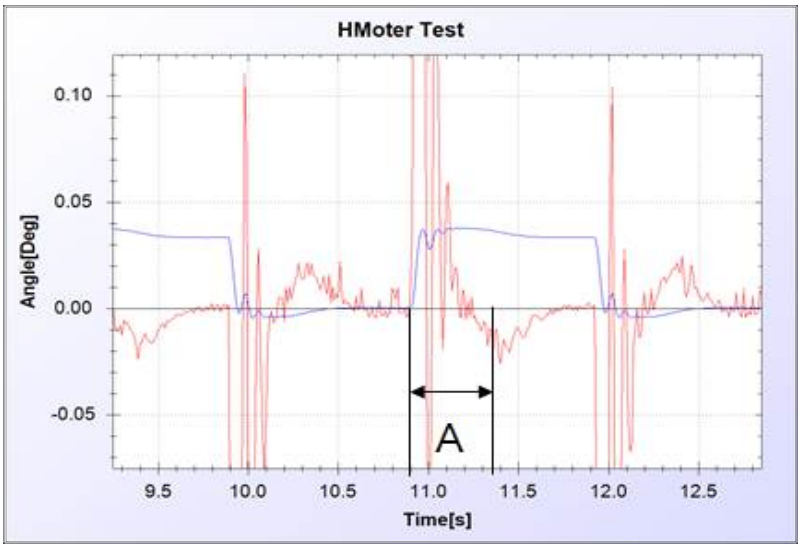


그림 180 수평모터 고속스캔 스텝 반복 이동 0.034°

그림 197에서 A구간이 0° 에서 0.034° 까지 이동하는데 걸린 시간 즉, 고속 스캔 스텝이동시간이다. A구간의 위치 값으로 그래프를 그리면 아래의 그림과 같다.

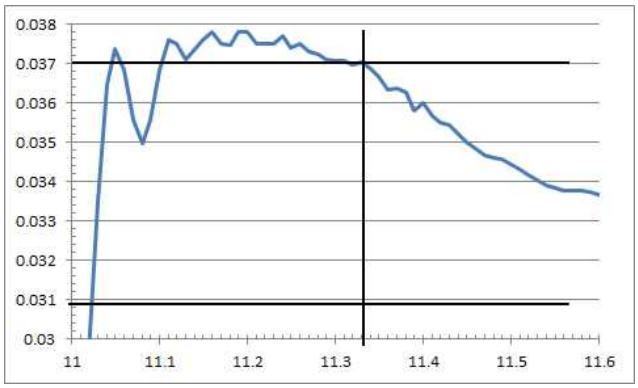


그림 181

그림 198은 그림 197의 A구간 확대한 것으로 x축이 시간(s)이고 y축이 각도 이다. 모터의 위치가 0° ~0.034° 까지의 구간을 0.0368° 로 0.42초(1133-1091)에 도달한 것을 확인 할 수 있다. 하지만 오차범위 ±0.00298° 이내에 값이 100번 카운팅 되면 목표 위치에 도달하였다고 본다. 즉, 0.42초에 목표 위치에 도달한 것이다. 이는 목표성능인 0.5초 보다 0.08초 빠르게 도달하여 목표성능에 만족하였다.

3) 정밀스캔 스텝이동 실험

정밀스캔 스텝이동 실험에서 사용되는 0.0034° 구간의 반복이동 하는 실험을 위하여 그림 5-16 우측의 HM 체크박스를 체크하고 POS1에는 0, POS2에는 0.0034의 값을 입력하고 Time은 1000을 입력하여 1초 간격으로 이동 하도록 설정하였다.

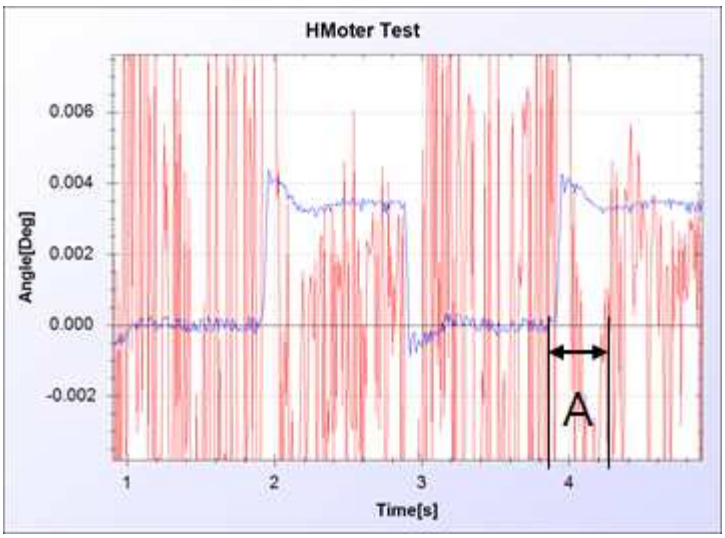


그림 182 수평모터 정밀스캔 스텝 반복 이동 0.0034°

그림 199에서 A구간이 0° 에서 0.0034° 까지 이동하는데 걸린 시간 즉, 정밀 스캔 스텝이동시간이다. A구간의 값으로 그래프를 그리면 아래의 그림과 같다.

