

18BIP-C12
6571-02

USV
/UAV
를

이
용
한

3
차
원

공
간
정
보

및

수
자
원

정
보

획
득
기
술

개
발

최
종
보
고
서

2018

국
토
교
통
부

국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()
국토교통기술사업화지원 사업 제2차 연도 최종 보고서

R&D / 18BIP-C126571-02

USV/UAV를 이용한 3차원 공간정보 및 수자원 정보 획득기술 개발 최종보고서

2018 . 03 . 25 .

주관연구기관 / (주)한국케이지티콘설턴트
협동연구기관 / 한국건설기술연구원
(주)아이오티융복합연구소

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 김현미 장관 귀하

'USV/UAV를 이용한 3차원 공간정보 및 수자원 정보 획득기술 개발'(연구개발 기간 : 2017.04.01 ~ 2018.12.31) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2019. 01. 30.

주관연구기관명 : (주)한국케이지티콘선텐트 (대표자)



협동연구기관명 : 한국건설기술연구원 (대표자)



(주)아이오티융복합연구소 (대표자)



주관연구기관책임자: 정진우

협동연구기관책임자: 홍승서, 이 공

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	18TBIP-C126 571-02	해당 단계 연구 기간	2017.04.01. - 2018.12.31	단계구분	(2)/(2)
연구사업명	중사업명				
	세부사업명	국토교통기술사업화지원사업			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	USV/UAV를 이용한 3차원 공간정보 및 수자원 정보 획득기술 개발			
연구책임자	정진우	해당단계 참여 연구원 수	총 : 18명 내부 : 11명 외부 : 7명	해당단계 연구개발비	정부:460,000천원 기업:310,000천원 정부 외 : 천원 계 :770,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총 : 36명 내부 : 22명 외부 : 14명	총 연구개발비	정부:826,000천원 기업:576,700천원 정부 외 : 천원 계 :1,402,700천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)한국케이지티콘설턴트			참여기업명 (주)한국케이지티콘설턴트 (주)아이오티융복합연구소	
국제공동연구	상대국명 :			상대국 연구기관명 :	
위탁연구	연구기관명 :			연구책임자 :	
요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)				보고서 면수	94

본 연구의 목표는 내수면 및 내수면 주변의 지형 정보와 수질정보를 동시에 획득할 수 있는 시스템을 개발하는데 있다. 이를 위해 다음의 연구 내용을 수행하였다.

- 수리수문 정보획득시스템 개발
 - 로봇선 성능 개선
 - 자동수질 측정 장치 개발
 - 하상 지반자료 DB시스템 개발
- 무인항공시스템 구현
 - 로봇선과 함께 운용 가능한 무인항공체 구현
 - 지형정보 획득 및 3차원 하상지형 모델링 시스템 구현
 - 로봇선 모니터링 시스템 구현
- 하천지형관리시스템 개발
 - 하천정보 3차원 시각화 프로그램 개발
 - 하천 횡단면도 제작 프로그램 개발
 - 자동 유량 산출 프로그램 개발
 - 수질분포도 자동 작성 프로그램 개발

본 연구의 성과물을 활용하여 연구기간 내에 다수의 사업을 수행하였으며 특히 국토교통부 익산지방 국토관리청의 ‘드론 기반의 하상변동 및 하천지형조사 시범사업’을 수행하여 기술을 인증받은 것으로 판단된다.

〈 요약 문 〉

연구의 목적 및 내용	본 연구의 목표는 내수면 및 내수면 주변의 지형 정보와 수질정보를 동시에 획득할 수 있는 시스템을 개발하는데 있다. 즉, 수질센서 및 다중빔 에코사운더를 장착한 로봇선과 영상센서를 탑재한 무인항공체를 이용하여 단시간 내에 3차원 공간 정보를 생성하고 수질정보를 획득 할 수 있는 시스템을 개발하는데 목표가 있다.				
연구개발성과	1. 수리수문 정보획득시스템 개발 - 로봇선 성능 개선 - 자동수질 측정 장치 개발 - 하상 지반자료 DB시스템 개발 2. 무인항공시스템 구현 - 로봇선과 함께 운용 가능한 무인항공체 구현 - 지형정보 획득 및 3차원 하상지형 모델링 시스템 구현 - 로봇선 모니터링 시스템 구현 3. 하천지형관리시스템 개발 - 하천정보 3차원 시각화 프로그램 개발 - 하천 횡단면도 제작 프로그램 개발 - 자동 유량 산출 프로그램 개발 - 수질분포도 자동 작성 프로그램 개발				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	1. 활용계획 - 국토교통부, 환경부, 한국농어촌공사 등의 유량측정 및 수질측정사업에 참여 - 주요 하천 및 호소에 대한 준설토의 퇴적 현황 조사에 활용 - 기술 수요기관과의 공동 기술 개발을 통한 실무 맞춤형 세부 기술 개발 - 국토교통부 등의 신기술 인증에 의한 기술적 가치 인증 - 기술전시회 참여 및 홍보물 제작 등을 통한 홍보 - 참여기업에 전담 사업부서 또는 벤처 설립을 통한 사업화 - 국제 특허 등록, 해외 장비 판매, 해외 기술용역 및 시스템 개발을 통한 해외 사업화 2. 기대효과 - 실시간 수자원정보 획득 기술 개발 - 자동 운항을 통한 인력 및 비용 절감효과 - 하이브리드형 무인시스템 운영으로 인한 인적 사고 예방 - 새로운 시장 형성을 통한 참여기업의 매출 증대 - 토목분야에 무인체를 이용함으로써 관련시장을 확대하고 로봇기술과 ICT기술 전문인력 양성 가능				
핵심어 (5개 이내)	로봇선	드론	3차원	공간정보	하상지형자료

< SUMMARY >

Purpose & Contents	The objective of this study is to develop a system that can acquire topographical information and water quality information around inland water. In other words, it is possible to generate three-dimensional spatial information and to acquire water quality information in a short time using an USV(Unmanned Surface Vessel) equipped with a water quality sensor and a multi-beam echo sounder, and an UAV(Unmanned Aerial Vehicle) equipped with an image sensor.				
Results	1. Development of hydrologic data acquisition system - Improvement of robot ship - Development of water quality measurement system - Development of underwater topographic database system 2. Implementation of unmanned aerial vehicle system - Implementation of unmanned aerial vehicle - Implementation of terrain information acquisition system - Implementation of USV monitoring system 3. Development of river terrain management system - Development of 3D visualization program for river information - Development of river cross section production program - Development of an automated program for flow calculation - Development of an automated program for water quality map production				
Expected Contribution	1. Utilization plan - Participated in flow measurement and water quality measurement projects of Ministry of Land Transport, Ministry of Environment, Korea Rural Community - Used to investigate the deposition status of dredged soil on major rivers and lakes - Development of tailor-made detailed technology through joint technology development with technology demand organization - Technical value certification by new technology certification of Ministry of Land, Transport and Tourism - Promotion through participating in technical exhibitions and producing publicity materials - commercialization through establishment of a dedicated business department or venture in participating companies - International patent registration, overseas equipment sales, overseas commercialization through overseas technology service and system development 2. Expected effect - Development of real-time water information acquisition technology - Manpower and cost saving through automatic operation - Prevention of human accidents due to operation of hybrid unmanned system - Increase sales of participating companies through new market formation - By expanding the related market by using the human body in the civil engineering field, it is possible to cultivate robot technology and ICT technology manpower.				
Keywords	Robot ship	Drone	3 Dimension	Spatial information	River bed information

< List >

Chapter 1. Introduction	1
1. Objectives	1
2. Necessities	1
3. Scopes	3
Chapter 2. Trends of technology development	4
1. Patents and differentiation	4
2. Domestic trends and differentiation	5
Chapter 3. Contents and results	9
1. Development of hydrologic data acquisition system	9
2. Development of unmanned aerial vehicle operation system	49
3. Development of river terrain management system	56
4. System application and analysis	72
Chapter 4. Accomplishment of research objectives	80
Chapter 5. Application plans	89
Chapter 6. Overseas science and technology information	90
Chapter 7. Security rating	90
Chapter 8. Status of research facilities and equipment registered in the NTIS	90
Chapter 9. Performance of safety measures	90

Chapter 10. Representative Research Results 91

Chapter 11. ETC 91

Chapter 12. References 92

< 목 차 >

제1장. 연구개발과제의 개요	1
1. 연구개발 목적	1
2. 연구개발의 필요성	1
3. 연구개발 범위	3
제2장. 국내외 기술 개발 현황	4
1. 관련 기술의 특허 및 차별성	4
2. 관련 분야 국내외 기술개발 현황 및 차별성	5
제3장. 연구 수행 내용 및 성과	9
1. 수리수문 정보획득시스템 개발	9
2. 무인항공체 운영시스템 개발	49
3. 하천지형 관리시스템 개발	56
4. 시스템 적용 및 분석 결과	72
제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	80
제5장. 연구개발성과의 활용계획	89
제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	90
제7장. 연구개발성과의 보안등급	90
제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	90
제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	90

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 91

제11장. 기타 사항 91

제12장. 참고 문헌 92

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

본 연구는 로봇선에 수질센서, 멀티빔 에코사운더를 장착하고 무인항공체에 항공사진측량용 디지털카메라를 탑재하여 내수면 및 내수면 주변의 지형 정보를 동시에 획득함으로써 신속하고 일관성 있는 3차원 공간정보를 생성할 수 있으며, 각종 수자원정보를 분석 할 수 있는 시스템을 개발하는데 목적이 있다.

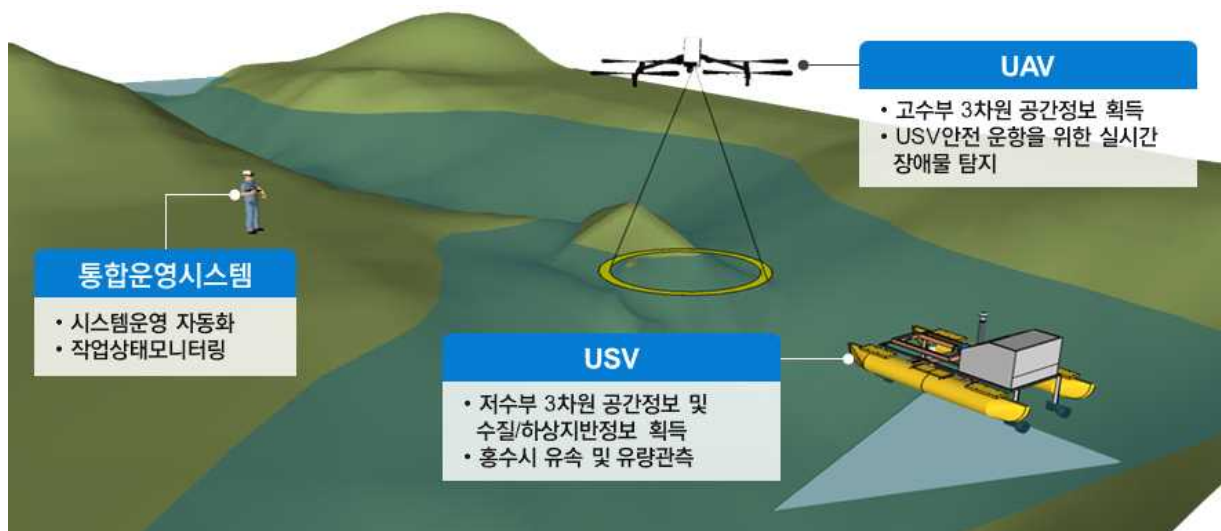


그림 2 시스템 개요도

2. 연구개발의 필요성

본 연구에서 개발하고자 하는 기술은 로봇선을 이용하여 홍수시에도 유속과 수질의 측정이 가능하며, 무인항공체와 결합하여 3차원 공간정보를 획득하고 항공무인체에서 로봇선의 운항을 안정적으로 모니터링 할 수 있는 하천종합관리시스템을 구축할 수 있는 기술이다.

하천의 유량을 측정하는 기존 방법의 문제점을 해결하기 위해서는 사람이 직접 들어가지 않고, 수심이나 유속에 영향을 받지 않으며, 홍수시에도 자력으로 물살을 거스르며 자동운항 시스템에 의해 이동할 수 있는 무인 원격체를 이용한 방법이 필요하다. 또한 하천의 수질 측정시 인력에 의해 수작업으로 시료를 채수함으로써 발생하는 심도의 부정확성을 해결하고, 측정빈도를 높이기 위해서는 정확한 수심에서 자동으로 채수할 수 있는 장치의 개발이 필요하다.

최근 급격한 기후변화로 인해 국지적으로 대홍수나 가뭄이 발생하고 있다. 2010년 7월 파키스탄의 대홍수나 중국, 호주, 이스라엘 등의 가뭄에서 보듯이 태풍, 호우, 가뭄, 수질악화로 물관리가 제대로 수행되지 못할 때 주로 수재해가 발생한다 (물관리 취약성과 물안보 전략II, 2010, 김익재 외, 한국환경정책·평가연구원). 이처럼 기후변화로 많은 사회, 경제적 피해가 물 부문에서 발생하는 이유는 사회와 자연환경의 여러 부분이 물과 매우 밀접한 관계를 맺고 있기 때문이다.

사회발전과 기후변화로 물관리가 더욱 복잡해지고 난해한 상황에 슬기롭게 대처하기 위해서는 물

을 ‘안보’의 차원에서 다루어야 한다는 물안보(water security) 개념에 대해 많은 전문가들이 의견을 제기하고 있다. 물안보란 적재적소에 필요한 양의 좋은 물을 지속적으로 확보하여 홍수와 가뭄을 예방하는 것이라 할 수 있으며, 기존의 물관리 개념에 비해 홍수, 가뭄, 수질 등 물의 여러 측면을 동시에 고려하여 특히 ‘양질의 충분한 물에 대한 지속가능한 접근권’을 강조하고 있다.

이러한 물안보의 개념에서 볼 때 물환경 모니터링에 대한 중요성은 매우 크다고 할 수 있다. 물환경이란 개념은 접근 주체에 따라 조금씩 달라질 수 있겠지만 강우, 유량, 수질을 우선적으로 생각할 수 있으며, 퇴적물, 수생태 등을 추가적으로 고려할 수 있다. 현재 강우관측망, 유량관측망, 수질관측망은 국토교통부, 한국수자원공사, 한국농어촌공사, 한국수력원자력 및 지자체의 각 기관별 목적에 따라 운영되고 있으며, 퇴적물 관측망, 수생태 관측망 등은 시범사업으로 진행 중이거나 최근에 시작되어 아직 축적된 자료가 미비한 상태이다.

일반적으로 유량 측정을 위해 주기적으로 유속을 측정하여 유량을 산정한 다음, 수위-유량 관계 곡선식을 제시한다. 그러나 홍수시 유사 퇴적 및 침식에 의해 하상 단면이 변화하게 되고, 이로 인해 동일한 수위라 할지라도 단면 변화에 따라 유량값이 달라진다. 또한 하천 준설 및 구조물 설치와 같은 인위적인 변화에 의해서도 과거의 수위-유량의 관계가 변하게 된다. 따라서 약 3년에 한번 유량을 측정한다면, 측정된 해를 제외한 다른 연도에서는 정확한 유량값을 얻기 힘들다. 2008년에 수문조사 전문조직인 유량조사사업단이 설립되어 전문장비 및 전문 인력을 확보하게 되었다. 그러나 여전히 유량관측소의 수는 상대적으로 적으며, 향후 연속적인 유량 측정을 위한 지속적인 노력과 예산 증액이 필요할 것으로 예상된다.

일반적으로 하천의 유량을 측정하는 방법에는 유속계 및 부자를 이용하여 그림 2와 같은 유속-단면법이 사용되고 있다.

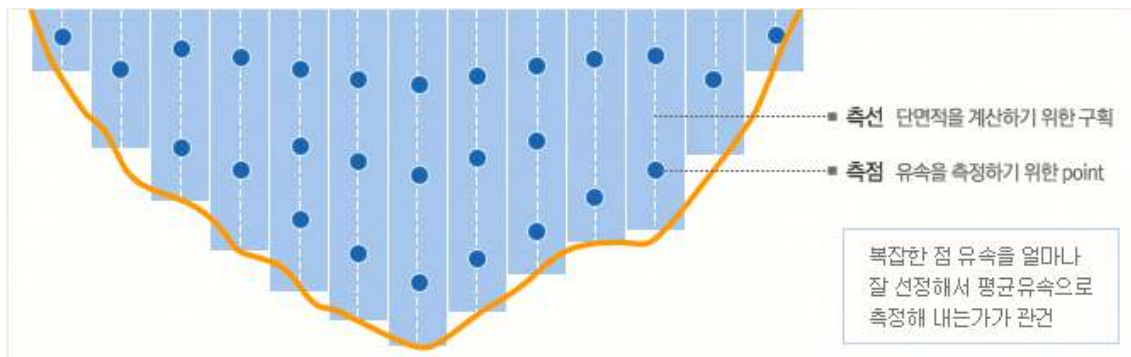


그림 3 유속-단면법에 의한 유량 측정 방법

유속-단면법을 이용하여 정확한 유량을 계산하기 위해서는 정확한 하천단면과 유속 자료가 필요하게 된다. 저수기 및 평수기에는 주로 전자 유속계와 음파 유속 측정 장비를 이용하여 유량을 측정하며, 홍수기의 경우에는 주로 부자에 의해 유속을 측정한다.

유속계를 이용한 방법은 측정자가 직접 하천에 들어가 횡단면을 일정 간격으로 이동하면서 수심 및 유속을 측정하는 도섭법(도보법), 측정자가 직접 들어가기 위험한 수위나 유속의 하천에서 보트를 타고 하천 횡방향으로 이동하면서 일정 간격으로 수심과 유속을 측정하는 선박법(보트법), 교량에서 유속계를 줄로 내려 유속을 측정하는 교량법, 하천 양안에 연결된 케이블에 조사원이 탑승하거나 무인으로 관측하는 케이블 웨이(cable way)법 등이 있다. 또한 초음파의 도플러 효과를 응용해서 하도 단면 내의 2차원의 유속분포를 측정하는 초음파 유속 분포 측정기(ADPC : Acoustic Doppler Current

Profile)를 보트에 탑재하거나 교량 위에서 천천히 하천의 횡단방향으로 운항하면서 측정하는 방법이 있다.

이러한 방법들의 문제점은 작업원의 안정성 확보가 어렵고 작업 절차가 번거로우며 다수의 작업인이 필요하다는 단점이 있다. 또한 홍수기에는 사용할 수 없거나 빠른 유속에 의해 정확한 지점의 유속을 측정하기 어렵다는 단점이 있다.

3. 연구개발 범위

본 연구에서는 1차년도에 수리수문정보 획득시스템 개발을 위해 로봇선 선체 제작, 로봇선 운영시스템 개발, 하상지형정보 획득시스템 개발을 수행하였고, 무인항공시스템 개발을 위해 무인항공체 개발을 수행하였으며, 하천지형관리시스템을 설계하고 일부 개발하였다. 2차년도에 수리수문정보 획득시스템 개발을 위해 로봇선 선체 보완, 수질측정시스템 개발, 로봇선 운영시스템 개발, 로봇선 테스트를 수행하였고 무인항공시스템 개발을 위해 지형정보 획득시스템 구현, 로봇선 모니터링 시스템 개발, 무인항공체 운영시스템 개발, 무인항공시스템 테스트를 수행하였으며, 하천지형 관리시스템 개발을 위해 하천정보 3차원 시각화 프로그램 개발, 하천 횡단면도 제작 프로그램 개발, 자동 유량 산출 프로그램 개발, 수질분포도 자동 작성 프로그램 개발을 수행하여 USV/UAV를 이용한 3차원 공간정보 및 수자원 정보 획득 기술의 개발을 완료하고 현장 적용을 통해 현장 적용능력을 평가하였다.

본 연구의 개발 내용 및 범위는 다음과 같다.

- 1) 수리수문 정보획득시스템 개발
 - 로봇선 성능 개선
 - 자동수질 측정 장치 개발
 - 하상 지반자료 DB시스템 개발
 - 2) 무인항공시스템 구현
 - 로봇선과 함께 운용 가능한 무인항공체 구현
 - 지형정보 획득 및 3차원 하상지형 모델링 시스템 구현
 - 로봇선 모니터링 시스템 구현
 - 3) 하천지형관리시스템 개발
 - 하천정보 3차원 시각화 프로그램 개발
 - 하천 횡단면도 제작 프로그램 개발
 - 자동 유량 산출 프로그램 개발
 - 수질분포도 자동 작성 프로그램 개발
-

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 관련 기술의 특허 및 차별성

특허청 특허정보시스템에서 유사특허를 조사한 결과 본 연구에서 개발하고자 하는 “로봇선과 드론을 이용한 3차원 공간정보 및 수질/수문자료 획득기술 개발” 기술과 유사한 기술들이 존재하는 것으로 조사되었다. 본 연구에서는 이러한 기존 특허들을 분석하여 차별화된 방법을 통해 기술을 개발하고자 한다. 이와 관련된 기존 특허 및 회피 방안은 다음과 같다.

특허명	수심측량조사장치가 탑재된 무선인터넷과 디지털피에스를 이용한 원격 측정 로봇선(특허 10-0805358)
특허 내용	수심측량을 하기위한 무선 원격측정 시스템으로 DGPS 와 음향측심기를 이용한 측정방법 및 장치
국적	대한민국
보유자	인천대학교 산학협력단
회피 방안	- CDMA 통신방식을 사용하는 것으로 속도가 느리고 별도의 통신요금이 발생됨. 이를 속도가 빠른 2.4GHz 또는 900Hz의 무선통신 방식을 활용하여 별도의 비용이 발생되지 않으면서 빠른 데이터전송이 가능하도록 차별화 - 수심측정 장치에 짐벌을 설치하여 수면과 수직을 유지 할 수 있도록 측정시스템을 개선하여 차별화

특허명	무인원격 수질 및 기상환경 모니터링 선박 및 이의 운영방법(특허 10-0883046)
특허 내용	무인선체에 수질센서 및 기상센서를 장착하고 정보를 획득할 수 있는 기술
국적	대한민국
보유자	(주)지오시스템리서치
회피 방안	- 부피를 차지하는 집열판이나 축전지가 필요한 태양열을 이용하는 방법 대신 발전기를 이용하여 선체의 크기를 줄이고 전력을 안정되게 공급 - 수질센서를 고정시키는 방법 대신 원하는 수심까지 입수시키는 기능으로 차별화

특허명	파력을 이용한 로봇선박(특허 10-1151330)
특허 내용	장기간 동력에너지 공급 없이 장기간 운항이 가능한 파력과 태양에너지를 이용한 로봇선박
국적	대한민국
보유자	김동준
회피 방안	- 신재생에너지 사용으로 동력 없이도 장기간 운항 할 수 있는 장점은 있으나 본 연구에서와 같이 홍수시 또는 장기간의 공간정보를 획득하는데에는 활용일 어려운 기술임. - 따라서 본 연구에서는 홍수시 운항이 가능한 고출력의 로봇선을 개발하고자 함.

특허명	경로 설정을 통한 다기능 무인 선박을 이용한 하천 관리 시스템(특허 10-1406061)
특허 내용	경로설정을 통해 자동으로 운항이 가능한 무인 선박에 관한 특허
국적	대한민국
보유자	(주)한우리
회피 방안	- 대상지역에서 무인선이 운항하기 위한 경로를 설정하면 GPS 신호를 받은 선체에서 명령을 전송받아 경로를 따라 이동하는 방법에 관한 특허로 본 연구에서도 유사한 기술을 적용할 예정이며, 차별성 확보를 위해 드론 및 카메라, 적외선 장치 등을 활용하여 주변 장애물의 이동을 감지하여 회피가 가능하도록 개발할 예정임.

2. 관련 분야 국내외 기술개발 현황 및 차별성

본 연구과제와 관련하여 국내외에 하천이나 호소의 유량 측정 및 수질 측정을 위한 장치들로는 유인선박, 무인 선박 등이 상용화되어 사용되고 있다. 또한 수중 정보 획득을 위해 하천유량 계측보트(R2V2)나, 소형 무인 장치(ROV)들이 이용되고 있으나, 무선(RF) 원격 조정이나 케이블이 연결된 형태의 장치들이 사용되고 있어 완벽히 자동화 된 시스템이 상용화 되고 있지는 못하고 있다.



그림 4 유량 및 수질 측정을 위한 무인 장치

로봇선의 기본 개념은 데이터PCS의 R2V2와 유사하지만 두 개의 선체를 프레임으로 연결한 쌍동선 형태로 길기와 폭이 R2V2 보다 크고 안정적으로 운항 할 수 있으며, 기능 면에서 유속과 수심을 측정하는 R2V2와는 달리 자동 수질 측정과 채수가 동시에 이루어지는 것이 차별화 되어 있다.

정부에서는 2009년 4대강 사업과 관련하여 로봇 물고기를 이용한 수중 생태계 감시, 오염원 추적, 보호어종 감시 등을 목적으로 개발이 시작되었으며, 한국생산기술연구원이 최근 개발한 로봇 물고기 익투스 V5.5 시험용 모델은 자유 유영은 물론이고 장애물 감지, 수질 측정, GPS, 무선카메라 등 다양한 기능이 탑재돼 있다. 그러나 현재는 수질 측정 목적이 아닌 로봇 연구에 집중되고 있어 실용적으로 사용되고 있지는 못하고 있다.



그림 5 자동 수질 측정을 위한 로봇 물고기
(출처: 한국생산기술연구원 제공, 동아일보 기사 제인용)

통신기술의 발달과 GPS 측위 정확도 향상 기술의 발전에 따라 기존 측정 선박들의 정확도는 점차 증가하고 있다. 기존 측량 선박들의 경우 단일 GPS만 사용하거나 기준국을 설치해야 하는 RTK-GPS가 사용되고 있으나, 최근 측지측량 분야에서는 실시간 측위가 가능한 VRS-GPS의 사용이 보편화 되고 있는 실정이다.

특히 국토교통부는 최근(2013년 9월) 2014년부터 위성기반 초정밀 GPS 보정시스템(SBAS) 개발에

들어가 2018년 시범 서비스를 한다고 발표하였다. 현재 GPS의 경우 수신국 기준으로 17~37m의 오차가 있어 정확성이 떨어지고 신뢰성이 낮은 반면 SBAS는 GPS 신호를 보정해 오차를 줄여 약 1m 이내의 정밀 위치정보를 실시간으로 제공할 수 있게 된다. 이를 본 연구사업과 같은 정밀 측위에 사용할 경우 실시간 정확도가 1mm 이내로 낮출 수 있을 것으로 기대하고 있다.

앞서 설명한 무인 측정 장치들의 자동화 및 정확도 향상과 연계된 기술은 활발하게 이루어지고 있으나, 자동 운항 알고리즘이 적용된 완벽한 무인 운항이나, 수심에 따른 정확한 지점에서의 시료 채취를 위한 장치의 개발은 거의 전무한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 최근 사용이 보편화 되고 있는 정확도 향상 기술을 적용하여 보다 정확한 유량 및 수질 측정을 위한 자동화된 무인 시스템을 개발하고자 한다.

국내외의 유량측정 장치 RiverCat은 SonTek사의 River Surveyor Acoustic Doppler 장비와 하천 유량 측정용 소프트웨어를 결합한 시스템으로서, 측정이 간편하며 소요시간이 짧다. 그러나 DGPS를 이용하여 위치정확도를 높이기 위한 방법이 복잡하고, 자동운항 기능을 가지고 있지는 못하고 있다.



그림 6 SonTek사의 유량측정 장치

유량측정 방식은 수심과 유속을 측정하여 유량을 계산하는데 하나의 단면만을 측정하는데 머무르고 있다.

한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트 연구소에서는 약200억원을 투입하여 2011년부터 해양환경에서의 자율운항 및 원격모니터링이 가능한 다목적 지능형 무인선의 국산화 장비를 개발하고 있으며, 멀티빔, ADCP, 수질관측센서, 열화상카메라, 레이더 등을 장착하였으며, 주통신 장비로는 C/S 밴드와 UHF 통신을 사용하고 있다.



그림 7 한국해양과학기술원의 다목적 무인선

KAIST 해양시스템공학과에서는 라이다를 기반으로 장애물을 인식하고 인식 정보를 이용하여 경로 계획 및 회피 알고리즘 적용한 자율운항 무인선을 개발하였으며, 2014년 싱가포르 마리나 베이 (Marina Bay)에서 개최된 ‘제1회 국제 무인선박 경진대회’에서 미국 MIT에 이어 준우승을 차지했다.

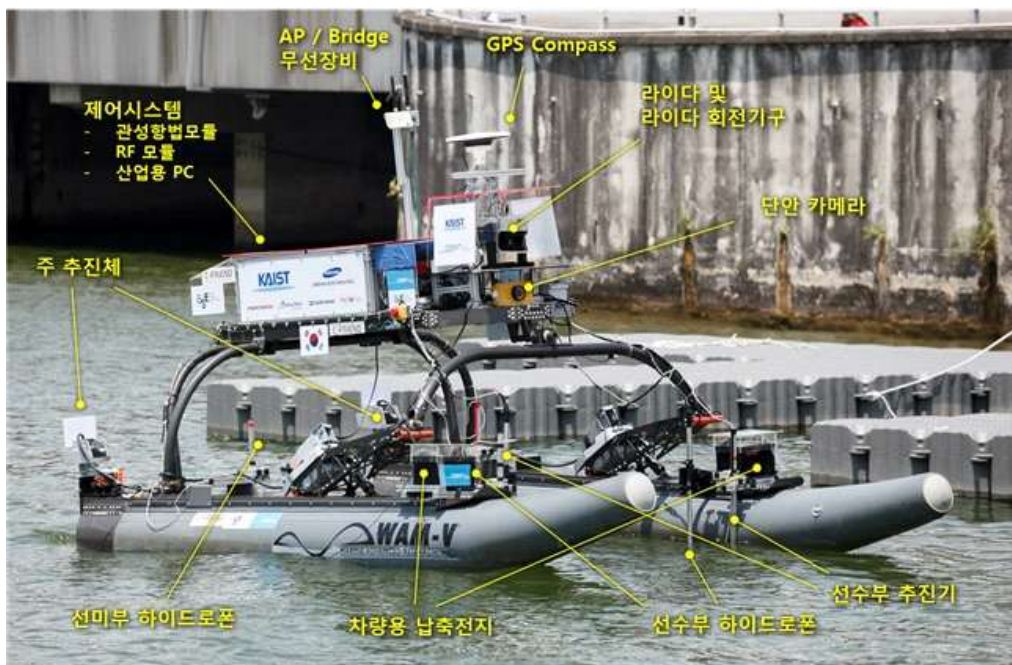


그림 8 KAIST에서 개발한 자율운항 무인선

국내외의 자율운항 및 환경모니터링을 위한 무인선의 현황을 종합할 때 고성능의 장비가 개발되고 있으나 본 연구에서와 같이 유량산출과 수질측정을 위한 기능으로 일반 산업에 확대 보급되기 위한 소형으로 비교적 저가의 무인 선박 개발에 관한 연구는 미흡하다고 할 수 있다.

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 수리수문 정보획득시스템 개발

가. 로봇선 개발

1) 헬 개선

헬(Hull)은 사전적 의미로 선체를 말한다. 본 과제에서 개선한 로봇선은 선박 모양의 부유체 2개를 프레임으로 연결한 형태로서 부유체를 헬로 지칭하였다. 로봇선의 선체는 갑판이 개방된 쌍동선 형태로 개발되었다. 좌우 부양체(Hull)에 의해 무게가 선체 전체로 분배되어 파도 등에 대한 선체 복원력이 뛰어나며, 좌우 양단의 두 쌍의 스러스터를 이용하여 속도 및 방향을 모두 조절함으로써 구조가 단순해지고 열 및 진동의 영향을 최소화 할 수 있다. 또한 장비적재 상황에 따라 선폭을 가변적으로 변형하여 장비 적재의 선택폭이 넓도록 개발되었다. 본 연구에서는 로봇선의 부력을 증대시키기 위해 길이 197cm의 헬을 제작하였다. 기존 헬에 비해 22cm가 증대되었으며 그림과 같다.



그림 9 개선된 헬

2) 고출력 스러스터 장착

로봇선의 추진은 전기장치에 의해 회전하는 스러스터를 동력으로 사용한다. 기존에 로봇선에 장착되었던 스러스터는 작고 가벼운 미국 Seabotix사의 HPDC1513 추진기를 사용하였다. 이 추진기는 추력이 2.9kgf로서 일반적인 하천에서 무리없이 사용할 수 있는 출력이지만 본 연구에서 목표로 하는 홍수시에는 만족할 만한 속력을 내기 어려울 것으로 판단하고 추력이 2.66배인 스러스터로 교체하였다. 새로 장착한 스러스터는 미국 Tecndyne사의 Model 300 추진기이며 다음 그림과 같다.



그림 10 Model 300 스러스터

스러스터 교체 후의 추진 능력은 수치해석을 통해 산출하였다. 기존 스러스터와 새로 장착한 스러스터의 출력을 다음 표와 같다.

표 1 변경 전과 후의 스러스터 비교

	변경 전	변경 후
제조사	Seabotix	Tecnadyne
추력	2.9kgf	7.7kgf
무게	0.7kg	1.4kg

3) 경량 프레임 제작

가) 불필요한 프레임 제거

스러스터의 효율을 높이기 위해 선체의 경량화를 수행하였다. 추력이 강한 스러스터로 교체하여 추력을 높였으나 로봇선의 속력을 향상시키기 위해 기존에 로봇선에 장착되었던 불필요한 프레임 및 알루미늄 장치들을 제거하였다. 선체 구조 및 운항에 영향을 주지 않는 범위 내에서 불필요한 부분들을 제거하였으며 방수케이스를 알루미늄에서 밀폐형 플라스틱 박스로 교체하였다. 프레임을 제거하고 교체하면서 프레임 구조를 변경하여 프레임 자체의 무게를 줄였다.

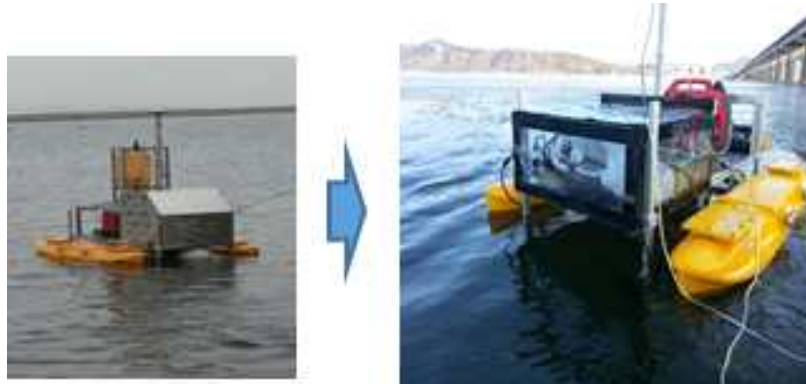


그림 11 선체 경량화

나) 카본 프레임 제작

알루미늄 프로파일로 제작된 기존의 프레임을 더 가볍게 하기 위해 경량 소재에 대해 지속적으로 연구하였으나 금속의 경우 가벼우면서 일정 강도 이상을 가진 재료가 매우 고가여서 적절한 재료를 찾지 못하였다. 이러한 이유로 경량 프레임 제작을 위해 상대적으로 저렴하면서도 가볍고 일정 강도를 유지할 수 있는 카본 프레임을 제작하였다.

