

무인 로봇선을 활용한 자동 유량 산출 및 채수 시스템 개발 최종보고서

2015. 12. 30.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 인천대학교 산학협력단
공동연구기관 / (주)한국케이시티콘설턴트

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 강 호 인 장관 귀하

이 보고서를 "무인 로봇선을 활용한 자동 유량 산출 및
채수 시스템 개발에 관한 연구"과제(세부과제 "무인 로봇
선 개발에 관한 연구")의 보고서로 제출합니다.

2015 . 12 . 31

주관연구기관명 : 인천대학교 산학협력단

주관연구책임자 : 최 병 길 교수

연 구 원 : 나 영 우

" : 김 성 표

" : 오 민 균

" : 박 훈 진

" : 송 동 열

" : 정 유 라

" : 정 유 진

" : 김 연 희

" : 고 영 석

" : 이 제 성

" : 김 성 은

" : 이 영 준

" : 강 충 모

협동연구기관명 : (주)한국케이지티콘설턴트

협동연구책임자 : 정 진 우 대표이사

보고서 요약서

과제고유번호	14CCTI-C063947-03	해 당 단 계 연 구 기 간	2014.8.1.~ 2015.12.31	단 계 구 분	(3)/(3)
연 구 사 업 명	건설교통기술 촉진연구사업				
연 구 과 제 명	최 상 위 과 제 명	무인 로봇선을 활용한 자동 유량 산출 및 채수 시스템 개발			
	단위 과제명	무인 로봇선 개발			
연 구 책 임 자	최 병 길	총 연구기간 참 여 연구원 수	총 : 15명 내부 : 9명 외부 : 6명	총 연구비	정부 : 872,000천원 기업 : 274,700천원 계 : 1,146,700천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	인천대학교 산학협력단		참여기업명	(주)한국케이지티콘설턴트	
국제공동연구	상대국명 : 상대국연구기관명 :				
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	334
본 연구는 무인 로봇선에 GPS, 소나센서, 수질센서, 채수장치를 탑재하고 이를 이용하여 수 자원 정보 및 하상 지리정보를 획득하는 시스템과 획득한 데이터를 이용하여 자동으로 분석 자 료를 작성할 수 있는 시스템을 개발하였다.					
1. 무인 로봇선 개발					
－ 수질측정센서, 음향측심기, 사이드스캔소나, 지층탐사기, GPS를 탑재하고 하천의 환경 및 지형 정보를 획득할 수 있는 무인로봇선 개발					
－ 원하는 지점까지 스스로 이동할 수 있는 자동운항시스템 개발					
－ 센서, 자동채수시스템 및 선체를 제어할 수 있는 무인선용 통합 컨트롤 장치 및 프로그램 개발					
2. 자동채수시스템 및 수문정보 획득시스템					
－ 다수 지점의 시료를 채수할 수 있는 채수 컨테이너 개발					
－ 유속 및 현장획득 가능한 수질센서 탈부착 모듈 개발					
－ 원하는 수심까지 채수 컨테이너를 내려 보낼 수 있는 수직 이동 조절 장치 개발					
3. 하천정보 관리시스템					
－ 2차원 수중 영상과 3차원 위치좌표를 결합하여 하상지형을 3차원 시각화할 수 있는 기술 및 프로그램 개발					
－ 채수지점 또는 수질측정 지점의 단면을 자동으로 제작하는 횡단면도 제작 프로그램 개발					
－ 하상 단면 및 유속 데이터를 이용하여 유량을 계산해주는 자동 유량 산출 프로그램 개발					
－ 수질측정 데이터를 이용하여 수질분포도 자동 작성 프로그램 개발					
－ 3차원 하상 분포도 자동 작성 프로그램 개발					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	무인 로봇선, 유량산출, 자동채수, 하천정보관리, 수질측정			
	영 어	Smart USV, Discharge Calculation, Automatic Water Sampling, River Information Management, Water Quality Measurement			

요 약 문

I. 제 목

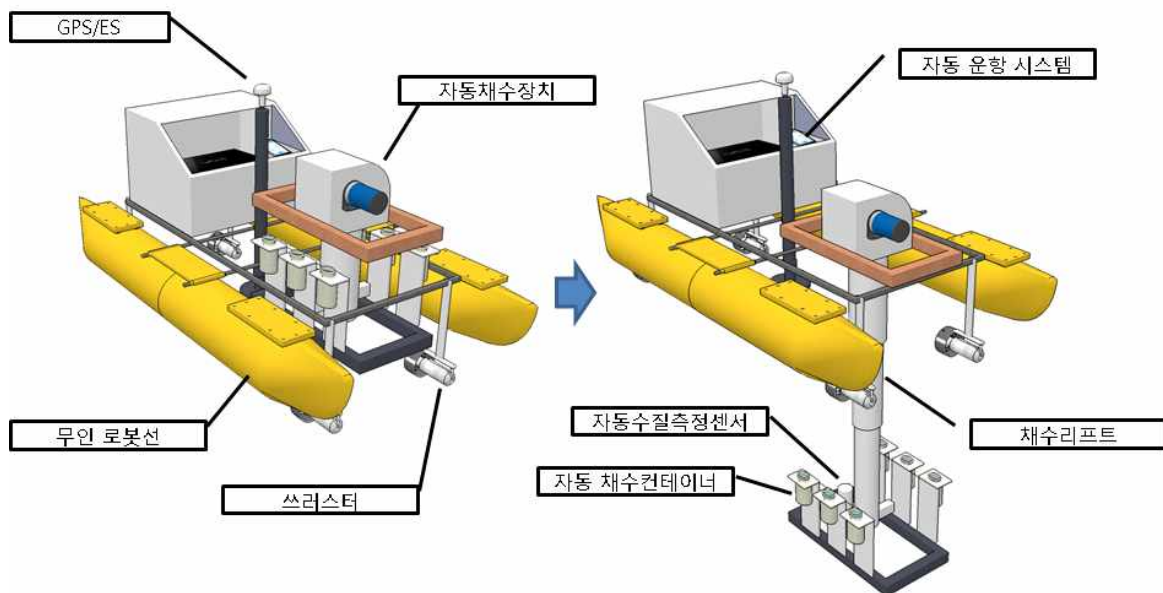
무인 로봇선을 활용한 자동 유량 산출 및 채수 시스템 개발

II. 연구개발과제 개요

(목적, 필요성, 범위 등을 기술)

본 연구는 무인 로봇선에 GPS, 음향측정센서, 수질센서, 채수장치를 탑재하고 이를 이용하여 수자원 정보 및 하상 지리정보를 획득하는 시스템과 획득한 데이터를 이용하여 자동으로 분석 자료를 작성할 수 있는 수질측정을 위한 채수와 동시에 유량측정이 가능한 시스템을 개발하는 목적이 있다.

본 연구의 최종목표는 무인 로봇선에 다양한 측정 센서를 이용한 수중 공간 정보 획득을 통해 유량을 자동으로 산출하는 기술과 정밀 수질 측정을 위한 자동 채수 시스템을 개발하는데 있다. 즉, 다양한 환경조건에서 안전하게 수중 공간 정보 획득을 위해 음향측정센서, 수질센서, 자동 채수 장치 등이 탑재된 무인 로봇선을 개발하고, 유량 정보, 하상 지형 정보, 수질 정보 등을 획득하고 관리할 수 있는 자동 유량 산출 및 채수시스템을 개발하는데 있다.



시스템 개요도

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, 측정 빈도를 높이기 위해서는 정확한 수심에서 자동으로 채수할 수 있는 장치의 개발이 필요하다.

국가수질측정망을 권역별로 유역밀도와 하천밀도를 비교 분석해 보면 상류나 하류지역보

다는 중류지역을 위주로 모니터링이 이루어짐을 알 수 있다. 즉, 기상의 변화나 자연적 오염원의 유입이 높은 상류지역과 홍수에 민감한 하류지역에 위치한 수질측정망의 수가 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 또한 대부분 수질측정 주기가 길어 기상자료나 유량자료와 연계하여 사용하기 곤란하다는 문제점이 있는 것으로 나타나고 있다. 따라서 필수적인 지점에서는 기상, 유량, 수질 자료가 함께 연계되어 사용될 수 있도록 측정 빈도를 높여야 한다. 그러기 위해서는 현재 수작업으로 진행되고 있는 시료 채수방법을 자동화하는 방안을 마련하여야 한다.

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

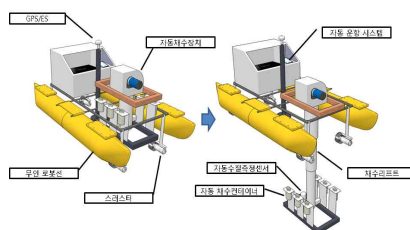
본 연구개발에서 1차년도에는 무인 로봇선 개발을 위해 로봇선 개량, 무인 로봇선용 제어 모듈 개발, 무선 통신 기반 원격제어 플랫폼 개발하였으며, 자동채수시스템 개발을 위해 자동채수시스템 설계, 채수컨테이너 개발, 채수 붐을 개발하였다. 또한 하천정보 관리시스템 개발을 위해 하천정보 관리시스템 설계, 하상정보 3차원 시각화 프로그램을 개발하였다.

2차년도에는 무인 로봇선 개발을 위해 소나데이터 처리 모듈 테스트 및 보완, 자동운항시스템 개발, 유속/수질센서 장착 및 현장테스트, 자동채수시스템 개발하였으며, 자동채수시스템 개발을 위해 채수 컨테이너와 채수 붐을 통합하고 컨트롤 시스템을 개발하였다. 또한 하천정보 관리시스템 개발을 위해 횡단면도 작성 프로그램, 유량 자동산출 프로그램을 개발하였다.

3차년도에는 수질분포도 작성 프로그램, 퇴적층 분포 시각화 프로그램을 개발하고, 무인 로봇선의 개별 시스템들을 통합하고 모든 기능 시험 및 보완을 통해 무인 로봇을 이용한 무인 로봇선을 활용한 자동 유량 산출 및 채수 시스템의 개발을 완료하고 현장 시범적용을 통해 현장 적용능력을 평가하고 시스템개발을 완료하였다.

○ 무인 로봇선 개발

- 수질측정센서, 음향측심기, 사이드스캔소나, GPS 등을 탑재하고 하천 및 호소의 환경 및 지형 정보를 획득할 수 있는 무인 로봇선 개발
- 원하는 지점까지 스스로 이동할 수 있는 자동운항시스템 개발
- 센서, 자동채수시스템 및 선체를 제어할 수 있는 무인선용 통합 컨트롤 장치 및 프로그램 개발



자동운항이 가능한 무인 로봇선



소형추진기

○ 자동채수시스템 및 수문정보 획득시스템

- 다수 지점의 시료를 채수할 수 있는 채수 컨테이너 개발
- 유속 및 현장획득 가능한 수질센서 탈부착 모듈 개발
- 원하는 수심까지 채수 컨테이너를 내려 보낼 수 있는 수직 이동 조절 장치 개발



채수 리프트 채수 컨테이너

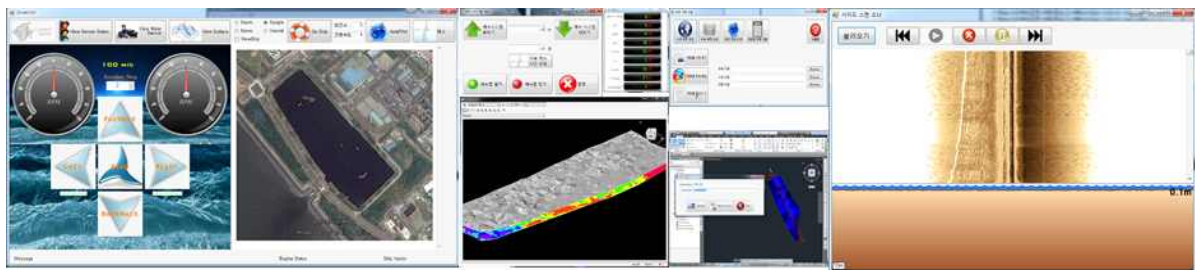
GPS

수질센서

음향측정시스템

○ 하천정보 관리시스템

- 2차원 수중 정보와 3차원 위치좌표를 결합하여 하상지형을 3차원 시각화할 수 있는 기술 및 프로그램 개발
- 채수지점 또는 수질측정 지점의 단면을 자동으로 제작하는 횡단면도 제작 프로그램 개발
- 하상 단면 및 유속 데이터를 이용하여 유량을 계산해주는 자동 유량 산출 프로그램 개발
- 수질측정 데이터를 이용하여 수질분포도 자동 작성 프로그램 개발
- 3차원 하상 분포도 자동 작성 프로그램 개발



IV. 최종 연구성과 및 적용실적

○ 공공적 성과

- 무인의 자동화된 시스템을 활용한 효율적인 수자원 관리 가능
- 위험지역 및 오염지역에서의 채수 활동과정에서의 안전사고 예방
- 자동측정 센서를 활용한 수자원정보의 신뢰성 확보
- 자동채수장치를 통해 환경부의 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조에 따라 고시된「수질오염공정시험기준」중에서 “시료의 채취 및 보존 방법(ES 04130.1a)”의 변경(안)을 제시함

○ 기술적 성과

- 자동으로 운항이 가능하며, 실시간 정보를 수집하고 전송할 수 있는 무인 로봇선 개발
- 수직체인을 이용한 수직이동 조절장치 개발과 기계식 공압 밸브를 이용하여 비전기식으로 수중에서 자동개폐가 가능한 기술 개발
- 실시간 수자원정보 획득 및 3차원 시각화 기술 개발
- “채수장치”와 “채수용 무인선박”에 대한 기술적 가치를 인정받아 2건의 특허와 “무인 로봇선의 자동운항 및 모니터링 프로그램” 등 기술개발 과정에서 도출된 프로그램 3건에 대한 지식재산권 등록이 완료됨.