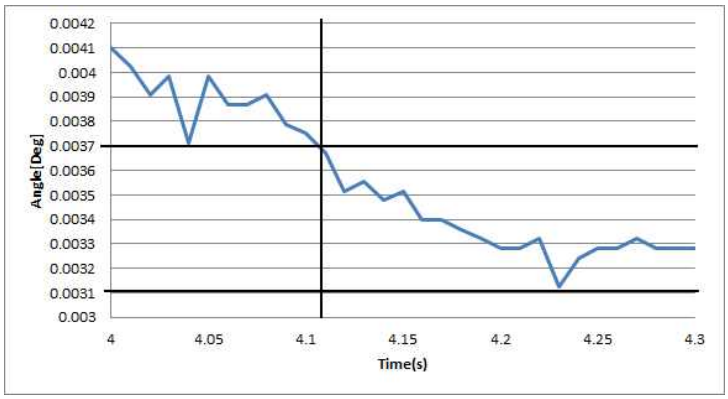


그림 183 수평모터 정밀 스캔 스텝이동시간

그림 200는 그림 199의 A구간 확대한 것으로 x축이 시간(s)이고 y축이 각도 이다. 모터의 위치가 0° ~0.034° 까지의 구간을 0.03672° 로 0.31초(4.11-3.8)에 도달한 것을 확인 할 수 있다. 하지만 오차범위 ±0.000298° 이내에 값이 100번 카운팅 되면 목표 위치에 도달하였다고 본다. 즉, 0.31초에 목표 위치에 도달한 것이다. 이는 목표성능인 0.5초 보다 0.19초 빠르게 도달하여 목표성능에 만족하였다.

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

제 1절 3차원 레이저 스캐너

1. 개요

레이저 빛을 발사하여 수평방향 모터와 수직방향 모터의 미러를 회전시켜 주어진 공간의 데이터(거리, 각도, 빛의 반사강도)를 취득하고, 각 위치 정에 해당하는 2차원 카메라 정보를 매핑 하여, 점군 데이터로 3차원 공간을 표현한다.

2. 핵심요소 기술

레이저 빛을 이용한 정밀거리 측정기술은 광학렌즈 설계 기술과, 광 신호를 전기적 신호로 변환하여 처리하는 아날로그 및 디지털 신호처리 기술이 필요하고, 스캔을 위한 정밀 서보 제어기술과 3차원 점군 데이터 취득 및 저장기술과 가시화 기술이 중요하다.

3. 주요 연구 성과

가. 특허

출원된 특허의 경우					등록된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	등록연도	특허명	등록인	등록국	등록번호
2013	지상용 3차원 레이저 스캐너[장비 손잡이 체결구조]	임창호	대한민국	10-2013-0150955					
2013	지상용 3차원 레이저 스캐너[회전체 하우징]	임창호	대한민국	10-2013-0150956					

4. 기술 실시 및 적용 사례

- 시제품 개발 완료
- 현장 적용 평가 후 판매예정

5. 국내외 시장 전망

3차원 레이저 스캐너 시장은 관련 하드웨어, 소프트웨어, 용역분야에서 2006년에 253백만 불에 달하였으며 전년 대비 43%의 성장을 이루었다. 그 수요는 해상구조물 건설 및 수리, 육상의 유전, 가스, 화력 및 원자력 발전, 도시계획 및 교통 인프라, 빌딩, 자동차, 건설 장비, 제조업, 과학수사 등 그 적용이 확대되고 있어, 초기 도입 단계를 넘어 각 분야에 주류의 사용자에 의해 점차 확대가 되고 있다. 3차원 스캐닝 기술 분야에 대한 지속적인 투자가 이루어지고 있어 시장은 계속 성장 할 것으로 사료됨.

제 2절 정밀 서보 모터 제어기

1. 개요

3차원 레이저 스캐너의 스캔 분해능 및 고속 동작을 위한 정밀 서보 모터제어 기술로 3D 레이저 스캐너의 경우 50m 떨어진 거리의 사물을 3mm간격으로 스캔이 가능하도록 하고자 한다. 이를 위해서는 3D레이저 스캐너에 부착되는 수직, 수평모터를 0.003도 이하의 단위로도 제어 할 수 있는 초정밀 제어기를 개발하였다.

2. 핵심요소 기술

저가격, 저 전력, 소형화 구현을 위해 DSP 사용하여 디지털 도면에서 제어 알고리즘을 구현하였으며, 모터의 전류 사용을 최소화하기 위해 PWM 드라이버로 구현하였다.

토크제어에 필요한 전류 피드백 센서는 홀 효과를 이용한 세서와, 위치정보는 인크리메털 엔코터를 사용하였으며, 모터 구동 시 발생한 노이즈를 디지털 필터로 처리하는 기술과, 모터 구동 방식에 따른 PID 게인을 이원화하는 기술이 적용되었다.

동작명령의 유연성을 위해 모터 제어기의 동작기능을 단순화 하여 상위 제어기에 다양한 형태의 명령을 설정할 수 있도록 하였다.

3. 주요 연구 성과

가. 연구논문

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2013 10.17	3D 레이저 스캐너 수직모터 부하 모델링	방재혁 이건영 임창호 황순휘	2013 정보 및 제어(CICS) 학술대회	국내
2014 7.16	경가각을 고려한 3D 레이저 스캐너 부하 모델링	방재혁 이건영	2014 대한전기학회 학술대회	국내

4. 기술 실시 및 적용 사례

- 3차원 레이저 스캐너 시제품에 적용

5. 국내외 시장 전망

정밀 제어용 모터 중에서 고효율, 고속, 저소음, 친환경 등의 장점을 갖추고 있어 차세대 스마트 모터로 각광받고 있는 BLDC모터 시장은 경기침체에 큰 영향을 받지 않고 지속적인 성장 추세를 보였으며, 수량 기준으로 2008년 9.1억 개에서 2014년 16억 개로 연평균 10% 이상의 성장이 되고 있다

고 정밀 서보 모터는 산업용 분야 나 군사용 분야에서 수요가 꾸준히 발생하고 있으나, 대부분 수입에 의존하고 있으며, 일부 부품은 수입규제가 걸려 있기도 하다.

국내외 고 부가치 제품 개발에 필수적인 서보모터 시스템을 독자적 기술 확보로 여러 분야에서 활용될 것으로 사료됨

제 3절 점군 데이터 처리 소프트웨어

1. 개요

점군 데이터 처리 소프트웨어(LScanFieldSW)는 3차원 레이저 스캐너를 이용하여 획득한 점군 데이터와 이미지를 저장 및 파노라마 뷰, 3D 디스플레이 등과 같은 데이터 편집 관리하는 기능을 제공한다. 또한 데이터 정합 기능을 제공하며 정합의 정확도 확보, 작업 능률성 향상, 데이터 구조 안정화하고, 정합알고리즘 분석 등을 수행하여 국산기술의 점군데이터 정합 소프트웨어를 개발하고자 하였다.