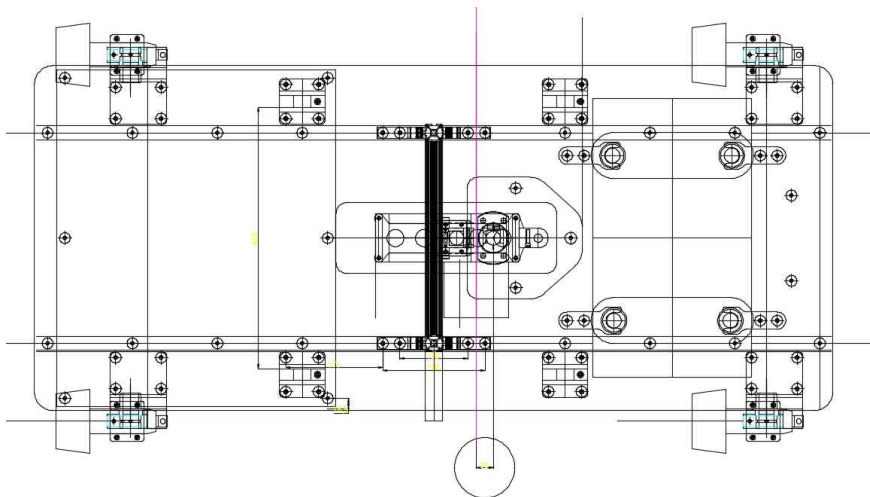


그림 12 카본 프레임 설계도

기존 프레임은 알루미늄 프로파일과 파이프를 이용하여 뼈대만 있는 형태였다면 새로 제작한 카본 프레임은 허니컴 패널과 파이프를 사용하여 판형으로 개발하였다. 카본 허니컴 패널은 벌집 형태의 허니컴 코어를 얇은 필름이 위아래로 감싸고 있는 샌드위치 형태의 카본 패널이다. 전체 부피의 약 95% 이상이 빈 공간이어서 두께에 비해 매우 가볍고 카본으로 제작되어 매우 견고하다. 카본 파이프를 뼈대 형태의 프레임을 만들 경우 파이프가 교차하는 부분을 고정하는데 결속 부품이 필요하고 볼트 구멍 등에 의해 강도가 약해질 우려가 있어 판 형태로 제작하였다.

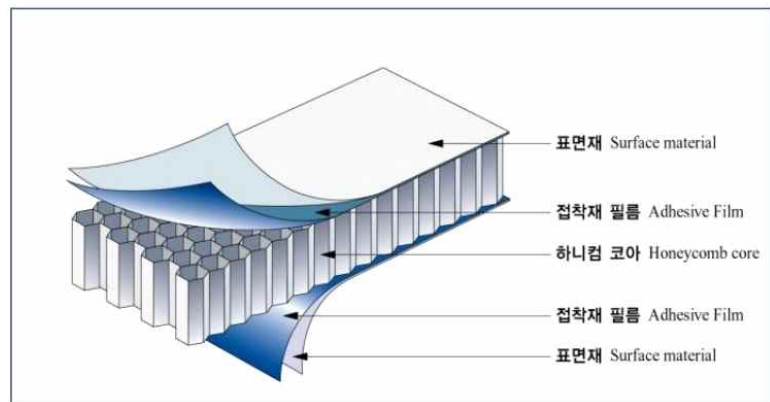


그림 13 카본 허니컴 패널 구조



그림 14 카본 허니컴 패널 프레임

프레임과 혈의 연결은 혈 두 개를 카본 파이프로 연결한 다음 그 위에 프레임을 얹는 형태로 개발하였다. 프레임에 브라켓을 볼트로 고정한 다음 파이프를 연결하고 볼트로 고정하여 프레임을 완성하였다.



그림 15 헬과 프레임 연결 브라켓

스러스터는 이동 중에 바닥에 부딪혀 손상되는 것을 막기 위해 거치 장치를 접이식으로 개발하였다. 손으로 조이고 풀 수 있는 볼트와 토글 래치(걸쇠형 잠금장치)를 이용하여 운항시에는 물살의 저항에 접하지 않도록 고정하고 운반할 때는 접고 볼트로 고정하여 손상되지 않도록 하였다.

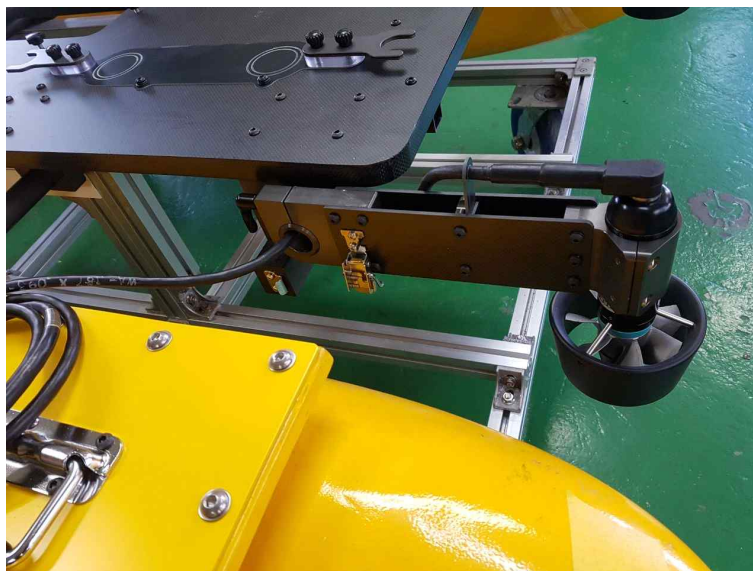


그림 16 접이식 스러스터 거치대

멀티빔 에코사운더는 눈금이 새겨진 사각 카본 막대와 브라켓을 연결하고 프레임에 고정된 거치대에 연결하는 방법으로 개발하였다. 스러스터와 마찬가지로 손으로 조이고 풀 수 있는 볼트 장치를 이용하여 스러스터의 높낮이를 쉽게 조절할 수 있도록 하였으며, 따로 옵셋값을 측정하지 않아도 카본 막대의 눈금을 이용하여 물속에 들어간 깊이를 즉시 알 수 있도록 하였다.



그림 17 멀티빔 에코사운더 거치대

또한 멀티빔 에코사운더와 GPS 안테나의 중심을 일치시켜 데이터 보정 과정을 최소화할 수 있도록 개발하였다.

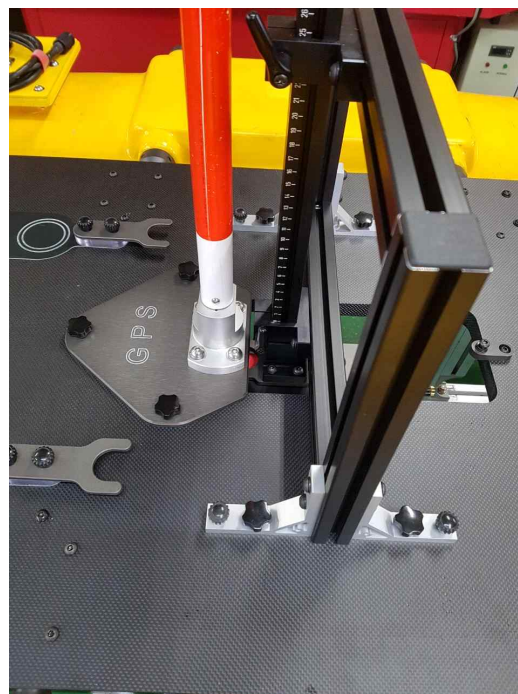


그림 18 GPS 안테나와 멀티빔
에코사운더의 중심일치



그림 19 개선 작업이 완료된 USV

4) 짐벌 제작

음향측심기를 이용한 수심측량의 정확도는 음파의 직진성이 핵심이라고 할 수 있다. 트랜스듀서에서 발산된 음파가 하상에 반사되어 돌아오는 시간으로 거리를 판단하기 때문에 음파가 발산되는 면이 수면과 수평을 유지하는 것이 중요하다. 그러나 수심측량을 수행할 때 선체의 속도가 빨라질수록 선수가 들리고 선체 균형을 맞추기 어려워 음향측심기를 수평으로 유지하기 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 짐벌을 제작하기로 계획하였다. 그러나 로봇선에 장착한 멀티빔 에코사운더는 자체에 이러한 자세의 변화를 스스로 감지하고 보정하는 기능을 포함하고 있어서 별도의 짐벌을 제작하는 번거로움을 덜 수 있었다.

5) 장애물 탐지 센서 네트워크 개발

가) 장애물 탐지 센서 네트워크 설계

(1) 장애물 탐지의 원리

무인로봇선의 안전한 운항을 위해 선박 전방의 장애물을 탐지해야 한다. 장애물 탐지방법은 무인로봇선의 특성상 무선을 이용한 거리측정 방법을 사용한다. 무선거리측정 방법은 자체 무선발신, 무선반사파 혹은 파장이 동일 또는 상이한 주파수로 재송신하는 방법으로 목표물의 거리를 결정하는 방법을 말하고, 무선에 의해 장애물에 반사된 파장의 진폭 수를 토대로 장애물과 진행중인 무인로봇선의 진행 속도와 방향을 토대로 충돌 예측을 하고 충돌회피 알고리즘에 적용하는 것이 일반적이다. 장

애물 감지 시스템을 구축하기 위해선 거리측정을 위한 센서들이 필요한데 적외선, 초음파, 레이더 등의 센서들을 활용한 방법을 주로 활용한다.

거리측정 센서의 구조는 송신부와 수신부로 이루어져 있으며, 송신부에서 전방을 향하여 해당 매체를 쏘아서 장애물에 부딪혀 돌아오는 매체의 양을 수신분에서 측정하여 이의 분석을 통해 거리를 측정하는 방식이며 이를 통해 얻어낸 거리측정 데이터와 위치데이터 진행 경로를 조합하여 무인로봇선의 안전한 운항을 지원하는 용도로 사용 할 수 있다.

다음은 거리 측정 이론을 설명하기 위한 Microsonic 초음파 센서를 활용한 거리측정 방법과 동작 범위를 보여주는 그림이다. 붉은색 지역은 얇은 원형 막대에 의해 결정된 영역이며, 센서의 대표적인 작동 범위로 센서의 종류에 따라 10~27mm 두께를 나타낸다.

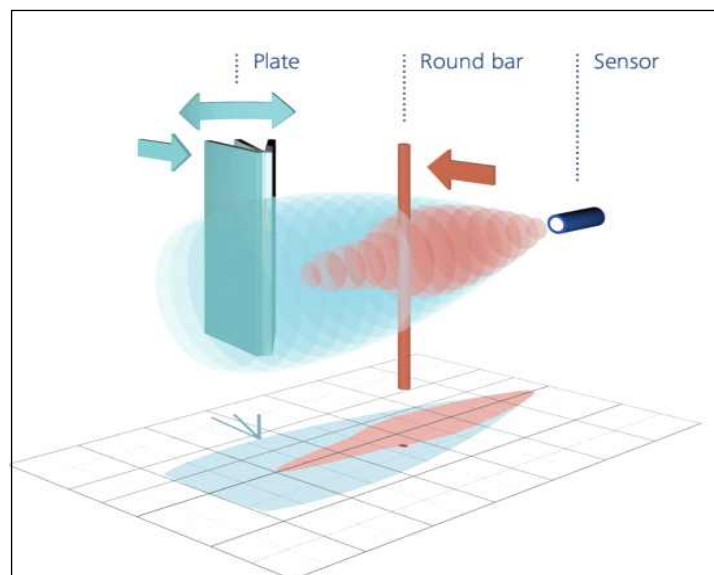


그림 20 초음파 거리측정 방법

플레이트(500*500mm)가 측면에서부터 빔의 확산영역 안에 진입하는 것이다. 그렇게 함으로써, 플레이트와 센서 사이 최적의 각은 항상 보장된다. 그러므로 센서의 최대 감지범위를 나타내며, 파란색 영역을 벗어 나면 초음파센서는 검출을 할 수 없다. 둥근바 와 같이 열악한 반사특성을 갖은 반사체는 적색영역으로 표시된 것보다 작은 영역에서 검출할 수 있다. 초음파 센서가 일반적인 반사를 측정 할 수 있는 충분한 동작 보호구역의 거리를 도표에서 나타내고 있다. 초음파센서는 또한 좋은 반사판의 경우 최대 범위까지의 거리를 측정 할 수 있다.

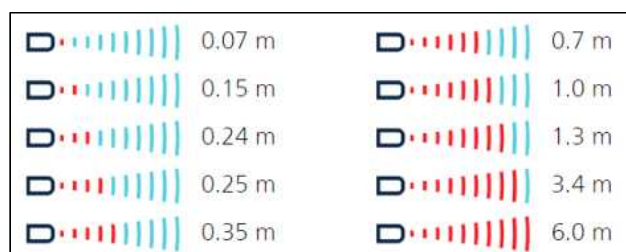


그림 21 신호강도에 따른 거리 계산 예시

그 외 적외선, 레이더 등 도 초음파 센서와 다르지 않은 측정 방법을 사용하나 각 매체의 특성에 따라 측정 거리 범위 등이 달라지며 성능 또한 매체에 따라 다르다. 초음파의 경우 음파의 특성상 온도와 공기의 압력 뿐만 아니라 상대습도에 따라 다르다. 물리적인 관계는 다양한 초음파 주파수에서 다른 효과를 갖으며 복잡하다. 간단히 우리는 온도상승과 습도상승이 된 증가 공기에서 감쇄가 된다고 말할 수 있다. 이것은 검출 영역의 크기를 줄이는 것을 수반한다.

(2) 장애물 탐지를 위한 센서의 종류와 특징

(가) 초음파 센서(ultrasonics wave Sensor)

인간이 들을 수 있는 소리가 가지는 진동수, 곧 가청진동수(20 ~ 20,000 Hz)보다 높은 진동수를 갖는 소리를 초음파라 한다. 사람이 들을 수 있는 진동수의 한계는 사람마다 다르고 나이에 따라 다르나, 대체로 20,000 Hz 이상의 진동수를 가진 소리는 들을 수 없으므로, 그 이상의 진동수를 가진 소리를 초음파라 한다. 소리는 진동수가 많을수록 고음이 된다. 이 중 사람이 들을 수 있는 소리의 진동수는 20~2만Hz 사이로, 2만Hz 이상인 소리를 초음파라고 한다. 초음파는 파장이 짧아서 직진성이 강하다. 초음파 센서에 이용되는 파장은 매체의 음속과 음파의 주파수에 따라 결정되고, 바다 속의 어군탐지기나 소나에서는 1mm~100mm, 금속 탐상(探賞) 등에서는 0.5mm~15mm, 기체 속에서는 5~35mm 정도이다.



그림 22 초음파 거리측정 센서 사례

(나) 적외선 센서

적외선은 전자방사로서 절대온도인 영도(0K 또는 -273C) 이상의 온도를 갖고 있으며, 예를 들어 드라이 아이스 195K, 인체 310K, 용해철 1,800K, 태양표면 6,000K 등 이러한 물체에서는 원자와 분자의 진동, 회전에 의해 적외선 에너지(열방사 에너지)를 발생한다. 적외선은 물리적인 매질 중에 있는 열의 대류 또는 전도에 의해 운반되는 것이 아니고 빛과 같이 광원에서 나와 직진하여 진공에서는 물론이고 공기, 기체 또는 고체와 같은 물리적인 매질 중 에서도 전파된다.



그림 23 적외선 거리 측정
센서의 사례

적외선은 약 $0.75\sim 1,000\mu\text{m}$ 의 파장 대역의 전파를 말하며, 일반적으로 $0.75\sim 3\mu\text{m}$ 까지를 근적외선(near infrared), $3\sim 6\mu\text{m}$ 까지를 중적외선(middle infrared), $6\sim 15\mu\text{m}$ 까지를 원적외선(far infrared)이라고 하고, $15\mu\text{m}$ 이상 $1,000\mu\text{m}$ 이하까지를 극원적외선(extreme infrared)이라고 한다. 다음 그림은 Sharp사의 GP2Y0A02YK0F 모델 적외선 센서로서 몇m 이내의 짧은 거리에서 물체 감지를 위해 사용되는 센서이다. 측정실험 결과 약 150Cm 정도 이내의 물체에 대해 감지 할 수 있음을 알 수 있다.



그림 24 Sharp사의 GP2Y0A02YK0F 모델 적외선 센서

(다) 레이저 센서(Laser Sensor)

레이저는 들뜬 원자나 분자를 외부에서 자극시켜 장단(결)이 잘 맞아있는 빛을 방출하게 함으로서 큰 증폭율로 증폭된 빛을 말한다. 이 레이저(Laser)는 Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation의 머리글을 따서 만들었는데 이는 "복사의 자극방출에 의한 빛의 증폭"을 뜻한다. 보통의 빛은 렌즈를 써서 아주 가늘게 만들 수 있기는 하지만 곧 크게 퍼져 버린다. 그러나 레이저는 좁고 긴 관을 수만번 왕복한 빛이기 때문에 멀리까지 갈 수 있는 상태로 아주 잘 빔어져서 거의 퍼지지 않고 직진하게 된다. 보통의 빛은 여러 가지 파장, 즉 여러 가지 색의 빛이 섞여 있다. 비교적 순수한 빛이랄 수 있는 네온사인 등의 방전에 의한 빛도 원자의 운동에 의한 도플러 효과로 약간의 파장폭을 가지고 있으나 레이저는 양쪽 거울속에 잘 뛰놀 수 있는 공명상태의 빛을 방출하므로 거의 단일한 파장을 갖는 순수한 빛을 방출하게 된다. 보통의 빛은 여러 가지 파장, 즉 여러 가지 색의 빛이 섞여 있다. 비교적 순수한 빛이랄 수 있는 네온사인 등의 방전에 의한 빛도 원자의 운동에 의한 도플러 효과로 약간의 파장폭을 가지고 있으나 레이저는 양쪽 거울속에 잘 뛰놀 수 있는 공명상태의 빛을 방출하므로 거의 단일한 파장을 갖는 순수한 빛을 방출하게 된다. 다음 그림은 자신의 주변에 물체의 유무를 여러 센서들(적외선, 열적외선, 초음파 등)을 통해 파악하는데, 그 중 레이저를 이용한 종류인 라이다(Lidar) 센서이다.



그림 25 레이저 거리측정 센서 사례

Lidar v3 는 레이저(빛)를 매체로 사용하여 거리를 측정하거나 물체를 인식하는 장치로 40m 이내의 물체를 인식할 수 있으며 I2C, PWM, 제어를 통해 제어할 수 있다는 장점과 1m이내에서 약2.50cm 오차만을 허용 한다는 장점이 있어 많은 로봇, 무인운항 등의 주행 성능 보정용으로 사용되고 있는 센서이다.

(3) 장애물 탐지 센서 네트워크 설계

무인로봇선은 운항 중 장애물과의 충돌 위험에 즉각적 대처를 위한 무인로봇선 전방의 장애물 탐지 장치와 그로부터 획득된 정보를 무인선의 메인 컨트롤 시스템에 전달하기 위하여 무인로봇선의 구조에 적합한 독립적이며 안정적으로 전방위 장애물 데이터를 수집 하고 실시간 전송 할 수 있는 RF 장치가 포함된 시스템이 필요 하였다. 본 연구에서는 무인 로봇선 메인 컨트롤러에게 즉각적으로 획득 정보를 안정적으로 전송하기 위하여 Lidar Lite v3 laser와 868MHz RF 통신시스템 그리고 운항시스템으로 부터 독립된 Automatic charging Module을 포함한 무선 장애물 감지레이다를 개발하였다.



그림 26 장애물 탐지 센서 네트워크 시스템의 개념도

(가) 개발범위

- 거리측정 Lidar Lite V3 원격전송 Main Controller.
- 868MHz RF 송, 수신 모듈.
- Automatic charging 모듈.
- 장애물 정보 RF 수신 단말기.
- 장애물 수신데이터 모니터링 프로그램.

(나) 개발환경

- 운영체제: WINDOWS 10
- H/W 설계: Cadence OrCAD ver 16.6, Cadence PCB EDITOR
- FIRM WARE개발: ARM Keil 5.0

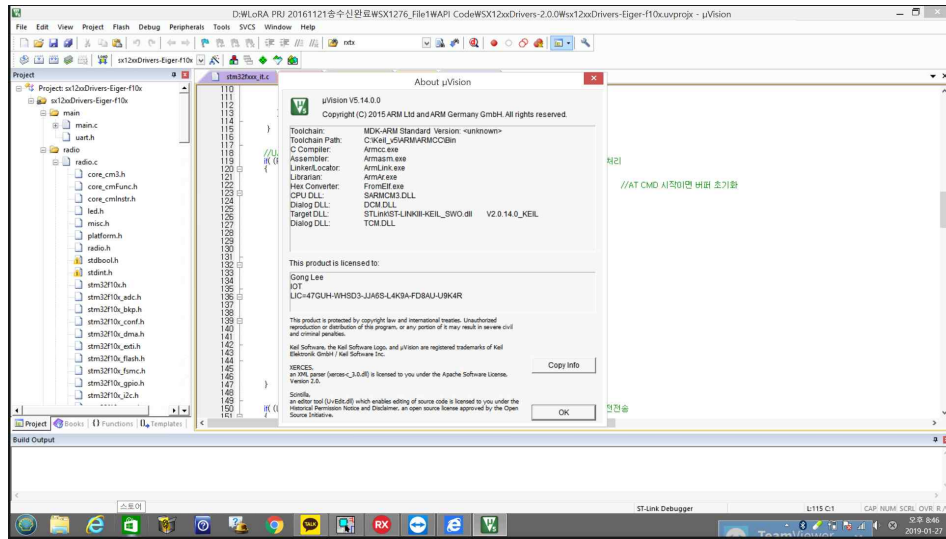


그림 27 펌웨어 개발 과정

(다) 장애물 탐지용 거리측정 센서

- 거리측정센서는 무인로봇선의 선박의 길이 폭, 운항속도 환경에 적합한 20m 전방의 장애물에 대하여 장애물 감지를 실현하도록 LiDAR LITE V3 레이저 센서를 사용하여 개발하였다.
- 다음 그림과 표는 LiDAR LITE V3 레이저 센서의 모양과 사양이다.



그림 28 LiDAR LITE V3 레이저 센서

표 2 LiDAR LITE V3 레이저 센서 사양

Range	0-40m Laser Emitter
Accuracy	+/- 2.5cm at distances greater than 1m
Power	4.75-5V DC; 6V Max
Current Consumption	105ma idle; 130ma continuous
Rep Rate	1-500Hz
Laser Wave Length/Peak Power	905nm/1.3 watts
Beam Divergence	4 m Radian x 2 m Radian
Optical Aperture	12.5mm
Interface	I2C or PWM

나) 장애물 탐지 센서 네트워크 시스템 컨트롤러 개발

(1) 거리측정 Lidar Lite V3 원격전송 Main Controller 개발

(가) Main Controller 설계

○ Main Controller의 기본 사양

- STM32F103VG ARM CORE 1M FLASH
- I2C Interface
- FT232 UART TO USB
- LiDAR PWM MODE Or I2C Mode Control
- 4K EEPROM

(나) SCHEMATIC Design(회로설계)

○ Main Controller의 회로설계

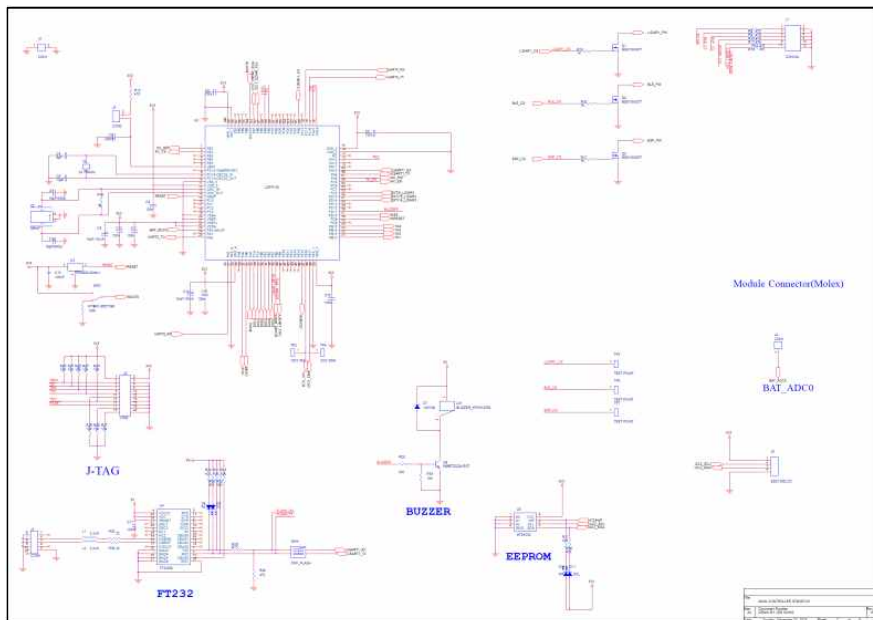


그림 29 Main Controller부 회로도

○ Laser Interface 회로설계

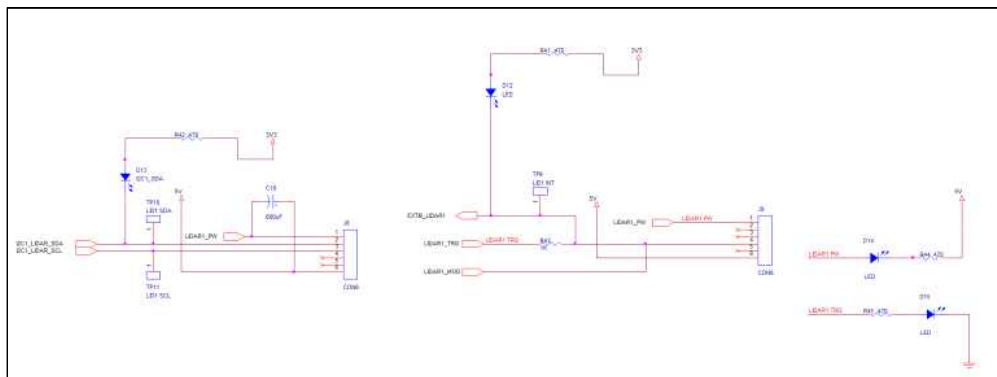


그림 30 Laser Interface 부 회로도

○ LiDAR Interface 회로설계

- LiDAR SENSOR I2C 2 확장포트
- LiDAR SENSOR PWM(PULSE WIDTH MODULATION) MODE 제어

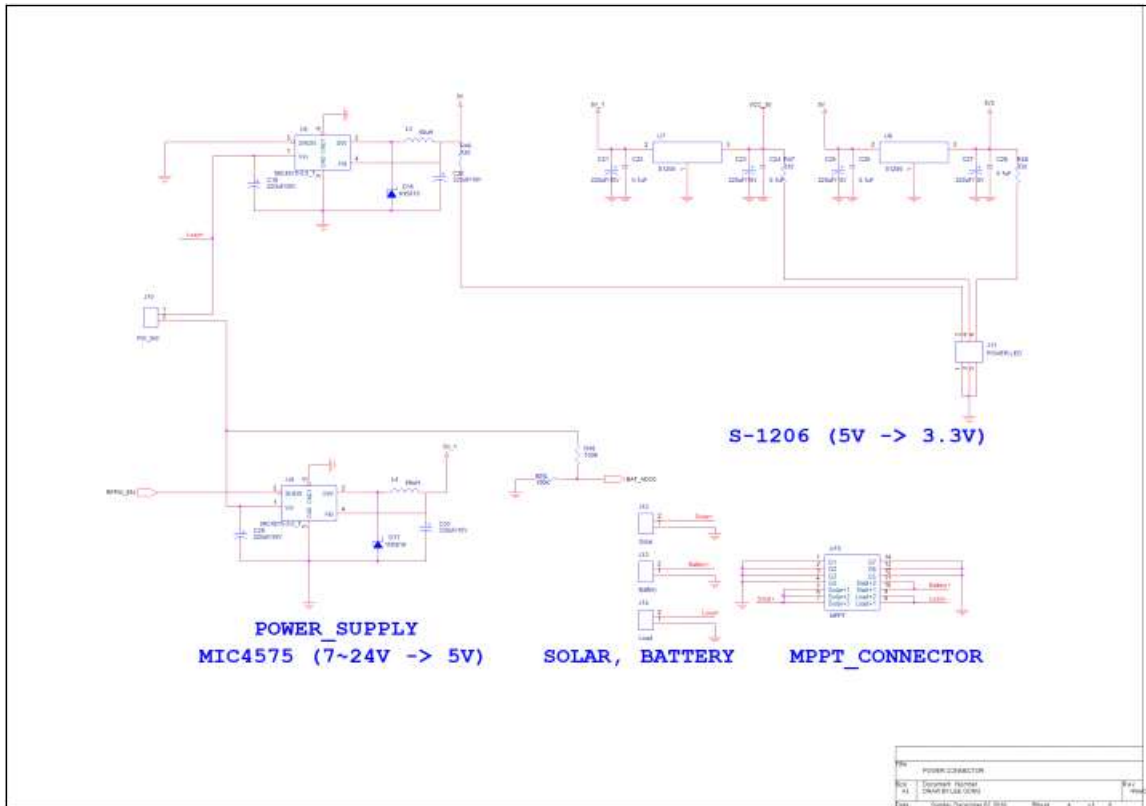


그림 31 LiDAR INTERFACE 부 회로도

○ Power Supply 및 통신 Interface 회로설계

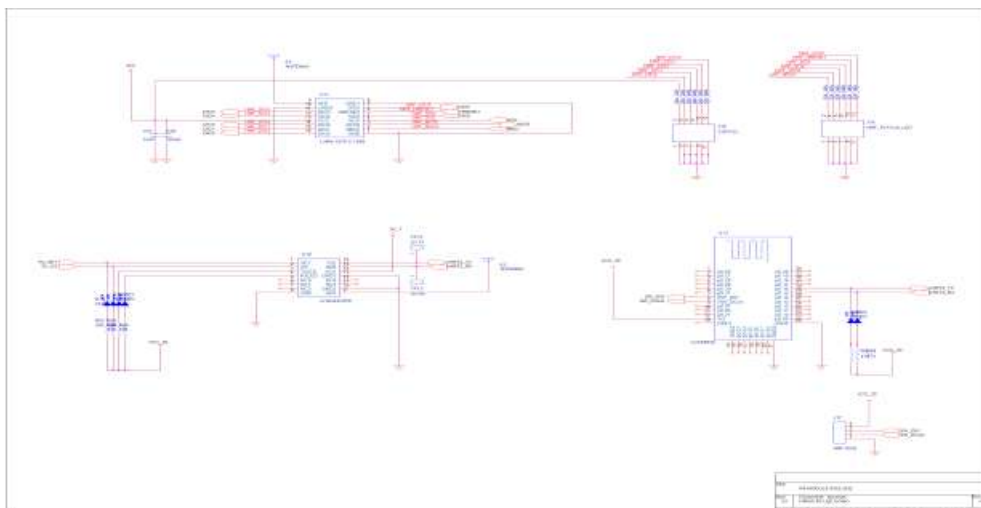


그림 32 Power Supply 및 통신 Interface부 회로도

○ LiDAR LOCATION STEP MOTOR Controller 회로설계

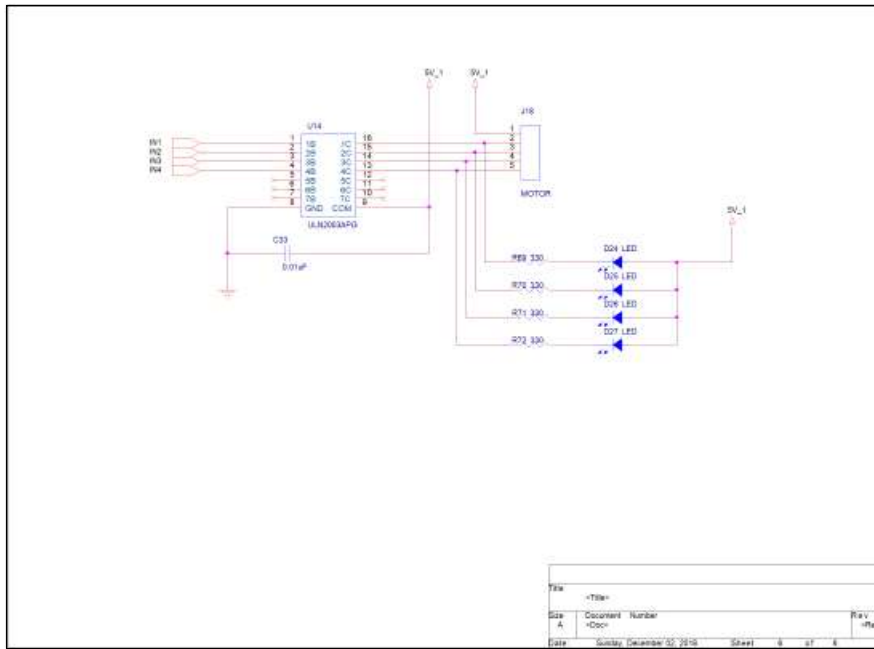


그림 33 LiDAR LOCATION STEP MOTOR 컨트롤부 회로도

(다) PCB ART WORK Design(PCB 설계 및 제작)