○ 학술적 성과

- 지정 경로를 자동으로 운항 할 수 있는 자동운항 알고리즘 정립
- 쌍동선 형태로 4개의 추진기를 사용함으로써 고출력의 방향전환이 빠른 선체 운항 방법 정립
- 모터를 이용하여 승강운동이 가능한 수직 이동 조절방법과 비전기식의 자동개폐 방법 정립
- 자동측정 센서를 활용한 실시간 수자원 정보 획득 및 데이터 분석방법 정립
- “무인 측량선을 활용한 수중공간정보 획득에 관한 연구”등 7편의 논문을 관련학회의 학술대회에 발표함

○ 경제적 성과

- 자동 운항을 통한 인력 및 비용 절감효과
- 유량 산출을 위한 현장 조사 시간 단축을 통한 비용 절감효과
- 자동수질측정 및 자동채수를 통한 수질조사 비용 절감
- 자동 유량 산출 및 수질조사 사업이라는 새로운 시장 형성을 통한 참여기업의 매출 증대

○ 기타 성과

- 횡단면도 제작 프로그램 및 자동 유량 산출 프로그램을 활용한 사회기반시설물의 기본설계 및 실시설계에 활용함으로써 보다 정확하고 신속한 설계가 이루어 질 수 있을 것으로 기대됨.
- 비전기식 개폐장치의 경우 유류탱크와 같은 폭발위험 시설에 적용 할 수 있을 것으로 기대됨.
- 클로로필-a 측정센서를 부착할 경우 하천 및 호소에서의 녹조농도 측정에 활용함으로써 환경오염 모니터링이 가능 할 것으로 기대됨.

○ 참여기업에서는 다음과 같은 용역사업을 통하여 기술의 현장적용, 시험시공 등 성능·안전성 검증을 실시하였음.

- 새만금 동서2축도로 건설공사 기본설계 용역, 수심측량, 도화엔지니어링, 2013
- 성주대교 개축공사 실시설계 용역, 수심측량, 동성엔지니어링, 2013

- 왕송 레일바이크설치사업 기본 및 실시설계 용역, 수심측량, 신명건설기술공사, 2014
- 낙동강 창녕 워터플렉스 조성사업 기본 및 실시설계, 측량, 경호엔지니어링종합건축사사무소, 2015

V. 연구목표 달성 및 효과

본 연구는 총 3차년도로 나뉘어 개발되었으며, 다음 표와 같이 연차별 성과목표를 모두 달성하였으며 일부 성과에 대해서는 초과 달성한 것으로 판단된다.

- 점 측정 또는 선형 측정 후 오차보정 이론을 적용하여 기존 유량 산출방법보다 정밀하고 정확하게 유량을 산출할 수 있을 것으로 기대됨.
- 환경산업, 건설산업 등과 연계하여 환경평가, 수공구조물 설계시의 기초 자료를 제공할 수 있으며, 관련 분야에 특성화된 분석 프로그램 개발이 가능하다. 이를 통해 적용 분야를 넓혀나갈 수 있을 것으로 기대됨.
- 자동채수시스템에 의해 채수 속도 및 작업효율성이 기존 방법 대비 30%이상 증대될 것으로 기대됨.
- 무인 원격측정 방법이므로 작업자의 안전이 확보되고 작업 자원이 절감될 수 있을 것으로 기대됨.
- 지상의 3차원 데이터와 연계하여 종합적인 입체국토관리에 활용 될 수 있을 것으로 기대됨.

VI. 연구성과 활용 계획

본 기술개발을 통한 연구 성과의 활용을 극대화하기 위해 다음과 같은 방안을 수립하였다.

- 기술수요기관인 국토교통부, 환경부, 한국수자원공사, 한국농어촌공사 등의 유량측정 및 수질측정사업에 참여
- 전국 약 3,800개소의 하천 및 지천, 한국농촌공사에서 관리하는 3,277개소의 저수지 유량 측정 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.

목 차

제1장 연구개발과제 개요	1
제1절 연구개발의 목적 및 필요성	1
제2절 연구개발의 내용 및 범위	5
제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황	8
제4절 연구개발 결과가 관련분야에서 차지하는 위치	14
제2장 연구개발 수행 내용 및 결과	15
제1절 연구수행 전략 및 방법론	15
제2절 자동 유량 산출 및 채수 시스템 개발 결과	19
제3절 시스템 적용 실험 및 분석 결과	81
제3장 연구성과 및 적용실적	128
제1절 핵심요소기술별 성과물	128
제2절 주요 연구성과	131
제3절 기술 실시 및 적용사례	138
제4절 기술개발 성과의 국내외 시장 전망	142
제4장 연구목표 달성 및 효과	146
제1절 연구개발 최종목표 달성도	146
제2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석	148
제3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석	149
제4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석	154
제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성	155
제1절 연구성과 향후 활용방안	155
제2절 추가연구 필요성	155
참고문헌	156

부록 1. 논문, 특히 등 정량적 성과와 정성적 성과	158
부록 2. GPS에코사운더 측정 데이터 1	161
부록 3. GPS에코사운더 측정 데이터 2	165
부록 4. 예정항로 일치 여부 분석 결과	169
부록 5. 유속 및 수질 센서 측정 데이터	171
부록 6. 수질 센서 측정 데이터	175

표 목 차

표 2.1 국가별 수위 관측소 밀도	2
표 2.2 국가수질측정망의 조사항목, 횡수 및 시기	4
표 2.3 중권역별 하천측정망의 밀도 비교	5
표 2.4 연차별 연구목표 및 주요 연구내용	16
표 2.5 기술개발 세부내용 및 추진방법	17
표 2.6 수질오염공정시험기준 변경방안	20
표 2.7 Seabotix사 HPDC1513 모델 쓰리스터의 주요사양	33
표 2.8 무인 로봇선 선체의 제원	34
표 2.9 전원공급 장치의 기본사양	35
표 2.10 자동수질 측정센서의 사양	37
표 2.11 하상정보 수집을 위한 음향측정센서의 세부 사양	38
표 2.12 유속계 사양	39
표 2.13 지그비 통신장치 세부 사양	41
표 2.14 관절 각도에 따른 수평 및 수직 거리	47
표 2.15 요구 깊이에 따른 회전수	49
표 2.16 하천정보 관리 시스템의 기능	57
표 2.17 GPS와 음향측심기의 원시 데이터	74
표 2.18 실험에 사용된 장비의 제원	88
표 2.19 로봇선 속도 분석 결과	92
표 2.20 GPS와 음향측심기의 원시 데이터	92
표 2.21 인접성 분석결과의 기술통계값	97
표 2.22 무선 인터넷 품질 비교	99
표 2.23 DB에 저장된 송수신명령 원시데이터	105
표 2.24 대상지역의 측정 수질 정보 비교	118
표 2.25 수질 분포도 작성 결과	123
표 2.26 현장적용 실험 결과	127
 표 3.1 학술적 성과	 131
표 3.2 특허등록 현황	132
표 3.3 소프트웨어 등록 현황	135

그림 목 차

그림 2.1 시스템 개요도	1
그림 2.2 유속-단면법에 의한 유량 측정 방법	3
그림 2.3 무인 로봇선 구성(안)	6
그림 2.4 채수 컨테이너 개념도	7
그림 2.5 수직이동 조절장치 개념도	7
그림 2.6 하천정보 3차원 시각화 프로그램 개념도	7
그림 2.7 자동 유량 산출 프로그램 개념도	7
그림 2.8 하천 횡단면도 제작 프로그램	8
그림 2.9 수질분포도 작성 개념도	8
그림 2.10 3차원 하상 지형 분포도 작성 개념도	8
그림 2.11 유량 및 수질 측정을 위한 무인 장치	11
그림 2.12 자동 수질 측정을 위한 로봇 물고기	11
그림 2.13 SonTek사의 유량측정 장치	12
그림 2.14 한국해양과학기술원의 다목적 무인선	13
그림 2.15 KAIST에서 개발한 자율운항 무인선	13
그림 2.16 기술개발 내용 및 추진 체계	16
그림 2.17 하천수 채수지점	19
그림 2.18 하천수의 채수위치	20
그림 2.19 로봇선 자동운항 알고리즘	22
그림 2.20 직선에서 점까지의 y축 방향 수직거리	23
그림 2.21 로봇선의 진행방향과 유속벡터	24
그림 2.22 로봇선 속도벡터와 유속벡터와의 관계	25
그림 2.23 로봇선의 단위벡터와 로봇선에서 목표점까지의 위치벡터와의 관계	26
그림 2.24 유속벡터에 의한 로봇선의 진행 경로 변화	27
그림 2.25 Move Rotation을 통한 자동운항	29
그림 2.26 LOS를 적용한 자동제어 정확도 개선	30
그림 2.27 자동제어 알고리즘 절차	30
그림 2.28 자동운항 알고리즘 육상적용 실험	31
그림 2.29 추진기 위치에 따른 중심에서의 회전반경 비교	32
그림 2.30 추진기 위치에 따른 선미에서의 회전반경 비교	32

그림 2.31 기존 무인선의 추력장치 및 부속장치	33
그림 2.32 선체의 추진기 장착 위치	34
그림 2.33 방수 케이스의 설계도	35
그림 2.34 방수 케이스의 제작 결과	35
그림 2.35 기존 채수 방법	36
그림 2.36 자동 수질측정 센서 구성	36
그림 2.37 자동 수질측정 센서 마운트 제작	37
그림 2.38 하상정보 수집을 위한 음향측정 센서	38
그림 2.39 RF 통신 모듈 및 송수신 안테나	39
그림 2.40 스마트폰을 이용한 무선 인터넷 통신 개념도	40
그림 2.41 지그비를 이용한 무선통신 개념도	40
그림 2.42 통신포트 설정화면	41
그림 2.43 통신 연결이후 데이터 수신 결과	42
그림 2.44 로봇선 제어 프로그램	42
그림 2.45 로봇선 제어 및 데이터 수집 프로그램	43
그림 2.46 원격제어 데이터 처리과정	43
그림 2.47 캐드 기반의 자동항로 작성화면	44
그림 2.48 자동 항로 설정 화면	44
그림 2.49 자동 항로 운항 명령 파일 예시	45
그림 2.50 자동 채수시스템의 개념	46
그림 2.51 채수 리프트의 하강 수치 계산을 위한 개념도	46
그림 2.52 채수 리프트 설계도	47
그림 2.53 수평 이동 거리에 따른 수직이동 거리	48
그림 2.54 요구 깊이에 따른 모터의 회전수	49
그림 2.55 채수 리프트의 프레임 구조 및 재질 변경	50
그림 2.56 채수 리프트 하강을 위한 동력전달 장치	50
그림 2.57 수평이동 변화에 따른 채수 리프트 하강 시뮬레이션	50
그림 2.58 관절식 채수 리프트 개발 결과	51
그림 2.59 관절식 채수 리프트 승강 시험	51
그림 2.60 수직이동 가능한 장치의 종류	52
그림 2.61 수직체인의 원리와 사례	52
그림 2.62 체인원리를 이용한 수직상승과 하강 연결부 설계	53
그림 2.63 채수 리프트 설계 단면도	53