2. 핵심요소 기술

가. 장비 연동 및 명령 기능

점군 데이터 처리 소프트웨어는 레이저 스캐너에 명령을 전송하여 점 군 데이터 획득, 및 모터 이동, 경사 측정치 획득, 카메라 이미지 획득 등을 수행한다. 점군 데이터 처리 소프트웨어에서 레이저 스캐너에 스캔작업 명령을 전달하면 레이저 스캐너는 설정된 작업영역에 대하여 레이저 스캐닝을 수행하여 추출된 데이터를 실시간으로 전송한다. 데이터 추출 도중에 중지하고 싶다면 Stop, Pause 기능을 통하여 중지하고 다시 시작할 수 있다. 모터 이동 명령은 레이저 스캐너의 바라보는 방향을 사용자가 원하는 방향으로 수직 · 수평 각도를 입력 받아 이동시키는 기능이다. 이동 각도 값을 입력 후 'Move' 버튼을 클릭하면 통신을 통하여 레이저 스캐너에 이동 명령을 전송하여 레이저 기준점이 입력 지점으로 이동할 수 있다. 또한 경사 측정치 획득 기능은 레이저 스캐너의 기울기상태를 표시하는 기능이다. 각각의 동심원의 반지름은 20초이며, 가운데 녹색 원은 현재 기울기 지점에 표시된다. X, Y 기울기가 20초 이내이면 녹색 원으로 표시되며, 20초 이내 범위를 초과하면 붉은색 원으로 표시된다. 캡처 기능은 레이저 스캐너를 통하여 파노라마 이미지를 구성하기 위한 이미지 캡처 작업을 수행하고 획득한 캡처 이미지로 파노라마 이미지를 구성하여 파노라마 뷰에 가시화 하는 기능을 제공한다.

나. 점군 데이터 출력

점군 데이터 출력 기능은 프로젝트 관리 창에서 PC상에 저장되어있는 점 군 데이터 들을 불러와 PointCloud View 창에 출력한다. 출력되는 점군 데이터들은 기본적으로 단색의 색상으로 표시되며, 마우스를 사용하여 점 군 데이터들을 바라보는 위치와 각도를 변화시켜가며 사용자가 3차원 점 군 데이터 정보를 쉽게 이해할 수 있는 기능을 제공한다. 또한 점 군 데이터를 획득할 시 물체에서 반사되는 빛의 양을 따라서 점 군 데이터의 색상을 표현할 수 있으며, 사용자의 편의를 위해 점 군 데이터의 반사되는 양에 따라 출력되는 색상을 선택할 수 있는 기능을 제공한다. 마지막으로 카메라 이미지에서 색상정보를 획득하여 점 군 데이터에 표시할 수 있는 TrueColor Mapping기능을 제공하며, 실제 색상의 점 군 데이터를 통해 3차원 점군 데이터의 형상을 보다 쉽게 이해할 수 있다.

다. 점군 데이터 정합

타겟 기반 정합은 가장 지상용 레이저스캐너에서 여러 위치에서 받은 점군 데이터를 정합할 때 가장 많이 쓰이는 방법론이다. 타겟 기반 정합을 하기 위해서 일직선상에 있지 않은 3개의 점의 위치를 분석하여 두 좌표계간의 오일러 회전 변수를 추정한다. 실제 실험을 할 때에는 3개 혹은 그 이상의 타겟을 사용한다. 이러한 정합은 최소자승법 등으로 계산할 수 있다. 정합을 할 때에 이용되어 지는 타겟은 대표적으로 두 가지 종류가 있다. 하나는 평면 타겟이고 다른 하나는 구형 타겟이다. 타겟을 이용할 때 가장 중요한 것은 현재의 좌표계에서 타겟의 중심 위치를 정확하게 알아내는 것이다. 타겟의 중심 위치는 타겟 위를 스캔한 수많은 레이저 빔을 이용해서 추정이 가능하다.

3. 주요 연구 성과

가. 연구 논문

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2013 11.19	카메라 장착 오차를 고려한 파노라마 이미지 생성 및 컬러 맵핑	유승환 김호섭 정중연	2013 지상무기 학술대회	국내

4, 기술 실시 및 적용 사례

- 3차원 레이저 스캐너 시제품에 적용

5, 국내외 시장 전망

점군 데이터 처리 소프트웨어는 레이저 스캐너에서 획득한 점군 데이터를 가시화 하며, 정합 등을 통해 3차원 공간정보를 생성할 수 있는 기능을 제공한다. 3차원 공간정보는 주변 상황인식을 필요로 하는 군사용 로봇, 보안용 로봇 등에서 필요한 사전정보로 활용할 수 있다. 최근 들어 무인자동차를 비롯한 자율주행로봇에 대한 관심과 이를 제작하기 위한 많은 노력들이 이루어지고 있으며, 3차원 공간정보는 자율주행로봇이 목표를 수행하기위해 필요한 공간지도를 비롯한 경로점 생성 등에도 활용될 수 있다. 뿐만 아니라 건축, 조선, 공장 유지보수 등의 분야에도 활용될 수 있으며, 이는 도면에는 기술되지 않은 실제 공간정보를 이용하기 때문에 작업자로 하여금 시간과 비용을 절약할 수 있게 해준다. 이처럼 점군 데이터에서 획득한 공간정보를 이용하여 다양한 분야에서 활용할 수 있으며 이는 로봇 및 건설기술 분야에 획기적인 혁신이 이루어지고, 인류 삶의 질도 향상 시킬 것으로 기대된다.