○ 장애물감지 Main Controller PCB Art Work

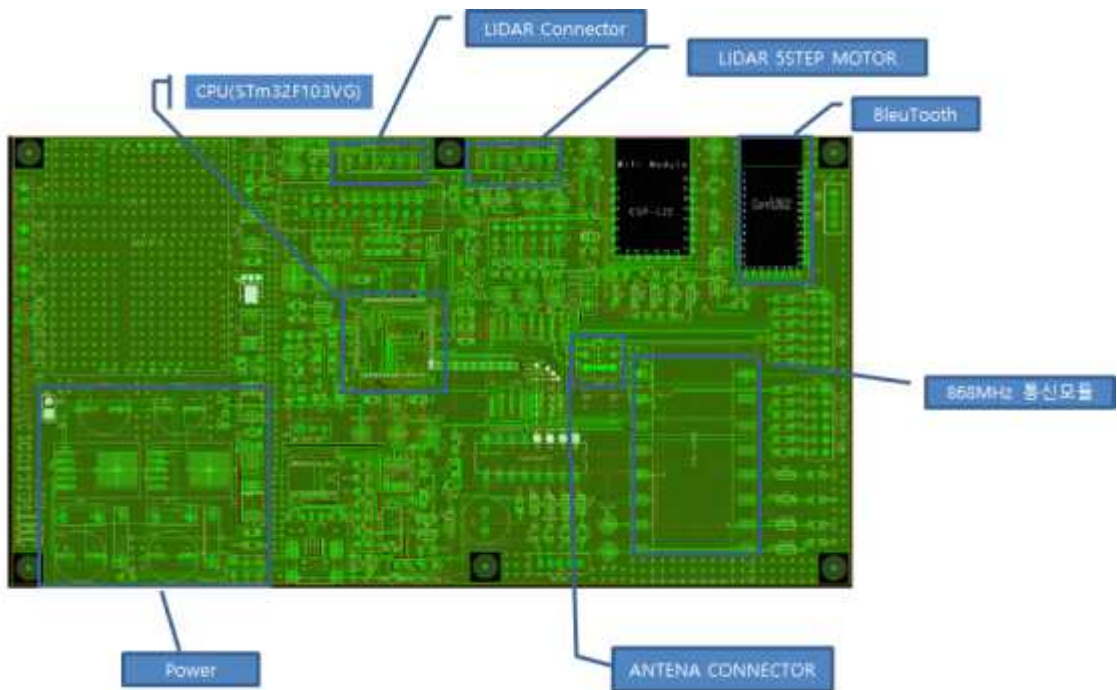


그림 34 장애물감지 Main Controller PCB 구성

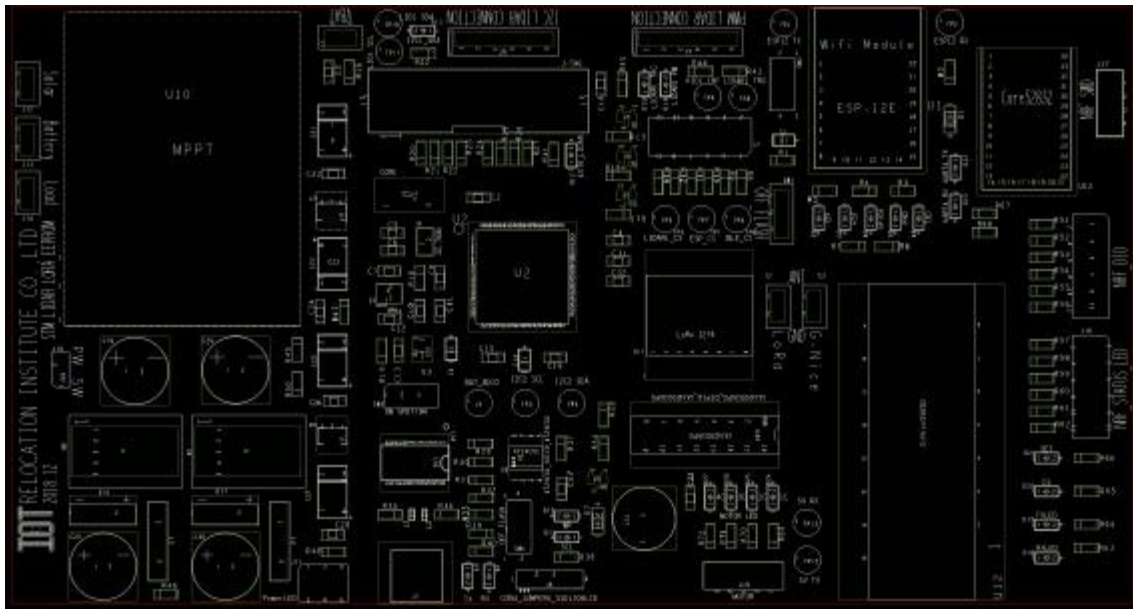


그림 35 장애물감지 Main Controller PCB ART WORK 결과

○ 장애물감지 Main Controller PCB 제작



그림 36 최종 Main Controller PCB 제작 결과

(2) 장애물 정보 RF 수신 단말기 개발

(가) 장애물 정보 RF 수신 단말기 설계

○ 장애물 정보 RF 수신 단말기의 기본 사양

- Core 52832
- 0.96인치 OLED DISPLAY
- 868MHz RF 통신

- 4K EEPROM
- USB & BlueTooth Interface
- LiPo 3.7V & Lion 4.7V Battery Charging
- Input AC 220V or USB or 5V

(나) SCHEMATIC Design(회로설계)

○ 장애물 정보 RF 수신 단말기 회로설계

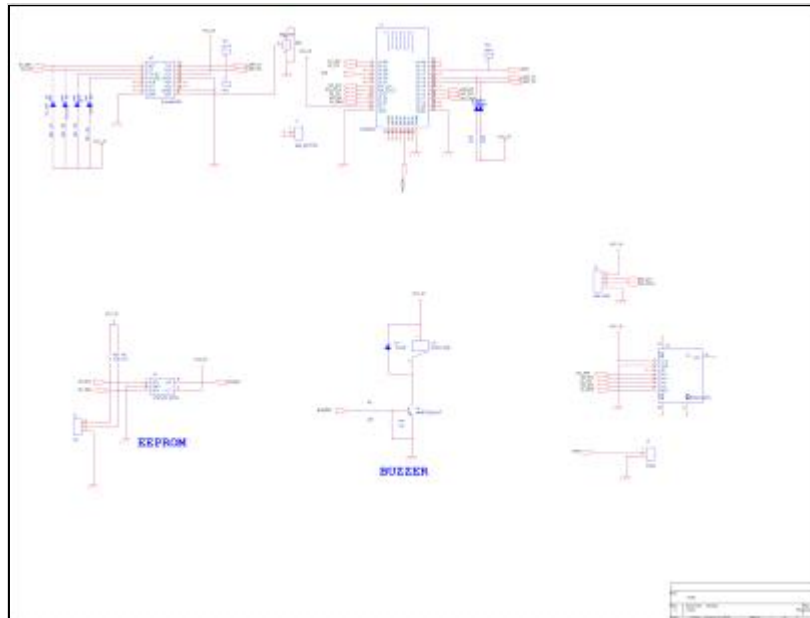


그림 37 Core 52832 Module & 0.96인치 OLED DISPLAY 제어부

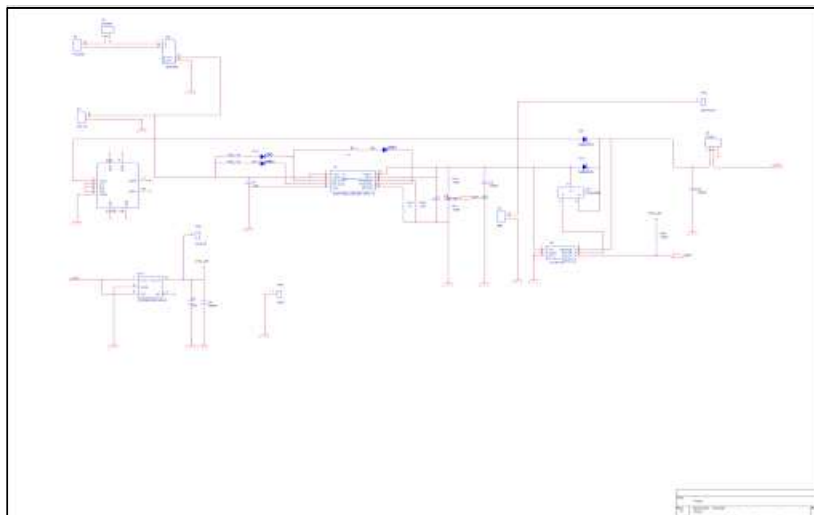


그림 38 Battery Auto Charging & Power 부

(다) PCB ART WORK Design(PCB 설계 및 제작)

○ 거리정보 수신단말기 PCB ART WORK

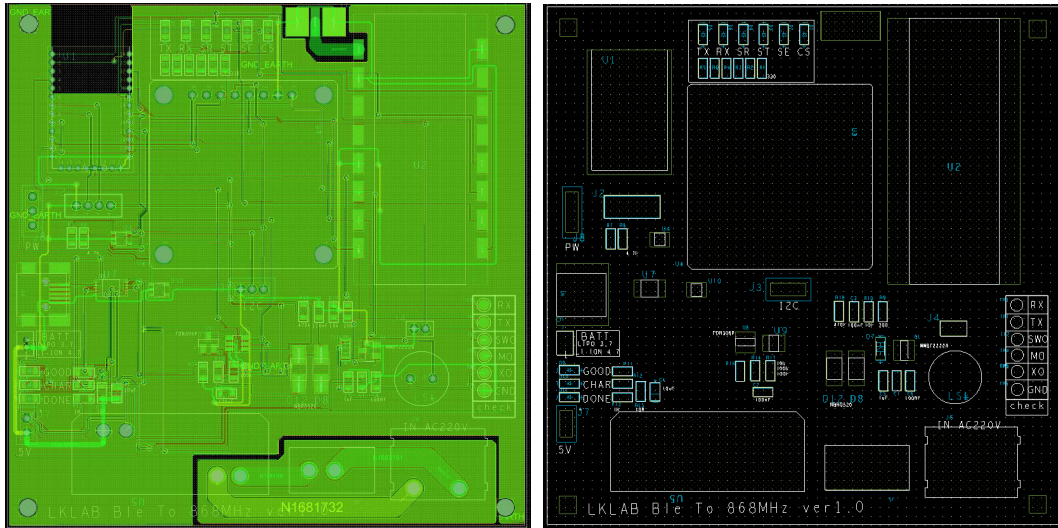


그림 39 장애물 정보 RF 수신 단말기 PCB ART WORK 결과

○ 거리정보 수신단말기 PCB 제작



그림 40 장애물 정보 RF 수신 단말기

(3) Automatic charging system 개발

○ Automatic Charging System의 기본 사양

- Vin : 15V ~ 20V
- Vbat : 13.4V ~ 14.6V, typical
- Ichange Max : 2Ah, max
- Efficiency : 80%이상 @18V, 0.5A Input

(가) SCHEMATIC Design(회로설계)

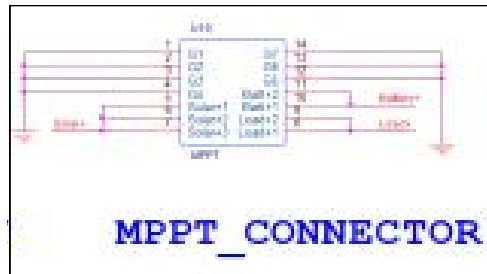


그림 41 Automatic Charging System 회로도

(나) PCB ART WORK Design(PCB 설계 및 제작)

○ Automatic Charging System PCB Art Work

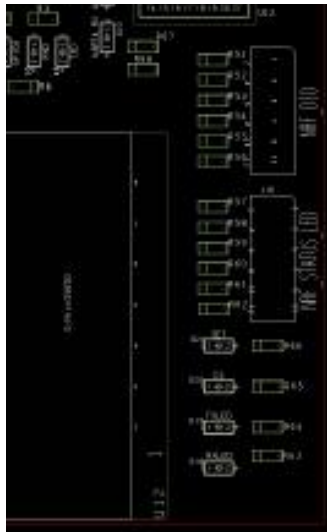


그림 42 Automatic Charging System PCB ART WORK 결과

○ Automatic Charging System PCB 제작



그림 43 Automatic Charging System PCB 제작 결과

(다) Automatic Charging System 전력 생산 효율성 실험

- 전원공급원을 통해 공급되는 전력을 배터리(예비전력)를 충전시킴과 동시에 Load쪽으로 전력을 공급해 메인보드를 동작시킬 수 있도록 설계.
- Charging + Load → 동시 Approach 2A.
- 배터리 충전효율 : 약85%

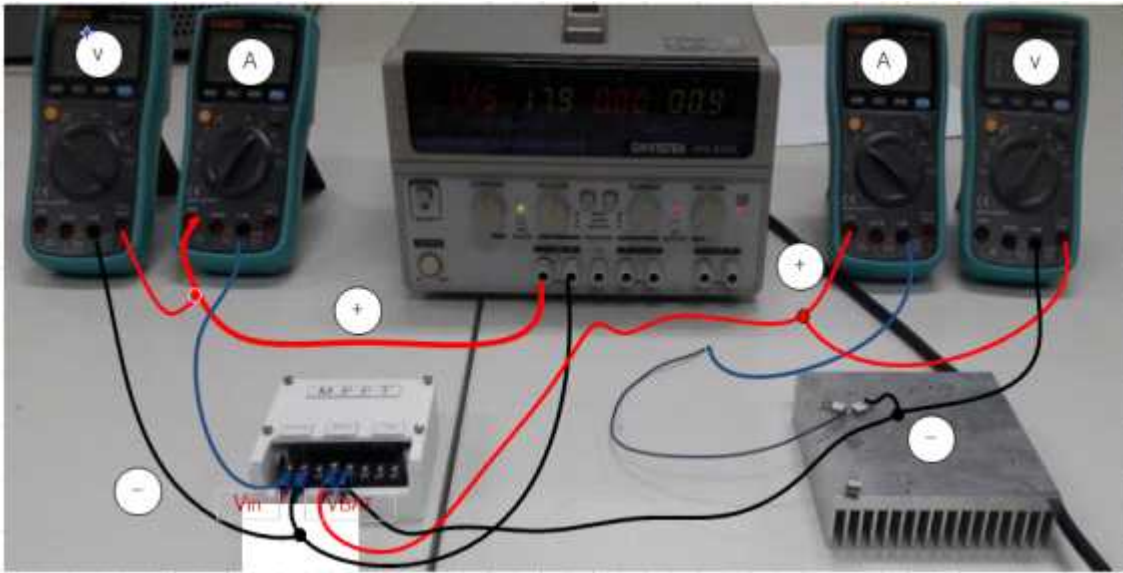


그림 44 배터리 충전 효율 실험

- 배터리 충전 효율 : $P_{out}(V_{out} * I_{out}) / P_{in}(V_{in} * I_{in}) * 100 (\%)$
 - $V_{in} = 15V \sim 20V$, typical
 - $V_{bat} = 13.4V \sim 14.6V$, typical
 - $I_{change\ Max} = 2Ah$, max.
 - Efficiency = 80%이상 @18V, 0.5A Input

다) 장애물 탐지 센서 네트워크 시스템 하드웨어 개발

- 거리측정 LiDAR 센서를 무인선에 장착하기 위해 소형의 장애물 탐지 센서 네트워크 시스템의 하드웨어를 개발함.
- 메인 컨트롤러와 장애물 정보 RF 송신 단말기를 함체에 장착하고, 헤더 부분에 거리측정 센서를 장착하고 모터를 연결하여 회전이 가능하도록 함으로써 보다 넓은 범위에서 장애물을 탐지 할 수 있도록 개발함.



그림 45 장애물 탐지 센서 네트워크 시스템 하드웨어 제작과정



그림 46 장애물 탐지 센서 네트워크 시스템 하드웨어 제작 결과

- 거리측정 센서의 경우 45° 이내의 장애물을 탐지 할 수 있기 때문에 보다 넓은 범위에서의 장애물을 탐지하기 위해, 소형 스텝 모터를 이용하여 20° 씩 운동이 가능하도록 개발함.

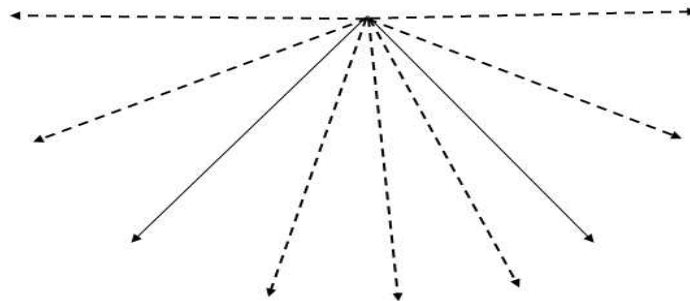


그림 47 거리측정 센서 회전운동 개념도



그림 48 거리측정 센서 회전시험



그림 49 장애물 탐지 센서 네트워크 시스템 하드웨어 디스플레이



그림 50 장애물 정보 RF 송신 단말기의 안테나

라) 장애물 탐지 데이터 관리 소프트웨어 개발

(1) 개발범위

- 센서 및 통신 네트워크 연결 기능
- 거리측정 센서로부터 장애물 탐지 거리 정보 수신 및 표시 기능
- RF 통신 네트워크를 이용한 데이터 송수신 기능
- 무인선 제어시스템으로 장애물 탐지 거리 송신 기능

(가) 개발환경

- 운영체제: WINDOWS 10
- 소프트웨어 개발: RAD Studio 10

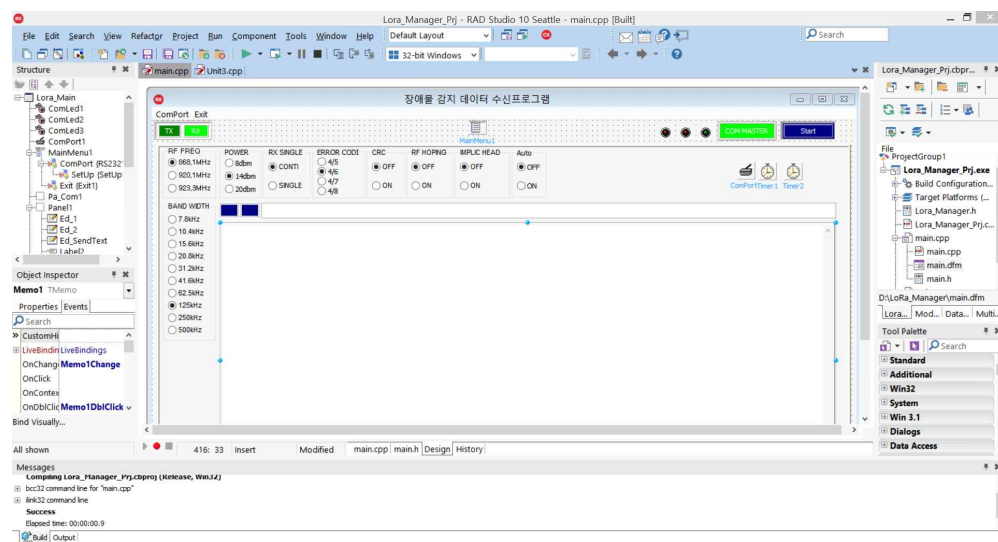


그림 51 장애물 탐지 데이터 관리 프로그램 개발과정 1

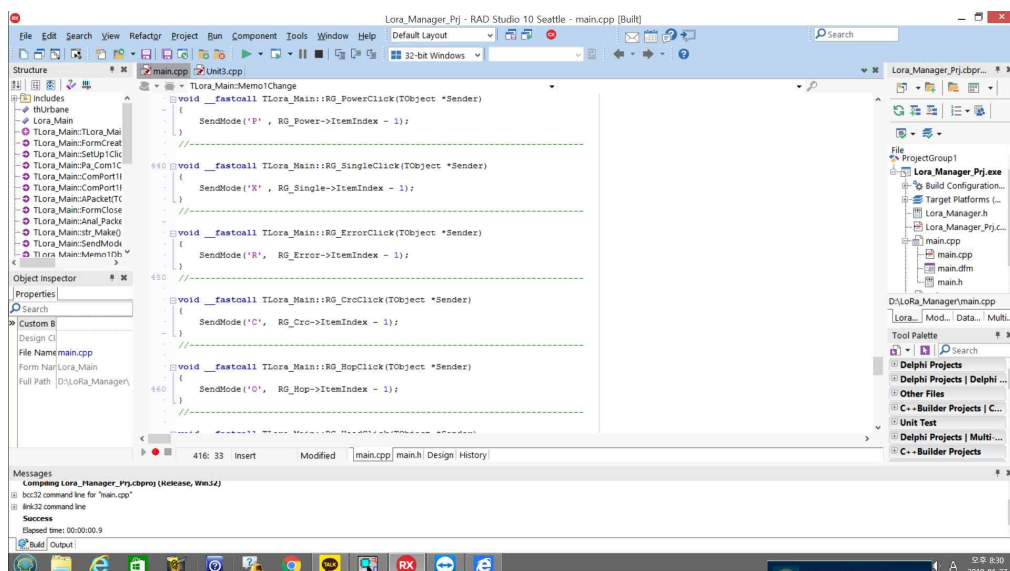


그림 52 장애물 탐지 데이터 관리 프로그램 개발과정 2

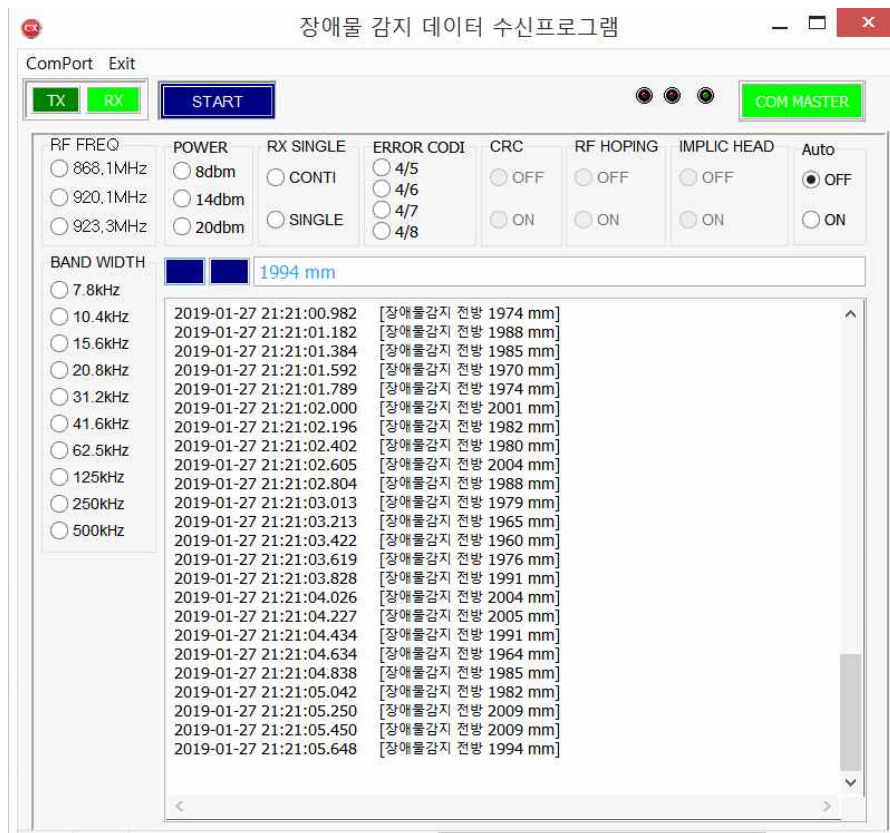


그림 53 장애물 탐지 데이터 관리 프로그램

마) 장애물 탐지 센서 네트워크 성능시험

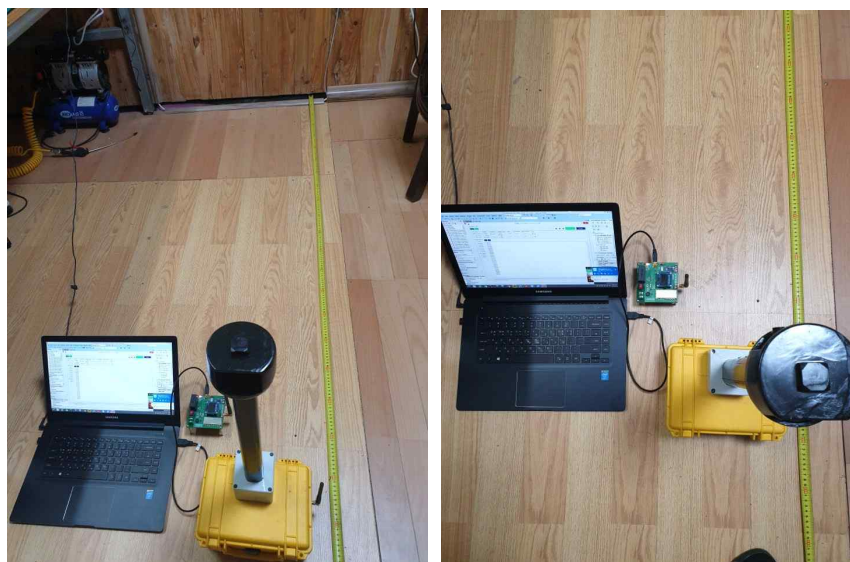


그림 54 장애물 인식 거리 실험

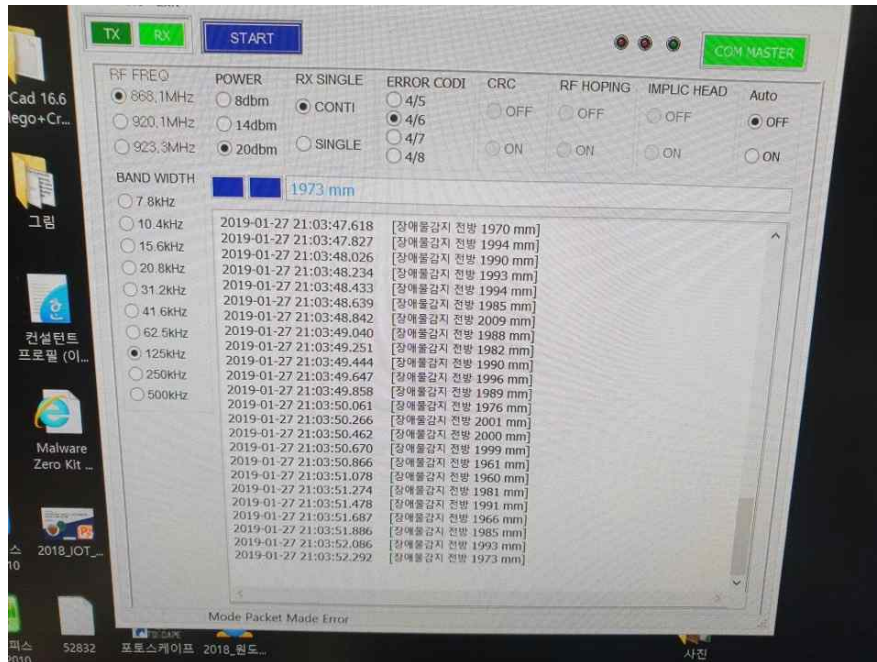


그림 55 장애물 인식 거리 시험 결과

6) 자동운행 알고리즘

본 연구에서는 자동유도 알고리즘은 하상지형정보를 자동으로 수행할 수 있는 로봇선이 미리 지정된 항로를 따라 사람이 조작하지 않고 로봇선 스스로 목표지점까지 운항할 수 있도록 기본 알고리즘을 정립하였다. 로봇선의 자동운행에 영향을 미치는 요소로는 유속과 바람이 있는데 하천을 우선 적용 대상으로 정하였으므로, 바람에 의한 영향은 없는 것으로 가정하다. 로봇선 자동운행 알고리즘은 벡터 계산을 기본으로 하였으며, 개략적인 알고리즘은 다음과 같다.

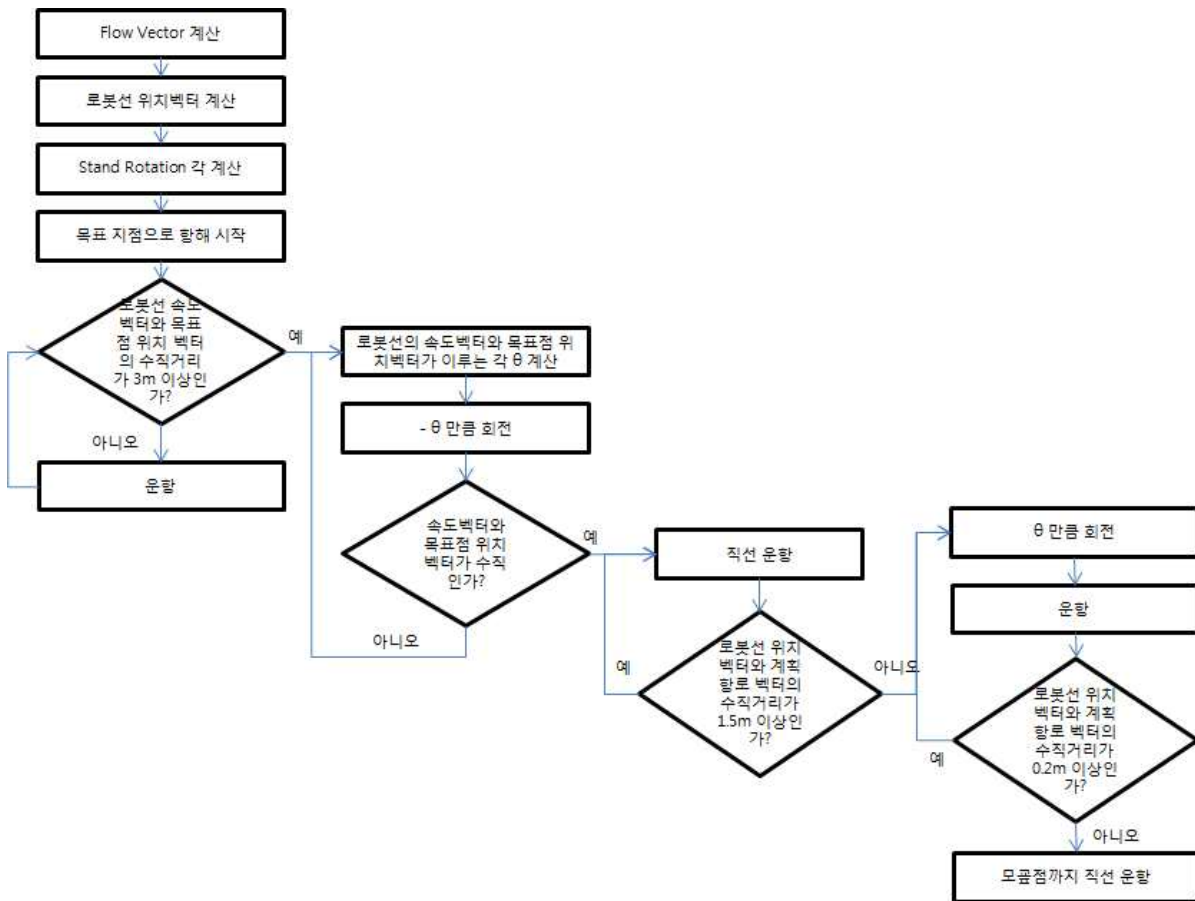


그림 56 로봇선 자동운항 알고리즘

가) Flow Vector 산출

Flow Vector란 유속에 의해 로봇선이 떠내려가는 힘을 말한다. 로봇선이 이동할 때 유속에 의해 이동 방향 및 속도가 변하게 되므로 이를 계산하여 이동할 수 있도록 해야 한다. 로봇선이 작동을 시작하면 자체 추진력인 스러스터를 정지한 채로 물살의 흐름에 따라 자유롭게 이동하도록 한다. 일정 시간 동안 로봇선이 자유 이동을 하면서 획득한 위치 좌표를 이용하여 유속벡터를 구한다. GPS에 의해 획득하는 위치좌표는 이동 중인 로봇선의 순간적인 위치, 즉 점 데이터들이다. 따라서 일정 시간 동안 획득한 점 좌표를 이용하여 유속의 크기와 방향을 결정해야 한다.

본 알고리즘에서는 선형회귀와 최소제곱법을 이용하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

선형회귀와 최소제곱법에서 선형회귀란 변수들 사이에 관련성이 존재하는 것을 알고, 통계적 측면으로 변수들 사이의 관련성을 최적으로 추정하는 방법이다. 하나의 독립변수 x 와 종속변수 y 에 대해서, 실험데이터는 짝을 이루는 순서쌍 (x_i, y_i) 의 형태를 갖게 되고, 이 실험 데이터의 집합에 적합한 회귀직선은 최소제곱법으로 구할 수 있다.

- ① 직선으로부터 떨어져 있는 (x_i, y_i) 점들의 거리(y 축 방향, 수직방향)의 제곱의 합이 최소가 되도록, 회귀직선은 주어진 점들에 적합해야 한다.
- ② 직선 $y = a + bx$ 로부터 실험데이터 (x_i, y_i) 까지의 수직거리(y 축 방향) = $|y_j - a - bx_j|$ 이다.

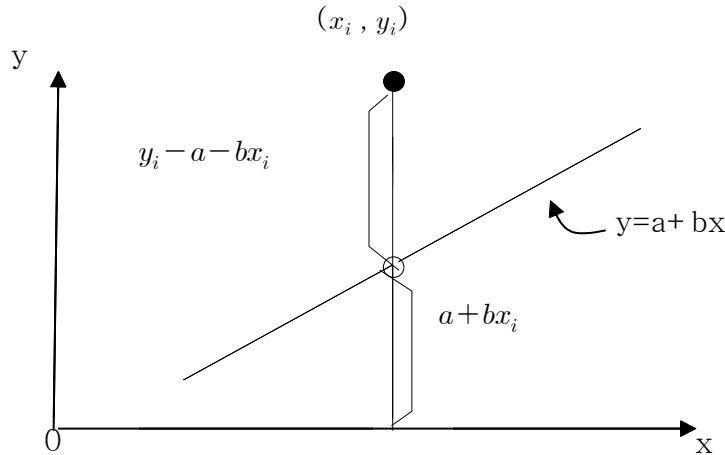


그림 57 직선에서 점까지의 y축 방향 수직거리

③ 거리의 제곱의 합을 q라 하면

$$q = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$$

최소제곱법에서는 q가 최소가 되도록 a, b를 택한다.

q는 a, b의 함수이므로 최소가 되기 위해서는 $\frac{\partial q}{\partial a} = 0$, $\frac{\partial q}{\partial b} = 0$ 이어야 한다.

$$\begin{aligned} q &= \sum_{i=1}^n (y_i^2 + a^2 + b^2 x_i^2 - 2ay_i - 2bx_i y_i + 2abx_i) \\ &= \sum y_i^2 + na^2 + b^2 \sum x_i^2 - 2a \sum y_i - 2b \sum x_i y_i + 2ab \sum x_i \\ \frac{\partial q}{\partial a} &= 2na - 2 \sum y_i + 2b \sum x_i = 0, \quad na - \sum y_i + b \sum x_i = 0 \\ \frac{\partial q}{\partial b} &= 2b \sum x_i^2 - 2 \sum x_i y_i + 2a \sum x_i = 0, \quad b \sum x_i^2 - \sum x_i y_i + a \sum x_i = 0 \quad \cdots (1) \end{aligned}$$

(1)의 연립방정식을 a, b에 대해서 풀면,

$$\begin{aligned} \text{기울기 } b &= \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \\ y\text{-절편 } a &= \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i y_i \sum x_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \end{aligned}$$

상관계수(correlation coefficient)

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] [n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \text{ 이다.}$$

위의 방정식으로부터 유속벡터 $\vec{v}_f$ 를 구하기 위하여 최초 위치좌표 획득 지점(x_0, y_0)과 최종 위치좌표 획득 지점(x_t, y_t)의 x좌표만 활용하여 방정식 상의 좌표를 구하면 ($x_0, a+bx_0$), ($x_t, a+bx_t$)라는 새로운 두 점이 생긴다.

두 점 사이의 거리는 0초에서 t초까지 유속에 의해 로봇선이 움직인 거리이므로 ($x_0, a+bx_0$)를 원점으로 가정하면 유속벡터 $\vec{v}_f$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}\vec{v}_f &= \left(\frac{x_t - x_0}{t}, \frac{(a+bx_t) - (a+bx_0)}{t} \right) \\ &= \left(\frac{x_t - x_0}{t}, \frac{b(x_t - x_0)}{t} \right)\end{aligned}$$

나) 제자리 회전

(1) 로봇선의 속도벡터 산출

유속벡터를 구하면 로봇선을 계획향로의 시작점 즉, 목표점으로 이동시켜야 하는데 이 때 로봇선의 진행 방향을 잡는데 문제가 발생하게 된다. 로봇선에서 획득하는 위치좌표는 점 좌표이므로 로봇선의 선수가 어느 방향인지 알 수 없게 된다는 것이다. 따라서 로봇선의 속도벡터 $\vec{v}_s$ 를 구하기 위하여 다음과 같은 작업을 수행한다.