그림 2.64 채수 리프트 및 채수컨테이너 결합	53
그림 2.65 채수 리프트 하강 시뮬레이션 결과	54
그림 2.30 기존 채수장치인 채수통	55
그림 2.67 채수 컨테이너 설계(안)	55
그림 2.68 기계식 공압 밸브	56
그림 2.69 개발된 카트리리지형 채수 컨테이너	56
그림 2.70 채수통과 밸브의 연결 부분	56
그림 2.71 채수 컨테이너의 가압 및 제어장치	57
그림 2.72 하천정보 관리 시스템 구성도	58
그림 2.73 하천정보 관리 시스템의 기능 및 연결성	59
그림 2.74 3차원 시각화 유즈케이스	60
그림 2.75 3차원 시각화 시퀀스 다이어그램	60
그림 2.76 횡단면도 자동 작성 유즈케이스	61
그림 2.77 횡단면도 자동 작성 환경설정 시퀀스 다이어그램	61
그림 2.78 횡단면도 자동 작성 시퀀스 다이어그램	62
그림 2.79 유량 자동 산출 유즈케이스	62
그림 2.80 유량 자동 산출 시퀀스 다이어그램	63
그림 2.81 수질분포도 유즈케이스	63
그림 2.82 수질분포도 작성 시퀀스 다이어그램	64
그림 2.83 수질분포 레이어 제어 시퀀스 다이어그램	64
그림 2.84 하상 퇴적층 자료 유즈케이스	65
그림 2.85 하상 퇴적층 분포 시퀀스 다이어그램	65
그림 2.86 통합데이터 교환 유즈케이스	65
그림 2.87 통합데이터 교환 시퀀스 다이어그램	66
그림 2.88 하천 정보 관리 시스템 클래스 다이어그램	67
그림 2.89 하천정보 관리 시스템 클래스 모델(1)	68
그림 2.90 하천정보 관리 시스템 클래스 모델(2)	69
그림 2.91 하천정보 관리 시스템 클래스 모델(3)	70
그림 2.92 메인 화면 프로그램 인터페이스 설계	71
그림 2.93 3차원 시각화 프로그램 인터페이스 설계	71
그림 2.94 횡단면도 자동 작성 프로그램 인터페이스 설계	71
그림 2.95 유량 자동 산출 프로그램 인터페이스 설계	72
그림 2.96 수질 분포도 프로그램 인터페이스 설계	72

그림 2.97 퇴적층 분포 시각화 프로그램 인터페이스 설계	72
그림 2.98 음향측심기 데이터 케이블 개선 결과	73
그림 2.99 음향측심기의 위치에 따른 수심 및 정표고 산출방법	74
그림 2.100 자동 유량산정 알고리즘	75
그림 2.101 유량 자동 산출 프로그램 인터페이스	75
그림 2.102 유량 자동 산출 프로그램 인터페이스 개선	76
그림 2.103 캐드기반의 수질분포도 작성 프로그램	77
그림 2.104 음향측정센서 연결 프로그램 개발결과	78
그림 2.105 하상 분포 시각화 프로그램 개발결과	78
그림 2.106 하상 분포 3차원 시각화 결과	79
그림 2.107 하상 단면 자동 작성 프로그램	79
그림 2.108 하상 분포의 종단면도 생성 결과	80
그림 2.109 하상 분포의 횡단면도 생성 결과	80
그림 2.110 채수 리프트 관절부분의 제작공차	82
그림 2.111 채수 리프트의 관절 제작공차에 의한 처짐현상	82
그림 2.112 자동 채수 리프트 승강실험 결과	83
그림 2.113 자동 채수 리프트 구동부	84
그림 2.114 심도별 채수 리프트 설정 화면	84
그림 2.115 채수컨테이너와 컨트롤러	85
그림 2.116 채수컨테이너 작동	85
그림 2.117 수중에서 채수컨테이너 작동	85
그림 2.118 채수컨테이너를 이용한 채수 결과	86
그림 2.119 정확한 수평 위치로 이동하기 위한 로봇선 제어 명령	86
그림 2.120 심도별 채수장치 작동 설정화면	86
그림 2.121 심도별 채수장치 작동 실험	87
그림 2.122 유수지에서의 현장실험 대상지역 현황	88
그림 2.123 유수지에서의 운용 실험 준비	88
그림 2.124 유수지에서의 로봇선 운항 계획도	89
그림 2.125 유수지에서의 현장 운항 실험 결과	90
그림 2.126 유수지에서의 측량 결과 평면위치도	91
그림 2.127 유수지에서의 로봇선 운항 항적도	91
그림 2.128 유수지의 항공사진과 항적도의 중첩	92
그림 2.129 운항 계획도	93

그림 2.130	로봇선 항적도	94
그림 2.131	로봇선 운항 결과	94
그림 2.132	GIS를 이용한 인접성 분석의 개념도	95
그림 2.133	ArcGIS를 이용한 인접성 분석 과정	95
그림 2.134	ArcGIS를 이용한 인접성 분석을 위한 항적데이터 변환결과	96
그림 2.135	ArcGIS를 이용한 인접성 분석 결과	96
그림 2.136	ArcGIS를 이용한 인접성 분석 결과 통계량	96
그림 2.137	자동운항 경로의 관측값 분석	97
그림 2.138	자동운항 경로의 인접성 분석결과	98
그림 2.139	자동운항 경로의 분석결과 출력	98
그림 2.140	계획경로와의 일치율 그래프	99
그림 2.141	실내 유선 LAN망의 전송 속도 및 품질	100
그림 2.142	실내 WiFi 망의 전송 속도 및 품질	100
그림 2.143	테더링(스마트폰 통신)에 의한 WiFi망의 전송 속도 및 품질	100
그림 2.144	하천에서의 현장실험 대상지역 현황	101
그림 2.145	하천에서의 현장실험 대상지역의 수준점 측량	102
그림 2.146	로봇선 수동 제어 프로그램	102
그림 2.147	로봇선 자동 제어 프로그램	103
그림 2.148	수동제어 운항 실험 결과	103
그림 2.149	자동제어 운항 실험결과	104
그림 2.150	제어명령 송수신 데이터 DB 화면	105
그림 2.151	호수에서의 현장실험 대상지역 현황	106
그림 2.152	수심측정 정확도를 체크하기 위한 반사체	107
그림 2.153	바체크를 위한 수심 실측 과정	108
그림 2.154	음향측심기를 이용한 수심 측정 과정	108
그림 2.155	흘수보정을 위한 실측	109
그림 2.156	바체크 및 흘수보정 값 입력 과정	109
그림 2.157	호수에서의 무인 로봇선의 운항 실험	110
그림 2.158	호수에서의 무인 로봇선의 항적도	110
그림 2.159	호수에서의 측정 데이터의 수신 결과	111
그림 2.160	측정자료 보정을 위한 기준점 측량	111
그림 2.161	획득된 수중공간정보로부터 공간보정된 하상지형의 등심선도	112
그림 2.162	획득된 수중공간정보로부터 공간보정된 하상지형의 DEM	112

그림 2.163 연안해역 현장에서의 실험 과정	113
그림 2.164 현장 지상기준점 측량	113
그림 2.165 GPS와 음향측심기 데이터의 수집 결과	114
그림 2.166 연안해역에서의 항적도 및 격자 수심도	114
그림 2.167 하상정보의 수직모델 보정을 위한 관측 정보 획득 지점	115
그림 2.168 GPS와 음향측심기를 이용한 정표고 산정결과 비교	116
그림 2.169 측정데이터로부터 공간 보간된 하상 분포도	117
그림 2.170 선택된 임의의 단면에서의 단면도	117
그림 2.171 대상지역의 자동 유량 산출 프로그램 초기화면	118
그림 2.172 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 수위자료 입력화면	119
그림 2.173 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 수위표면 자료 생성 결과	119
그림 2.174 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 유속자료 입력화면	120
그림 2.175 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 유속표면 자료 생성 결과	120
그림 2.176 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 하상지형자료 입력화면	121
그림 2.177 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 하상지형 표면 자료 생성 결과	121
그림 2.178 대상지역의 자동 유량 산출을 표면 자료선택 화면	122
그림 2.179 대상지역의 자동 유량 산출 결과	122
그림 2.180 수심에 따른 실시간 수질변화	126
그림 2.181 캐드기반의 수질측정 결과의 3차원 시각화	126
그림 3.1 자동운항이 가능한 무인 로봇선 개발 성과	128
그림 3.2 방향전환이 용이한 선체의 추진기	128
그림 3.3 자동 채수 리프트	129
그림 3.4 채수 컨테이너	130
그림 3.5 수문정보 획득 시스템 개발 성과	130
그림 3.6 하천정보 관리시스템 성과	131
그림 3.7 현장적용 관련 자료 1	138
그림 3.8 현장적용 관련 자료 2	139
그림 3.9 현장적용 관련 자료 3	140
그림 3.10 현장적용 관련 자료 4	141
그림 3.11 3대 강점 및 4대 미래유망 환경산업의 구분	144
그림 3.12 국내 환경시장 규모 및 성장률	145

제1장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

본 연구는 무인 로봇선에 GPS, 음향측정센서, 수질센서, 채수장치를 탑재하고 이를 이용하여 수자원 정보 및 하상 지리정보를 획득하는 시스템과 획득한 데이터를 이용하여 자동으로 분석 자료를 작성할 수 있는 수질측정을 위한 채수와 동시에 유량측정이 가능한 시스템을 개발하는 목적이 있다.

본 연구의 최종목표는 무인 로봇선에 다양한 측정 센서를 이용한 수중 공간 정보 획득을 통해 유량을 자동으로 산출하는 기술과 정밀 수질 측정을 위한 자동 채수 시스템을 개발하는데 있다. 즉, 다양한 환경조건에서 안전하게 수중 공간 정보 획득을 위해 음향측정센서, 수질센서, 자동 채수 장치 등이 탑재된 무인 로봇선을 개발하고, 유량 정보, 하상 지형 정보, 수질 정보 등을 획득하고 관리할 수 있는 자동 유량 산출 및 채수시스템을 개발하는데 있다.

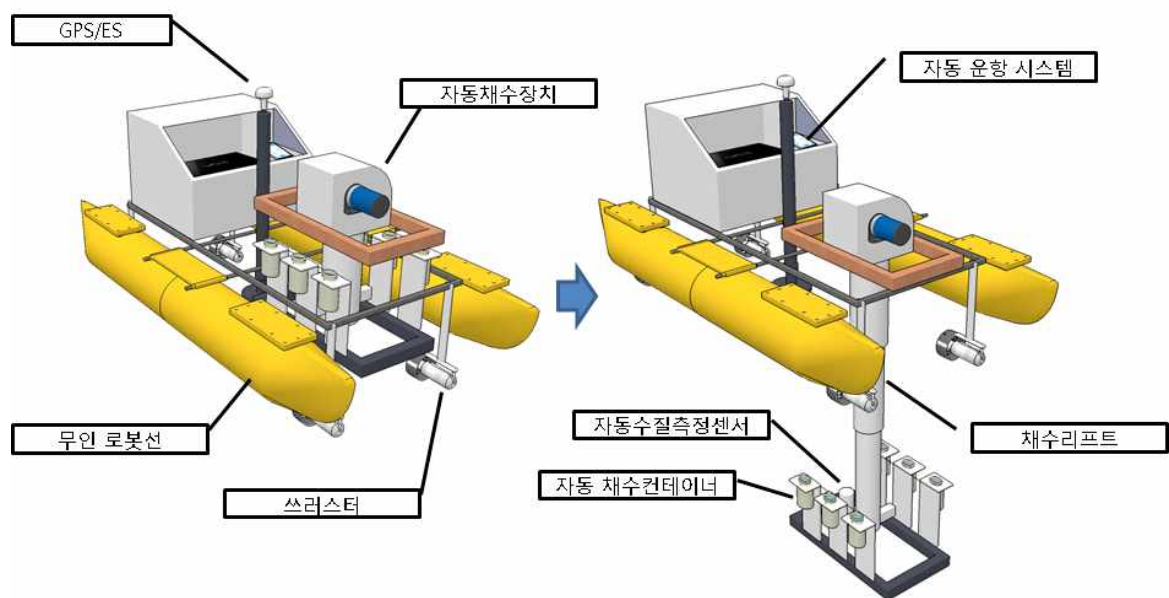


그림 2.1 시스템 개요도

2. 연구개발의 필요성

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 분야에서 발생하는 이유는 사회와 자연환경의 여러 부분이 물과 매우 밀접한 관계를 맺고 있기 때문이다.