제4장 연구목표 달성 및 효과

제1절 연구개발 최종목표 달성도

1. 연구목표의 수행진도율

세부연구내용	월 단위 추진계획																							진도 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
기술 및 시장조사	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬																	100%
	━	━	━	━	━	━																		
사업모델 조사 및 스펙결정		▬	▬	▬	▬	▬	▬																	100%
		━	━	━	━	━	━	━	━															
시제품 설계 및 모듈 제작					▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬									100%
							━	━	━	━	━	━	━	━	━									
치구설계 제작				▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬				▬	▬	▬	▬	▬			100%
											━	━	━	━	━		━	━	━	━	━			
응용 소프트웨어 제작					▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬				100%
					━	━	━	━	━	━	━	━	━	━	━	━	━	━	━	━	━	━	━	
서보 모터 개선제작				▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬								100%
							━	━	━	━	━	━	━	━	━	━	━	━	━	━	━			
서보 F/W개선 (위탁연구)									▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬		▬	▬	▬	▬	▬	100%
									━	━	━	━	━	━	━	━	━		━	━	━	━	━	
시제품 제작 및 통합시험												▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬					100%
															━	━		━	━		━	━		
시제품 자체 평가																▬	▬	▬	▬					100%
시제품 보완설계 제작 (최종시제품)																		▬	▬	▬				100%
																		━	━	━	━	━		
보완 시제품 및 통합 시험																				▬	▬			100%
																				━	━	━		
최종 평가 및 보완																					▬	▬		95%
																					━	━		
양산 준비 및 대외인증																						▬	▬	0%

▬ 당초 계획
━ 실적

2. 연구목표의 달성도

연 구 목 표	달성도 (%)	주 요 연 구 내 용
기술 및 시장동향 조사	100	■ 주요 수요업체 요구사항 파악 ■ 주요 부품 정보 및 시장동향파악
사업모델조사 및 스펙결정	100	■ 토목, 건축 및 산업용 활용 측면 연구 ■ 타사 제품 비교 경쟁 우위 사양 결정
시제품 설계(시스템 구조) 및 제작	100	■ 시스템 개선 설계(확장성 고려) ■ 주요 부품 공급 및 생산성 고려
치구 설계 및 제작	100	■ 핵심 부품 평가 관련 치구 연구 ■ 외주 제작 검토 완료
주요 부품 및 S/W 외부 용역 개발	100	■ 서보모터외주 개발 및 제작 ■ 응용 S/W 외주 용역 개발
시제품 설계/ 제작	100	■ 모듈별 상세 설계 및 제작 ■ 모듈 시스템 적용 및 보완
자체 평가 및 보완 설계	100	■ 시스템 통합 및 평가 ■ 개선 사항 도출 및 개선설계
시제품 보완 최종시제품 제작	100	■ 개선 사항 반영한 최종 시제품 설계,제작 ■ 시스템 통합 및 자체 평가
최종평가 및 현장시험	95	■ 자체평가 및 전문기관 평가 ■ 보완 및 최종 보고서 작성
양산 준비 및 대외 인증 (개발일정 부족으로 추진 못함)	0	■ 생산 관련 자료 작성(BOM, 기술문서등) ■ 양산준비 및 대외 인증

제2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석

- 3차원 레이저 스캐너는 레이저 광학설계 기술과 정밀 모터 및 제어 기술, 거리측정용 신호처리 기술 분야가 융합되는 분야로서, 독일, 일본, 미국 등 일부 국가에서만 확보한 기술로, 핵심기술 확보로 세계 시장에서 선진제품들과 경쟁 할 수 있음.
- 핵심 기술과 제품을 자체개발함으로서 토목, 건축물, 3차원 공간정보 처리로, 감리나 시공의 기술 향상을 가져오고, 핵심기술을 타 산업인 로봇, 무인자동차분야의 자율주행용 센서 개발에 활용 될 수 있다.
- 모듈제품화, 치수 제어 및 디지털화, 3차원 센서 개발 및 3차원 센서와 영상센서를 융합한 기술 등 관련 산업기술 분야에 획기적인 변화를 가져올 수 있다.
- 측량 영상기술, FPA(Focal Plane Array), RFID 및 기타 센서 기술을 활용한 실시간 사이트 감시시스템 분야 발전
- 기존의 이미지 영상 정보에 고 정밀 거리측정 및 이를 통합할 수 있는 기술을 개발함으로서 다양한 형태의 3차원 컨텐츠 개발이 가능
- 공간정보 인프라 구축을 위한 측량장비가 모두 외산에 의존하고 있어 토목, 건설분야의 기술 자립도가 낮으나, 맞춤형 제품 개발이 가능하여, 레이저 스캐너를 활용한 응용기술을 발전시킬 수 있다.
- 토목, 건축물의 측량과 시공 시에 공간정보의 활용이 증대되고 이를 실시간으로 관측하여 준공도면과의 문제점을 해결하고, 3차원 처리 데이터를 보관하여, 시공 후 시설물의 변형을 확인하거나 유지 보수에 활용.

제3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석

- 3차원 레이저 스캐너는 전량 수입에 의존하고 있어, 국산화를 통한 수입대체와 제품의 경쟁력 확보로 해외 시장 개척 시 향후 견실한 기업으로 성장 할 수 있음.
- 개발된 핵심 기술은 주변 상황인식을 필요로 하는 군사용 로봇, 보안용 로봇 등 자율주행에 적용하여 지능형 로봇이나, 자동차 산업의 경쟁력 향상에 크게 기여
- 레이저 스캐너와 관련하여 광소자와 핵심기술 부품들을 chip화하여 센서의 소형화와 저가격화 실현 시 시장 확대는 물론 비메모리 분야의 신 시장을 창출
- 3차원 공간정보 획득 시스템을 인터넷망과 연동하여 새로운 개념의 문화와 서비스 창출
- 공간정보 획득 시스템의 핵심기술인 모터, 기구해석, 광학설계/제작 및 응용소프트웨어 기술의 발전이 기대됨.
- 국내 기반이 취약한 정밀 센서 및 제어기술 확보로 선진국 의존형인 부품산업 활성에 기여할 것이다.