적정 시간 동안 로봇선을 전진시킨다. 전진하기 시작한 지점의 위치를 A(x_0, y_0), 적정 시간이 지난 다음의 위치를 B(x_t, y_t)라고 하면 로봇선이 진행하면서 다음과 같은 현상이 발생한다. 그림 2.20과 같이 로봇선이 전진할 때 우현에서 유속벡터 $\vec{v}_f$ 가 작용한다고 가정하면, 그림 2.21과 같이 이론적으로는 로봇선이 C점에 위치해야 하지만 유속벡터 $\vec{v}_f$ 에 의해 B점으로 이동하게 된다.

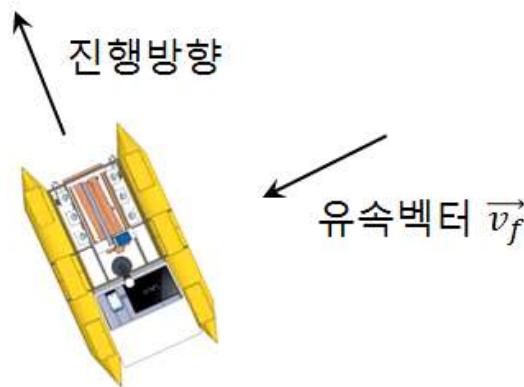


그림 58 로봇선의 진행방향과 유속벡터

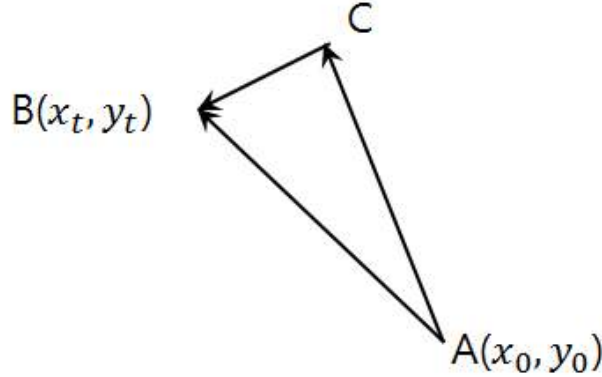


그림 59 로봇선 속도벡터와 유속벡터와의 관계

즉, t 시간 동안 로봇선의 실제 이동거리를 $\overline{AB}$, t 시간 동안 로봇선의 이론상 이동거리를 $\overline{AC}$ 라 한다면 로봇선의 실제 속도벡터 $\overrightarrow{AB} = \frac{\overline{AB}}{t}$, 로봇선의 이론상 속도벡터 $\overrightarrow{AC} = \frac{\overline{AC}}{t} = \vec{v}_s$ 이다.

t 시간 후 로봇선의 위치는 유속벡터 $\vec{v}_f$ 의 영향을 받았으므로, 실제 로봇선의 속도벡터를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\overrightarrow{AB} &= \vec{v}_f + \vec{v}_s \\ \vec{v}_s &= \overrightarrow{AB} - \vec{v}_f\end{aligned}$$

실제 이동벡터 $\overrightarrow{AB} = (\frac{x_t - x_0}{t}, \frac{y_t - y_0}{t})$ 이고 이를 위의 식에 대입하면 로봇선의 속도벡터를 결정할 수 있고 이를 이용해 방향을 설정할 수 있게 된다.

(2) 로봇선의 회전각 및 방향 산출

로봇선의 방향이 결정되면 현재 위치에서 계획경로의 시작점 즉, 목표점으로 이동시켜야 하는데 이때 무작정 이동시키는 것 보다는 로봇선의 진행방향을 목표점 쪽으로 회전시킨 다음 이동하는 것이 효과적이라고 판단된다. 로봇선을 목표점 쪽으로 회전시키는 회전각은 로봇선의 속도벡터 $\vec{v}_s$ 와 로봇선의 위치에서 목표점까지의 위치벡터 $\vec{p}_d$ 를 이용한다. 이 때 로봇선의 속도벡터를 구하는 동안 유속에 의해 로봇선이 이동하게 되는데 여기에서 발생하는 오차는 'Move Rotation' 절에서 처리하므로 로봇선의 회전각 및 방향 산출시에는 이 오차를 무시한다.

현재 로봇선의 위치를 원점으로 하고 로봇선에서 목표점까지의 위치벡터 $\vec{p}_d$ 를 x축이 되도록 좌표를 변환한다. 이 상태에서 로봇선의 속도벡터의 단위벡터를 구하면 로봇선의 위치벡터 $\vec{e}_s$ 가 구해지고 이 위치벡터의 x성분과 y성분은 각각 변환한 좌표의 x축과 이루는 코사인 각 및 y축과 이루는 코사인 각 즉, 방향코사인이 된다. 로봇선의 속도벡터 $\vec{v}_s = (x_s, y_s)$, 목표점까지의 위치벡터 $\vec{p}_d = (x_d, y_d)$ 라고 하면

$$\begin{aligned}\vec{e}_s &= \left(\frac{x_s}{\|\vec{v}_s\|}, \frac{y_s}{\|\vec{v}_s\|} \right) \\ &= \left(\frac{x_s}{\sqrt{(x_s)^2 + (y_s)^2}}, \frac{y_s}{\sqrt{(x_s)^2 + (y_s)^2}} \right) \text{이다.}\end{aligned}$$

이 단위벡터의 x성분은 x축 즉, 로봇선에서 목표점까지의 위치벡터 $\vec{p}_d$ 와 이루는 코사인 각 α 가 되고, y성분은 y축 즉, 로봇선에서 목표점까지의 위치벡터 $\vec{p}_d$ 에 수직인 선과 이루는 코사인 각 β 가 된다. 로봇선에서 목표점까지의 위치벡터가 x축인 좌표에서 단위벡터 $\vec{e}_s$ 의 위치에 따라 단위벡터의 x 성분과 y성분은 그림 2.22와 같이 각각 다른 조합을 가지게 된다.

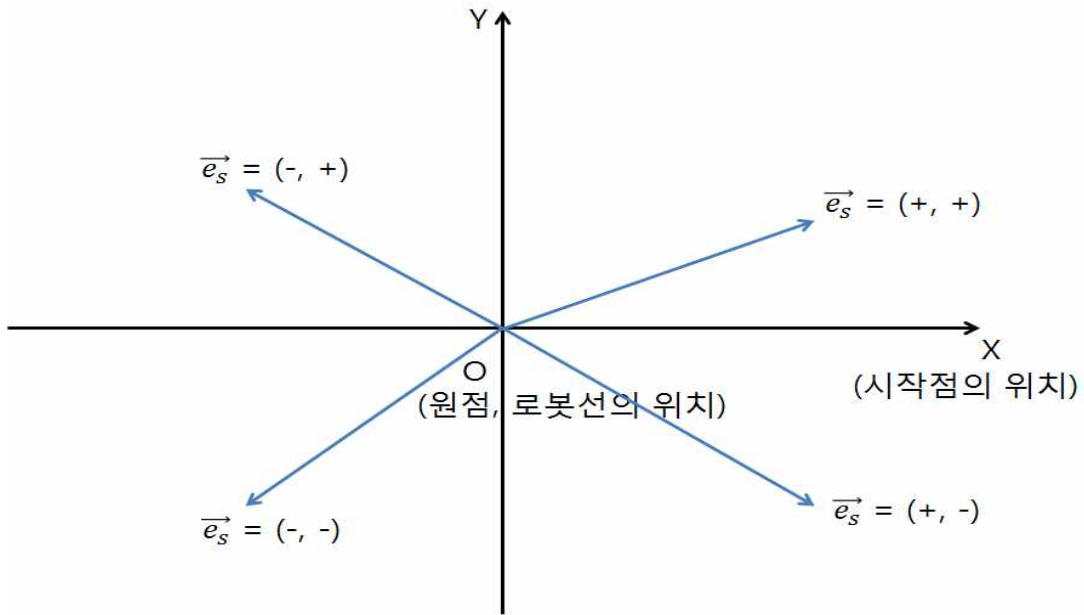


그림 60 로봇선의 단위벡터와 로봇선에서 목표점까지의 위치벡터와의 관계

이 단위벡터의 x, y 부호의 조합을 통해 로봇선을 회전시킬 방향과 각의 크기를 결정한다. 회전시키고 난 다음에는 두 벡터의 내적을 구함으로써 방향 회전이 정확했는지를 확인할 수 있다.

로봇선의 위치벡터 $\vec{e}_s$ 와 로봇선에서 목표점까지의 위치벡터 $\vec{p}_d$ 의 내적은

$$\vec{e}_s \cdot \vec{p}_d = \|\vec{e}_s\| \|\vec{p}_d\| \cos\theta \text{ 이므로, 두 벡터가 이루는 각 } \cos\theta = \frac{\vec{e}_s \cdot \vec{p}_d}{\|\vec{e}_s\| \|\vec{p}_d\|}$$

$$\begin{aligned}\text{여기서, } \|\vec{e}_s\| &= \sqrt{(x_s)^2 + (y_s)^2} \\ \|\vec{p}_d\| &= \sqrt{(x_d)^2 + (y_d)^2} \\ \vec{e}_s \cdot \vec{p}_d &= (x_s \times x_d) + (y_s \times y_d)\end{aligned}$$

따라서, $\cos\theta = \frac{(x_s \times x_d) + (y_s \times y_d)}{\sqrt{(x_s)^2 + (y_s)^2} \sqrt{(x_d)^2 + (y_d)^2}}$ 이다.

로봇선의 위치벡터 $\vec{e}_s = (x_s, y_s)$ 와 목표점까지의 위치벡터 $\vec{p}_d = (x_d, y_d)$ 가 일치하게 되면 두 벡터 사이의 각은 0° 가 되고 $\cos 0^\circ = 1$ 이므로 두 벡터의 내적

즉,

$$\cos\theta = \frac{(x_s \times x_d) + (y_s \times y_d)}{\sqrt{(x_s)^2 + (y_s)^2} \sqrt{(x_d)^2 + (y_d)^2}} = 1 \text{ 이 되면 올바르게 회전된 것이다.}$$

다) 이동 중 회전

로봇선을 목표점 방향으로 제대로 회전시켰다면 스러스터를 작동시켜 로봇선을 운항한다. 이때에는 유속의 영향에 의해 방향이 변하므로 이를 고려하여 로봇선의 진행방향과 목표점까지의 방향을 주기적으로 확인하고 수정해야 한다.

이동 중에 방향을 수정할 때 로봇선에서 목표점까지의 위치벡터 $\vec{p}_d$ 를 x축으로 하는 좌표계를 이용한다. Stand Rotation을 수행한 다음 출발할 때의 로봇선 위치를 $A(x_0, y_0)$, 목표점을 $B(x_d, y_d)$ 라고 하면 로봇선은 속도벡터 $\vec{v}_s$ 에 의해 t 시간 후에 $t\vec{v}_s$ 에 위치하고 있어야 하지만 그림 2.17과 같이 유속벡터 $\vec{v}_f$ 의 영향에 의해 $t(\vec{v}_s + \vec{v}_f)$ 에 위치하게 된다.

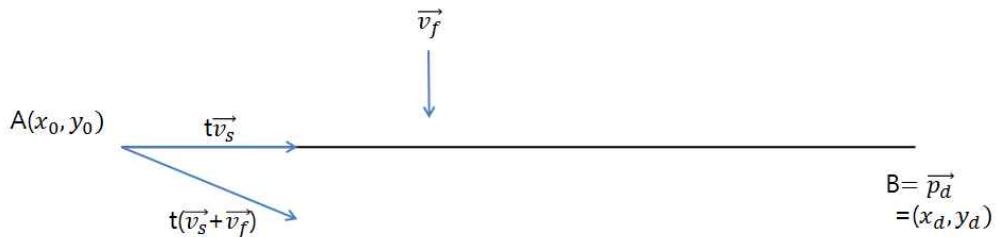


그림 61 유속벡터에 의한 로봇선의 진행 경로 변화

따라서 수시로 로봇선의 현재 위치를 확인하고 원하는 목표점으로 진로를 변경해주어야 한다. Move Rotation을 수행하기 전에 우선 고려해야 할 점은 로봇선의 위치에서 목표지점까지 연결한 선 즉, 계획항로에서 얼마나 벗어났을 때 진로를 변경할 것인가 하는 것이다. 현재 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」에는 6.6m를 벗어나지 않도록 명시하고 있으며, 본 로봇선은 6.6m의 절반 수준인 3m로 설정하였다.

출발점 $A(x_0, y_0)$ 에서 t 시간이 지난 후에 로봇선의 위치는 $t(x_t, y_t)$ 이라고 하면, 유속에 의해 원래의 항로에서 점차 멀어질 것이므로 로봇선의 위치에서 계획 항로와의 수직거리가 3m 이상이 되는 지 주기적으로 확인한다.

직선의 방정식이 $ax + by + c = 0$ 일 때, 점 (p, q) 에서 이 직선까지의 수직거리 d는 다음과 같다.

$$d = \frac{|ap + bq + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

로봇선의 출발점 $A(x_0, y_0)$ 와 목표점 $B(x_d, y_d)$ 를 지나는 직선의 방정식은 $y - y_0 = \frac{y_d - y_0}{x_d - x_0}(x - x_0)$ 인데 로봇선의 출발점 A를 원점으로 하면 직선의 방정식은 $y = \frac{y_d}{x_d}x$ 로 간단하게 정리할 수 있고 이를 정리하면 $\frac{y_d}{x_d}x - y = 0$ 가 된다.

이 방정식을 이용하여 t 시간이 지난 다음의 로봇선의 위치 $t(x_t, y_t)$ 에서 직선까지의 거리를 구하면 거리 d는 $d = \frac{\left| \frac{y_d}{x_d}x_t - y_t \right|}{\sqrt{\left(\frac{y_d}{x_d}\right)^2 + 1}}$ 이 된다.

계획 항로에서 t 시간 이동했을 때 수직거리가 3m 이상이 되는 점 $t(x_t, y_t)$ 에 도달하면 Move Rotation을 수행한다. 이 때 $t(x_t, y_t)$ 가 원점이고 $\overline{AB}$ 에 평행한 선을 x축으로 하는 새로운 좌표계를 설정한다. 이 상태에서 로봇선의 속도벡터는 $\vec{v}_t$ 이고 x축은 초기 계획 항로의 위치벡터인 $\vec{p}_d$ 가 된다. 두 벡터 사이의 각 θ 는 ‘Stand Rotation절’의 식($\cos\theta = \frac{(x_s \times x_d) + (y_s \times y_d)}{\sqrt{(x_s)^2 + (y_s)^2} \sqrt{(x_d)^2 + (y_d)^2}}$)으로 구할 수 있다.

θ 가 구해지면 로봇선을 $\overline{AB}$ 방향으로 θ 만큼 선회시키면서 운항한다. t_1 의 시간이 지난 지점 $t_1(x_{t1}, y_{t2})$ 에서 다시 최초 회전 방향과 같은 쪽으로 θ 만큼 선회시키면서 운항한다. 이러한 일련의 과정은 다음과 같은 두 가지 조건 중에서 하나의 조건이 만족할 때까지 반복해서 수행한다.

첫 번째 조건은 로봇선의 속도벡터와 $\overline{AB}$ 의 위치벡터가 직각이 될 때까지이다. 두 벡터가 직각이 되었는데도 계속 같은 방향으로 선회하게 되면 어느 한 지점에서 원을 그리면서 제자리에서 회전하므로 목표지점까지 도달할 수 없게 되기 때문이다. 두 벡터가 수직을 이루면 선회 방향을 반대로 해서 $\overline{AB}$ 에 점차 접근하도록 해야 한다. 두 벡터가 수직인 상태에서는 다음의 두 번째 조건을 만족하는지를 주기적으로 확인한다.

두 번째 조건은 로봇선의 위치에서 최초 계획 항로인 $\overline{AB}$ 까지의 거리가 1.5m가 될 때까지이다. 최초 오차 범위를 3m로 설정하였으므로, 절반인 1.5m까지 접근하면 선회 방향을 반대로 해서 계획 항로인 $\overline{AB}$ 에 점차 수렴하도록 해야 한다. 선회 방향은 최초 선회 방향의 반대로 하면서 다시 반복 운항한다. 이때에는 로봇선의 위치와 계획 항로 $\overline{AB}$ 까지의 수직 거리를 20cm가 될 때까지로 설정한다.

「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」에 항로의 간격인 피치가 20m이기 때문에 피치의 1%를 적용하였으며 실험을 통해 속도와 선회에 관한 데이터 분석이 이루어져야 적정 거리가 산출될 것으로 판단된다.

위의 두 가지 조건을 만족하면 목표점인 B점까지 운항하도록 한다. 지금까지의 내용을 표현하면 그림 2.24와 같다.

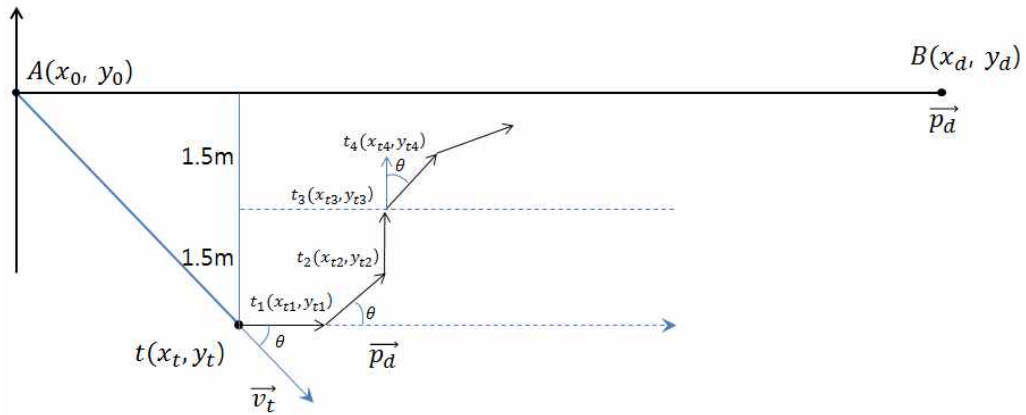


그림 62 이동 중 회전을 통한 자동운항

라) LOS 가이드نس 알고리즘

제어적인 측면에서 가이드نس 시스템은 선박이나 항공기 등의 항행 목적을 달성하기 위해 오토파일럿이라고 불리는 선박 및 항공기의 제어시스템 앞쪽에 위치하는 특별한 종류의 시스템 또는 계산 알고리즘이다. 선박의 가이드نس 시스템은 항로 제어, 항로 추종 문제를 다루기 위해 기존 항로를 생성하는 역할을 수행하며, 이를 위해 선박의 목표 위치, 속도, 회두각 등을 결정한다. 제어 시스템은 항행 동안 신뢰성 있는 가이드نس 규칙에 기초한 명령들을 수행하게 된다.

가이드نس 시스템은 크게 세 가지의 기능을 갖는다. 첫째는 항행 목적을 달성하기 위해 요구되는 선박의 속도, 회두각, 위치 등을 결정하는 것이고, 둘째는 운항의 안전성을 위해 선체를 안정화하거나 감속하는 것이고, 셋째는 선체 주위의 파도, 바람, 해류 등의 외란 입력에 대한 선박의 민감도를 감소시키는 것이다. 이 연구에 적용한 무인 측량선은 주요 대상지역이 저수지, 댐 등의 내수면이기 때문에 수상의 장애물이나 파도, 해류 등의 영향이 거의 없는 것으로 가정하였다. 즉, 가이드نس 시스템의 첫째 기능인 항행 목적의 달성에 주안점을 두었다.

LOS가이드نس 시스템은 GPS의 위치 정보를 컴퓨터나 항해사에 의해 결정된 변곡점 정보와 비교하여 직선항로와 선회항로에 따라 선박의 목표속도와 목표 회두각을 결정한다. 선박이 회두각 유지를 위한 오토파일럿 시스템과 선박의 위치를 알 수 있는 GPS 시스템을 장착하고 있다면, 제안하는 LOS 가이드نس 시스템이 생성하는 회두각 명령에 따라 오토파일럿 시스템이 회두각 유지 제어를 수행함으로써 선박이 미리 정해진 항로를 추종하도록 제어하는 것이 가능하다. 다음 그림은 LOS 가이드نس를 적용한 정확도 개선과 개략적인 알고리즘 순서도를 나타낸다.

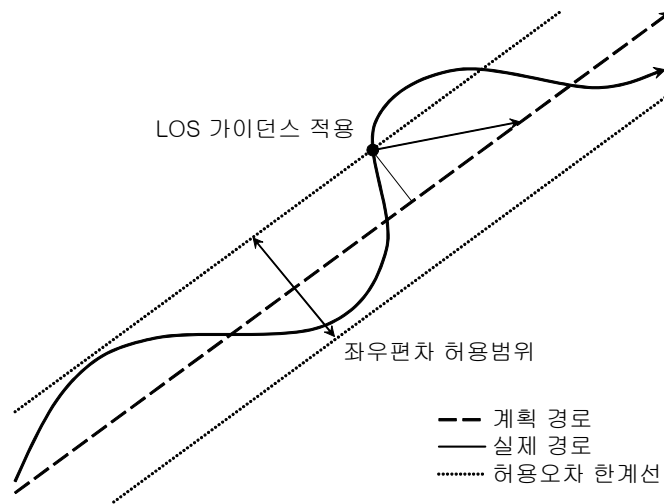


그림 63 LOS를 적용한 자동제어 정확도 개선

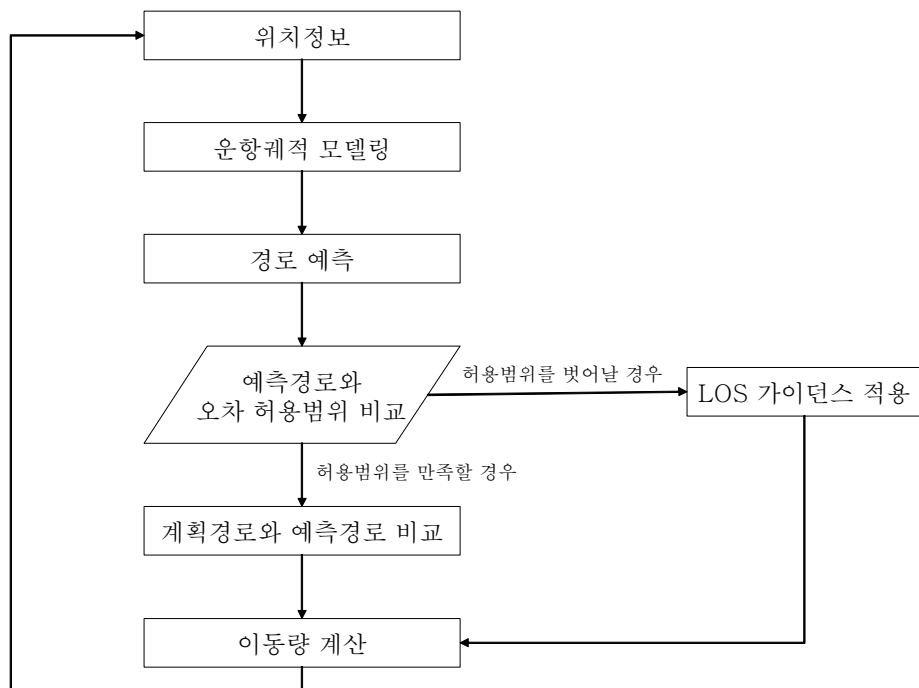


그림 64 자동제어 알고리즘 절차

마) 신속한 선체 방향전환을 위한 회전반경 산정 알고리즘 개발

회전반경(radius of gyration)은 단면의 고유한 특성으로 다음 식과 같이 단면 2차모멘트를 면적으로 나눈 값의 제곱근으로 정의된다.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}, r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

여기서, r_x 와 r_y 는 각각 x축과 y축에 대한 회전반경을 나타낸다. 단면2차모멘트 I_x , I_y 는 길이의 4승이고 면적은 길이의 제곱이므로, 회전반경은 길이의 차원을 갖는다. 단면에 대한 회전반경은 단면과 동일한 회전관성을 갖는 하나의 집중점과 회전축의 거리를 표현한다.

따라서 기존 추진기의 거치 방식은 선체의 후위 끝단에 위치하여 좌우 회전 시에 모멘트의 중심이 선체 후위 중심에 위치하므로 선체의 길이를 고려하였을 때, 회전각이 작기 때문에 회전반경이 클 수밖에 없다.

반면 4개의 추진기를 사용할 경우, 선체의 전후 양단에 위치하여 좌우 회전시에 모멘트의 중심이 선체의 중심에 위치하므로 회전각은 크며, 회전반경은 작게 할 수 있다. 또한 좌우 추진기의 방향을 서로 달리하여 제자리에서 회전할 수 있는 장점이 있다. 이는 유속을 고려하지 않았으므로 유속에 따른 오차가 발생한다.

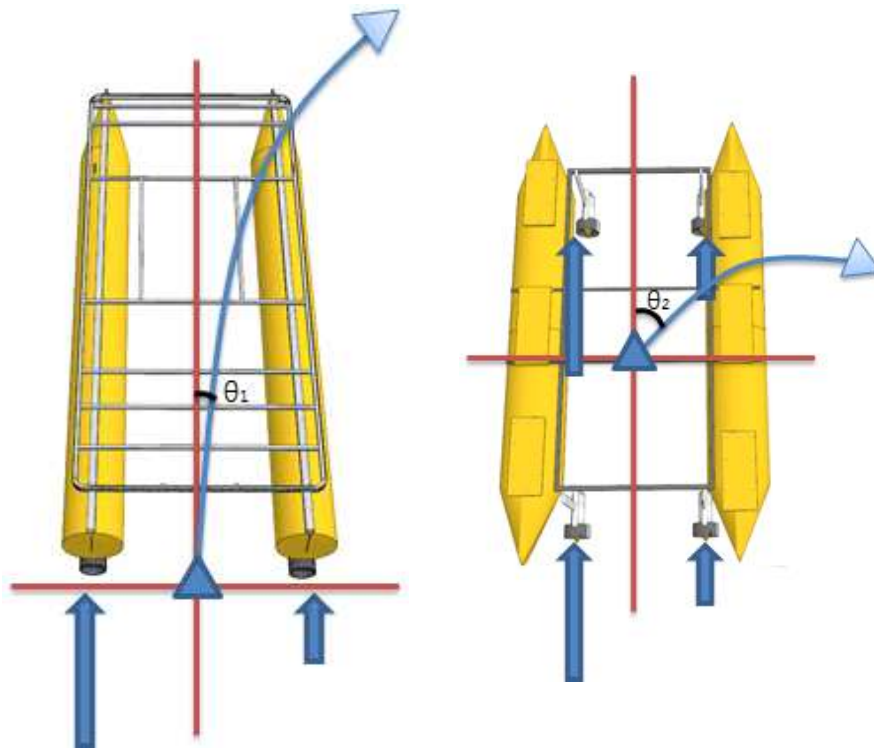


그림 65 추진기 위치에 따른 중심에서의 회전반경 비교

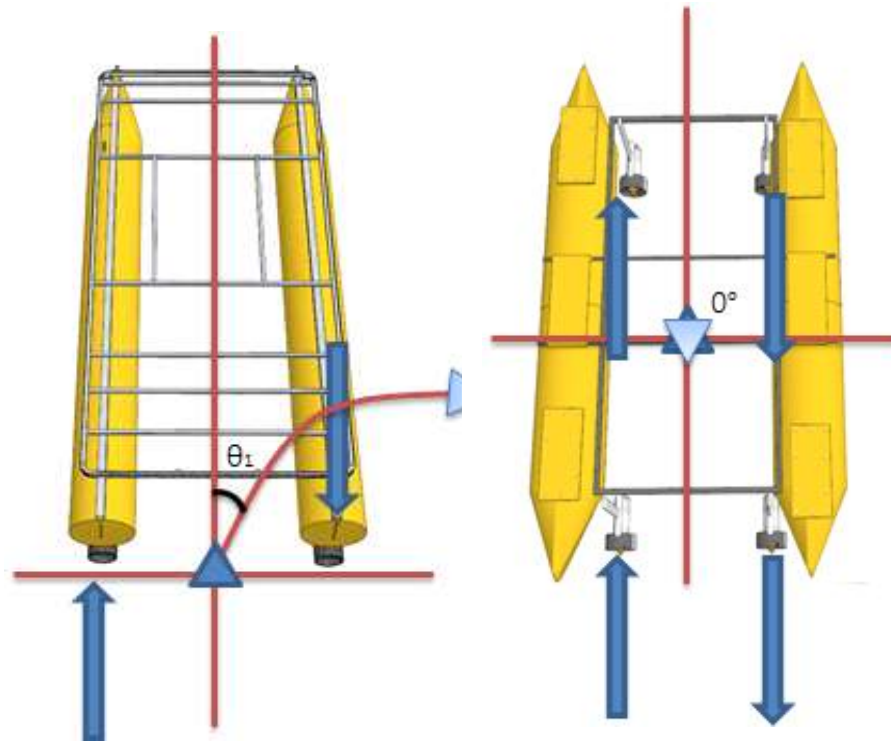


그림 66 추진기 위치에 따른 선미에서의 회전반경 비교

7) 로봇선 자동제어 프로그램 개발

로봇선이 계획 항로를 따라 운항할 수 있도록 제어 프로그램을 개발하였다. 제어 프로그램은 수동 제어와 자동 제어 모두 가능하도록 개발하였다. 수동 제어 프로그램은 노트북 모니터에 실시간으로 나타나는 로봇선의 위치를 모니터링하면서 방향 및 속도를 제어할 수 있도록 개발하였으며 자동 제어 프로그램은 자동유도 알고리즘을 프로그램으로 개발하였다.

제어프로그램의 기본 지도는 국토지리정보원에서 제작한 수치지형도를 이용하였으며 GPS로부터 입력된 위치정보에 의해 대상지역으로 이동하게 된다.

무인 로봇선의 제어는 스러스터의 상대적인 속도조절에 필요한 내/외부 파라미터들에 대하여 분석하고, 속도의 증감 및 방향 전환을 정량화하며, 무인 로봇선을 원하는 지점으로 보낼 수 있도록 수동 및 자동 유도 알고리즘에 대하여 개발하였다.

물의 저항으로 인해 스러스터의 성능이 제조사의 성능과 다르게 나타나므로, 무인 로봇선의 현장 실험을 통하여 진행속도 및 회전반경을 개선하였다. 수/자동화 알고리즘은 분석된 내/외부 파라미터들을 적용하여 CAD 기반에서 계획한 이동경로와 동일하게 이동할 수 있도록 속도조절 및 회전반경에 대한 데이터를 얻기 위해 테스트하였다. 다음 그림은 원격제어 데이터 처리과정을 나타낸 순서도이다.

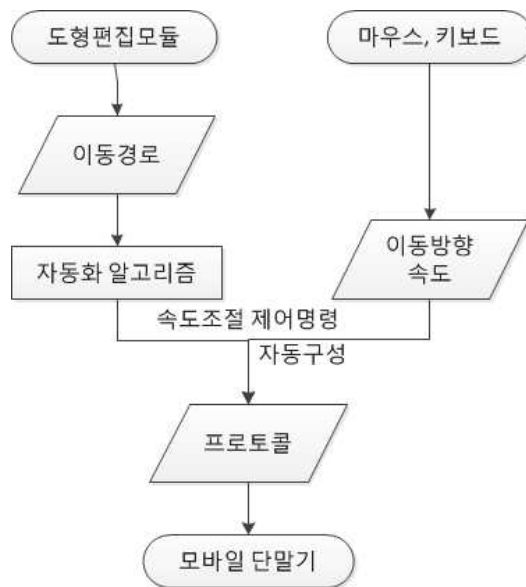


그림 67 원격제어 데이터 처리과정

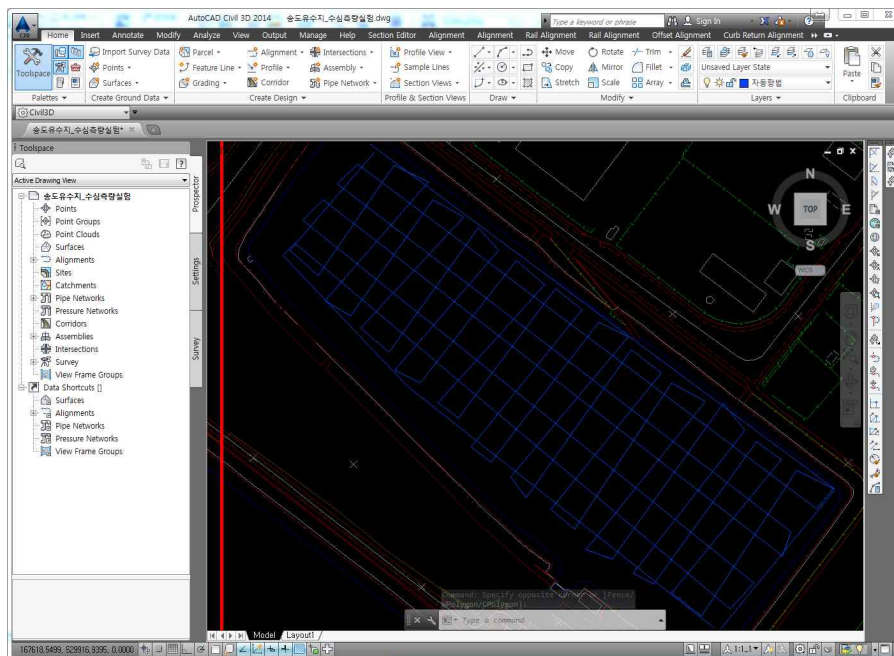


그림 68 캐드 기반의 자동향로 작성화면



그림 69 자동 항로 설정 화면

항로선형 선택 단추는 대상지역의 CAD 도면위에서 Polyline으로 작성된 계획항로를 선택하는 기능이 실행된다. 찾아보기 단추는 자동 운항을 위한 자료를 저장하기 위한 파일을 선택하는 기능이 실행된다. 항로 설정 파일 작성 단추는 무인 로봇선에 경로에 맞게 이동하도록 쓰러스터가 작동되도록 작성된 자동 운항 명령 파일을 작성하게 된다.