사회발전과 기후변화로 물관리가 더욱 복잡해지고 난해한 상황에 슬기롭게 대처하기 위해서는 물을 ‘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.

국내의 유량 관측 현황을 살펴보면, 한국수문조사연보(2013, 국토교통부)에 의하면 2013년 말을 기준으로 국토교통부 소관 189개소, 수자원공사 소관 28개소에서 유량이 측정되고 있으며, 2015 수질측정망 운영계획(2015, 환경부)에 따르면 환경부에서도 155개소에서 유량을 측정하고 있다. 즉, 전국의 약 372개소에서 유량 관측이 이루어지고 있다. 유량 측정 방식은 저수기부터 홍수기까지 부자 및 유속계를 이용하여 횡단면 측정 지점별 유속을 측정하고 유속-면적법에 의해 초기 유량을 산출한다. 초기 유량이 산출되면 수위-유량 관계 곡선식을 제시하고 이후부터는 수위를 관측함으로써 유량을 산정하게 된다.

이러한 우리나라의 수위 관측소의 밀도(131km²/개소)는 표 1과 같이 수문학적 및 지형학적으로 유사한 일본(62km²/개소)과 비교해 볼 때 약 2배 정도 낮은 것을 알 수 있다. 따라서, 일본과 유사한 밀도를 확보하기 위해서는 향후 약 850개의 수위 관측소의 추가 설립이 필요한 것으로 분석되고 있다(물관리 취약성과 물안보 전략 II, 2010, 김익재 외, 한국환경정책·평가연구원). 즉, 수문관측소가 매우 부족하다는 데에 문제점이 있다.

표 2.1 국가별 수위 관측소 밀도

	한국	일본	미국	중국
개소수	756	6,060	8,400	1,221
밀도	131km ² /개소	62km ² /개소	1,170km ² /개소	7,860km ² /개소

국토교통부와 한국수자원공사의 2010년 현재 수위 관측소(522개와 171개)에서 유량이 관측된 관측소는 약 157개와 48개로서 각각 약 39%와 35%에 이르며, 이는 전체적의 약 38%에 해당한다. 이는 일본에 비하면 우리나라의 유량 관측개소가 매우 부족하다는 것을 알 수 있다. 즉, 전체 수위 관측소에 대해 38%의 유량 관측은 하나의 관측소에서 약 3년에 한 번 정도 유량을 관측한다는 것으로 볼 수 있다. 2011년부터 국토교통부와 수자원공사에서는 151개소의 유량이 관측되어 대부분의 측정지점에서 유량이 관측되었으나 지속적인 유량관측이 이루어지고 있지는 못하고 있다.

일반적으로 유량 측정을 위해 주기적으로 유속을 측정하여 유량을 산정한 다음, 수위-유량 관계 곡선식을 제시한다. 그러나 홍수시 유사의 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 2.2와 같은 유속-단면법이 사용되고 있다.

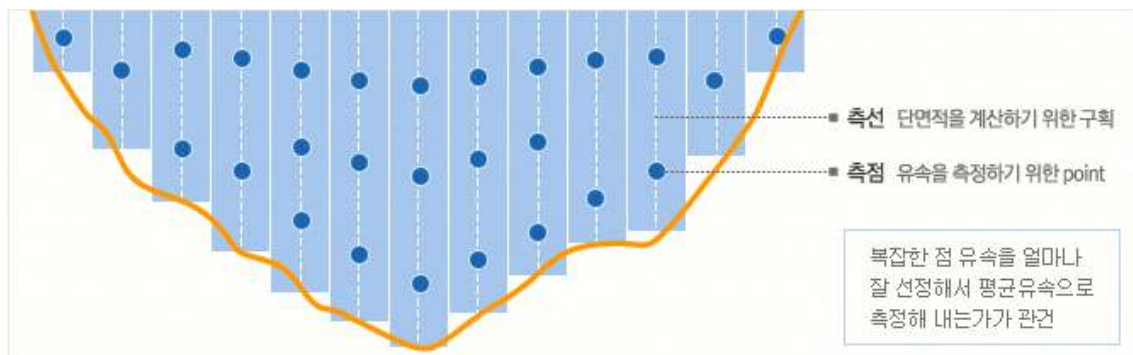


그림 2.2 유속 - 단면법에 의한 유량 측정 방법

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 작업인원이 필요하다는 단점이 있다. 또한 홍수기에는 사용할 수 없거나 빠른 유속에 의해 정확한 지점의 유속을 측정하기 어렵다는 단점이 있다.

현재 국가수질측정망은 공공수역을 대상으로 하천과 호소, 농업용저수지, 공단배수와 도시관류를 대상으로 측정하고 있으며, 하천과 호소를 대상으로 하는 수질측정망과 총량수질측정망으로 구분되어 운영되고 있다. 수질측정망은 환경부에서 수립한 측정망 설치운영계획에 따라 국립환경과학원과 7개의 지방 유역청, 4대강 물환경 연구소, 16개시도 보건환경연구원, 한국수자원공사, 한국농촌공사 등 29개의 기관이 참여하여 운영되고 있다. 국가수질측정망 중에서 도시관류를 포함한 하천수의 조사항목, 횡수 및 시기는 표 2와 같다.

이러한 국가수질측정망을 권역별로 유역밀도와 하천밀도를 비교 분석해 보면 상류나 하류 지역보다는 중류지역을 위주로 모니터링이 이루어짐을 알 수 있다. 즉, 기상의 변화나 자연적 오염원의 유입이 높은 상류지역과 홍수에 민감한 하류지역에 위치한 수질측정망의 수가 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 또한 대부분 수질측정 주기가 길어 기상자료나 유량자료와 연계하여 사용하기 곤란하다는 문제점이 있는 것으로 나타나고 있다. 따라서 필수적인 지점에서는 기상, 유량, 수질 자료가 함께 연계되어 사용될 수 있도록 측정 빈도를 높여야 한다. 그러기 위해서는 현재 수작업으로 진행되고 있는 시료 채수방법을 자동화하는 방안을 마련하여야 한다.

표 2.2 국가수질측정망의 조사항목, 횡수 및 시기 (하천수)

구분	조사항목	횡수	시기 (월)	항목선정 기준
하천수 (도시관류 포함)	pH, DO, BOD, COD, SS, 총질소, NH ₃ -N, NO ₃ -N, 총인, 수온, 페놀류, 전기전도도, 분원성대장균군수, 총대장균군수, DTN, DTP, PO ₄ -P, 클로로필	12회 / 년 (48회 / 년)	매월	하천수질 환경기준 및 하천보호상 필요한 항목
	Cd, CN, Pb, Cr ⁺⁶ , As, Hg, ABS	4회 / 년 (12회 / 년)	3, 6, 9, 12월	
	TCE, PCE, 사염화탄소, 1, 2-디클로로에탄, 다클로로메탄, 벤젠, 클로로포름	2회 / 년	3, 9월	
	PCB, 유기인	1회 / 년	7월	

표 2.3 중권역별 하천측정망의 밀도 비교

대권역	중권역	측정 망수	유역밀도 (km ² /지점 수)	대권역	중권역	측정 망수	하천밀도 (km ² /지점 수)
한강	임진강상류	2	1097.4	한강	한강하류	1	30.6
연산·섬진강	와탄천	1	1096.4	금강	용담댐	2	21.1
연산·섬진강	섬진강서남해	1	1086.3	연산·섬진강	영산강하구연	1	17.9
한강	시화호	1	961.3	한강	소양강	4	15.6
한강	평화의댐	1	940.5	연산·섬진강	와탄천	1	11.5
낙동강	영덕오십천	1	905.6	금강	금강하구연	4	9.4
낙동강	왕피천	2	702.9	한강	시화호	1	9.0
한강	양양남대천	3	617.6	금강	대청댐	7	8.8
한강	한강서해	2	515.8	한강	팔당댐	1	8.7
연산·섬진강	신안군	1	507.7	한강	춘천댐	5	8.6
금강	용담댐	2	465.2	연산·섬진강	섬진강댐	3	8.5
한강	소양강	4	463.0	한강	평화의댐	1	8.5
연산·섬진강	진도	1	437.4	연산·섬진강	주암댐	5	7.7
한강	홍천강	4	391.5	낙동강	안동댐	7	7.0
연산·섬진강	완도	1	384.6	한강	임진강상류	2	6.7

제2절 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 1차년도에는 무인 로봇선 개발을 위해 로봇선 개량, 무인 로봇선용 제어모듈 개발, 무선 통신 기반 원격제어 플랫폼 개발하였으며, 자동채수시스템 개발을 위해 자동채수시스템 설계, 채수컨테이너 개발, 채수 붐을 개발하였다. 또한 하천정보 관리시스템 개발을 위해 하천정보 관리시스템 설계, 하상정보 3차원 시각화 프로그램을 개발하였다.

2차년도에는 무인 로봇선 개발을 위해 소나데이터 처리 모듈 테스트 및 보완, 자동운항시스템 개발, 유속/수질센서 장착 및 현장테스트, 자동채수시스템 개발하였으며, 자동채수시스템 개발을 위해 채수 컨테이너와 채수 붐을 통합하고 컨트롤 시스템을 개발하였다. 또한 하천정보 관리시스템 개발을 위해 횡단면도 작성 프로그램, 유량 자동산출 프로그램을 개발하였다.

3차년도에는 수질분포도 작성 프로그램, 퇴적층 분포 시각화 프로그램을 개발하고, 무인 로봇선의 개별 시스템들을 통합하고 모든 기능 시험 및 보완을 통해 무인 로봇을 이용한 무인 로봇선을 활용한 자동 유량 산출 및 채수 시스템의 개발을 완료하고 현장 시범적용을 통해 현장 적용능력을 평가하고 시스템개발을 완료하였다.

본 연구개발의 내용 및 범위는 다음과 같다.