제4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석

- 차세대 성장 동력 산업으로 지정 육성 중인 로봇용 공간 인식 센서의 첨단화에 기여할 수 있다.
- 3차원 모델링 기술은 가상현실의 완성도를 한층 높일 수 있어서 IT 강국의 위상을 제고할 수 있다.
- 토목, 건축물 관련 2차원 도면을 3차원화 하여 시공과 감리를 실시간으로 처리할 수 있어서 건설관련 기술을 한 단계 높일 수 있으며, 시공과 감리의 투명성 확보가 가능하다.
- 도시개발이나, 산업 기반산업에 3차원 데이터를 활용한, 사전 검증으로 문제점을 조기에 예측하여, 사후 비용을 최소화 할 있을 것이다.
- 기타 물류나, 국토 관리 및 3차원 서비스 창출에 활용되어, 인간 삶을 편리하게 할 것으로 판단된다.

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

제1절 연구성과 향후 활용방안

1. 사업화 추진

가. 사업화 추진 전략

- 시제품 현장적용 시험 평가 후 생산설비 투자(금형등)등 통한 제품의 성능과 가격정책을 해외장비대비 경쟁우위 전략으로 국내와 중국 등 큰 시장 우선으로 3차원 공간정보 구축 사업과 연계하여 신 시장을 개척
- 시제품을 기본으로 응용 분야로 모델을 다양화하고, 관련 응용 소프트웨어 전문 업체와 협력하여, 새로운 서비스와 콘텐츠를 개발하여 Niche market 공략
- 조선이나, 공장 자동화, 시설물 관리 등 맞춤형 제품 제공

나. 제품 차별화 전략

1) 응용분야별 맞춤형모델 제공
   - 사업화 기본 모델을 기반으로 지속적인 연구개발로 응용분야별 다양한 제품 출시
   - 원거리 측정분야 : 1km이상
   - 고속 스캔 속도 : 300,000 Point/sec
   - 실내 전용 스캐너 : 고속, 근거리, 저가격
2) 사용자 편리성
   - 저온 동작 조건 등 내 환경성 강화
   - 점군 데이터 처리 S/W 자체 개발 가능한 기본 라이브러리 제공
   - 셋업시간 단축 및 단독운용 모드 강화
3) 공급 가격
   - 경쟁사 공급가격 대비 20%이상 낮게 공급
   - 표준 모델 1.0억원 이하 공급

다. 마케팅 전략

1) 국내외 주요 전시회
   - SPAR 참가 : 월드유저 대상 장비 오픈
   - 측량기기 전시회 참가
   - 보안, 산업기기 전시회
2) 응용 분야별 데모 장비 대여
   -현장적용시험을 통한 분야별 장비 대여로 현장의 문제점 파악
   -응용 S/W 전문 업체와 Niche market 개척
3) 판매망
   - GIS 장비 공급망 활용
   - 3D 공간 정보 관련 주요 기관 (대한지적공사)
   - 해외 판매 : S/W 전문업체와 전략적 제휴

4) 응용 분야 발굴

- 공장 자동화, 물류 등
- 특수보안 솔루션 제공
- 3D 콘텐츠 제작

라. 점군 데이터 처리 소프트웨어 공급 전략

1) 점군 데이터 처리 전문 공급(3rd Parts) 전략적 제휴

- CAD file interface : Autodesk , Solidworks
- 점군 데이터 S/W : Rapidform , Polyworks, Pointcloud, L뭉래근

2) 국내 점군데이터 처리 전문 업체 협력

- 삼인정보시스템 : 조선, 플랜트, 시설물관리
- 지오투정보기술 :실내 BIM 데이터 처리
- 코세코 : GIS 관련 데이터 처리

마. 판매 계획(예측)

구 분		2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	비 고
시장규모 (억원)	해외	1,500	1,800	2,100	2,400	2,800	15% 성장예측
	국내	50	65	70	90	110	신 시장 개척
점유율(%)	해외	0	0	0.2	0.5	2	
	국내	0	5	10	20	30	
예상매출 (억원)	해외	0	0	4.2	12	56	
	국내	0	3.25	7	18	33	
합 계		0	3.25	11.2	30	89	

2. 타 산업과 연계

- IT 분야의 3차원 공간 정보 활용 분야에 적합한 저가격대의 제품 출시로 3차원 센서 시장을 확대하고, 관련 부품과, 서비스를 산업을 한 단계 업그레이드시켜 세계시장이 진출
- 3D 보안 시장에 맞춤형 제품 출시와 주정차 단속이나, ITS 차량 모니터링 응용분야에 적합 하도록 핵심 기술을 확대 발전시킴

제2절 추가연구 필요성 등

- 3차원 레이저 스캐너 장비 및 다양한 측량기기에 적용할 수 있는 응용소프트웨어를 함께 패키지로 제작함으로서 국내 신 시장 개척
- 3차원 레이저 스캐너 기반 도면작성 기술과 무선 데이터 송수신 기술을 결합한 시공 및 측량이 동시에 이루어지는 장비 개발로 응용 분야 확대 필요
- 무선 통신 5G (1Gbps)시대에는 응용 분야별 다양한 소프트웨어와 하드웨어 개발로 3차원 공간정보에 관련 연구가 필요

참고문헌

국내문헌

김영경 (2005), 지상 레이저 스캐닝 시스템을 활용한 암반사면과 댐체의 특성 및 안정성 평가에 관한 연구, 석사학위 논문, 배재대학교 대학원.

이임평, 최윤수, 사석재, 오의종 (2004), 지상 라이다를 이용한 건물의 정밀 모델링, 한국측량학회: 학술대회지, 한국측량학회 04 춘계학술발표회 논문집, pp. 491-500.

이홍민, 박효선 (2004) 구조물의 변위 계측을 위한 지상 라이다의 정밀도 분석, 대한건축학회 학술발표 논문집, 24권 2호, pp.207-210.