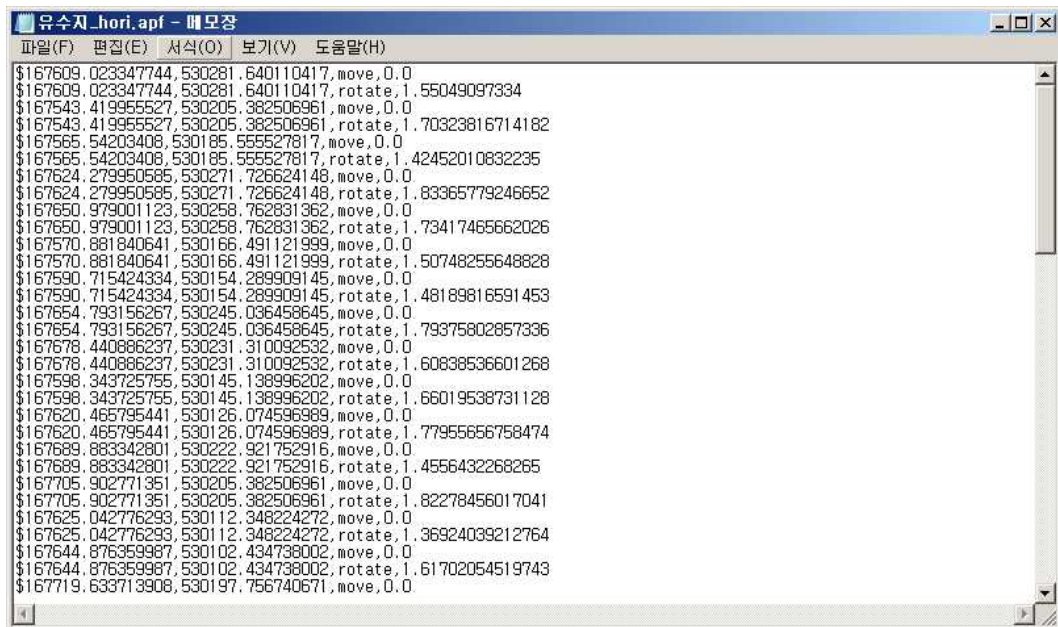


그림 70 자동 항로 운항 명령 파일 예시

나. 하상지형정보 획득시스템 개발

1) 멀티빔 에코사운더 장착

로봇선의 가장 기본적인 기능인 3차원 하상지형정보를 획득하기 위해 멀티빔 에코사운더를 장착하였다. 대부분의 멀티빔 에코사운더는 해양 측량선용으로 제작되어 크고 무거웠다. 일부 소형의 제품도 제작되었으나 대부분 내수면용 소형 선박에 장착하여 사용할 수 있을 정도였으며 무인선에 부착할 정도로 작은 멀티빔 에코사운더는 찾아보기 어려웠다. 이번에 로봇선에 장착된 멀티빔 에코사운더는 캐나다의 Imagenex사의 DT101 제품으로서 가로 94mm, 세로 306mm, 높이 118mm의 소형으로 무인선에 장착하는데 매우 적합하다. 멀티빔 에코사운더는 앞서 기술한 바와 같이 자체 자세보정기능을 가지고 있어서 짐벌을 제작하는 과정을 생략할 수 있었다.



그림 71 멀티빔 에코사운더 DT101

연구계획 당시 멀티빔 에코사운더에서 획득한 데이터를 처리하는 프로그램이 필요할 것으로 판단되어 하상지형정보 획득시스템을 개발하려고 하였으나 멀티빔을 구입하면서 제작사 고유의 프로그램을 함께 구입하여 멀티빔 에코사운더가 획득한 데이터를 별도로 처리하는 프로그램을 개발하는 과정을 생략할 수 있었다.

2) 멀티빔 에코사운더 운용 프로그램

일반적으로 멀티빔 에코사운더를 운용할 때 배에 운용 인력이 탑승하여 별도의 프로그램을 이용하여 수치지형도 또는 해도에 항적, 데이터 획득 지역, 멀티빔 에코사운더가 획득한 데이터를 확인하면서 누락된 지역이 있는지 또는 데이터 획득에 오류가 발생하는지를 확인한다. 본 과제에서 개발한 무인선은 사람이 탑승하지 않기 때문에 이러한 작업을 무선 통신을 이용하여 해결하였다.

컴퓨터를 원격 조종할 수 있는 프로그램인 팀뷰어와 상용 4G 통신망을 이용하여 무인선의 메인보드에 접속하고 멀티빔 에코사운더 운용 프로그램을 실행하여 원격지의 노트북에서 실시간으로 모니터

링 하면서 무인선이 데이터를 제대로 획득하는지 확인하였다.



그림 72 멀티빔 에코사운더 운용 화면

또한 멀티빔 에코사운더에서 획득한 데이터를 실시간으로 하상 3차원 디스플레이하면서 하상의 개략적인 형태를 확인하고 누락되는 지역이 있는지 모니터링 하였다.

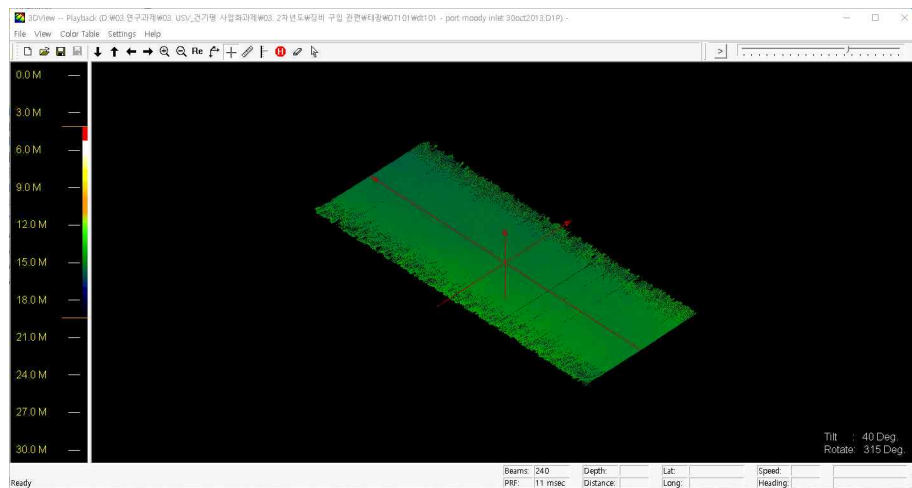


그림 73 하상 3차원 디스플레이 화면

2. 무인항공체 및 운영시스템 개발

가. 무인항공체 개발

무인항공체는 육상의 3차원 공간데이터를 획득하는데 필요한 비행기 형태의 고정익 드론과 로봇선을 모니터링하는데 필요한 멀티콥터 형태의 회전익 드론을 구입하였다. 연구계획서의 p.35에 기술한 바와 같이 무인항공체에 대한 전문성이 부족한 상태에서 자체적으로 개발하기에는 시간 및 비용의 소요가 클 것으로 판단하여 전문 제작 업체의 드론을 조합하였다. 특히 무인항공체 분야의 기술은 이미 고속성장기에 접어들었기 때문에 시작단계부터 개발하는 것은 무의미한 것으로 판단하였으며 개발 목적에 적합한 기존 제품들을 조합하고 데이터를 획득 및 분석하는 것이 타당할 것으로 판단하였다. 무인항공체의 제작은 국내 드론 전문 제작업체인 ㈜위메이크드론을 통해 수행하였다. 무인항공체는 모두 오픈소스를 기반으로 한 픽스호크 에어 오토파일럿(Fixhawk air autopilot)을 이용하여 운항시스템을 개발하였다.

픽스호크는 오픈소스인 드론코드(Dronecode)의 PX4와 오픈소스인 아두파일럿(Ardupilot)의 콥터(Copter)를 기반으로 지원하는 3DR사의 하드웨어이다. 픽스호크는 고정익기, 헬기, 드론 등의 비행콘트롤러 역할을 지원하는 것은 물론 다양한 RC카, 보트 등 다양한 무인장치를 지원한다. 오픈소스 특성상 많은 개발자들에 의해 수백개의 파라미터들이 만들어져 있기 때문에 제한없이 원하는 플랫폼에 적용할 수 있다.



그림 74 픽스호크 하드웨어 구성의 예(회전익)

고정익 드론은 날개길이 1,500mm에 모터 1개, 변속기, 소니 A5100 카메라가 장착되었고 회전익 드론은 6개의 모터, 변속기, 실시간 영상 송수신 시스템이 장착되었다.



그림 75 고정익 드론

표 3 고정익 드론의 하드웨어 구성 및 제원

구성품	제원	수량
기체	날개길이 1,500mm	1
모터	800kv	1
변속기	50A	1
프로펠러	11인치	1
픽스호크	GPS 연동	1
배터리	4,500mAh	1
송수신기	AT9S 12채널	1
카메라	소니 5100	1
영상송수신 시스템	-	1



그림 76 회전익 드론

표 4 회전익 드론의 하드웨어 구성 및 제원

구성품	제원	수량
기체	-	1
모터	300kv	6
변속기	30A	6
프로펠러	-	6
픽스호크	GPS 연동	1
배터리	8,000mAh	1
송수신기	AT9S 12채널	1
영상송수신 시스템	-	1

나. 무인항공체 운영 프로그램

무인항공체의 운영 프로그램은 무인항공체와 마찬가지로 오픈소스 프로그램인 아두파일럿(Ardupilot)을 이용하였다. 아두파일럿은 GPS를 기반으로 미션을 설정하여 자동 비행을 할 수 있다. 미션 플래너를 이용하여 무인항공체의 종류에 해당하는 펌웨어를 무인항공체에 업로드 한다.

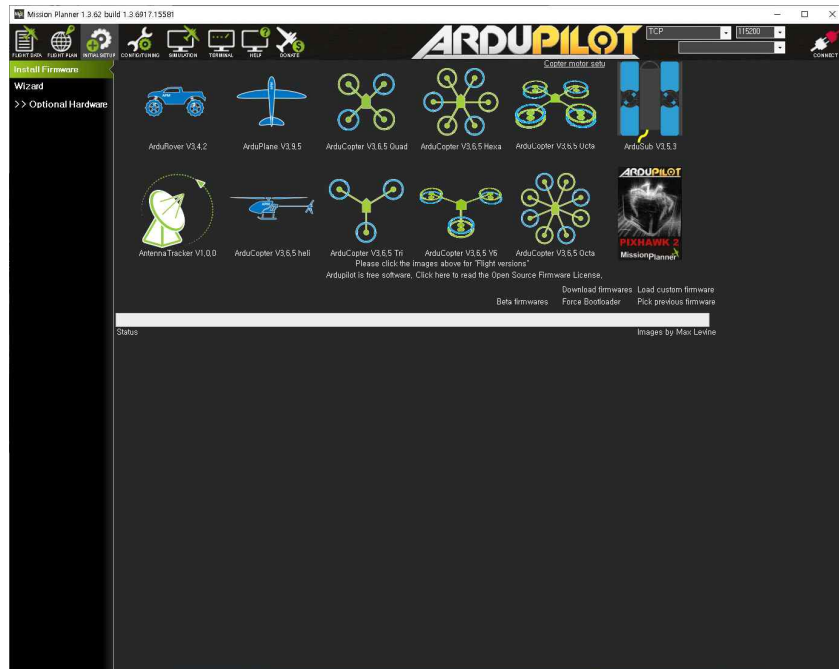


그림 77 무인항공체의 종류 선택

미션 플레너와 오토파일럿을 연결하고 미션 플레너에 대상 지역의 지도를 불러온다.

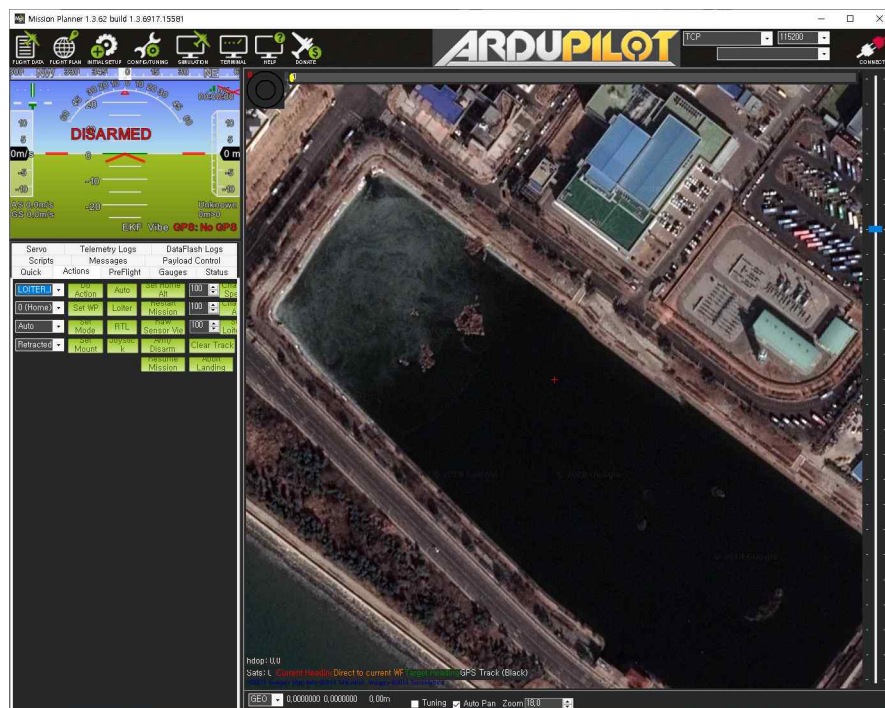


그림 78 대상지역 영상 불러오기

촬영 범위를 웨이포인트의 형태로 지정한다. 무인항공체가 진입하는 지점부터 방향을 바꾸는 웨이포인트를 차례로 지정하여 촬영 범위를 선택한다. 각 웨이포인트에서 무인항공체가 수행해야 하는 임무를 지정할 수 있다.

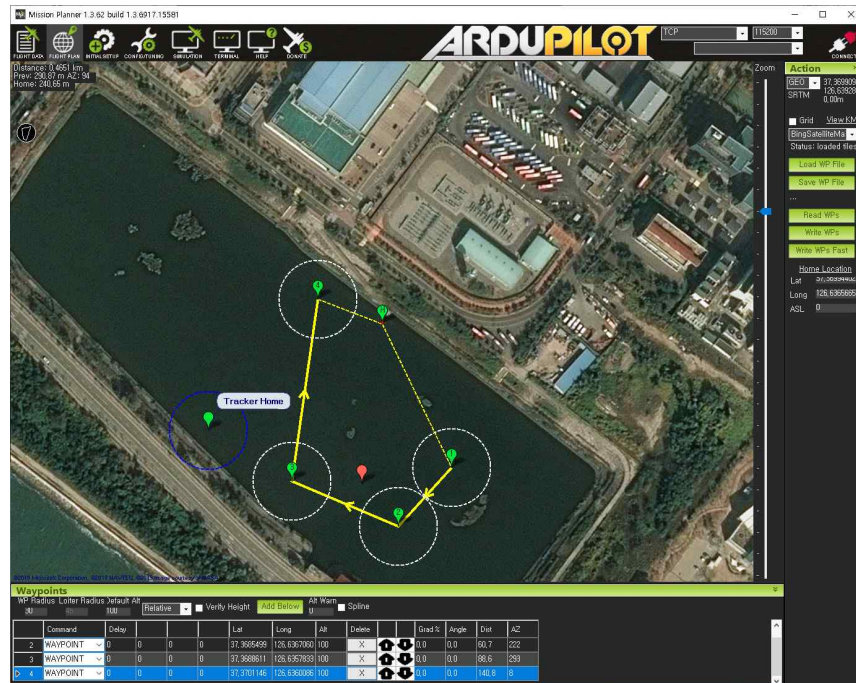


그림 79 촬영범위 및 웨이포인트 설정

비행 미션 설정이 완료되면 무인항공체에 미션 데이터를 전송하고 이륙시킨다. GPS를 기반으로 하고 무인항공체와 운용 프로그램이 통신으로 연결되어 무인항공체의 실시간 위치를 모니터링 할 수 있다.



그림 80 무인항공체 모니터링

다. 3차원 지형제작 프로그램 개발

무인 항공체가 촬영한 영상은 그 자체로도 활용이 가능하지만 지형정보를 분석하기 위해서는 3차원 모델을 구성해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 오픈 소스인 openMVG(Multiple View Geometry)를 이용하여 3차원 지형제작 프로그램을 개발하였다. 촬영된 영상을 불러온 다음 이미지 매칭을 통해 3차원 모델링을 수행하고 매칭된 각 점들을 포인트 클라우드로 제작하여 x, y, z 좌표들을 만들어낸다.

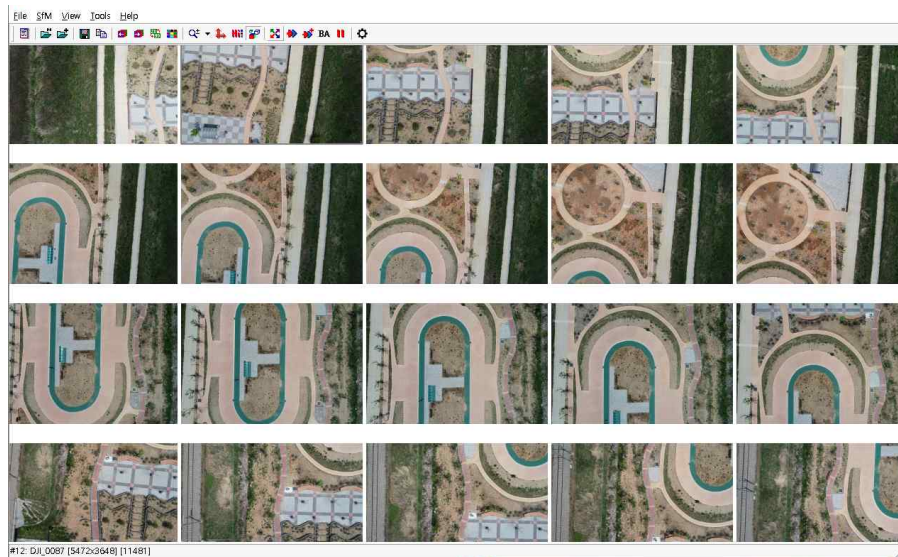


그림 81 촬영 영상 불러오기

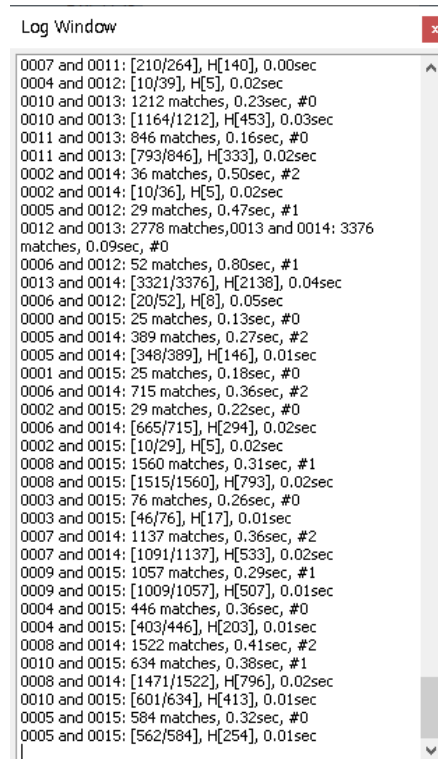


그림 82 이미지 매칭 과정

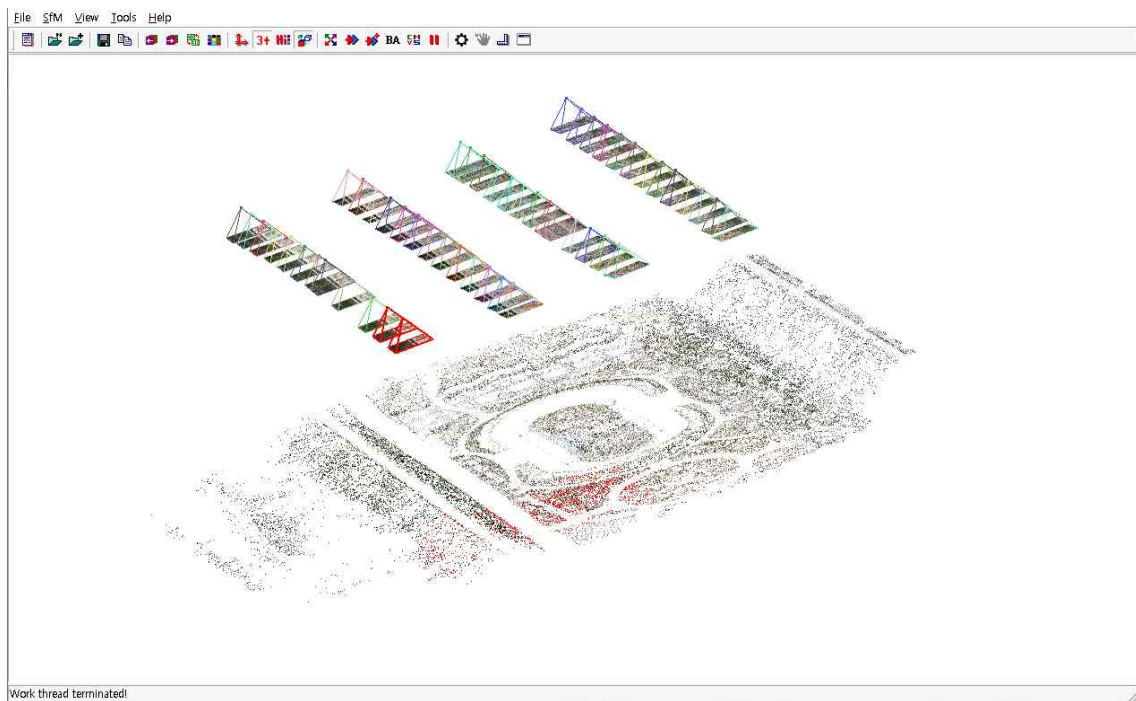


그림 83 이미지 매칭을 통한 포인트 클라우드 생성

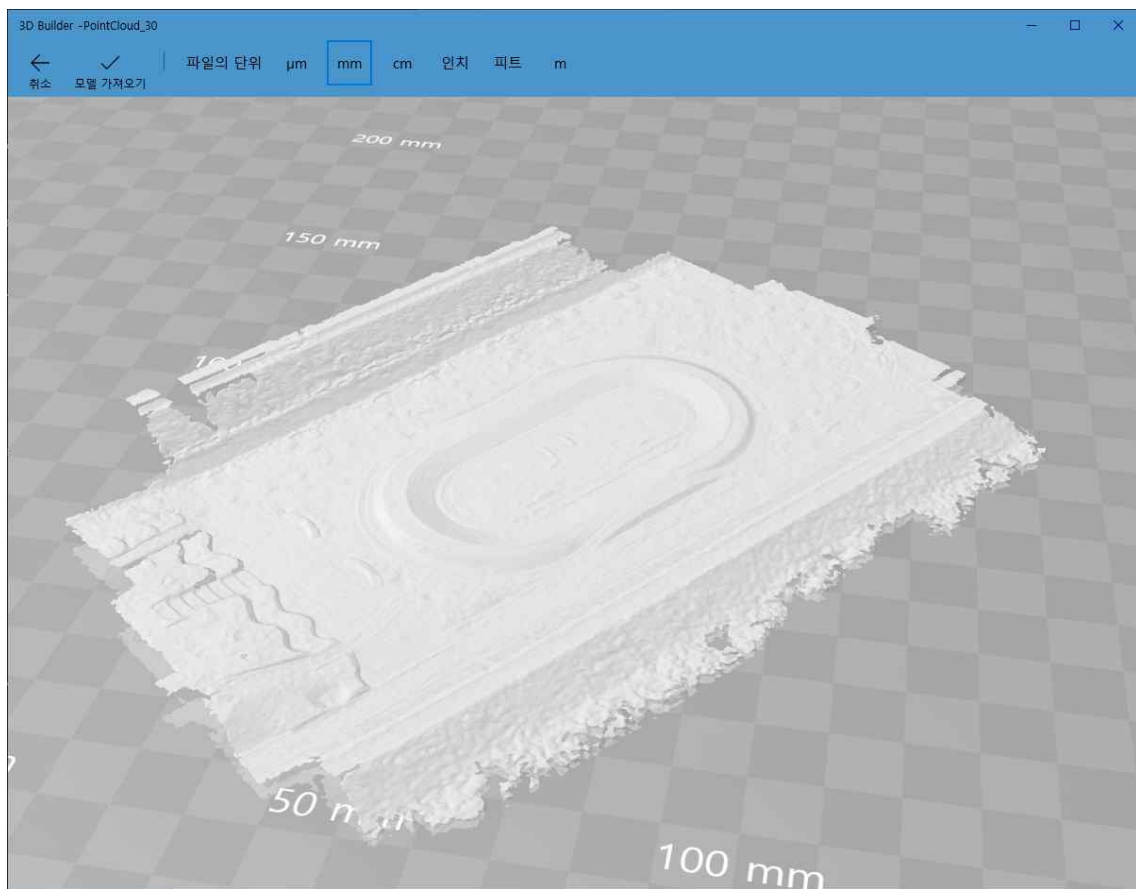


그림 84 3차원 지형제작 완료

3. 하천지형 관리시스템 개발

가. 하천지형 관리시스템 설계

하천지형 관리시스템은 주요 기능인 하천정보 3차원 시각화 프로그램과 이 프로그램의 결과물을 이용하는 하천 횡단면도 제작 프로그램, 하천유량 자동산출 프로그램, 수질분포도 자동작성 프로그램 등 총 4개의 프로그램 모듈로 구성하였다.

표 5 하천정보 관리 시스템의 기능

명칭	기능
3차원 시각화 프로그램	계측된 하상 데이터를 이용하여 3차원 지형으로 모델을 생성하고 출력한다.
횡단면도 자동 작성 프로그램	3차원 모델로 생성된 지형을 이용하여 가상의 선형을 기준으로 하여 횡단면도를 작성한다.
유량 자동산출 프로그램	계측된 유속과 횡단면도를 이용하여 유량을 산출한다.
수질 분포도 작성 프로그램	계측된 수질 자료를 이용하여 수질 분포도를 작성한다.

1) 하천지형 관리시스템 프로세스 정의

하천정보 관리 시스템이 제공하는 기능 및 그와 관련한 외부요소를 다음과 같이 프로그램의 기능별로 정의 하였다.