○ 무인 로봇선 개발

- 수질측정센서, 음향측심기, 사이드스캔소나, GPS 등을 탑재하고 하천 및 호소의 환경 및

지형 정보를 획득할 수 있는 무인 로봇선 개발

- 원하는 지점까지 스스로 이동할 수 있는 자동운항시스템 개발
- 센서, 자동채수시스템 및 선체를 제어할 수 있는 무인선용 통합 컨트롤 장치 및 프로그램 개발

○ 자동채수시스템 및 수문정보 획득시스템

- 다수 지점의 시료를 채수할 수 있는 채수 컨테이너 개발
- 유속 및 현장획득 가능한 수질센서 탈부착 모듈 개발
- 원하는 수심까지 채수 컨테이너를 내려 보낼 수 있는 수직 이동 조절 장치 개발

○ 하천정보 관리시스템

- 2차원 수중 정보과 3차원 위치좌표를 결합하여 하상지형을 3차원 시각화할 수 있는 기술 및 프로그램 개발
- 채수지점 또는 수질측정 지점의 단면을 자동으로 제작하는 횡단면도 제작 프로그램 개발
- 하상 단면 및 유속 데이터를 이용하여 유량을 계산해주는 자동 유량 산출 프로그램 개발
- 수질측정 데이터를 이용하여 수질분포도 자동 작성 프로그램 개발
- 3차원 하상 분포도 자동 작성 프로그램 개발

1. 무인 로봇선 개발 범위

- 수질측정센서, 음향측심기, 사이드스캔소나, GPS를 탑재하고 하천의 환경 및 지형 정보를 획득할 수 있는 무인 로봇선 개발
- 원하는 지점까지 스스로 이동할 수 있는 자동운항시스템 개발
- 센서, 자동채수시스템 및 선체를 제어할 수 있는 무인선용 통합 컨트롤 장치 및 프로그램 개발

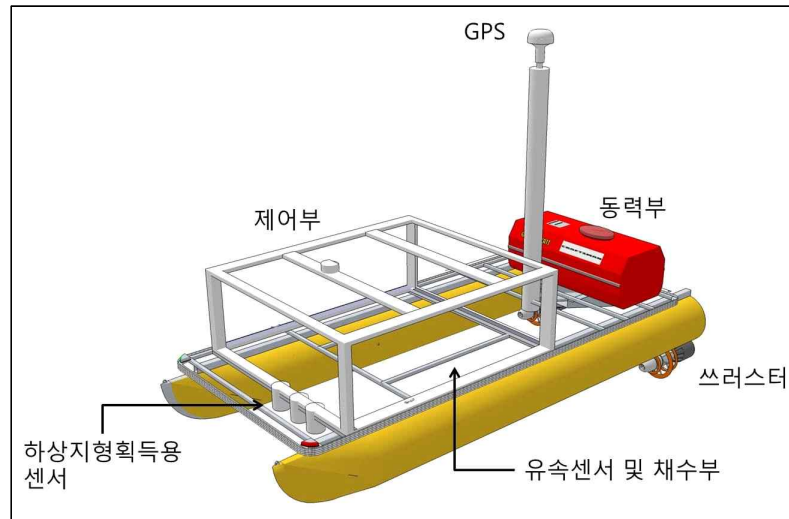


그림 2.3 무인 로봇선 구성(안)

2. 자동채수시스템 및 수문정보 획득시스템 개발 범위

- 다수 지점의 시료를 채수할 수 있는 채수 컨테이너 개발
- 유속 및 현장획득 가능한 수질센서 탈부착 모듈 개발
- 원하는 수심까지 채수 컨테이너를 내려 보낼 수 있는 수직 이동 조절 장치 개발

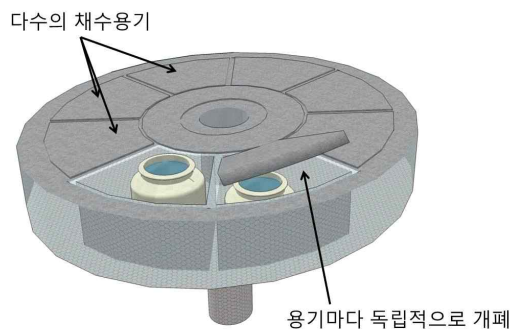


그림 2.4 채수 컨테이너 개념도

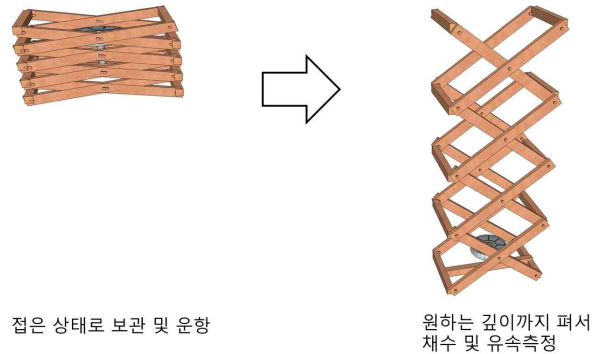


그림 2.5 수직이동 조절장치 개념도

3. 하천정보 관리시스템 개발 범위

- 2차원 수중 영상과 3차원 위치좌표를 결합하여 하상지형을 3차원 시각화할 수 있는 기술 및 프로그램 개발
- 채수지점 또는 수질측정 지점의 단면을 자동으로 제작하는 횡단면도 제작 프로그램 개발
- 하상 단면 및 유속 데이터를 이용하여 유량을 계산해주는 자동 유량 산출 프로그램 개발
- 수질측정 데이터를 이용하여 수질분포도 자동 작성 프로그램 개발
- 3차원 하상 퇴적층 분포도 자동 작성 프로그램 개발

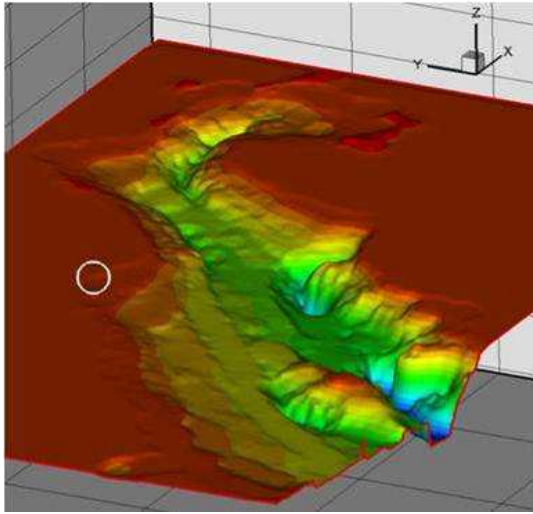


그림 2.6 하천정보 3차원 시각화 프로그램 개념도

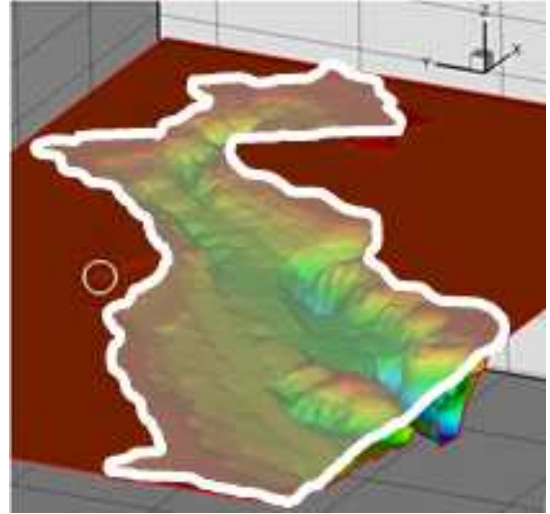


그림 2.7 자동 유량 산출 프로그램 개념도

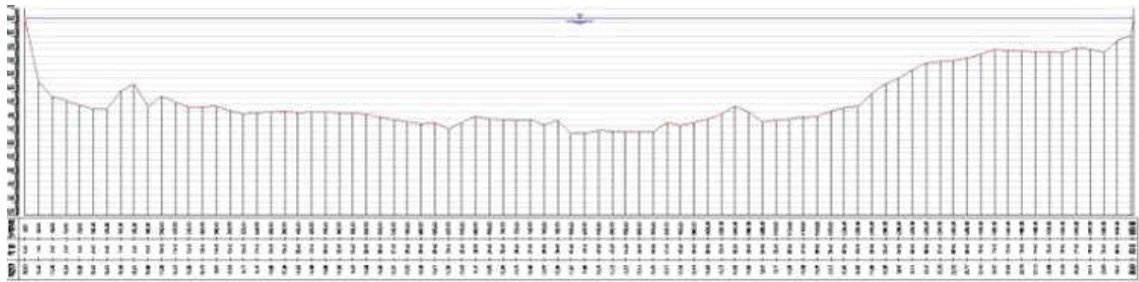
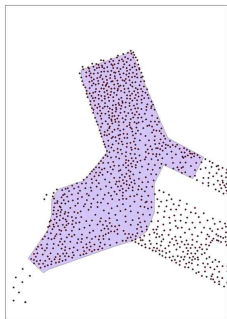
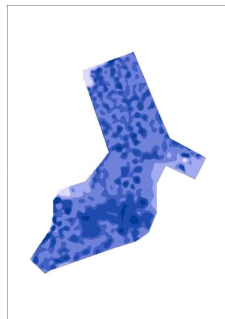


그림 2.8 하천 횡단면도 제작 프로그램



수질측정(점측정)



보간에 의한 수질분포도 작성

그림 2.9 수질분포도 작성 개념도

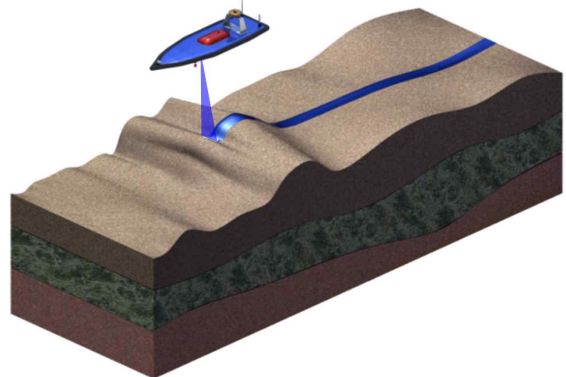


그림 2.10 3차원 하상 지형 분포도 작성 개념도

제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황

1. 관련기술의 특허 및 차별성

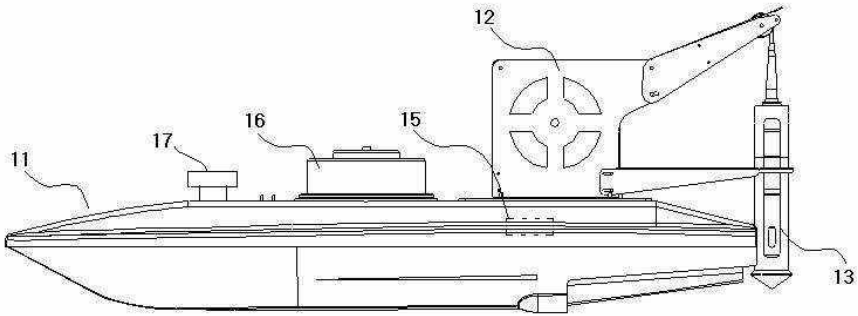
수질측정을 위한 채수와 동시에 유량측정이 가능한 시스템으로 기존의 수질측정 센서를 이용한 수질측정이 이루어지는 무인선과 유량측정 센서가 부착된 유량측정 전용 무인선과 차별성이 있으며, 본 연구에서 개발하고자 하는 기술과 유사한 기술들을 살펴보면 수자원 관리

용 무인보트, 무인원격 수질 및 기상환경 모니터링 선박 및 이의 운영방법, 운항선박을 이용한 실시간 수질 모니터링 시스템, 농업 저수지용 무인 수질측정 및 시료채취 장치 등이 있으나 기존 특허들을 분석하여 차별화된 방법을 통해 기술을 개발하고자 한다. 이와 관련된 기존 특허 및 회피 방안은 다음과 같다.

특허명	수자원 관리용 무인보트(특허 10-1184590)
특허 내용	밀폐형 구조의 무인선체를 이용하여 수질을 측정하고 샘플 채취할 수 있는 기술
국적	대한민국
보유자	한국과학기술연구원
회피 방안	- 호스를 내려 펌프로 물을 퍼올리는 방법 대신 채수병을 원하는 수심에 입수시켜 샘플을 채수함 - 자동운항 기능으로 차별화

특허명	쌍동선을 이용한 무인선박 시스템(특허 10-2010-00086520)
특허 내용	무인 선박시스템에 있어서 무인 쌍동선을 이용하여 연안해역의 수중정보를 파악하기 위한 시스템
국적	대한민국
보유자	인천대학교 산학협력단
회피 방안	- 본 연구의 연구책임자가 보유하고 있는 특허기술로 2개의 추진기를 사용하였으나, 본 연구에서는 4개의 소형 추진기를 사용하여 고출력의 방향전환이 용이하도록 함. - 자동운항 기능으로 차별화 함.