이홍민, 박효선, 이임평 (2005), 지상 LiDAR를 이용한 철골보의 안전 및 사용성 모니터링을 위한 변위계측기법, 한국전산구조공학회 학술발표 논문집, 18권1집, pp.190-197.

이인수, 강상구 (2006), 지상라이다를 활용한 현황측량 연구, 한국지형공간정보학회지, 13권, 제3호, pp.79-86.

이인수 (2006), 지상라이다를 이용한 건축물의 3차원 경계 추출, 한국GIS학회지, 15권, 제1호. 1, pp. 53-65.

이인수, 차득기, 정래정, 정중연 (2008), 대상물 표면에 따른 지상라이다 성능분석, 2008년 한국측량학회 춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 183-186.

김상훈, 조청운, 홍현기(2003), 다중 3차원 거리정보 데이터의 자동 정합 방법, 소프트웨어 및 응용 제 30 권 제 12호(2003.12)

김아현, 김영수, 배철, 강원찬, 김영동(2003), 3차원 데이터의 획득 및 가공, 전자학술대회 논문집 pp.286~290

유승환, 김호섭,정중연, 카메라 장착 오차를 고려한 파노라마 이미지 생성 및 컬러 맵핑, 2013 지상무기 학술대회 2013,11

방재혁, 이건영, 임창호, 황순휘 3D 레이저 스캐너 수직모터 부하 모델링, CICS 2013 정보 및 제어 학술대회, 2013.10, 92-93

방재혁, 이건영 경사각을 고려한 3D 레이저 스캐너 부하 모델링, 2014년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2014.7.18

문경희, “BLDC 모터 시장”, 디지털여기에 2012.08.18

김호연, “현대重, 3D기술로 해양플랜트 설계 오차 잡는다”, 파이낸셜뉴스,2013.09.30

국외문헌

Barber, D., J. Mills. and P. G. Bryan (2001), Laser scanning and photogrammetry: 21st Century metrology, CIPA International Archives for Documentation of Cultural Heritage, 18: 360-366.

Boehler, W., G. Heinz. and A. Marbs(2001), THE POTENTIAL OF NON-CONTACT CLOSE RANGE LASER SCANNERS FOR CULTURAL HERITAGE RECORDING, CIPA Working Group VI, pp. 1-8.

Boehler, W., M. Bordas Vincent and A. Marbs(2003), Investigating Laser Scanner Accuracy. ORIGINALLY PRESENTED AT THE XIXth CIPA SYMPOSIUM AT

ANTALYA, TURKEY, 30 SEP - 4 OCT 2003, UPDATED FOR WEB PRESENTATION OCTOBER 2003.

Baucer, A., G. Paar. and V. Kaufmann (2003), Terrestrial laser scanning for rock glacier monitoring, Permafrost, Phillips, Springman & Arenson(eds), 2003 Swets & Zeitlinger, Lisse, ISBN 90 5809 582 7, Austria, pp. 55-60.

Frölich, C. and Mettenleiter, M.(2004),Terrestrial Laser Scanning New Perspectives in 3D Surveying, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI - 8/W2, Freiburg, Germany, pp. 7-13.

Ingensand, H., A. Ryf, and T. Schulz(2003), Performances and Experiences in Terrestrial Laserscanning, Proceedings of the 6th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, Zurich.

I3mainz, 2006 - institute for spatial information and surveying Technology, " Wir testen Ihren Laser-Scanner!", University of Applied Sciences FH Mainz, Germany

Jaselskis, E. J., C. E. Thomas, S. J. Andrle and Z. Gao. Z(2003), Pilot Study on Improving the Efficiency of Transportation Projects Using Laser Scanning, Final Report, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, Midwest Transportation Consortium, USA, pp. 1-70.

Judd, M(2005), Lasers and Digital Imagery in Rail, Proceedings of the SSC 2005 Spatial Intelligence, Innovation and Praxis: The national biennial Conference of the Spatial Sciences Institute, September, 2005, Melbourne: Spatial Sciences Institute Horiz 0-9581366-2-9, Australia.

J.M Rueger , Electronic Distance Measurement ,Fourth Edition ,pp 11-25

KOPÅČIK, A. and A. Th. WNDERLICH(2004), Usage of Laser Scanning Systems at Hydro-technical Structures, TS23 Engineering Surveys for Industry and Construction Works, FIG Working Week 2004, Athens, Greece, May 22-27.

Roberts, G. and L. Hirst(2005), Deformation Monitoring and Analysis of Structures Using Laser Scanners, TS38-Using Laser Scanning in Engineering Surveys, FIS Working Week 2005 and GSDI-8, Cairo, Egypt, April 16-21.

Rowlands, K. A., LD. Jones and M. Whitworth (2003), Landslide Laser Scanning: a new look at an old problem, Photographic Feature, pp. 155-157.

Schulz, T. and H. Ingensand (2004), Terrestrial Laser Scanning - Investigations and Applications for High Precision Scanning, FIG Working Week 2004, Athens, Greece, May 22-27.

Sparview TM, 2007) Vol. 5. No.7, March 26, 2007, ISSN 1553-8834

Staiger., R, 2005, The Geometrical Quality of Terrestrial Laser Scanner (TLS), FIG Working Week 2005 and GSDI-8 Cairo, Egypt April 16-21.

Sternberg, H (2004), "Vom Punkt zur Punktwolke-Leistungsfähigkeit terrestrischer Laserscanner", HAMBURGER FORUM FÜR GEOMATIK, Hamburg. Juni 16-17.

Tsakir, M, D. Stathas. and O. Arabatzi(2004), Advanced Surveying Techniques for Measuring the Marathon Course, TS29 Positioning and Measurement Technologies and Practices Ⅱ-Applications and Processing, FIG Working Week 2004, Athens, Greece, May 22-27.