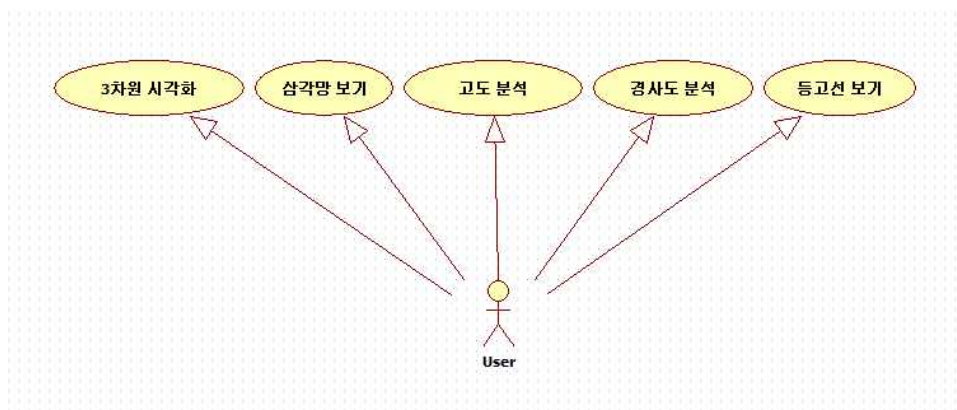


그림 85 3차원 시각화 유즈케이스



그림 86 3차원 시각화 시퀀스 다이어그램

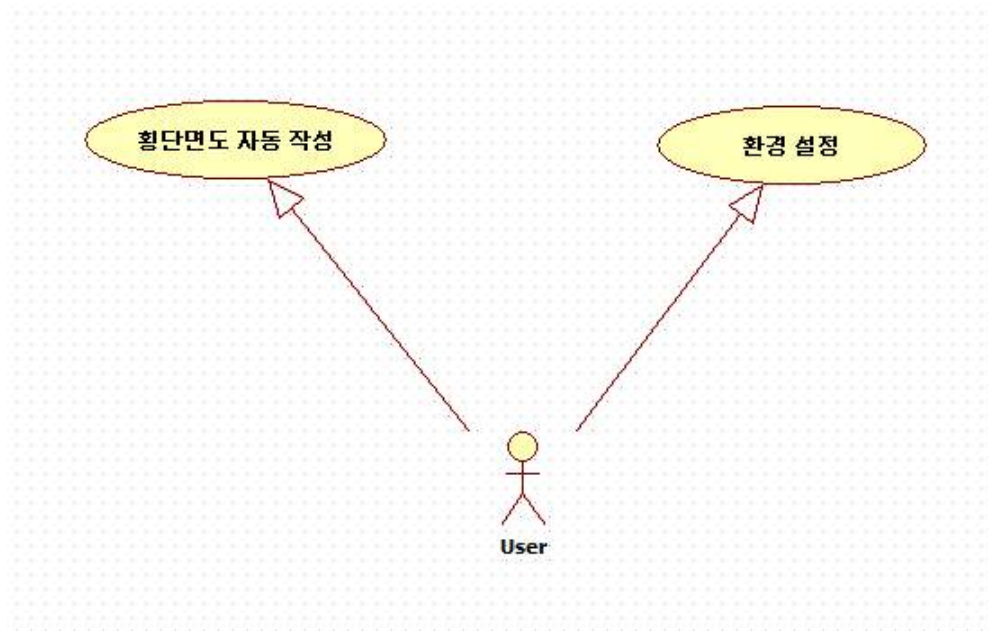


그림 87 황단면도 자동 작성 유즈케이스

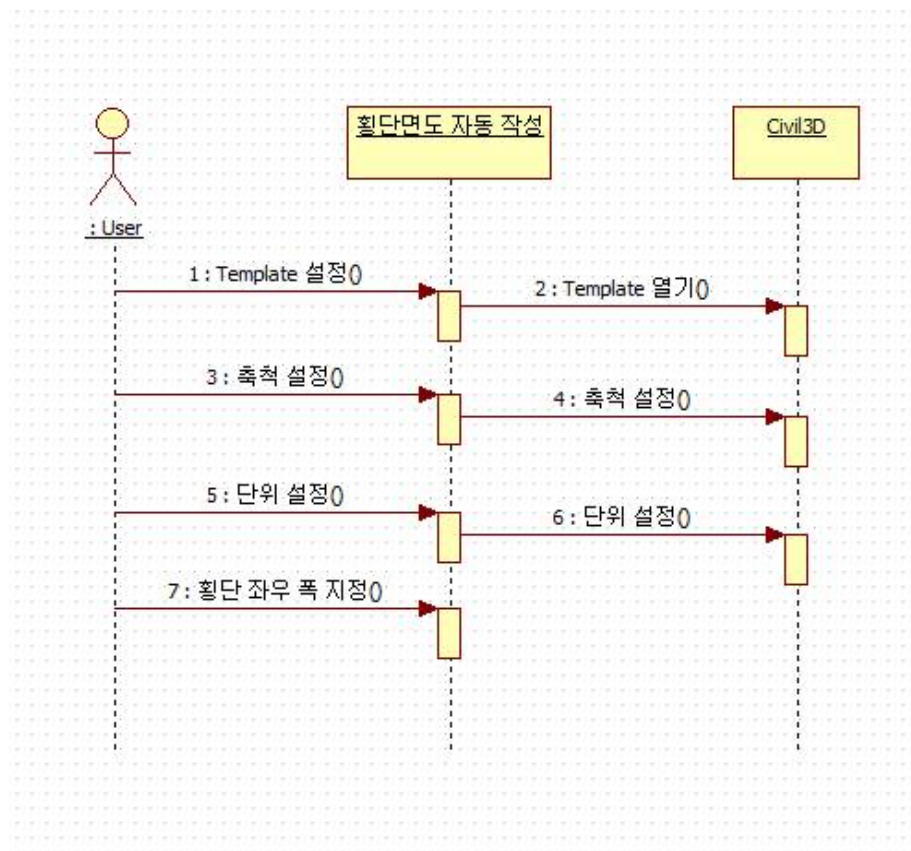


그림 88 황단면도 자동 작성 환경설정 시퀀스 다이어그램

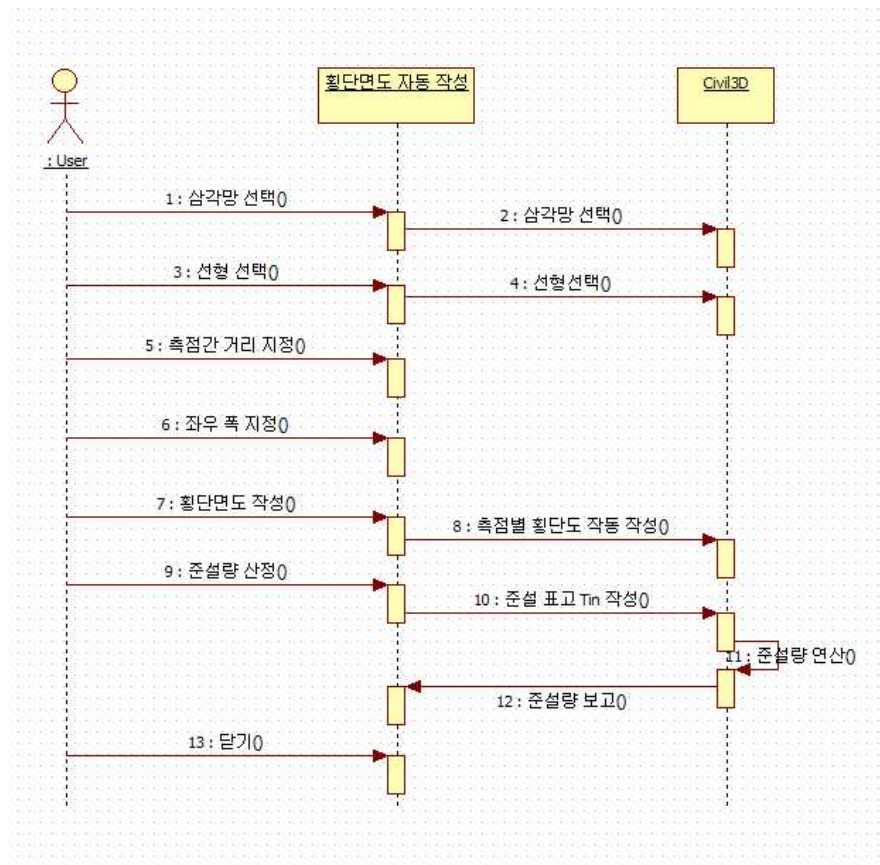


그림 89 횡단면도 자동 작성 시퀀스 다이어그램

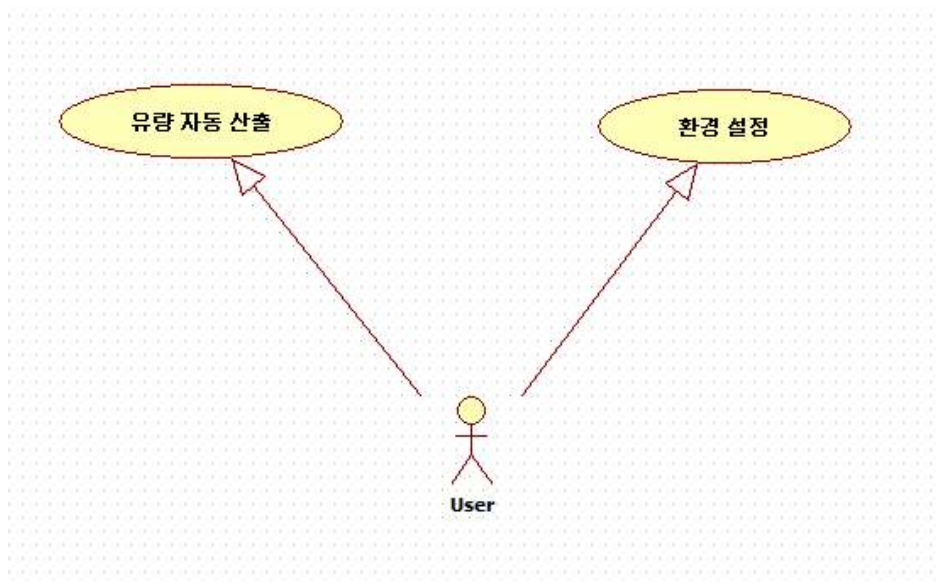


그림 90 유량 자동 산출 유즈케이스

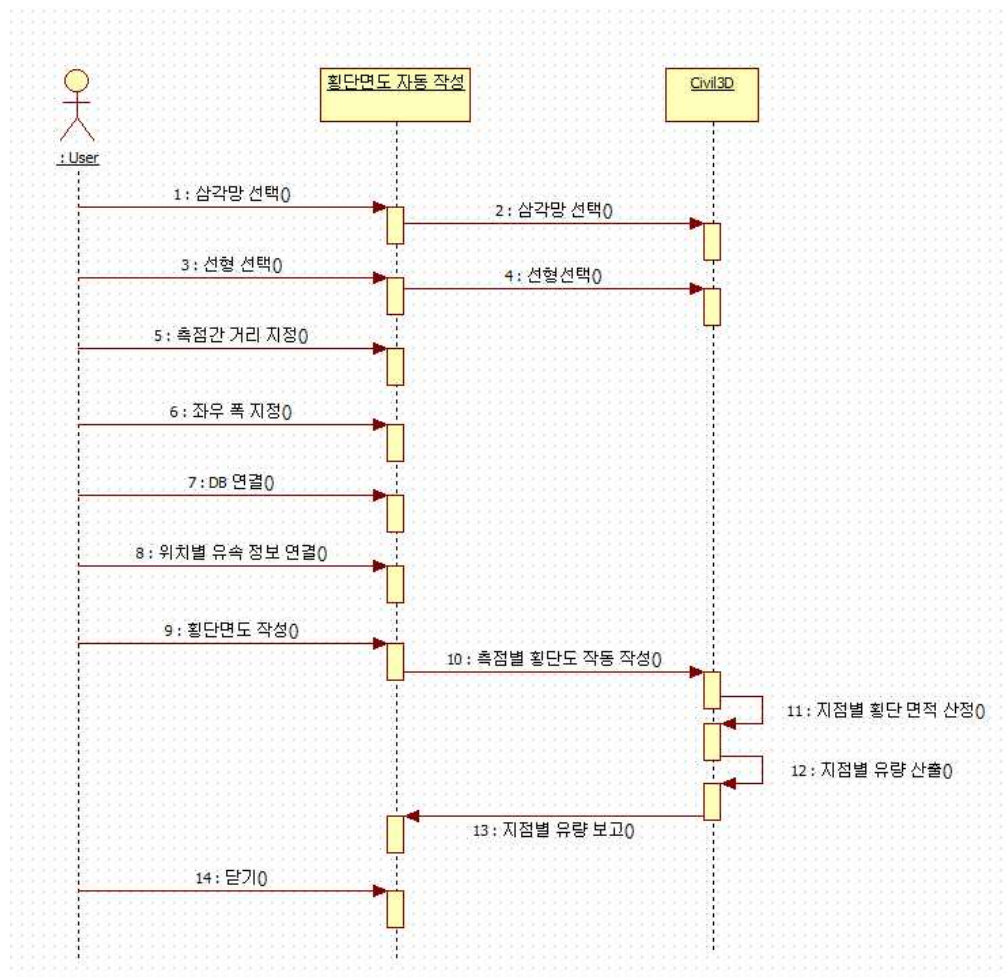


그림 91 유량 자동 산출 시퀀스 다이어그램

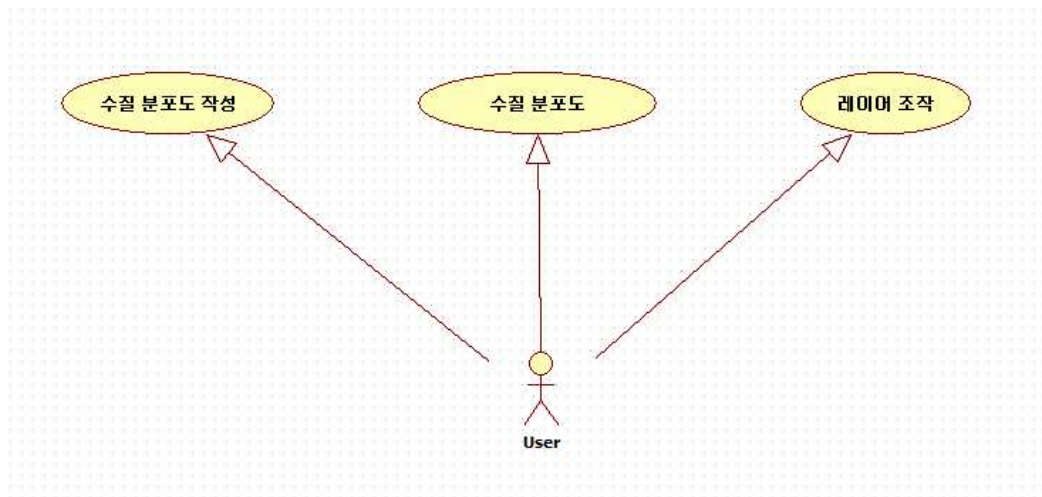


그림 92 수질분포도 유즈케이스

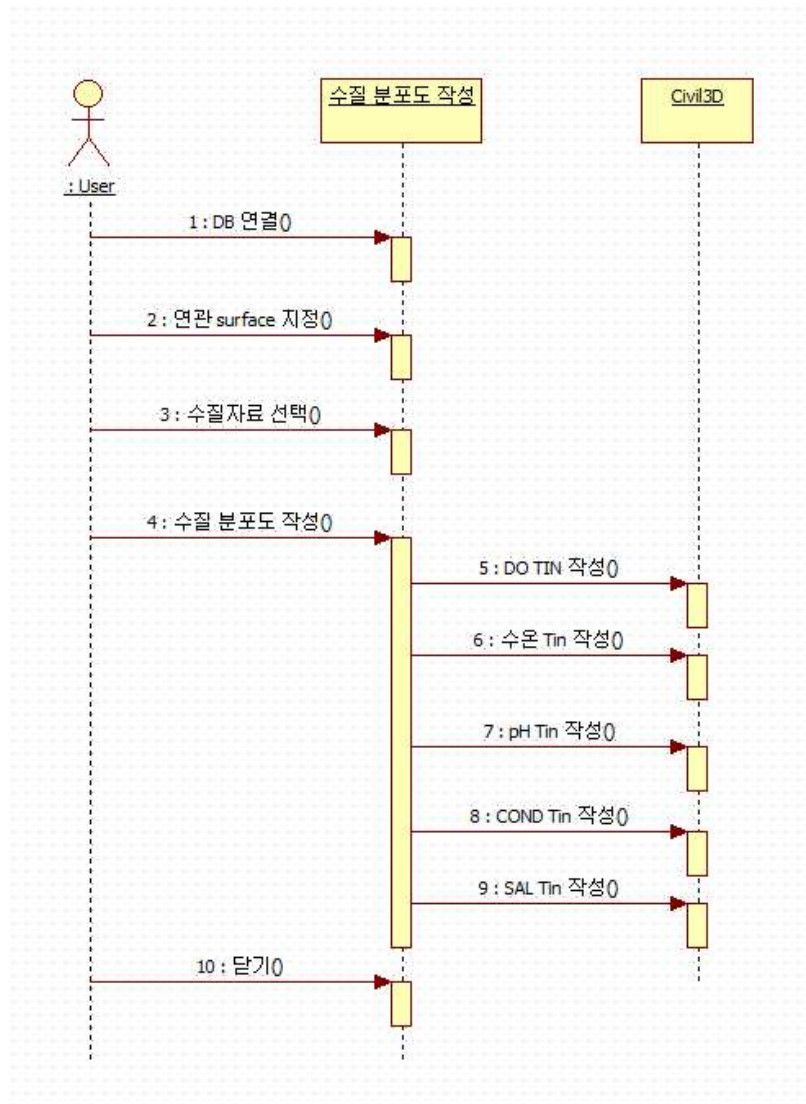


그림 93 수질분포도 작성 시퀀스 다이어그램

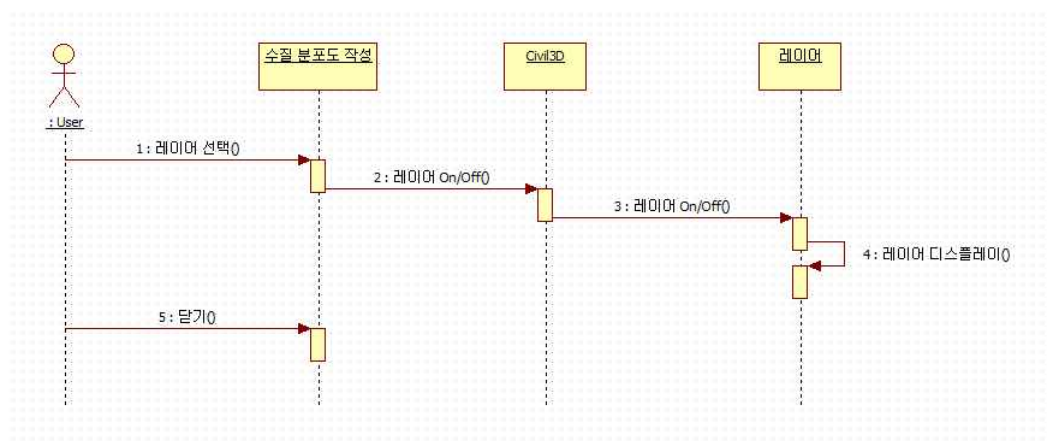


그림 94 수질분포 레이어 제어 시퀀스 다이어그램

2) 하천정보 관리 시스템의 클래스 설계

하천정보 관리시스템을 개발하기 위하여 데이터베이스의 클래스를 설계하였다. 이 시스템은 6개의 개별 모듈로 분리되어 있으며 하나의 윈도우 화면에서 사용할 수 있도록 설계 되었다. 개발 단계에서 아래의 클래스들은 변경되거나 수정되어 질 수 있다.

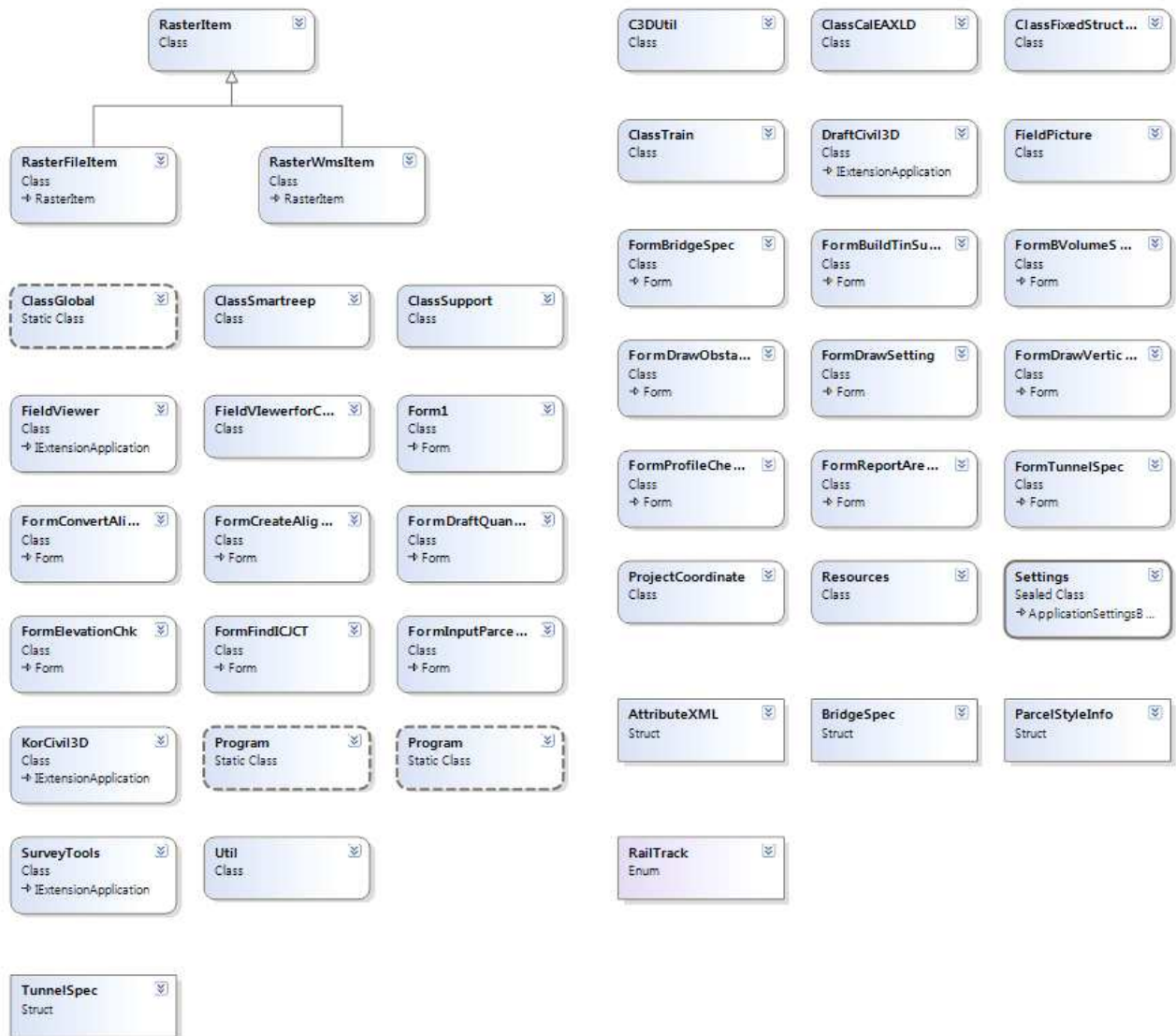


그림 95 하천 정보 관리 시스템 클래스 다이어그램

이 시스템의 개발을 위하여 설계된 클래스들의 필요한 내부항목들을 설계해야 할 필요가 있다. 다음 그림에서 보는 바와 같이 각각의 클래스의 내부 항목들을 설계 하였다. 개발 단계에서 아래의 클래스들은 변경되거나 수정되어 질 수 있다.

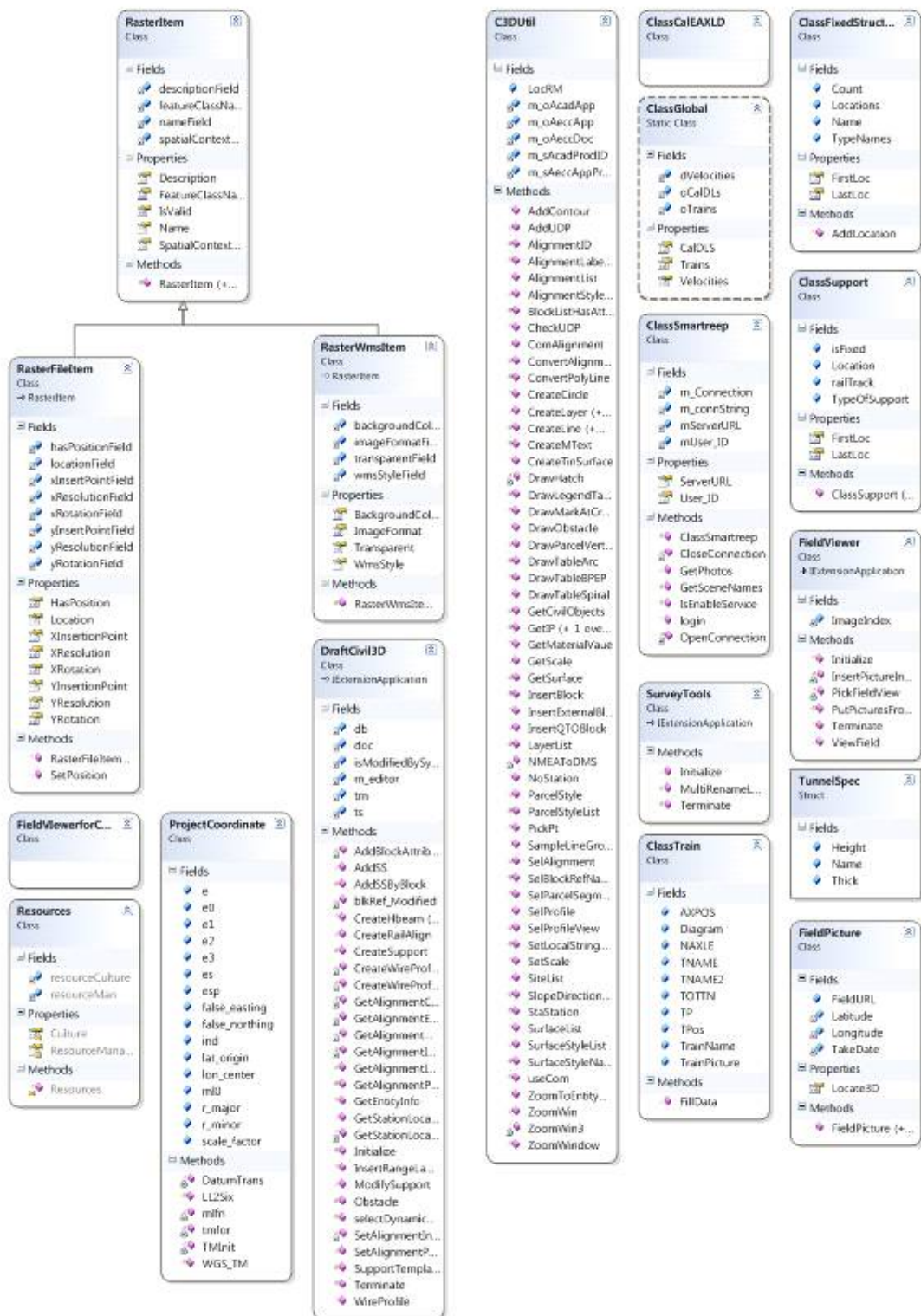


그림 97 하천정보 관리 시스템 클래스 모델(2)

1) 화면 인터페이스 개발



그림 99 메인 화면 프로그램 인터페이스 설계

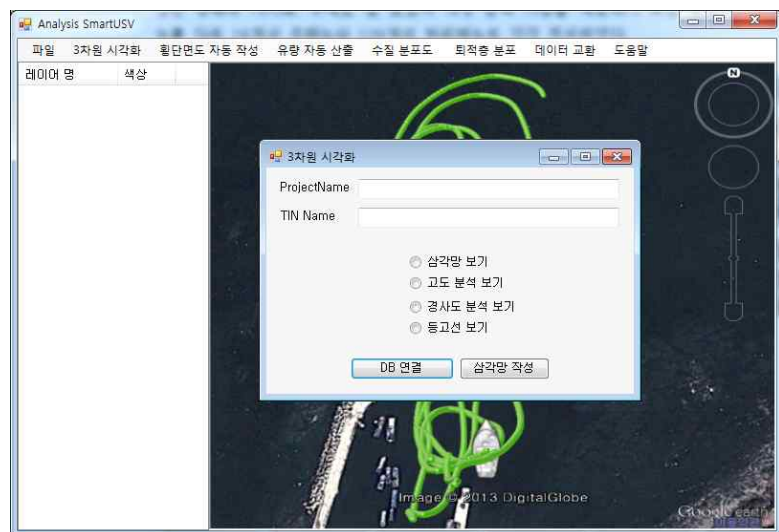


그림 100 3차원 시각화 프로그램 인터페이스 설계

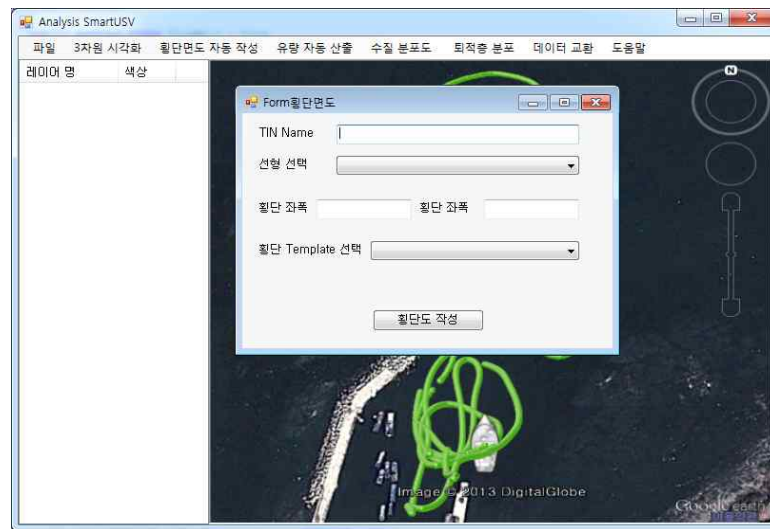


그림 101 횡단면도 자동 작성 프로그램 인터페이스 설계

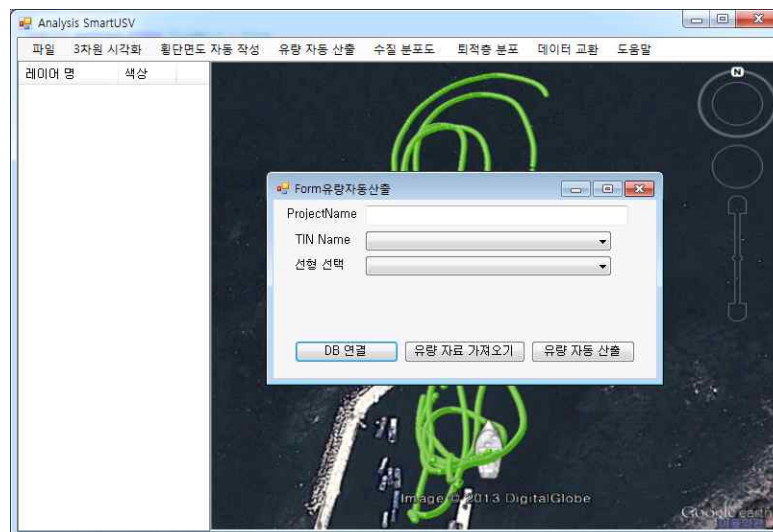


그림 102 유량 자동 산출 프로그램 인터페이스 설계

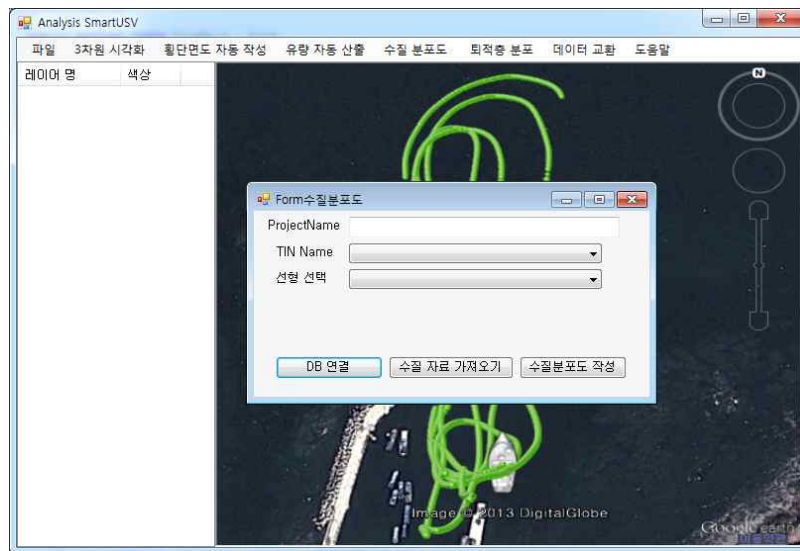


그림 103 수질 분포도 프로그램 인터페이스 설계

2) 프로그램 개발

가) 하천정보 3차원 시각화 프로그램

하천정보 3차원 시각화 프로그램은 2. 무인항공체 및 운영시스템 개발의 다. 3차원 지형제작 프로그램 개발과 유사한 과정을 통해 하천정보를 3차원 시각화한다. 멀티빔 에코사운더에서 획득한 데이터는 x , y , z 좌표들을 포함한 다수의 정보를 외부로 출력할 수 있기 때문에 3차원 지형제작 프로그램의 포인트 클라우드를 추출하는 과정이 생략되었을 뿐, 3차원 좌표들을 이용해 모델링하는 방법은 같다고 할 수 있다. 3차원 지형제작 프로그램과 마찬가지로 오픈 소스인 openMVG(Multiple View Geometry)를 이용하여 개발하였다.



그림 104 하상지형 포인트 클라우드

나) 횡단면도 제작 및 유량 산출 프로그램

하천의 유량은 강수에 따라 좌우되는데, 강수량이 많은 지역의 하천은 그 유량이 많고, 강수량이 적은 지역의 하천에서는 적다. 건조지역에 유수가 없는 것은 이 때문이다. 습윤지역에서도 강수가 없는 기간이 오래 계속되면 유량은 격감한다. 강수량이 없어도 하천에 유수가 있는 것은 지하수에 의한 보급이 있기 때문이다. 지표에 내린 비의 일부는 증발해서 직접 대기 중에 되돌아가나 다른 부분은 땅속에 침투하거나 지표를 흐른다.

본 연구에서는 기존의 무인 선박을 이용한 유량측정 방법을 응용하여 다음 그림과 같은 유량측정 알고리즘을 적용하였다. 즉, VRS-GPS와 에코사운드로부터 하상단면의 3차원 공간정보를 획득하고, 공간보간을 통해 하상지형도를 작성한다. 또 유속계로부터 유속정보를 획득하여 공간보간하여 하상의 유속분포도를 작성한다. 하상지형도와 유속분포도를 중첩하고, 사용자가 단면을 선택하게 되면 선택된 단면에 대한 단면적과 평균유속을 자동으로 계산하여 표출 한다.

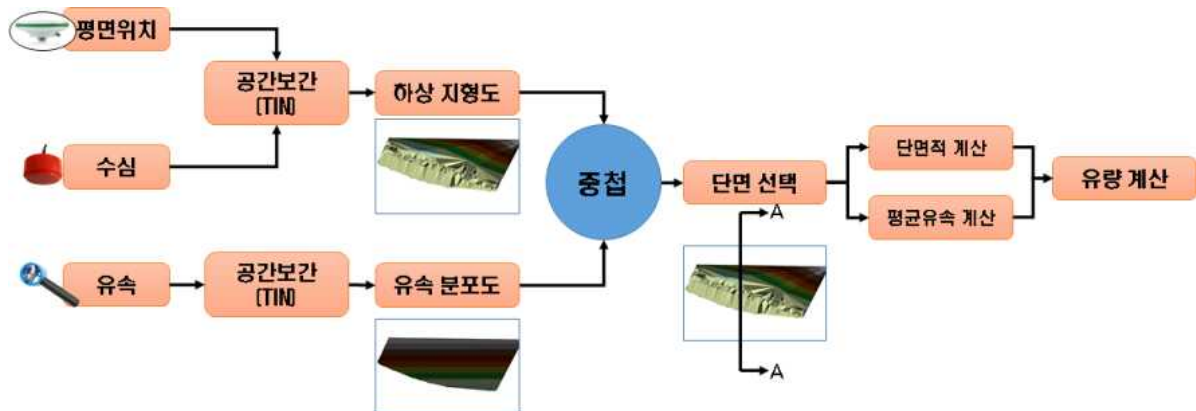


그림 105 자동 유량산정 알고리즘

다음 그림은 유량 자동 산출 프로그램의 기본 인터페이스 화면을 나타내고 있다.



그림 106 유량 자동 산출 프로그램 인터페이스



그림 107 유량 자동 산출 프로그램 인터페이스 개선

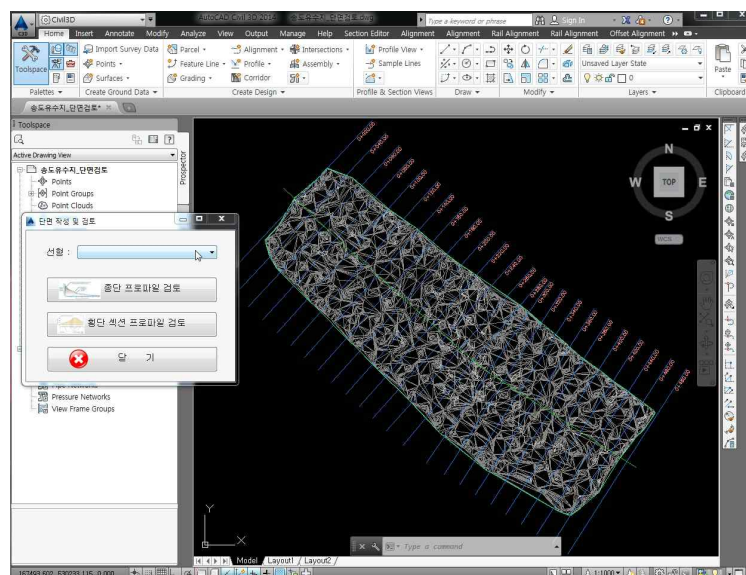


그림 108 하상 단면 자동 작성 프로그램

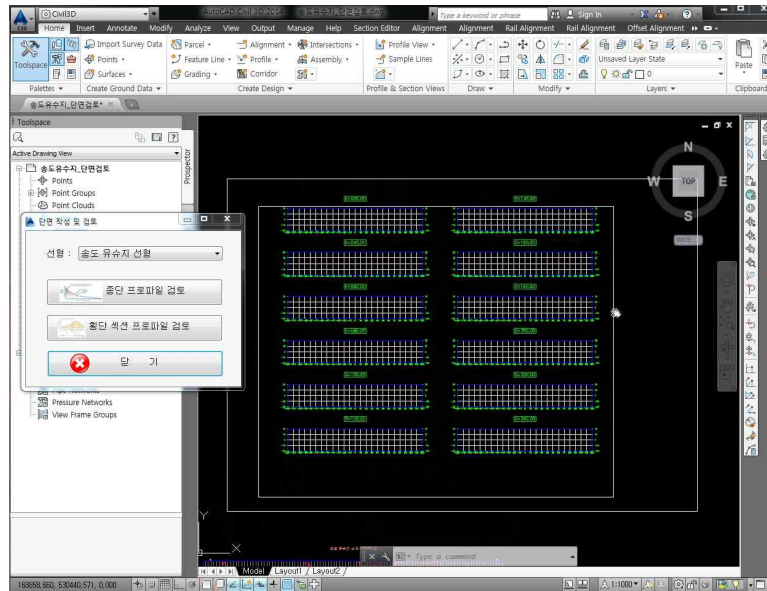


그림 109 횡단면도 작성 결과

다) 수질분포도 작성 프로그램 개발

수질분포도 작성 프로그램은 무인 로봇선에서 수집된 수질정보를 기반으로 하여 대상지역의 수질 분포도를 쉽게 파악하도록 3차원 기반의 시각화가 가능하도록 개발하였다. 기존의 수질분포도는 GIS 소프트웨어인 ArcGIS나 CAD를 이용하여 사용자가 직접 제작한다는 번거로움이 존재하나 개발된 수질 분포도 작성 프로그램은 무인 로봇선 운항 지역의 수질분포를 자동으로 출력 가능하도록 개발하였다.



그림 110 캐드기반의 수질분포도 작성 프로그램

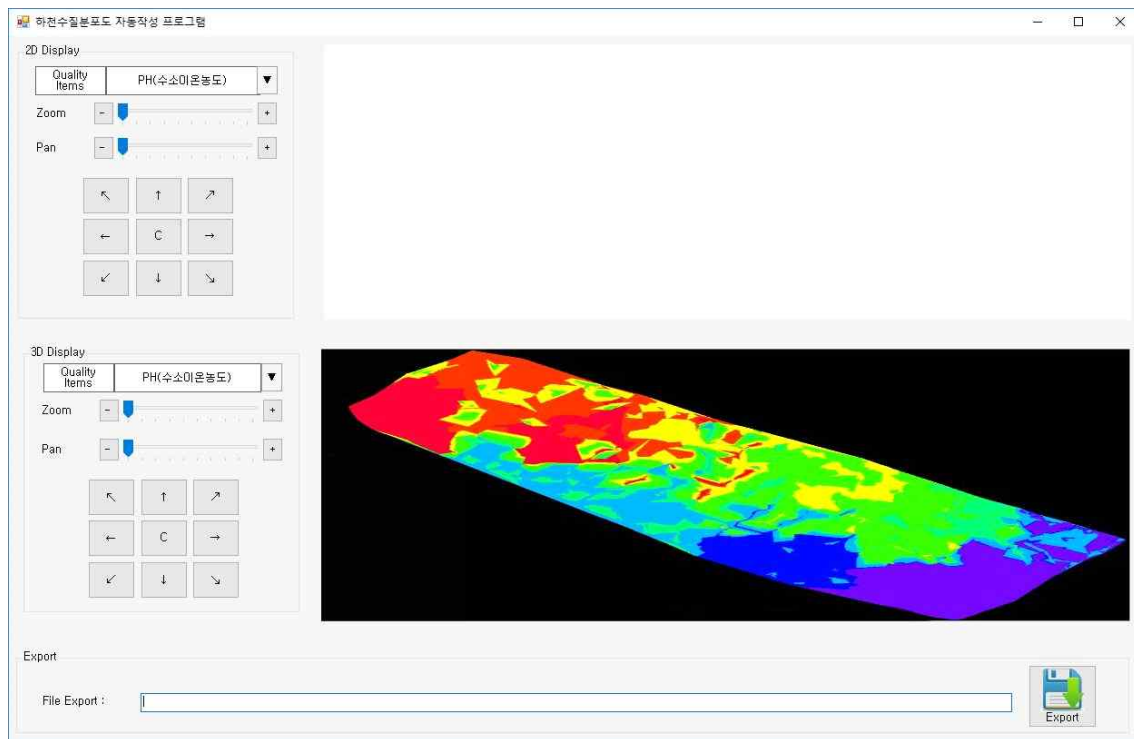


그림 111 수질분포도 작성 결과

4. 시스템 적용 및 분석 결과

가. 유수지에서 하드웨어 운용 테스트

본 연구를 통해 개선된 수리수문 정보획득 시스템과 무인항공시스템의 개발 성과를 확인하기 위해 본 과제의 원천기술 소유자인 인천대학교 측량 및 GIS 실험실 연구원들과 공동으로 인천대학교 인근 유수지에서 기본적인 테스트를 수행하였다. 본 테스트의 목적은 성능 분석이 아닌 시스템 개발단계에서의 기초 테스트이다. 실험은 다음과 같이 인천광역시 연수구 송도동에 위치하고 있는 면적 약 74,299m²의 유수지를 대상으로 하였다.

	주 소	인천시 연수구 송도동 13-40
	면 적	약 74,299m ²
	좌표계	평면직각좌표(중부)
	도 법	횡메르카토르 도법(TM)
	타원체	GRS80 타원체

그림 112 유수지에서의 현장실험 대상지역 현황

실험은 2017년 10월 18일에 수행하였으며 단순 테스트이므로 별도의 결과 분석은 수행하지 않았다.