특허명	운항선박을 이용한 실시간 수질 모니터링 시스템(특허 10-2009-0084189)
특허 내용	하천, 운하, 호수, 연근해 등을 운항하는 선박을 이용한 실시간 수질 모니터링 시스템으로, 운항 선박에 센서를 포함하는 수질검사부를 도입하여 실시간으로 수질을 검사하고, 검사결과를 선박의 위치정보를 중앙통제부로 송신하여 실시간으로 수질을 관리할 수 있도록 한 수질 모니터링 시스템 임.
국적	대한민국
보유자	김현욱
회피 방안	- 실시간 수질관리를 위한 유인 선박시스템에 관한 기술로 수자원 분야에서 현재 활용되고 있는 기술이나 유인선박을 이용하므로 규모가 큰 지역에서 활용성이 높으나, 선박의 이동이 불편하고 비용이 높게 발생되므로, 본 연구개발에서는 소규모 지역에 적합하고 이동이 편리하도록 개발함 - 무인의 자동운항 기능으로 차별화 함.
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 입수시키고 샘플을 채수하는 기능으로 차별화

특허명	농업 저수지용 무인 수질측정 및 시료채취 장치(특허 10-2011-0028364)
특허 내용	DGPS 수신기를 구비하며, 저수지, 하천 및 댐 등의 지리정보 파일을 바탕으로 한 자율항법 알고리즘이 장치제어부에 탑재되고, 설정된 각각 위치 및 수심에서 다양한 수질측정센서로 수질을 자동으로 측정하고, 필요할 경우에 각각의 설정된 위치 및 수심에서 정밀한 분석을 위하여 시료를 채취하는 자동시료채취기를 구비하고, 설정된 각각 위치 및 수심에서 측정한 수심 및 수질 데이터를 통신수단으로 전송받아서 장치제어부의 메모리 또는 데이터베이스에 저장하도록 구성하여 무인으로 설정된 위치 및 수심에서 수질을 측정할 수 있으므로 다수의 저수지의 수질을 신속하고, 정확하게 측정할 수 있는 무인 수질측정 및 시료채취장치 임. 
국적	대한민국
보유자	한국농어촌공사
회피 방안	- 본 연구와 유사한 개념이나 채수를 위한 장치에 있어서 줄을 이용한 방식으로 유향에 의해 정확한 위치에서의 샘플 채수가 어려운 단점이 있음. - 따라서 채수 리프트를 이용하여 정확한 수심까지 이동시키고 샘플을 채수하는 기능으로 차별화

2. 관련분야 국내외 기술개발 현황 및 차별성

본 연구과제와 관련하여 국내외에 하천이나 호소의 유량 측정 및 수질 측정을 위한 장치 들로는 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 조정 이나 케이블이 연결된 형태의 장치들이 사용되고 있어 완벽히 자동화 된 시스템이 상용화 되고 있지는 못하고 있다.



그림 2.11 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 2.12 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 2.13 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/S밴드와 UHF 통신을 사용하고 있다.



그림 2.14 한국해양과학기술원의 다목적 무인선

KAIST 해양시스템공학과에서는 라이다를 기반으로 장애물을 인식하고 인식 정보를 이용하여 경로계획 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.

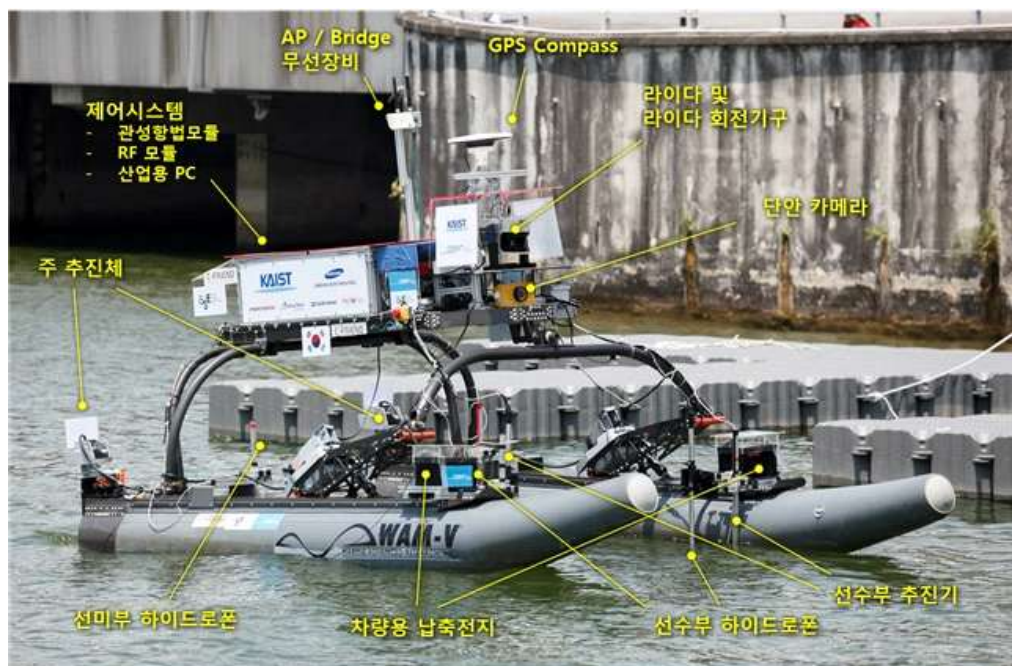


그림 2.15 KAIST에서 개발한 자율운항 무인선

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.

제4절 연구개발 결과가 관련분야에서 차지하는 위치

본 연구과제에서 중점적으로 개발하고자 하는 무인 로봇선을 이용한 자동 유량 산출 및 채수 시스템 기술은 3차원 위치정보 및 하상 2차원 영상데이터를 이용하여 하상의 상태를 3차원으로 재현함으로써 정확한 하천 단면정보를 제공하고, 자동운항 기능에 의해 원하는 지점으로 이동하며, 원하는 수심의 유속을 측정함으로써 정확한 유량을 산출하고 수질 측정에 필요한 시료를 자동으로 채수할 수 있는 시스템을 개발하고자 하였다.

또한 자동운항 시스템에 의해 자력으로 이동하고 원하는 수심의 유속을 측정할 수 있을 뿐만 아니라 하천 단면까지도 자동으로 측정하는 무인 원격체를 이용한 시스템으로서 측정시점의 정확한 하천 단면과 수심별 유속을 측정하여 정확한 유량을 산출할 수 있는 시스템이다. 유량측정의 방법으로는 수위-유량 관계가 아닌 유속-면적법에 기초한 시스템으로서 유량 측정의 기초자료인 하천 단면 자료를 수심별 유속과 동시에 획득할 수 있는 무인 원격 시스템이다. 짧은 시간동안 다수의 측정데이터를 획득하고 이를 공간보간 기법을 적용함으로써 하천의 흐름에 정확히 수직인 단면을 얻을 수 있는 시스템이다.

수자원 분야에서 현재 실시간 수질관리를 위한 유인 선박 등이 활용되고 있으나 유인선박을 이용하므로 규모가 큰 지역에서 활용성이 높지만 선박의 이동이 불편하고 비용이 높게 발생되므로, 본 연구개발에서는 소규모 지역에 적합하고 이동이 편리하며, 무인의 자동화된 시스템을 활용한 효율적인 수자원 관리가 가능하고, 위험지역 및 오염지역에서의 채수 활동과정 시 안전사고 예방이 되며, 자동측정 센서를 활용한 수자원정보의 신뢰성을 확보할 수 있다.

본 기술개발을 통해 개발된 무인 로봇선과 선체의 자동운항시스템의 경우 미국, 일본 등의 선진국과 비교하여 약 10%의 기술격차를 해소 한 것으로 판단되며, 원격으로 자동 채수가 가능한 채수시스템은 없는 것으로 조사됨에 따라 본 기술개발을 통해 완성된 채수시스템의 기술적 격차는 없는 것으로 판단된다.

기술 개발 이후 사업화를 통하여 환경산업, 건설산업 등과 연계하여 환경평가, 수공구조물 설계시의 기초 자료를 제공할 수 있으며, 관련 분야에 특성화된 분석 프로그램 개발이 가능하다. 이를 통해 적용 분야를 넓혀나갈 수 있을 것으로 기대된다.

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 연구수행 전략 및 방법론

본 연구의 최종목표를 성공적으로 수행할 수 있도록 주관연구기관은 수자원 정보획득, 측량 및 지형정보 분야에서 오랜 경험과 측량 및 지형정보 분야에서 사업을 수행하고 있는 참여기업의 공동연구를 통해 기술개발사업을 수행하였다.

본 연구의 주관연구책임자는 대학의 교수로 재직하면서 관련분야에 대한 연구를 꾸준히 하고 있으며, 특히 GPS가 국내에 도입된 초기부터 GPS의 정확도 향상 연구, GPS를 이용한 구조물의 변위 측정 및 모니터링, 이동체의 위치 추적 등에 관한 연구를 통하여 3차원 위치 정보획득과 정확도 향상에 대한 학문적, 기술적인 노하우를 축적하고 있다. 또한 2002년 12월부터 2004년 12월까지 수행한“무선 인터넷과 DGPS를 이용한 원격측정 로봇선 개발” 과제의 총괄연구책임자로서 과제의 성공적인 수행을 통해 ‘수심측량조사장치가 탑재된 무선인터넷과 DGPS를 이용한 원격 측정 로봇선(10-0805358)’의 특허를 보유하고 있는 최적의 책임자로서 본 연구 과제를 성공적으로 수행할 수 있는 기반 기술의 개발 및 운영 노하우를 보유하고 있다.

주관연구기관의 참여연구진은 해당 분야에서 경력을 보유하고 있는 공학박사인 선임급 연구원과 해당 분야의 박사 및 석사과정 연구원으로 구성되어 있으며, 주관연구기관의 참여연구진은 측량 및 지형공간정보 분야에서 수년간의 학문적 이론을 축적하고 있다. 특히 선임급 연구원의 경우 “무선 인터넷과 DGPS를 이용한 원격측정 로봇선 개발” 과제를 주관연구책임자와 함께 수행하며 본 연구에 필요한 기반기술 및 운영 노하우를 보유하고 있다.

본 연구의 참여기업의 연구책임자는 측량 및 지형공간정보 분야의 박사과정 중에 있으며, 현재 “무인 로봇선을 활용한 자동 유량산출 및 자동 채수방법에 관한 연구”로 학위 논문을 작성하고 있고, 10여년간 기업체의 대표로 재직하면서 사회기반시설물의 기본설계 및 실시설계, IFEZ 도시기반시설물 현황DB 구축, 경인 아라뱃길 사업 제 3공구 시설공사, 가학광산 갱도내부 정밀 측량 용역 등을 통해 3차원 공간정보 획득 및 분석 분야에 대한 사업 진행을 통해 학문적, 기술적 노하우를 보유하고 있다.

참여기업의 연구진은 14년째 해당 분야의 업무를 수행하고 있는 수석급 부사장과 공동연구기관 소속 연구원으로 구성하여 본 과제에서 개발하려는 기술이 현장에서 유용하게 사용될 수 있는 실무적 노하우를 보유하고 있다.

따라서 본 연구에서는 주관기관에서의 수자원 정보획득, 측량 및 지형정보 분야의 학문적 지식 및 오랜 경험과 측량 및 지형정보 분야 중에서도 수자원 정보 획득 및 관리 분야의 사업적 경험을 보유하고 있는 참여기업의 공동연구를 통해 기술개발사업을 수행하고자 하였다. 다음 그림은 본 연구의 연구추진 체계를 나타내고 있다.