Johnson, S. Kang(1996), Registration and Integration of Textured 3-D Data, Tech.

report CRL96/4, Digital Equipment Corporation, Cambridge Research Lab, 1996.

Vivek Verma and Rakesh Kumar(2006), 3D Building Detection and Modeling from Aerial LIDAR Data, Proceedings of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR'06)

[부 록]

1. 논문, 특허 등 정량적 성과와 정성적 성과

- 연구 논문

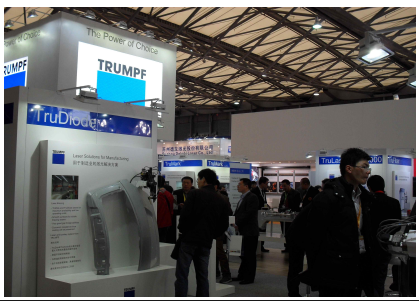
발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2013 11.19	카메라 장착 오차를 고려한 파노라마 이미지 생성 및 컬러 맵핑	유승환 김호섭 정중연	2013 지상무기 학술대회	국내
2013 10.17	3D 레이저 스캐너 수직모터 부하 모델링	방재혁 이건영 임창호 황순휘	2013 정보 및 제어(CICS) 학술대회	국내
2014 7.16	경가각을 고려한 3D 레이저 스캐너 부하 모델링	방재혁 이건영	2014 대한전기학회 학술대회	국내

- 특허

출원된 특허의 경우					등록된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	등록연도	특허명	등록인	등록국	등록번호
2013	지상용 3차원 레이저 스캐너[장비 손잡이 체결구조]	임창호	대한민국	10-2013-0150955					
2013	지상용 3차원 레이저 스캐너[회전체 하우징]	임창호	대한민국	10-2013-0150956					

2. 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

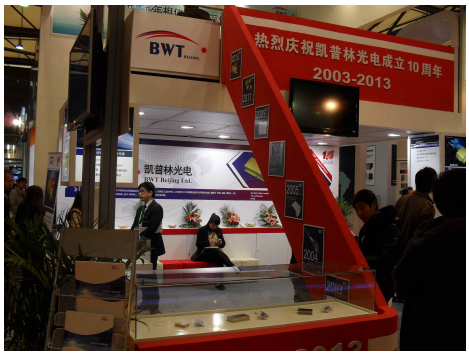
<table>
<tr><td>작성일</td><td></td><td rowspan="3">출장보고서</td><td rowspan="3">결재</td><td>TL</td><td>DM</td><td>연구소장</td><td></td></tr>
<tr><td>보관년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>문서번호</td><td>S/W파트-@N</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>제목</td><td colspan="4">상해 국제 레이저 및 광전자 박람회 출장보고서</td><td rowspan="3">출장인원</td><td colspan="2" rowspan="3">정중연 수석
김호섭 수석
(2명)</td></tr>
<tr><td>출장기간</td><td colspan="4">2013. 3. 19 ~ 2013. 3. 22 (3박4일)</td></tr>
<tr><td>출장지</td><td colspan="4">중국 상해</td></tr>
<tr><td>항목</td><td colspan="6">내 용</td></tr>
<tr><td>1.목적</td><td colspan="6">▪ TLS 과제와 관련된 레이저 및 광전자 기술 및 시장동향 파악
▪ TLS 레이저 소스 기술동향 및 업체정보 파악</td></tr>
<tr><td>2.내용</td><td colspan="6">1. 상해 국제 레이저 및 광전자 박람회 소개
 
 
- 상해 푸동 국제 전시장 규모 : 약 250,000 m^2 축구장 35개, 17개관으로 구성
- 레이저 및 광전자, 반도체, 전자부품 및 생산, FPD, 태양광 산업, PCB 등이 동시 개최
- 레이저 및 광전자 박람회만 18개국 539업체 출품/약 50,000명이상 참관
- 광전자와 반도체 장비 분야에 이오테크닉스, 삼성테크윈, 한미반도체 등 국내업체도 다수 참가
- 전시분야는 레이저 및 광학분야에 포함되는 규모로 크게 Imaging and Optical Metrology (W1 전시관), Optics and Manufacturing Technology for Optics(W1 전시관), Laser Systems for Production Engineering(W2 전시관), Laser and Optronics(W2 전시관), Laser Systems for Production Engineering(W3 전시관), Laser and Optoelectronics(W3 전시관)로 이루어짐.

2. 레이저 및 광전자 기술 및 시장 동향
전시장에서 가장 눈에 띄였던 부분은 레이저 시스템 및 레이저 시스템을 적용한 가공기 관련 전시품들이었다. 특히, 세계 레이저 산업의 주축을 형성한 선진 기업인 Trumpf, IPG, Rofin, SPI 등의 레이저 가공 제품들의 기술 전시장이 가장 큰 면적을 차지함으로써 레이저 산업의 핵심 기업들임을 보여주었다. 또한, 중국 회사들을 중심으로 레이저 가공기를 이용한 가공 시연을 해 주었다. 주요 전시품들은 자동차 산업에 가장 핵심인 차체 절단 및 용접 등의 레이저 가공 제품들이 주를 이루고 있었다.
 
  </td></tr>
</table>

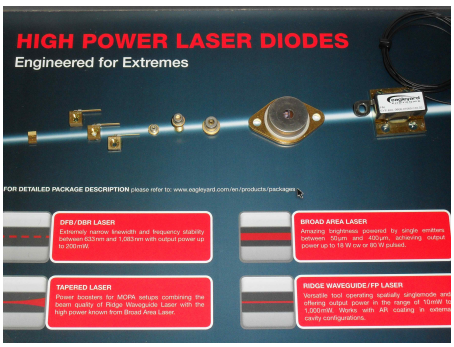


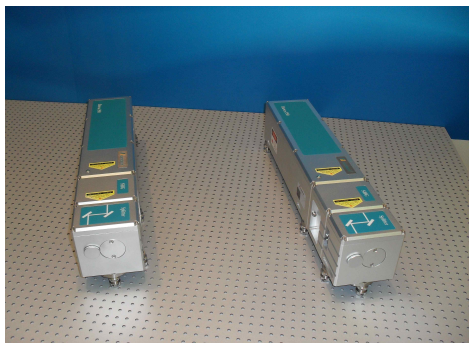


작년에 이어 올해 전시회에서도 중국 레이저 기업들의 기술 및 규모 면에서의 성장이 눈에 띄었다. BWT, Focuslight, YOFC, Huaray, Raycus, Han's laser, HG Laser, FeiHong Laser 등의 고출력 레이저 부품, 모듈에서 시스템까지의 모든 제품군에서의 중국 기업들의 참여는 폭발적이라고 생각이 들 정도였다.