그림 113 무인선과 드론의 동시 운용



그림 114 드론에 의한 로봇선 모니터링

나. 하천측량 하상변동조사 드론 경진대회 참여

본 연구의 성과물을 이용하여 국토교통부에서 실시한 제2회 하천측량 및 하상변동조사 드론 경진대회에 참여하였다. 대회의 목적은 하천 특화 민간 드론기술을 지속적으로 향상시키고 하천측량의 새로운 기술력을 확보하기 위함이며 2017년 5월 10일 서류평가 및 동년 5월 22일~26일까지 현장측량 평가를 한강 광나루 한강공원 인근에서 수행하였다. 본 연구의 주관기관인 (주)한국케이지티콘설턴트는 항공

측량업체와 컨소시엄을 구성하여 하상지형정보 획득 부문을 담당하였다. 대회가 아쉬웠던 점은 육상 지형정보 분야에는 드론을 반드시 사용해야 하지만 하상지형정보 획득에는 유인선과 무인선을 별도로 구분하지 않았다는 점이다. 장소가 한강 하류부분인 관계로 소형 선박의 운항이 용이했기 때문에 무인선의 장점이 드러나지 않았다고 판단된다.

다만 고무적인 내용은 수상을 측량부분과 시스템 부분으로 나누어 진행했던 대회에서 시스템 부문 3위를 수상했다는 사실이다. 시스템 부문은 측량 성과와는 별개로 무인 시스템을 대상으로 한 것이며 무인항공체에 초점을 맞춘 대회에서 무인선 시스템으로 3위를 수상한 것은 본 연구의 성과물인 자율운항 로봇선의 성능을 인정받은 것으로 판단된다.

다. 자동 수질측정 및 유량산출 실험

자동 수질측정 및 자동유량산출 실험을 위해 경기도 의왕시 초평동 소재의 왕송저수지에서 2017년 11월 24일에 실시하였다. USV에 탑재된 유속계 및 수질측정기로 유속 정보와 수질정보를 자동으로 획득할 수 있다. 수질측정기에는 10m 방수케이블이 있어 센서 부분이 채수장치 하단부에 거치된다. 단말기를 통하여 노트북으로 전송된 데이터는 육상에서 실시간으로 정보 수집이 가능하였다. 유속계는 채수장치 하단부에 거치되어 심도별 유속 측정이 가능하였으며, 유량은 후 처리 프로그램을 이용하여 횡단면도 데이터와 유속값을 입력하여 자동으로 산출할 수 있었다.

표 6 대상지역의 측정 수질 정보 비교

구분	수온(℃)	전기전도도($\mu\text{mhos/cm}$)	용존산소(mg/l)	pH	실시간유량(m^3)
측정값	13.4	336	15.7	8.4	8.597
참조값	12.8	354	16.4	8.1	—

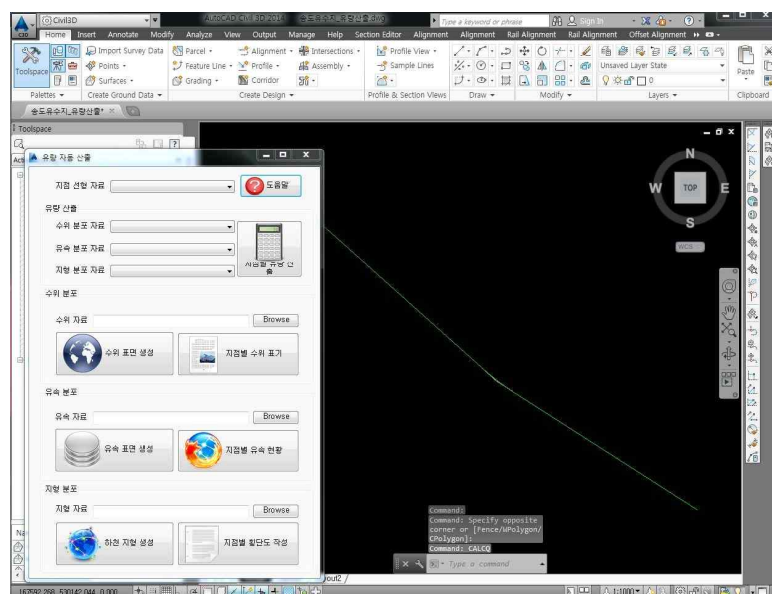


그림 115 대상지역의 자동 유량 산출 프로그램 초기화면

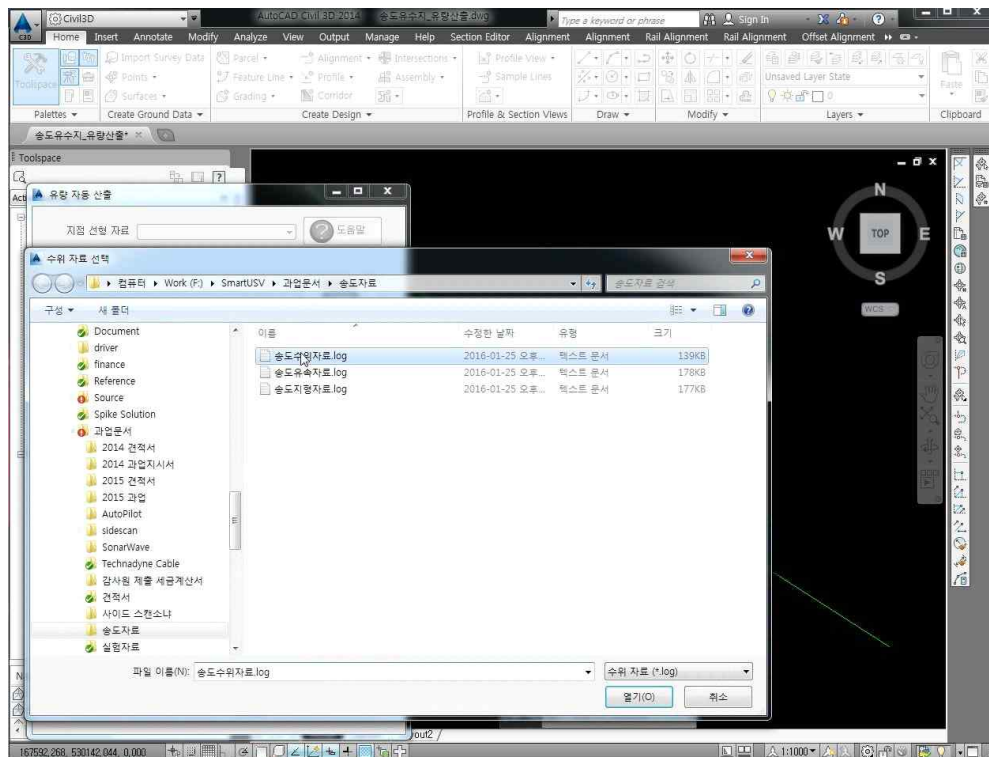


그림 116 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 수위자료 입력화면

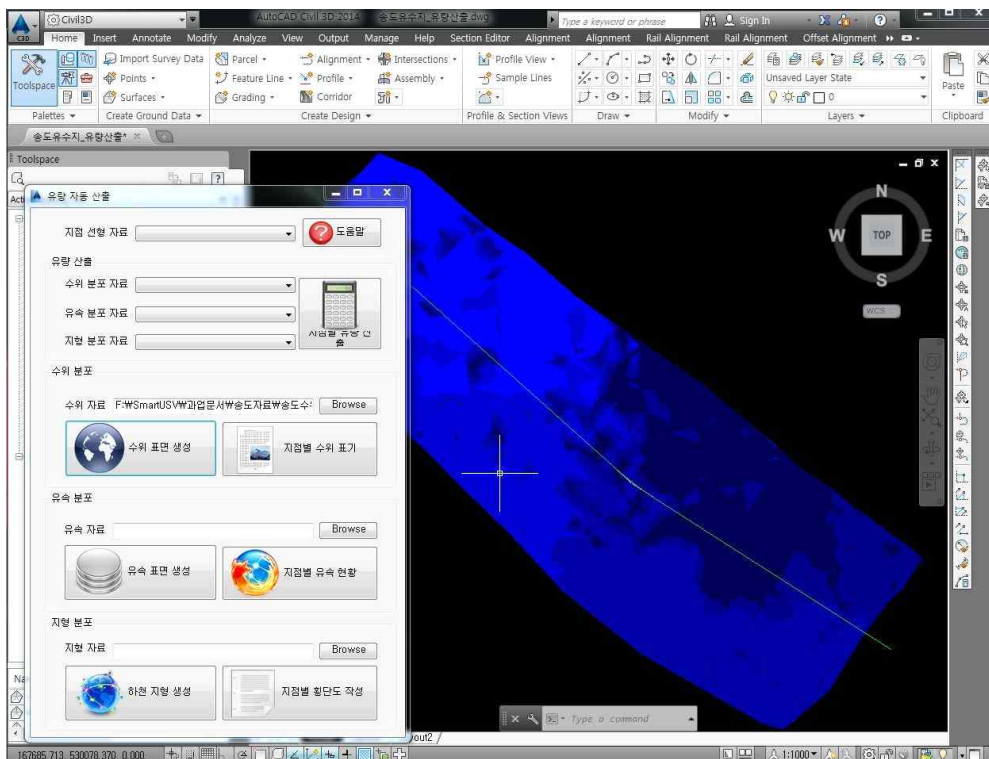


그림 117 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 수위표면 자료 생성 결과

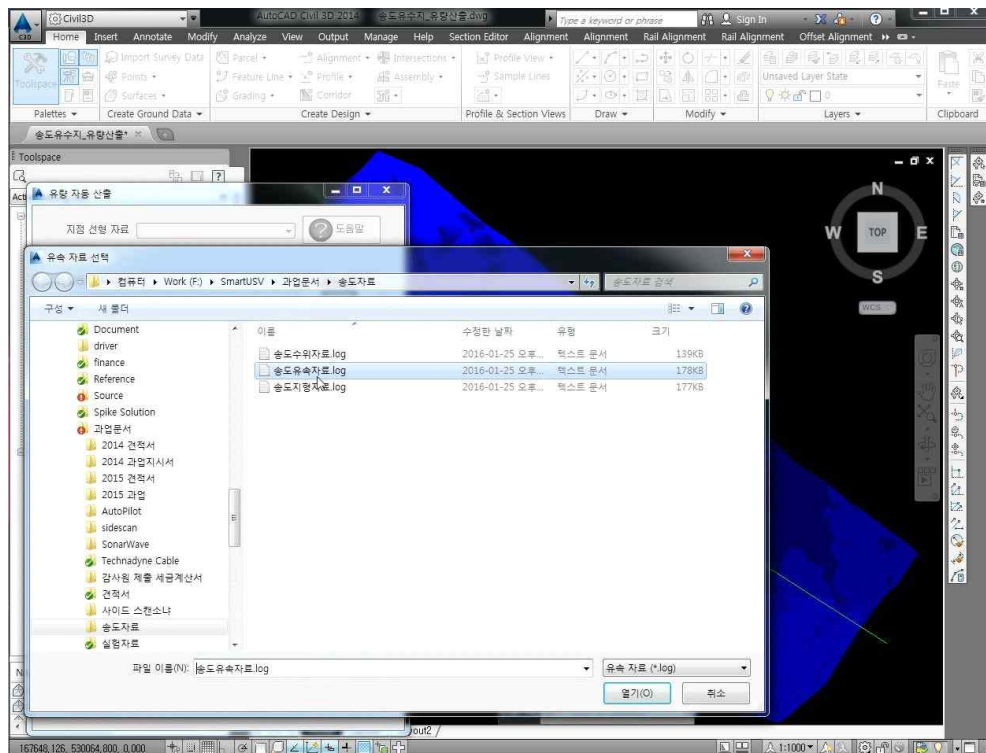


그림 118 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 유속자료 입력화면

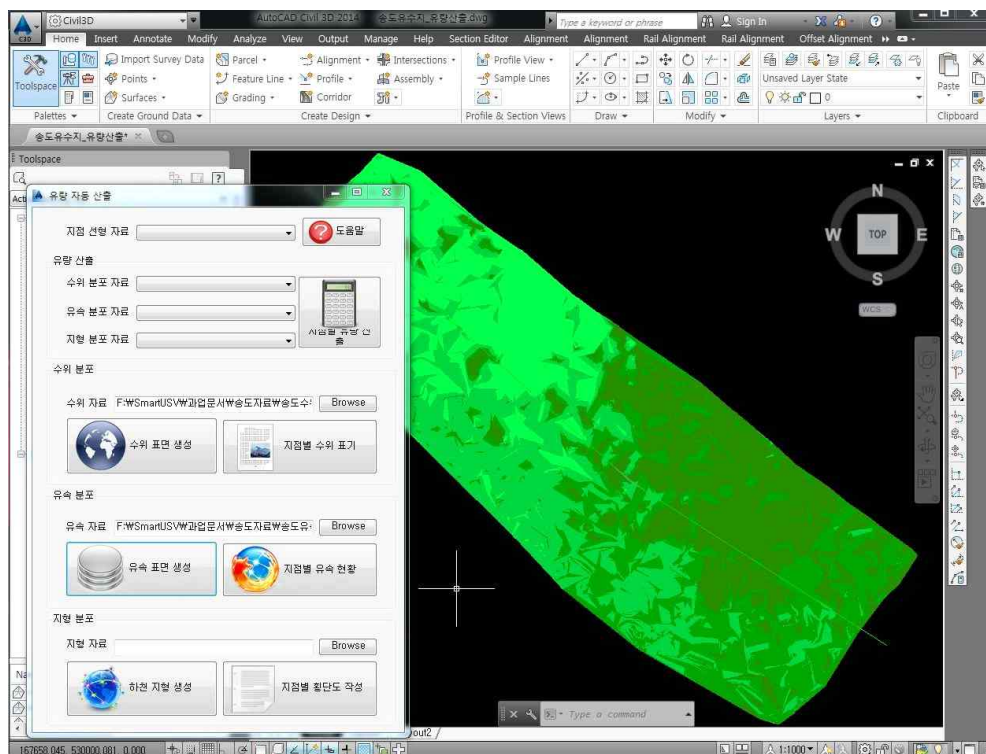


그림 119 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 유속표면 자료 생성 결과

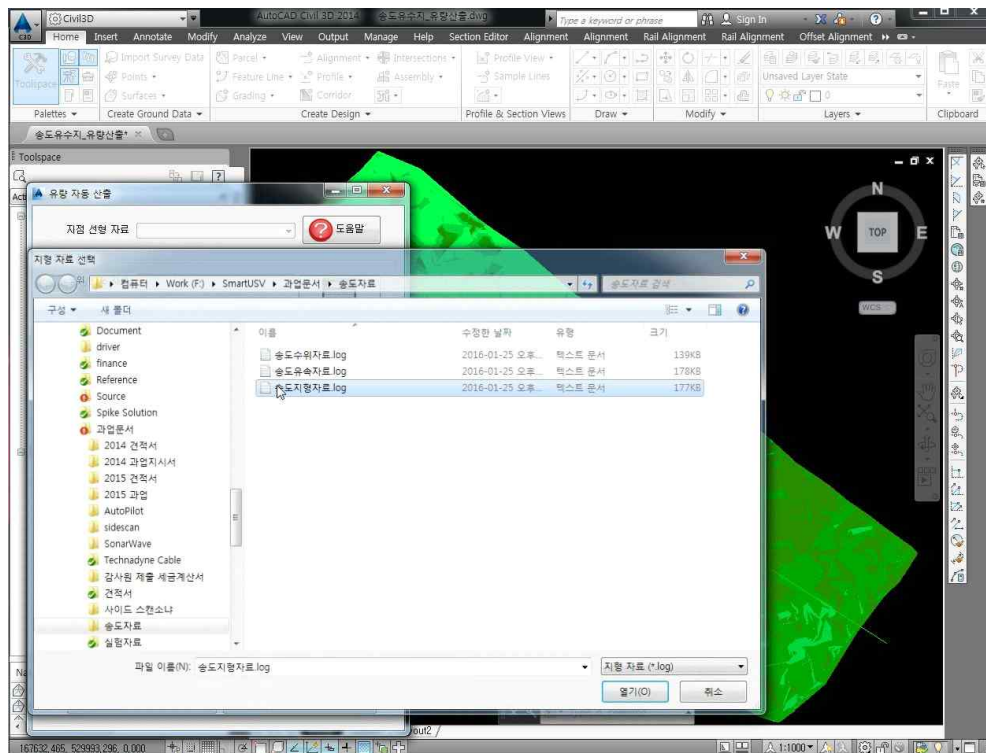


그림 120 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 하상지형자료 입력화면

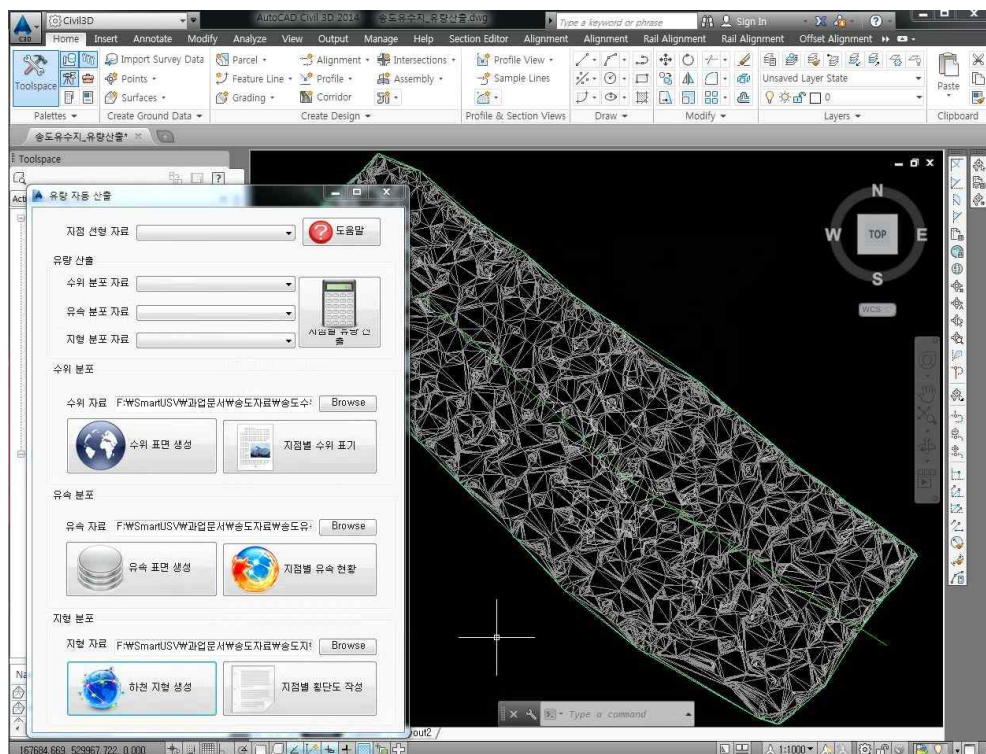


그림 121 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 하상지형 표면 자료 생성 결과

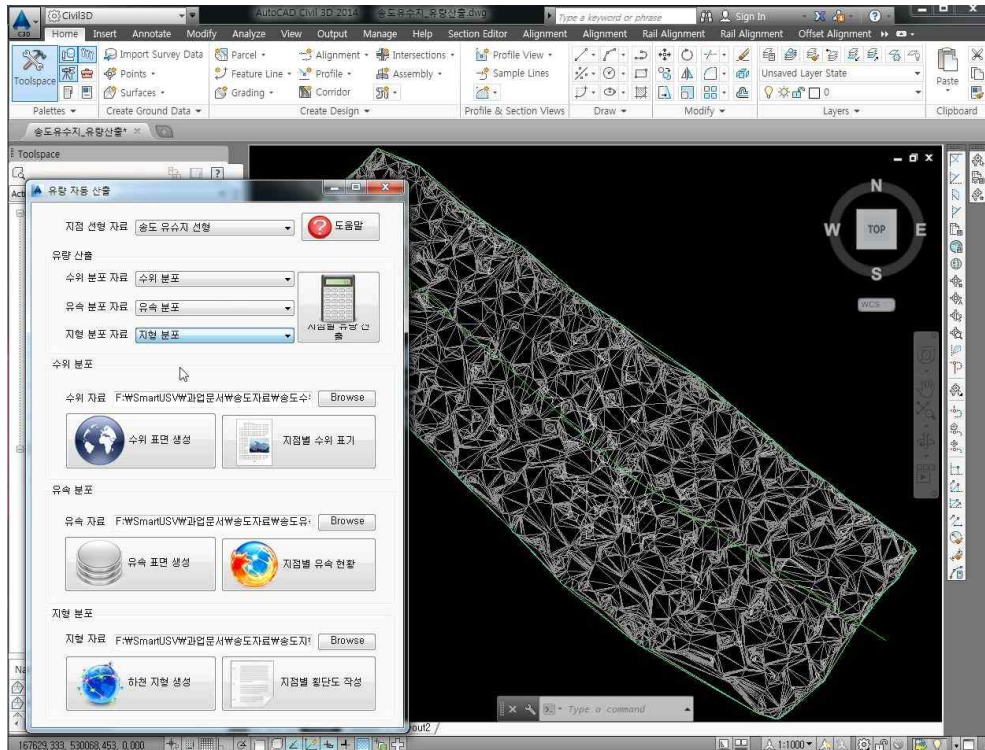


그림 122 대상지역의 자동 유량 산출을 표면 자료선택 화면

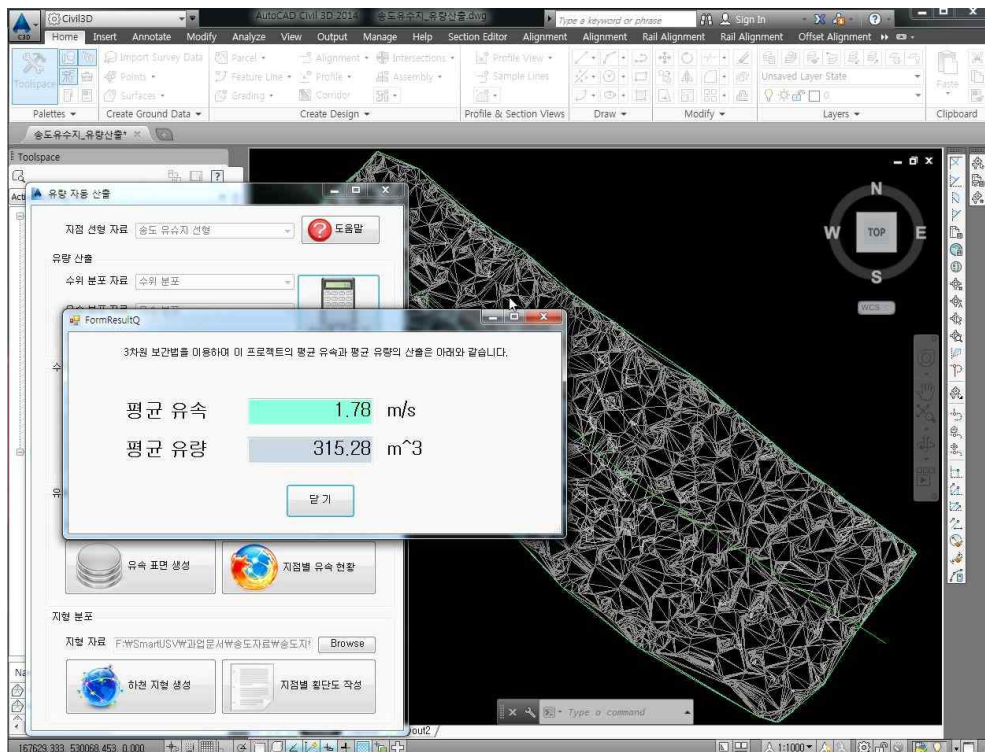


그림 123 대상지역의 자동 유량 산출 결과

위의 그림과 같이 3차원 공간보간법을 이용하여 대상지역의 평균 유속과 평균 유량을 산출한 결과

대상지역의 평균유속은 $1.78m/s$ 이며, 평균유량은 $315.28 m^3/s$ 로 산출 되었다.

라. 시범 사업 수행

본 연구의 성과물을 이용하여 국토교통부 익산지방국토관리청에서 발주한 드론기반 하상변동 및 하천지형조사 시범사업 용역을 수행하였다. 총 5개 기관으로 구성된 컨소시엄 중의 1개 기관으로 참여하여 하상지형조사 부문을 수행하였다.

드론기반 하상변동 및 하천지형조사 시범사업은 공공 신규시장 창출을 위해 공간정보 획득에 드론을 이용하려는 국토교통부의 정책이 반영된 것으로서 2018년에 하상변동 및 하천지형조사 사업을 본격적으로 시행하기에 앞서 현재 개발 중인 표준수행절차 및 품셈에 대한 현장 적용성과 활용성을 검증하려는 목적을 가지고 있다.

1) 사업 범위

시간적 범위는 2018년 1월~5월까지, 공간적 범위는 영산강의 죽산보에서 승촌보까지 길이 18.95km 및 영산강 제1지류인 지석천의 남평교에서 영산강 합류지점까지 길이 약 7.60km 이다.

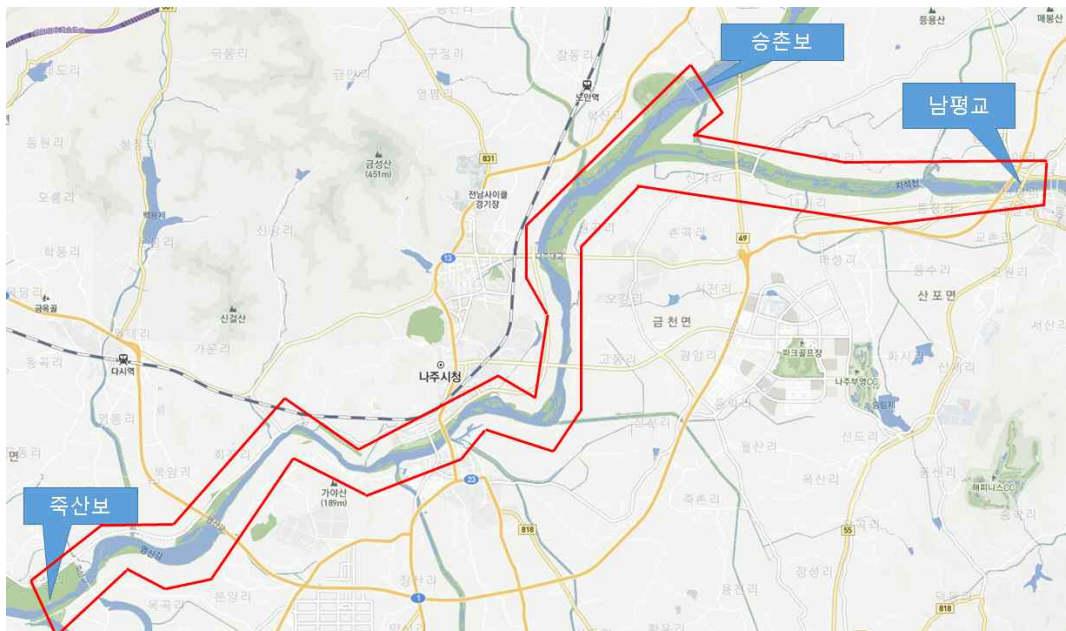


그림 124 익산청 시범사업 범위

2) 사업 결과

총 길이 26.55km에 대하여 하상지형정보를 획득하고 과대오차를 소거한 다음 10m 간격의 격자 표고 모델(DEM, Digital Elevation Model)을 생성하였다.



그림 125 영산강 죽산보에서 승촌보까지의 DEM

3) 싱글빔 에코사운더와 비교

싱글빔 에코사운더와의 차이를 비교하기 위해 시범 사업 지역 중에서 일부 지역에 대하여 싱글빔 에코사운더로 수심을 측정하고 멀티빔 에코사운더와의 정확도를 비교하였다. 사업 지역의 하상지형정보에 대해 기준이 되는 정확한 비교자료가 없기 때문에 두 장비를 이용한 결과의 차이를 비교하는 것까지만 진행하였다. 비교 지역은 영산강의 죽산보에서 죽산교까지 길이 약 840m, 폭 약 230m, 넓이 약 0.16km²를 대상으로 하였다.



그림 126 비교 대상 지역

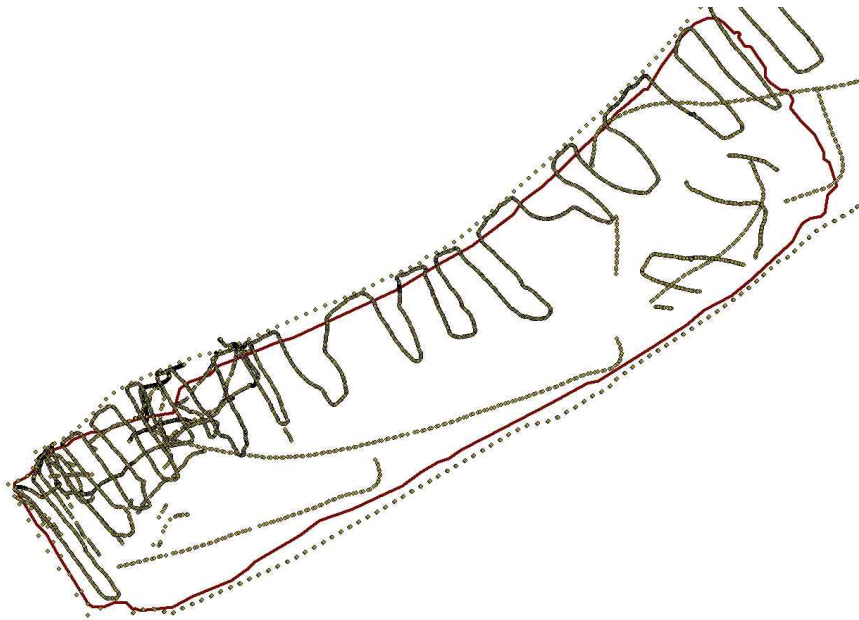


그림 127 싱글빔 에코사운더 측정

싱글빔 에코사운더를 이용한 데이터는 총 5,098개였다. 절대 비교 대상이 없기 때문에 멀티빔 에코사운더의 자료를 기준으로 싱글빔 에코사운더 데이터를 비교하였다. 수심의 차이는 평균 0.0319m, 표준편차는 2.4095였다.

	F	G	H	I	J
1	TH	depth	단빔	멀티빔	delta
2	13.21	4.413	-4.083	-1.33434	-2.74866
3	13.33	4.306	-3.963	-1.19582	-2.76718
4	13.54	4.084	-3.753	-1.0634	-2.6896
5	13.75	3.856	-3.543	-0.97938	-2.56362
6	13.83	3.773	-3.463	-0.91511	-2.54789
7	13.89	3.707	-3.403	-0.86004	-2.54296
8	14.01	3.601	-3.283	-0.82447	-2.45853
9	14.06	3.562	-3.233	-0.78427	-2.44874
10	14.12	3.517	-3.173	-0.73894	-2.43406
11	14.17	3.475	-3.123	-0.66462	-2.45838
12	14.16	3.477	-3.133	-0.61818	-2.51482
13	14.14	3.484	-3.153	-0.52887	-2.62413
14	14.14	3.476	-3.153	-0.53626	-2.61674
15	14.17	3.45	-3.123	-0.49111	-2.63189
16	14.14	3.472	-3.153	-0.48648	-2.66652
17	14.17	3.421	-3.123	-0.43684	-2.68616
18	14.26	3.349	-3.033	-0.40253	-2.63047

그림 128 데이터 중 일부

편차

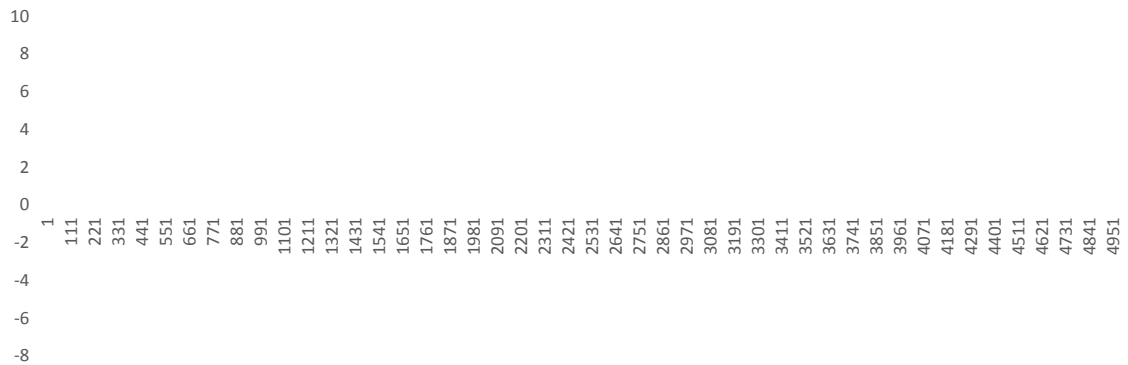


그림 129 싱글빔 에코사운더 데이터의 표준편차

획득한 각각의 데이터를 이용하여 불규칙삼각망(TIN, Triangular Irregular Network)을 만들고 ArcGIS의 표면 비교 기능을 이용하여 높이가 다른 부분들을 추출하였다.