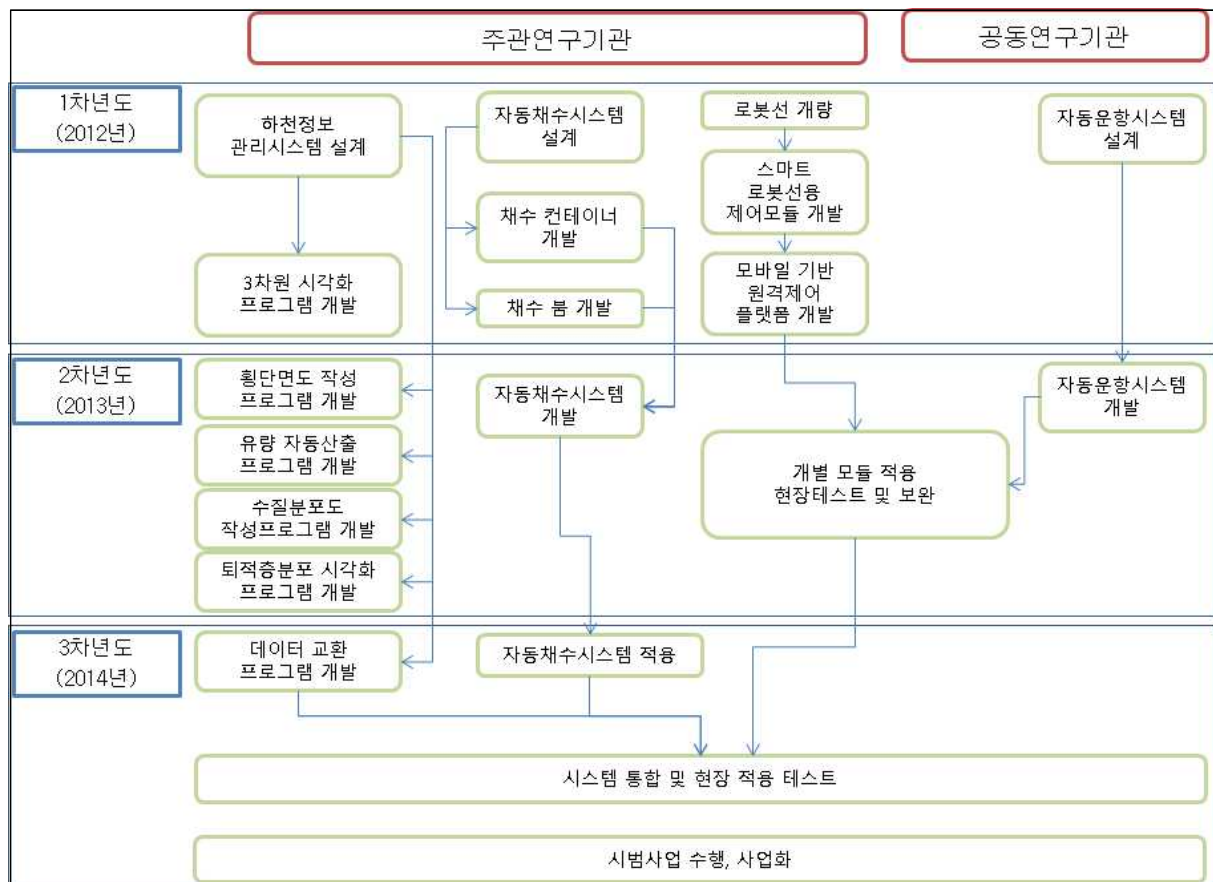


그림 2.16 기술개발 내용 및 추진 체계

다음 표는 본 연구에서 개발하고 하는 무인 로봇선을 이용한 자동 유량 산출 및 채수 시스템 개발을 위한 연차별 연구 목표 및 주요 연구 내용을 나타내고 있다.

표 2.4 연차별 연구목표 및 주요 연구내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	로봇선 개량	- 기존 로봇선을 하천정보 획득에 적합하도록 개량 - 로봇선 제어 알고리즘 개선 - 소나센서 장착 및 데이터 처리모듈 개발
	무인 로봇선용 제어모듈 개발	- 로봇선 제어용 보드 및 프로그램 개발 - 센서 데이터 처리보드 및 프로그램 개발 - 양방향 통신용 프로그램 개발
	모바일 기반 원격제어 플랫폼 개발	- 노트북 및 스마트 기기용 로봇선 원격제어 프로그램 개발 - 자동운항시스템 설계
	자동채수시스템 설계	- 채수 및 수질 측정 관련 규정 분석 - 채수 컨테이너 설계 - 채수 붐 설계 - 자동채수 알고리즘 개발 - 자동수질계측 알고리즘 개발
	채수 컨테이너 개발	- 자동채수 컨트롤 모듈 개발 - 밀폐용기 개발

연 차	연구목표	주요 연구내용
		▪ 자동 개폐장치 개발 ▪ 카트리지형 채수 컨테이너 개발
	▪ 채수 붐 개발	▪ 측정 수심에 따른 자동신축 모듈 개발
	▪ 하천정보 관리시스템 설계	▪ 3차원 시각화 프로그램 설계 ▪ 횡단면도 자동작성 프로그램 설계 ▪ 유량 자동산출 프로그램 설계 ▪ 수질분포도 작성 프로그램 설계 ▪ 퇴적층 분포 시각화 프로그램 설계 ▪ 데이터 교환 프로그램 설계
	▪ 하천정보 관리시스템 개발	▪ 하상 3차원 시각화 프로그램 개발
2차년도	▪ 모바일 기반 원격제어 플랫폼 개발	▪ 자동운항시스템 개발
	▪ 현장테스트 및 보완	▪ 개량한 로봇선의 운항 성능 테스트 및 보완
	▪ 자동 채수 시스템 개발	▪ 자동 채수 시스템 개발 및 적용
	▪ 하천정보 관리시스템 개발	▪ 횡단면도 작성 프로그램 개발 ▪ 유량 자동산출 프로그램 개발
3차년도	▪ 자동채수시스템 적용	▪ 자동채수 성능 테스트 및 보완
	▪ 수질분포도 작성 프로그램 개발	▪ 지점 측정데이터를 이용한 3차원 수질분포도 작성 프로그램 개발
	▪ 퇴적층 분포 시각화 프로그램 개발	▪ 하상 퇴적층 구조 3차원 시각화 프로그램 개발
	▪ 자동채수시스템 적용	▪ 자동채수 성능 테스트 및 보완
	▪ 시스템 통합 및 현장 적용 테스트	▪ 로봇선 제어 및 획득데이터 처리 모듈 통합 ▪ 현장 테스트를 통한 보완

다음 표는 본 연구에서 개발하고 하는 무인 로봇선을 이용한 자동 유량 산출 및 채수 시스템 개발을 위한 세부추진 내용 및 추진방법을 나타내고 있다.

표 2.5 기술개발 세부내용 및 추진방법

구분	연구내용	세부 추진방법
1차 년도	▪ 무인 로봇선 개발	
	- 로봇선 개량	- 전문가 또는 전문기관의 자문을 통해 역학적으로 안정적이도록 개량 - 다양한 센서를 적재하고 자유롭게 운항할 수 있도록 최적 로봇선 제작
	- 무인 로봇선용 제어모듈 개발	- 수동/자동 조작이 모두 가능한 멀티 제어 모듈 개발 - 전용 PCB 제작 및 완벽 방수기능 구현
	- 모바일 기반 원격제어 플랫폼 개발	- 노트북용 제어 프로그램 개발 - 모바일 기기용 제어 프로그램 개발

구분	연구내용	세부 추진방법
	-현장테스트 및 보완	-선체의 견고성, 운동성, 제어정확도 등의 테스트 및 보완
	■자동채수시스템 개발	
	-자동채수시스템 설계	-물의 저항을 최소화하면서 충분한 무게의 채수 컨테이너를 이동시킬 수 있도록 설계
	-채수 컨테이너 개발	-8개 이상의 채수병을 장착하고 완벽 방수기능을 구현할 수 있도록 제작
	-채수 붐 개발	-채수 컨테이너의 무게를 견디면서도 물의 저항을 최소화하도록 제작
	■하천정보 관리시스템 개발	
	-하천정보 관리시스템 설계	-시스템 방법론을 적용한 설계
	-3차원 시각화 프로그램 개발	-복합 데이터를 이용하여 하천 및 하상의 형태를 3차원으로 확인할 수 있도록 개발
2차 년도	■무인 로봇선 개발	
	-모바일 기반 원격제어 플랫폼 개발	-계획 항로를 입력하면 로봇선 스스로 운항하면서 데이터를 획득할 수 있도록 개발
	■자동채수시스템 개발	
	-자동채수시스템 개발	-미리 입력한 수심에서 채수할 수 있도록 개발 -측정된 수심데이터를 이용하여 정해진 수심에서 자동으로 채수할 수 있도록 개발
	-자동채수시스템 적용	-자동채수시스템을 로봇선에 장착하고 현장테스트를 통해 보완
	■하천정보 관리시스템 개발	
	-횡단면도 작성 프로그램 개발	-하상 데이터를 이용하여 횡단면도를 작성할 수 있도록 개발
	-유량 자동산출 프로그램 개발	-유속 데이터와 하상 데이터를 이용하여 자동으로 유량을 계산할 수 있도록 개발
	-수질분포도 작성 프로그램 개발	-점 측정된 수질데이터를 보간하여 전체 하천에 대한 수질분포도를 작성할 수 있도록 개발
	-퇴적층 분포 시각화 프로그램 개발	-지층 데이터를 이용하여 하상의 퇴적층 분포를 시각화할 수 있는 프로그램 개발
3차 년도	■자동채수시스템 적용	-무인 로봇선의 자동채수시스템 보완
	■데이터교환 프로그램 개발	-텍스트, CAD, 지리정보시스템용 파일들을 상호 변환할 수 있는 프로그램 개발
	■시스템 통합 및 현장 적용 테스트	-개발된 개별 모듈 및 시스템들을 무인 로봇선에 모두 장착하고 각각의 기능을 모두 수행할 수 있는지 테스트
	■사업화 -사용자 매뉴얼 개발 -실제 사업에 참여	-시범사업 등에 참여하여 기술을 인정받고 실제 용역을 수행

제2절 자동 유량 산출 및 채수 시스템 개발 결과

1. 이론적 고찰

가. 수질측정 관련 규정 분석을 통한 채수방법 정립

수질측정과 관련된 환경부의 2012년도 수질오염공정시험기준에 의거한 시료의 채취 및 보존 방법은 수질을 정확히 대표하고 실험실에 도착할 때까지 조성의 변화가 일어나지 않도록 하여야 한다. 즉 시료 채취와 보존은 법적인 요구사항이므로 규정에 따라 실시한다.

하천수 등 수질조사를 위한 시료채취 방법은 시료의 성상, 유량, 유속 등의 시간에 따른 변화(폐수의 경우 조업상황 등)를 고려하여 현장물의 성질을 대표할 수 있도록 채취하여야 하며, 수질 또는 유량의 변화가 심하다고 판단될 때에는 오염상태를 잘 알 수 있도록 시료의 채취횟수를 늘려야하고, 이때에는 채취시 유량에 비례하여 시료를 서로 섞은 다음 단일시료로 하여야 한다.

시료는 목적 시료의 성질을 대표할 수 있는 위치에서 시료채취용기 또는 채수기를 사용하여 채취하고, 어떠한 경우에도 시료의 교란이 일어나서는 안되며 가능한 한 공기와 접촉하는 시간을 짧게 해야 한다. 시료의 채취량은 시험항목 및 시험횟수에 따라 차이가 있으나 보통 3L~5L정도이어야 한다. 다만, 시료를 즉시 시험할 수 없어 보존하여야 할 경우 또는 시험항목에 따라 각각 다른 채취용기를 사용하여야 할 경우에는 시료채취량을 적절히 증감할 수 있다.

수질오염공정시험기준에 의거한 하천수의 시료 채취 지점은 하천수의 오염 및 용수의 목적에 따라 채수지점을 선정하며 하천본류와 하천지류가 합류하는 경우에는 그림 2.1의 합류 이전의 각 지점과 합류이후 충분히 혼합된 지점에서 각각 채수하여야 한다.

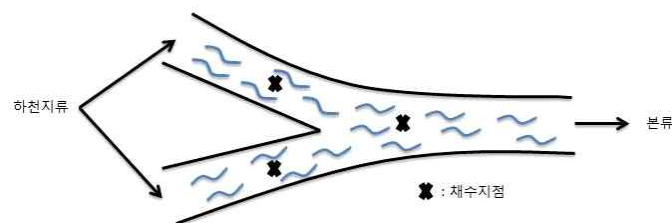


그림 2.17 하천수 채수지점

하천의 단면에서 수심이 가장 깊은 수면의 지점과 그 지점을 중심으로 하여 좌우로 수면 폭을 2등분한 각각의 지점의 수면으로 부터 수심 2 m미만일 때에는 수심의 $\frac{1}{3}$ 에서, 수심이 2 m이상일 때에는 수심의 $\frac{1}{3}$ 및 $\frac{2}{3}$ 에서 각각 채수하여야 한다.