레이저 모듈에 있어서는 파이버 레이저 관련 전시가 두드러져 보였다. 파이버 레이저의 선두 기업인 IPG에서는 다양한 kW급 Ytterbium Laser System를 전시하면서 1900-2050nm 대역의 150W급 Thulium Laser System과 평균 출력파워를 50W까지 낼 수 있는 Pulse Green Fiber Laser 등을 신제품으로 소개하였다. 한편, 중국의 파이버레이저 전문 기업인 Raycus는 4kW까지 출력을 낼 수 있는 CW fiber laser를 전시하였다. 또한 전시회를 통해서 세계 레이저 부품, 모듈 업체들은 자사의 제품들을 홍보하기 위해서 다양한 제품들을 내 놓았다.





이번 전시회를 통해서 1개 국내 기업(이오테크닉스)만이 자사의 제품을 홍보하기 위해서 참여한 점은 좀 아쉬웠다. 비록 규모면에서는 분명 중국이나 레이저 선진국에 비해 매우 작았지만, 기술적인 면에서 세계적인 기업들과 어깨를 나란히 하기에 충분한 것으로 보였다. 또한, 이번 전시회를 통해서 주목할 만한 점은 전시 참가 업체들 중에서 레이저 선진국을 중심으로 레이저 관련 부품·소재 분야 기업들의 참여가 눈에 띄게 보인 점이다. 이는 최근 산업기반 기술이라 할 수 있는 레이저 산업의 지속적인 발전 원동력으로 보이며, 국내 레이저 관련 기술력을 지속적으로

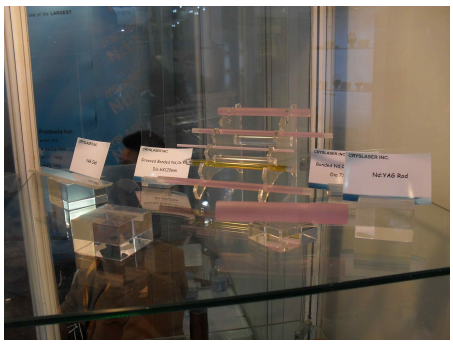



발전시키기 위해서는 국내 레이저 부품 소재 분야의 기업들에 대한 육성이 시급하다는 생각을 갖게 해 주었다. 또한, 레이저 선진국들을 비롯한 최근 중국의 레이저 산업의 육성이 국가 차원에서 이뤄진 점을 고려할 때, 국내에서도 국가차원의 정책적인 지원이 절실한 것으로 보여진다.

산업용 레이저 시장의 규모면에서 빠질 수 없는 용접, 마킹 시장은 우리나라의 국가산업인 자동차, 선박, 반도체 산업의 가장 큰 시장이 아닐 수 없다. 이러한 거대한 시장에 사용되는 레이저의 중요 부품들이 국내 제품이 아닌 수입품들이 주를 이루고 있는 실정에서 이번 전시회를 통해서 국내 레이저 부품 산업의 국산화가 절실함을 다시 한 번 느끼게 해주었다.

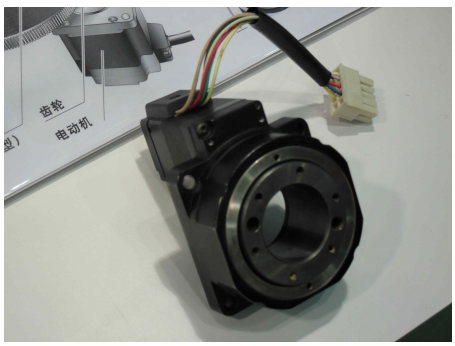
3. 기타

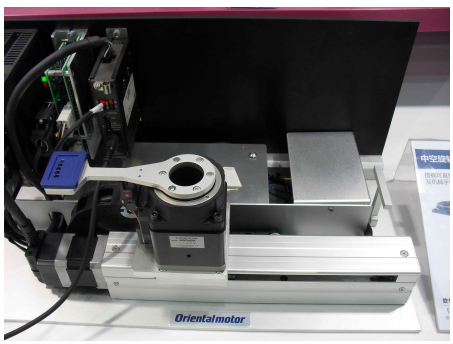
- Crystal : 각종 레이저를 만들기 위해 필요한 Crystal를 판매하는 업체들도 선보이고 있었다.

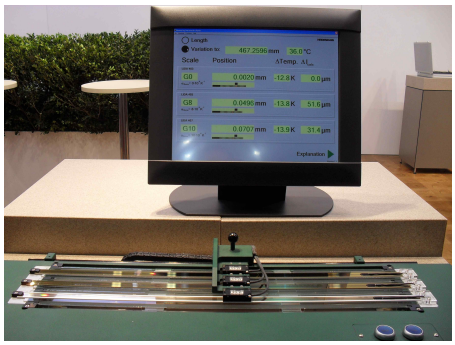




- 모터 및 엔코더 : 각종 모터 및 모터제어기를 공급하는 업체들과 정밀제어를 위한 엔코더 업체들(Heidehain, Renishaw 등)이 있었다.








3. 기타사항(중요 연구 변경사항 등)

- 2,3차년도 위탁연구과제 수행
- 3D 스캐너 제어기 설계 : 광운대학교