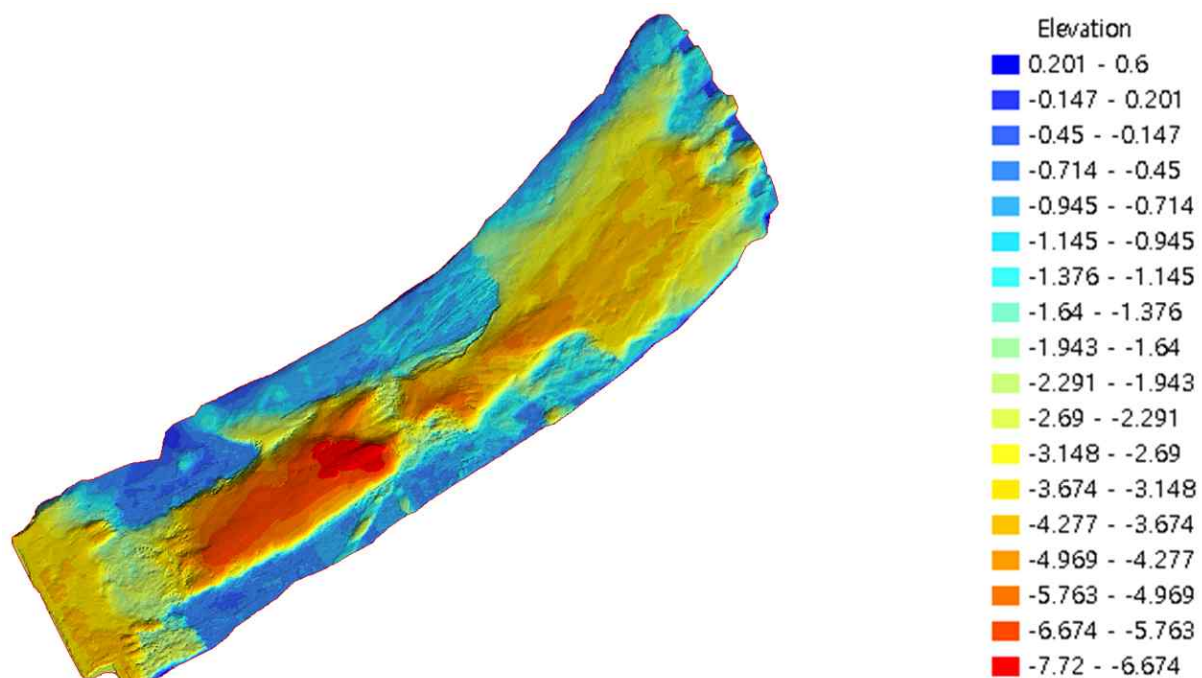


그림 130 멀티빔 에코사운더 데이터를 이용하여 제작한 TIN

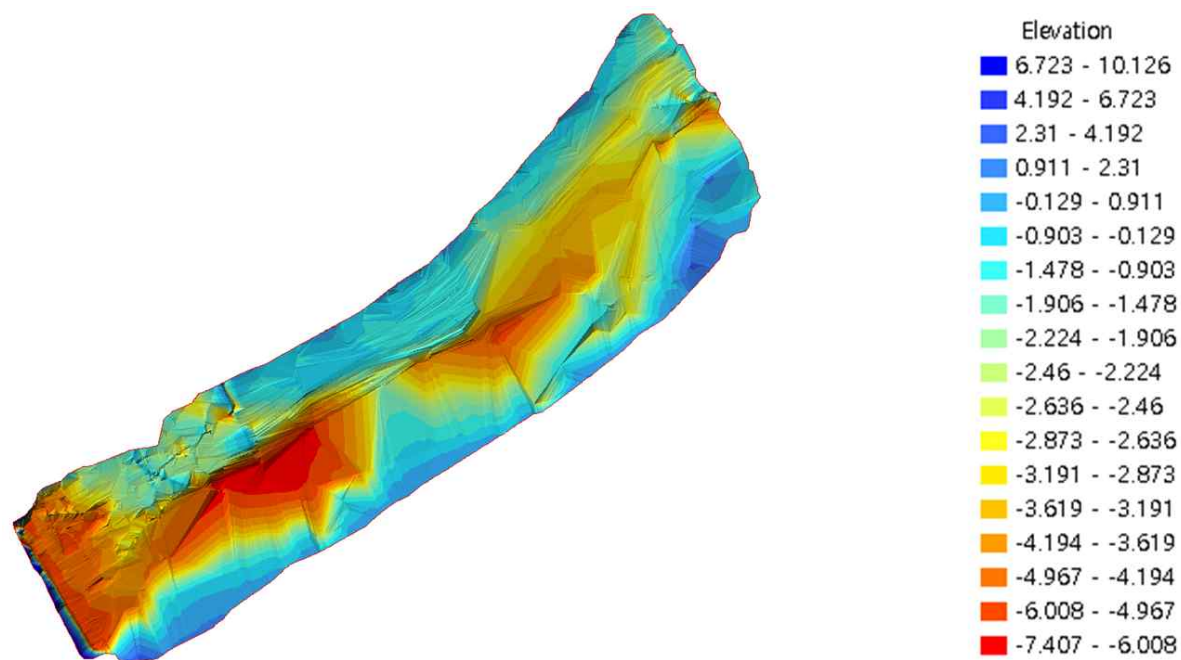


그림 131 싱글빔 에코사운더 데이터를 이용하여 제작한 TIN

싱글빔 에코사운더와 멀티빔 에코사운더 데이터를 이용하여 제작한 TIN을 비교하면 멀티빔 에코사운더의 데이터를 이용해 제작한 TIN이 하상지형을 더 세밀하게 표현하고 있는 것을 알 수 있다.

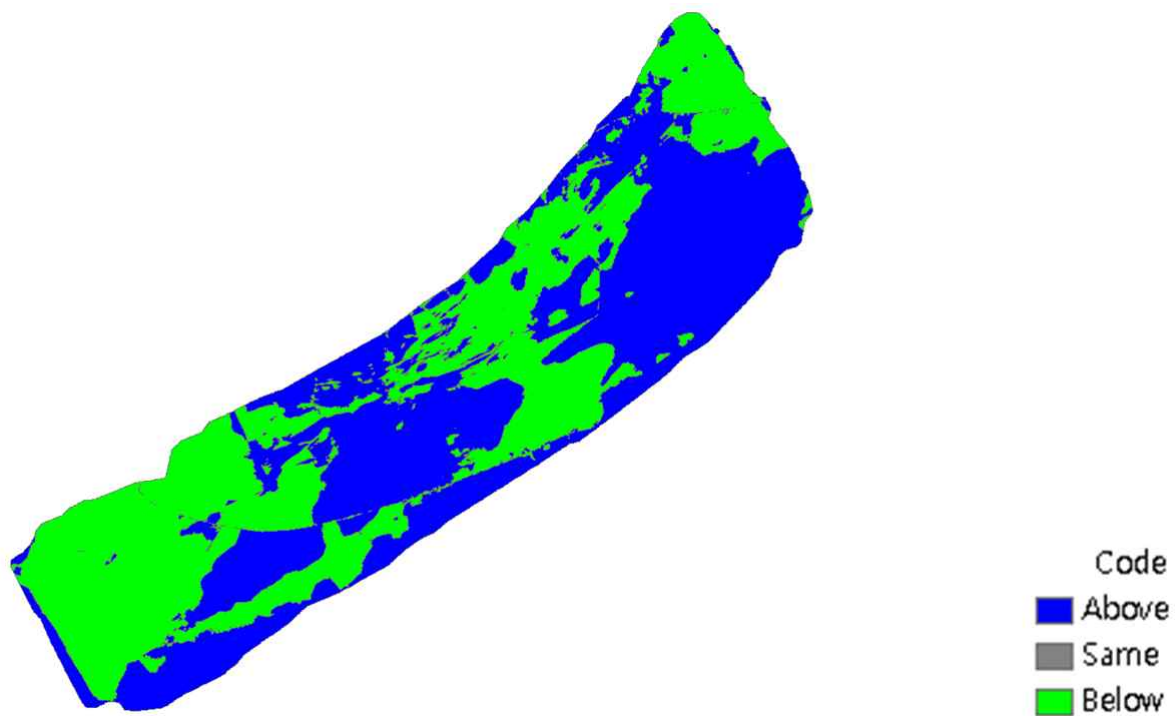


그림 132 싱글빔 에코사운더와 멀티빔 에코사운더 데이터의 표면 차이

멀티빔 에코사운더의 데이터와 높이가 같은 부분은 싱글빔 에코사운더의 측정 부분이었으며, 멀티빔 에코사운더 데이터보다 낮게 나타난 지역의 부피는 61,439.6759m³, 멀티빔 에코사운더 데이터보다 높게 나타난 지역의 부피는 100,442.7184m³였다.

표 7 부피 비교

항목	부피
멀티빔 에코사운더 데이터보다 낮은 지역의 부피	61439.6759
멀티빔 에코사운더 데이터높은 지역의 부피	100442.7184
전체 부피	161882.3943

싱글빔 에코사운더를 이용하여 획득한 데이터는 측선 간격이 넓어 보간하는 과정에서 높이값에 차이가 많이 나타나는 것으로 판단된다.

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

연구의 최종 목표 달성도는 성과기준점검표의 질적 성과지표 및 정량적 목표 달성의 여부로 판단해야 할 것으로 판단됨.

○ 정량목표 참고사항

- 성과점검기준표의 정량적 목표는 특허 출원 1건, 등록 1건, 논문 2건, 시제품 2건, 소프트웨어 9건이며 본 연구의 성과로 계획한 정량적 목표를 모두 달성하였으며 사업화 7건, 포상 2건이 추가 달성됨

○ 질적성과지표 참고사항

- 스마트 로봇선의 성능 검증

: 선박해양플랜트연구소에 의뢰하여 로봇선의 성능을 검증하고자 계획하였음

: 검증 기관이 설계된 대형 선박의 모형을 제작하여 성능을 실험하는 것이 주요 업무로서 소형 무인선을 실험한 전례가 없고 연구기관의 개발 일정과 검증 기관의 일정이 서로 맞지 않아 검증 기관에서 실험을 수행하지 못함

: 이에 부득이하게 3차원 수치해석을 수행함

: 실험을 통한 로봇선의 성능 검증을 위해 검증 기관과 협의를 진행 중임

- 3차원 지형정보 제작 프로그램

: 3차원 지형정보 제작 프로그램과 하천정보 3차원 시각화 프로그램의 데이터 처리 프로세스가 같아서 연구진의 판단 착오로 기능을 분리하지 않고 개발하여 각각의 소프트웨어 저작권 등록이 완료되지 못하고 하천정보 3차원 시각화 프로그램만 등록이 되었음

: 소프트웨어 저작권 등록을 위해 기능을 분리하는 작업을 진행 중임

- KTL 소프트웨어 인증

: 전체 시스템 내에서 각각의 프로그램들이 서로 연계되어 작동되는 특성으로 인해 개별 프로그램들의 인증을 받지 못하였으며 인증을 받을 만한 수준으로 완성도를 높이고 있음

2. 관련 분야 기여도

- 본 연구의 성과물은 실제 국토교통부에서 2017년 12월에 발주한 ‘드론 기반의 하상변동 및 하천 지형조사 시범사업’에 투입하여 성과를 제출함으로써 기술을 입증하였다고 판단됨. 이 시범사업에서 하상지형정보 획득에 자율운항이 가능한 무인선을 투입함으로써 하상지형정보 획득 분야의 국가사업에 자동화, 무인화 기술을 도입한 사례인 것으로 판단됨.

가. 성과기준점검표

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준					해당 기관	예산 (백만 원)	양적 성과목표		
					질적 성과지표		목표치	측정 방법	검증방법				가중치	
총괄	A	수리수문 정보획득 시스템	A-1	스마트로봇선	①	운행속도	최대 5m/s	저항/ 추진 성능 평가	선박해양 플랜트 연구소 결과 보고서	2	KGT	375	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건 SW : 1건	
			A-2	장애물탐지 센서 네트워크	①	탐지거리	최소 1m	탐지 거리 측정	자체 테스트	2	IOT	70	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건 SW : 1건	
			A-3	하상지형정보 획 득시스템	①	프로그램	인증	KTL 인증	KTL인증	2	KGT	80	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건 SW : 1건	
	B	무인 항공 시스템	B-1	3차원 지형정보 제작 프로그램	①	프로그램	인증	KTL 인증	KTL인증	1	KGT	273	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건 SW : 2건	
					②	평면/수준 정확도	10cm/ 20cm	절대 좌표 비교 분석	자체 테스트	1	KGT	50		
			B-2	로봇선 모니터링 프로그램	①	프로그램	인증	KTL 인증	KTL인증	2	KGT IOT	80		
	C	하천지형 관리시스 템	C-1	하천정보 3차원 시각화 프로그램	①	프로그램	인증	KTL 인증	KTL인증	2	KGT	120	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건 SW : 5건	
			C-2	하천 횡단면도 제작 프로그램	①	프로그램	인증	KTL 인증	KTL인증	2	KGT	122		
			C-3	자동유량산출 프 로그램	①	프로그램	인증	KTL 인증	KTL인증	2	KICT	100		
			C-4	수질분포도 자동 작성 프로그램	①	프로그램	인증	KTL 인증	KTL인증	2	KGT	120		
			C-5	퇴적층분포도 자 동작성 프로그램	①	프로그램	인증	KTL 인증	KTL인증	2	KICT	120		
	계										20		1,390	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 2건 시제품 : 2건 SW : 9건

나. 정량적 연구성과 목표 및 달성도(최종)

구분		목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI			
	비SCI			
	계			
국내 논문 게재	SCI			
	비SCI	2	100	2건 게재
	계	2	100	
특허 출원	국내	1	100	1건 출원
	국외			
	계	1	100	
특허 등록	국내	1	100	1건 등록
	국외			
	계	1	100	
인력 양성	석사			
	박사			
	계			
기술 이전	계약 건수	0		7건
	계약액	0		396,413천원
	징수액			
국제 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			
국내 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문			
	연구시설·장비			
	기술요약정보			
	생명자원	생명정보		
		생물자원		
		신품종		
	소프트웨어	9	100	9건 등록
기타	화학물			
	시제품	2	100	2건 제작
	성과 홍보			
	일자리 창출			

다. 성과 목표에 대한 자체 평가

성과 목표	자체 평가
■ 스마트 로봇선 개발	■ 성과물 : 로봇선 선체의 성능 개선 - 헬의 길이를 늘려 부력을 증대시킴 - 추진기의 추력을 2.66배 증대시킴 - 프레임의 무게를 약 28kg 감소시킴 - 자세보정기능이 탑재된 센서를 장착하여 정확도 증가 ■ 성과물 : 로봇선의 운영시스템 개선 - Flow 벡터 산출식, Stand Rotation 벡터 계산식, Move Rotation 벡터 계산식, LOS 알고리즘 적용, 선회반경 산정 알고리즘을 정립하고 이를 복합 적용한 자동운항 알고리즘을 정립 - 정립한 자동운항 알고리즘을 프로그램으로 개발함
■ 장애물탐지 센서 네트워크 개발	■ 성과물 : 센서 네트워크 모듈 제작 - SX1276 LoRa 모듈을 설계하고 회로도 제작 - SX1276 LoRa 통신 모듈 제작
■ 하상지형정보 획득시스템 개발	■ 성과물 : 하상지형정보 처리 프로그램 - GPS, 멀티빔 에코사운더 등 하상지형정보 획득용 센서의 데이터를 수신, 항목별 분류 및 저장, 관리할 수 있는 프로그램 개발
■ 무인항공체 및 운영시스템 개발 및 테스트	■ 성과물 : 무인항공체(드론) - 오픈소스를 이용한 드론 제작 ■ 성과물 : 무인항공체 운항시스템 - 오픈소스를 이용한 수동 및 자동 비행 프로그램 개발 - 로봇선을 추적하며 모니터링 할 수 있는 프로그램 개발 ■ 무인항공체 테스트 - 무인선의 저속 운항시 저고도(약 10m)에서 추적하는 테스트 - 무인선의 저속 및 고속 운항시 고고도(20m 이상)에서 추적하는 테스트
■ 하천지형 관리시스템 설계	■ 성과물 : 유즈 케이스 및 시퀀스 다이어그램 - 하천정보 3차원 시각화 프로그램, 하천 횡단면도 제작 프로그램, 자동 유량 산출 프로그램, 수질분포도 자동 작성 프로그램 등 세부 프로그램에 대한 유즈 케이스 및 시퀀스 다이어그램 제작

■ 하천지형 관리시스템 개발	■ 성과물 : 하천지형 관리시스템 - 하천지형 관리시스템의 개략적 데이터 흐름도 작성 - 하천정보 3차원 시각화 프로그램, 하천 횡단면도 제작 프로그램, 자동 유량 산출 프로그램 개발
-----------------	--

라. 연구 성과

(1) 국내외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
1	수질측정 방법 개선을 위한 무인 탐사체의 개발방안	한국측량학회지	정진우	35권6호	한국	한국측량학회	비SCI	2017년 12월	ISSN 1598-4850
2	다중빔 음향측심기의 내수면 적용성 평가	한국측량학회지	정진우	36권6호	한국	한국측량학회	비SCI	2018년 12월	ISSN 1598-4850

(2) 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록				기 여 율
			출원인	출원일	출원번호	등록번호*	등록인	등록일	등록번호	등록번호*	
1	GPS의 자세 유지 기능을 갖는 수심측량을 위한 무인 로봇선	한국	(주)한국 케이지 티콘설 턴트	2017. 10.23	10-2017- 0137330	-					100
2	솔라셀을 이용하는 부이	한국					주식 회사 아이오 티 융복합 연구소	2018. 04.05	10-18456 35		100

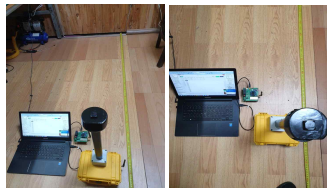
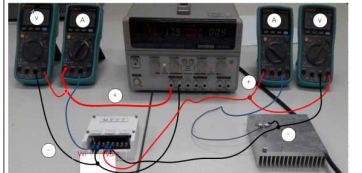
(3) 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	무인선 수동항해 프로그램	2017.11.01	주식회사 한국케이지 티콘설턴트			주식회사 한국케이지티 콘설턴트	100
2	자동유량 산출 프로그램	2018.10.30	주식회사 한국케이지 티콘설턴트	2018.11.22	C-2018-034424	주식회사 한국케이지티 콘설턴트	100
3	하천 횡단면도 제작 프로그램	2018.10.30	주식회사 한국케이지 티콘설턴트	2018.11.19	C-2018-033376	주식회사 한국케이지티 콘설턴트	100
4	하천정보 3차원 시각화 프로그램	2018.10.30	주식회사 한국케이지 티콘설턴트	2018.11.19	C-2018-033377	주식회사 한국케이지티 콘설턴트	100
5	수질분포도 자동작성 프로그램	2018.10.30	주식회사 한국케이지 티콘설턴트	2018.11.19	C-2018-033375	주식회사 한국케이지티 콘설턴트	100
6	무인선의 메인보드 제어 프로그램 V.1.0	2018.10.16	주식회사 한국케이지 티콘설턴트	2018.12.28	C-2018-040428	주식회사 한국케이지티 콘설턴트	100
7	무인선의 데이터 통신 제어 프로그램 v.1.0	2018.10.16	주식회사 한국케이지 티콘설턴트	2018.12.28	C-2018-040627	주식회사 한국케이지티 콘설턴트	100
8	CCHE2D 모형 하상변동 분석 프로그램 알고리즘 설계서	2018.12.27	한국건설 기술연구원	2019.01.02	C-2019-000030	한국건설 기술연구원	100
9	유량 흐름특성 수치모형/2차원 유사이동 모형에 의한 2차원 하상변동 분석 프로그램	2018.12.27	한국건설 기술연구원	2019.01.07	C-2019-000563	한국건설 기술연구원	100

(4) 시제품

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야
1	스마트 로봇선	2018년12월	(주)프로텍 및 자체 제작	(주)한국케이지티콘설턴트	수심측량
2	장애물탐지 센서 네트워크	2018년12월	(주)주니스 및 자체 제작	(주)한국케이지티콘설턴트	수심측량

(5) 현장시험

번호	현장시험명	시험일	시험장소	주요내용
1	스마트 로봇선 운영 시험	2017.10.18	인천광역시 송도동 유수지	유수지에서 스마트로봇선의 하드웨어의 안정성 및 운용 성능을 시험 함 
2	장애물 탐지 거리 시험	2018.11.27	아이오티융복합연구소	[무인선 하드웨어 운용시험] 벽면을 기준으로 장애물 탐지 센서를 이동시켜 실측 거리와 센서에서 탐지된 거리를 비교 시험 함. 
3	Automatic Charging System 전력 생산 효율성 시험	2018.10.05	아이오티융복합연구소	[장애물 인식 거리 시험] Automatic Charging System 알고리즘에 대한 전력 생산의 효율성을 시험한 결과 약 85%의 효율로 나타남.  [배터리 충전 효율 시험]

(6) 정책채택

번호	구 분	정책명	관련기관 (담당부서)	시행일시	채택내용
1	정책 (예산반영)	전국주요하천 에 드론기반 하상변동조사 및 하천측량 시범사업 실시	국토해양부 (하천계획과)	2018. 01	2019년부터 전국의 국가 및 지방하천을 대상으로 하천지형조사, 하상변동 조사 등에 드론과 무인선을 활용할 예정임. 이에, 하상측량 시범사업을 착수하여 표준수행절차와 품셈의 현장 적용성과 활용성 검증
2	정책 (예산반영)	전국주요하천 에 드론기반 하상변동 조사 및 하천측량 사업 실시	국토해양부 (하천계획과)	2019. 01	전국의 국가 및 지방하천을 대상으로 하천지형조사, 하상변동 조사 등에 드론과 무인선을 활용 하천측량 실시

(7) 설계기준

번호	구 분 (설계기준/ 시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	설계기준/시방 서/지침 명칭	반영일시	반영내용
1	설계기준	신규	하천설계기준	201901	유무인 비행장치를 이용한 항공촬영, 수중측량 등의 방법으로 하도 조사구간전반에 걸쳐 하도의 특성을 파악한다

(8) 사업화/제품화

번호	사업화명	사업화내용	업체명	사업자 등록번호	매출액 (천원)	매출 발생년도	고용실적 (명)
1	대청도, 대연평도 해수담수화 시설공사 기본 및 실시설계 용역 중 측량부문	무인선을 이용한 수심측량 및 드론을 이용한 육상측량	(주)장원	139-81-27418	12,000천원	2018.06.29	1
2	고양방송 영상밸리 무인항공 촬영 용역	드론을 이용한 항공촬영	경기도시공 사	124-82-08978	4,900천원	2017.	-
3	송도11-1공구기반 시설건설공사 기본 및 실시설계용역	무인선을 이용한 수심측량 및 드론을 이용한 육상측량	인천광역시 경제자유구 역청	131-83-03245	344,030천원	2018.12.10	1
4	드론기반 하상변동 및 하천지형조사 시범사업 용역	무인선을 이용한 수심측량 및 드론을 이용한 육상측량	국토교통부 익산지방국 토관리청	403-83-01161	49,643천원	2018.06.29	-
5	하천 드론측량 용역	무인선을 이용한 수심측량	주식회사 에스지원정 보기술	135-81-37911	34,750천원	2018.08.31	-
6	무인항공기 활용 도시대기측정소 주변지역 오염원 조사용역	드론을 이용한 항공촬영 및 오염원 분석	재단법인 인천경제산 업정보테크 노파크	139-82-02466	18,027천원	2018.12.26	-
7	무인항공기 활용 유해 해양생물 서식/분포현황 조사용역	드론을 이용한 항공촬영을 이용한 해양생물 분포현황 조사	재단법인 인천경제산 업정보테크 노파크	139-82-02466	38,352천원	2018.12.26	1
8	드론을 활용한 수질오염원 실태조사	드론을 이용하여 한강수계 일원의 오염원 조사	한강수계관 리위원회	126-82-05695	33,000천원	2018.10.12	-

제5장. 연구개발성과의 활용계획

- 기술수요기관인 국토교통부, 환경부 등의 유량측정 및 수질측정사업에 참여
 - 전국 약 3,800개소의 하천 및 지천, 한국농촌공사에서 관리하는 3,277개소의 저수지 유량측정 및 수질관리 사업에 참여.
 - 참여기업에 전담 사업부서 또는 기술이전을 통한 벤처 설립을 통해 사업화함.
 - 주요 하천 및 호소에 대한 하상 정리 공사에 필요한 준설토의 퇴적 현황 조사에 활용.
 - 수질오염 공정시험법에 의해 채취되는 시험수의 정확한 채수에 활용.
 - 수요기관의 기존 방법과 비교함으로써 기술 경쟁력, 작업효율성, 용역비 절감 등 직접적인 비교를 통한 정확도 및 신뢰성 확보.
 - 기술 수요기관과의 공동 기술 개발을 통한 실무 맞춤형 세부 기술 개발.
 - 기술 및 시장 변화에 적합하도록 관리시스템 업그레이드 전략 수립.
 - 국토교통부 등으로 부터의 신기술 인증에 의한 기술적 가치 인증.
 - 대규모 기술전시회 참여 및 홍보물 제작 등을 통한 홍보.
 - 해외 장비 판매 또는 용역사업을 수행하고 국제 특허 등록 및 해외 기술용역 및 시스템 개발을 통한 수출 확대를 통해 사업화.
-

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

- 드론 라이다 시스템
 - 회전익 드론에 경량 레이저 스캐너(라이다)를 장착한 시스템
 - 일본(어뮤즈 원셀프 사의 TDOT), 프랑스(옐로우 스캔 사의 옐로우 스캔)
 - 드론에 의한 사진 측량의 경우 나무나 풀 등에 의해 지형이 가려져서 정확한 3차원 지형정보 획득이 곤란하지만 레이저 스캐너의 경우 자연물에 영향을 받지 않고 정확한 3차원 지형정보 획득이 가능함
 - 장비 자체도 고가이지만 자체 개발한 데이터 처리 프로그램이 고가임
- 무인선
 - 무인선은 새로운 기술이 적용된 사례는 조사되지 않았으며 현재는 수중 드론의 개발이 활발하게 진행되고 있음

제7장. 연구개발성과의 보안등급

일반

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호

- 해당사항 없음

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

- 초경량비행장치사용사업 등록(제2017-137호)
 - 초경량비행장치 신고
 - 영업배상책임보험 가입
- 핵심 연구원의 드론융합기술교육 기술분석 전문가 과정 수료(드론 조종 기술 교육 포함) 및 자격증 획득
- 무인선 운항시 선외기(모터)를 장착한 고무보트 및 구명조끼 구비

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	수질측정 방법 개선을 위한 무인 탐사체의 개발방안	(주)한국 케이지 티콘설 턴트	주저 자	한국측량학 회지		2017.12.31	단독	비SCI
2	논문	다중빔 음향측심기의 내수면 적용성 평가	(주)한국 케이지 티콘설 턴트	주저 자	한국측량학 회지		2018.12.26	단독	비SCI

제11장. 기타 사항

- 국토교통부 제2회 하천측량·하상변동조사 드론 경진대회 수행
 - 2017년 5월 22일 ~ 5월 26일 5일간 한강 광나루 한강공원 인근에서 진행
 - 1회 대회에서는 세부 구분 없이 최종 결과물만으로 평가
 - 2회 대회에서는 측량부문과 시스템부문의 2개 부문으로 세분화하여 진행
 - 본 과제의 주관연구기관인 한국케이지티콘설턴트는 시스템부문을 담당하여 3위에 입상
 - 무인장비 및 시스템의 운용, 처리 기술이 우수하다는 것을 입증하는 결과라 할 수 있음
 - ※ 시스템 부문 평가 항목 : 사용 장비 및 운용·처리 기술의 우수성 평가(국산화, 성능, 창의성)
 - 주최측에서 유인 측량선을 포함하였기 때문에 타 업체는 완전한 무인측량이라고 하기 곤란한 부분이 있음
- 국토교통과학기술진흥원의 발주처 찾아가는 기술설명회 참석(첨부1)
 - 2017년 10월 12일 한국수자원공사 본사 기획실
 - 국토교통부 산하 기관이 국토교통과학기술진흥원의 R&D 기술 중에서 필요로 하는 기술의 개발자에게 기술에 대한 설명을 듣는 행사
 - 한국수자원공사 본사 기획실에서 주관연구기관의 선행 기술에 대하여 관심을 가지고 요청하여 해당 기술에 대하여 설명하고 담당자와 현재 기술에 대하여 수시로 연락을 갖기로 함

제12장. 참고 문헌

1. 박요섭, 김학일, 이용국, 석봉출, SeaBeam2000 다중빔 음향측심기를 이용한 해저면 맵핑시스템 개발, Journal of the Korean Society of Remote Sensing, Vol.11 No.3, 한국RS학회, 1995, pp129-145.
 2. 서정훈, 서동주, 이종출, GPS와 음향측심기 조합에 의한 저수용량 산정, 한국지형공간정보학회지, 제10권 제1호, 한국지형공간정보학회, 2002, pp27-35.
 3. 오윤석, 배상근, 김병국, 수량계산을 위한 LiDAR와 SBES데이터 통합프로그램 개발에 관한 연구, The Journal of GIS association of Korea, Vol.13 No.2, 2005, pp157-166.
 4. 은진개발(주), 전자계측장치와 GIS를 이용한 준설지점위치결정에 의한 그라브준설작업관리 System 개발, 건설교통부, 2000.
 5. 지광훈, 원격탐사와 Spatial Geoscience Data의 정량적 평가에 의한 자원탐사 기술 개발 연구, 한국지질자원연구원, 1995.
 6. 지규인, GPS/INS/CDMA 통신망 통합 복합 항법시스템, 과학기술부, 2004.
 7. 정영동, 음향측심기와 위성항법을 이용한 하천의 수심 측량, 한국측량학회지, 제20권 제4호, 한국측량학회, 2002, pp.375-381.
 8. 최병길, 무선 인터넷과 DGPS를 이용한 원격측정 로봇선 개발, 건설교통부, 2004.
 9. LG-EDS 시스템아이엔텍팀, 무선인터넷 어플리케이션프로그래밍, 삼양출판사, 2000.
 10. Atkinson, L.V. and Harley, P.J., An Introduction to Numerical Methods with Pascal, Addison-Wesley publishing company, 1987.
 11. Bishop, J. and Bishop, N., Pascal Precisely for engineers and scientists, University of Southampton, Addison-wesley publishing company, 1990.
 12. Caughey, D., A., Seabed classification from acoustic echosounder returns, Ph.D dissertation, University of Victoria, Canada, 1997.
 13. Comfile Technology, Manual of Servo Motor Controller, 2001, pp1-4
 14. Comfile Technology, PICBASIC 2000 Data Book, 2000, pp78-79
 15. Frees, E.W., Data Analysis Using Regression Models, Prentice Hall, 1996.
 16. Henderson, D.W., Differential Geometry - a Geometric Introduction, Prentice Hall, 1998.
 17. Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J., Global Positioning System Theory and Practice 4th revised edition, Springer Wein NewYork, 1997.
 18. Kammerer, E., L., L., A new method for the removal of refraction artifacts in multibeam echosounder systems, Ph.D dissertation, University of New Brunswick, Canada, 2000.
 19. Lee, Y.C., Application of WADGPS method for Navigation and Acquisition of the Geo-Spatial Information, Proceedings of Korean Society of Civil Engineer, Vol.IV, 2000, pp569-572
 20. Leick, A., GPS Satellite Surveying, John Wiley & Sons, 1990.
 21. Logsdon, T., The Navstar Global Positioning System, Van Nostrand Reinhold, 1992.
 22. McLeod, R.J.Y. and Baart, M.L., Geometry and Interpolation of Curves and Surfaces, Cambridge University Press, 1998.
 23. Sickel, J.V., GPS for Land Surveyors, Ann Arbor Press Inc., 1996.
 24. Sohn, H.G., A Study on the Improvement of GPS Position Accuracy for Car Navigation System, Proceeding of Korean Society of Civil Engineer Vol.IV, 2000, pp565-568
-

-
24. Stephens, R., Visual Basic Graphic Programming, Wiley, 1999.
 - Strang, G. and Borre, K., Linear Algebra, Geodesy, and GPS, Wellesley- Cambridge Press, 1997.
 25. Trimble Navigation Limited, Survey Controller Reference Manual, 1998.
 - US Army Corps of Engineers, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, EM 1110-1-1003, 1991, pp4.1-4.5
 26. Vanicek, P. and Krakiwsky, E., Geodesy the Concepts, Elsevier Science Publishers Bov., 1986.
 27. Xu, B., A New Navigation Algorithm Using Only Information From Measurement, Proceedings of ION GPS-95 Part 1 of 2, September 12-15, 1995, pp309-318
 28. <http://www.cee.hw.uk/~jan/hyper00/curvesurf/Bézier.html>
 29. <http://www.cee.nw.ac.uk/~jth/es12/tutorial/steppers/software.htm>
 30. <http://www.comfilecom.co.kr>
 31. <http://www.kentaurus.com/vmsintro.htm>
 32. http://www.lg019.co.kr/lgtel_frame.html/019service/data/wirelessdata/main.html
 33. <http://www.worldservo.com/html/arc.htm>
-

부록

USV/UAV 운용 매뉴얼

1. UAV 환경 요구사항

- 날씨가 좋지 않을 때는 기체를 사용하지 않는다. 풍속이 10m/s를 초과하거나, 눈 또는 비가 오거나 안개가 낀 경우가 이에 해당한다.
- 시야가 확보된 넓은 지역에서 비행한다. 고층 건물과 대형 철골 구조물은 자이로나 GPS의 정확성에 영향을 줄 수 있으므로 주의한다.
- 장애물, 군중, 고압 전선, 나무 등을 피한다.
- 기지국과 송신탑을 비롯한 높은 수준의 전자기파가 발생하는 지역을 피해 전파 간섭을 최소화한다.
- 명확한 지면 레벨의 변화가 있는 장소(예: 빌딩 내부에서 외부로 비행)와 GPS 신호가 약한 경우 기체를 작동하지 않는다.
- 기체와 배터리의 성능은 공기 밀도나 기온과 같은 환경적 요소의 영향을 받는다. 해발 4,000m 이상의 고도에서 비행할 때는 배터리와 기체 성능이 영향을 받을 수 있으므로 주의한다.

2. USV 환경 요구사항

- 날씨가 좋지 않을 때는 운항하지 않는다. 유속이 5m/s를 초과하거나 눈 또는 비가 오거나 안개가 끼는 등 UAV를 통해 USV를 모니터링하기 곤란한 경우가 이에 해당한다.
- 비가 온 다음 날에는 수면의 상태를 확인한다. 나무 같이 선체를 파손할 수 있는 대형 장애물이나 수초, 밭줄 같이 스러스터의 프로펠러에 감겨 정상 운행을 방해할 수 있는 장애물이 부유하고 있는지 확인한다.
- 작업 전 수중 구조물의 유무를 확인한다. 수상 장애물은 장애물 탐지기를 이용해 탐지할 수 있으나 수중 장애물의 경우 선체 또는 스러스터를 파손시킬 수 있으므로 작업 전에 미리 파악하여 작업 범위에서 제외하거나 수동으로 운항하여 피해를 예방한다.

3. 비행 전 체크리스트

- 조종기 및 드론의 배터리는 완전히 충전되어 있어야 한다.
- 프로펠러가 제자리에 고정되어 있어야 한다.
- 짐벌이 정상적으로 작동해야 한다.
- 모터가 정상적으로 시동되어 작동되어야 한다.
- 비행 전 점검리스트를 작성하고 교차 확인한다.

4. 운항 전 체크리스트

- 발전기의 연료인 휘발유는 완전히 채워져 있어야 한다.
- 헬에 파손 부위가 있어서는 안 된다.
- 스러스터는 이물질이 묻지 않은 청결한 상태여야 한다.
- 전기장치 및 장비가 설치된 장비함은 방수상태여야 한다.
- 전기장치 및 장비는 장비함 내에 고정되어 있어야 한다.
- 운항 전 점검리스트를 작성하고 교차 확인한다.

비행 전 점검리스트

비행 전 점검리스트			PM 일자 :
			PM 확인자 :
체크 항목	양호	불량	SPEC.
로터 고정 및 파손			
짐벌(3축 회전)			
카메라 고정			
배터리 고정			
댐퍼 상태			
각종 배선 접속			
모니터 IOSD 표시			
기체 먼지오염			
기체 시동 소음			
배터리			
기타 의견			

운항 전 점검리스트

운항 전 점검리스트			PM 일자 :
			PM 확인자 :
체크 항목	양호	불량	SPEC.
스러스터 고정 및 파손			
헬 파손			
발전기 유류 충전			
장비함 방수 상태			
기기 및 장비 고정			
센서 작동 여부			
센서 데이터 입력 여부			
MBES 데이터 입력 여부			
무선 통신 강도			
기타 의견			

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.