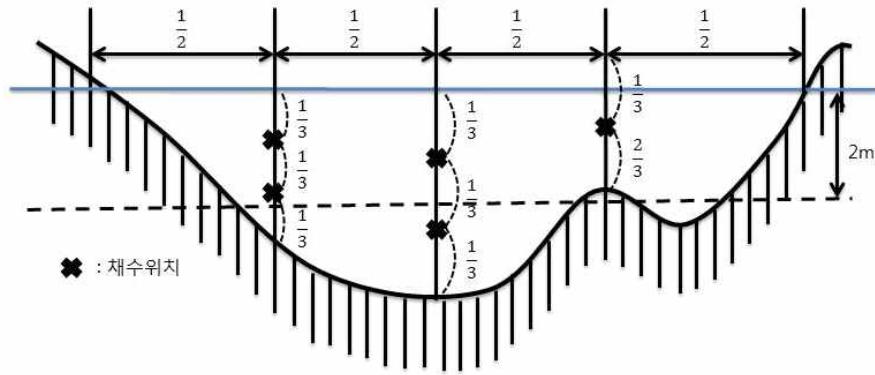


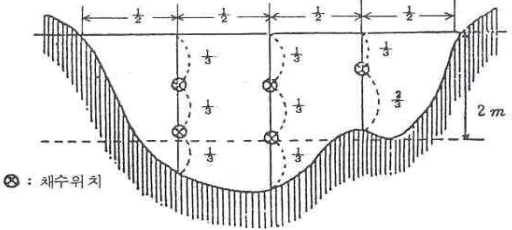
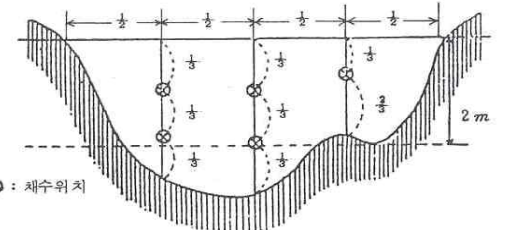
그림 2.18 하천수의 채수위치

본 연구에서는 수질오염공정시험기준에 따라 정확한 위치에서 채수 할 수 있는 시스템을 개발하고 한다. 또한 개발된 무인 로봇선의 채수장치는 기존 채수 방법에 비해 정확한 지점(수평위치 및 수심)에서의 채수가 가능하게 된다.

따라서 본 연구를 통해 개발되는 기술로 인해 시료의 채취 및 보존 방법에 관한 지침이 변경될 필요가 있다. 즉 정확한 수평 및 수심에서 채수가 이루어지도록 공정시험법에 4.2.4 절을 추가하여 “채수 시, GPS의 (Global Positioning System)의 RTK(Real Time Kinematic) 및 Network GPS 측량기법을 이용하여 선박의 위치(X,Y)를 결정하고 음향측심기를 이용하여 수심(H)값을 획득한 후, 채수장치를 수면과 수직으로 강하하여 정확한 평면 위치와 수심에서 채수를 실시한다. 또한, 공공측량성과심사규정에 의거 대한측량협회에 측량성과심사를 의뢰하여, GPS 측량성과의 정확도를 검증하고 확보한다.” 라는 수질오염공정시험기준의 변경(안)을 도출하였다.

표 2.6 수질오염공정시험기준 변경방안

기 준	제 안
4.2.1 하천수의 오염 및 용수의 목적에 따라 채수지점을 선정하며 하천분류와 하천지류가 합류하는 경우에는 그림 2의 합류이전의 각 지점과 합류이후 충분히 혼합된 지점에서 각각 채수한다. 그림 2. 하천수 채수지점	4.2.1 하천수의 오염 및 용수의 목적에 따라 채수지점을 선정하며 하천분류와 하천지류가 합류하는 경우에는 그림 2의 합류이전의 각 지점과 합류이후 충분히 혼합된 지점에서 각각 채수한다. 그림 2. 하천수 채수지점
4.2.2 하천의 단면에서 수심이 가장 깊은 수면의 지점과 그 지점을 중심으로 하여 좌우로 수면폭을 2등분한 각각의 지점의 수면으	4.2.2 하천의 단면에서 수심이 가장 깊은 수면의 지점과 그 지점을 중심으로 하여 좌우로 수면폭을 2등분한 각각의 지점의 수면으

기 준	제 안
로 부터 수심 2 m미만일 때에는 수심의 $\frac{1}{3}$에서, 수심이 2 m이상일 때에는 수심의 $\frac{1}{3}$ 및 $\frac{2}{3}$에서 각각 채수한다.(그림 3)  그림 3. 하천수 채수위치(단면) 4.2.3 기타 4.2.1, 4.2.2 이외의 경우에는 시료채취 목적에 따라 필요하다고 판단되는 지점 및 위치에서 채수한다.	로 부터 수심 2 m미만일 때에는 수심의 $\frac{1}{3}$에서, 수심이 2 m이상일 때에는 수심의 $\frac{1}{3}$ 및 $\frac{2}{3}$에서 각각 채수한다.(그림 3)  그림 3. 하천수 채수위치(단면) 4.2.3 기타 4.2.1, 4.2.2 이외의 경우에는 시료채취 목적에 따라 필요하다고 판단되는 지점 및 위치에서 채수한다. 4.2.4 채수 시, GPS의 (Global Positioning System)의 RTK(Real Time Kinematic) 및 Network GPS 측량기법을 이용하여 선박의 위치(X,Y)를 결정하고 음향측심기를 이용하여 수심(H)값을 획득한 후, 채수장치를 수면과 수직으로 강하하여 정확한 위치와 수심에서 채수를 실시한다. 또한, 공공측량성과심사규정에 의거 대한 측량협회에 측량성과심사를 의뢰하여, GPS 측량성과의 정확도를 검증하고 확보한다.

나. 자동운항을 위한 자동유도 알고리즘 개발

(1) 자동유도 알고리즘의 개요

본 연구에서 개발된 자동유도 알고리즘은 유량산출 및 채수를 자동으로 수행할 수 있는 로봇선이 미리 지정된 항로를 따라 사람이 조작하지 않고 로봇선 스스로 목표지점까지 운항할 수 있도록 기본 알고리즘을 정립하였다.

로봇선의 자동운항에 영향을 미치는 요소로는 유속과 바람이 있는데 저수지를 우선 적용 대상으로 정하였으므로, 바람에 의한 영향은 없는 것으로 가정하였으며, 로봇선 자동운항 알

고리즘은 벡터 계산을 기본으로 하며, 개략적인 알고리즘은 다음과 같다.

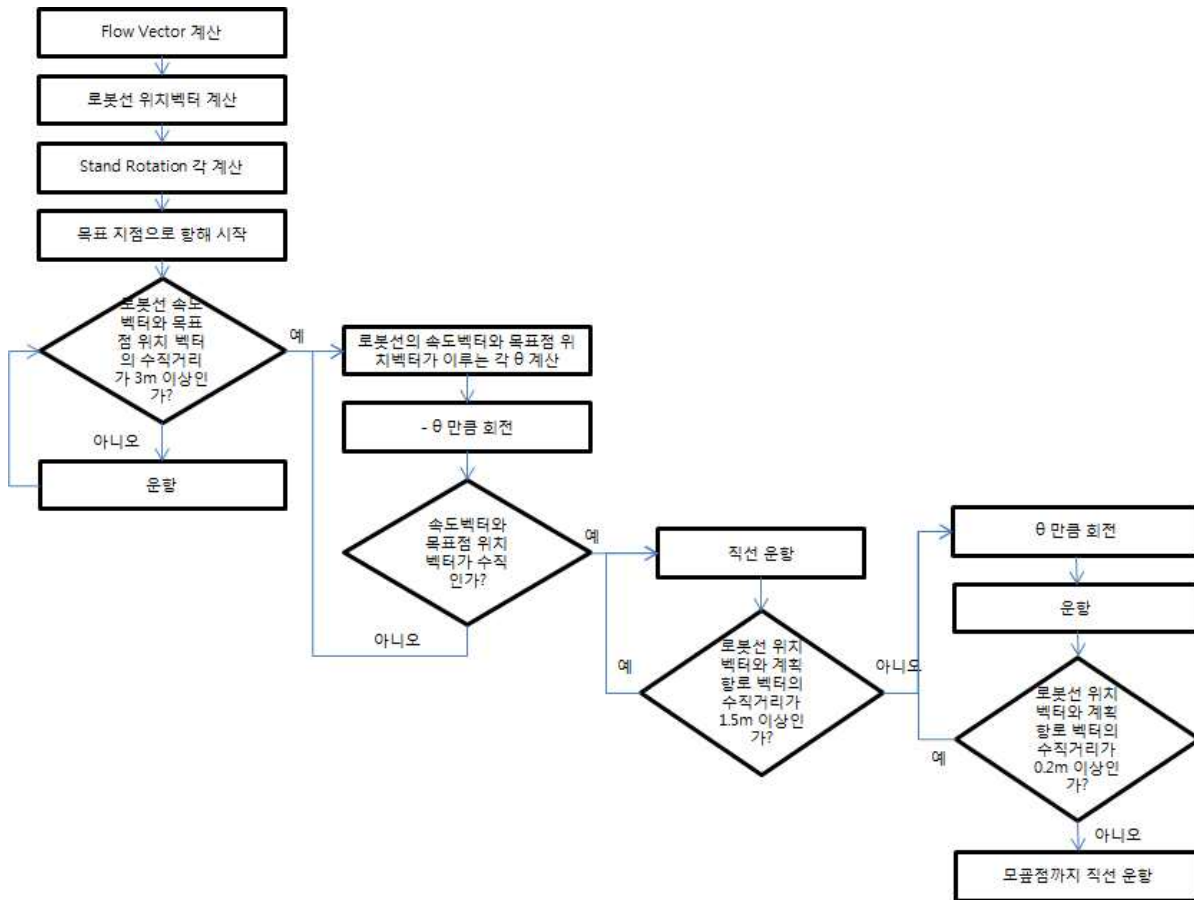


그림 2.19 로봇선 자동운항 알고리즘

(2) 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 쓰러스터를 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 실험데이터의 집합에 적합한 회귀직선은 최소제곱법으로 구할 수 있다.

- ① 직선으로부터 떨어져 있는 (x_i, y_i) 점들의 거리(y축 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) = $|y_i - a - bx_i|$ 이다.

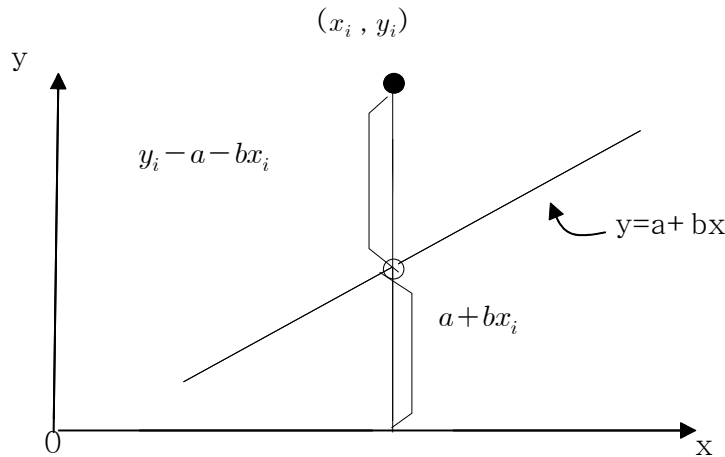


그림 2.20 직선에서 점까지의 y축 방향 수직거리

- 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,

$$\text{기울기 } b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$y\text{-절편 } a = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i y_i \sum x_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

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.

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

(3) Stand Rotation

(가) 로봇선의 속도벡터 산출

유속벡터를 구하면 로봇선을 계획항로의 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 2.21 로봇선의 진행방향과 유속벡터

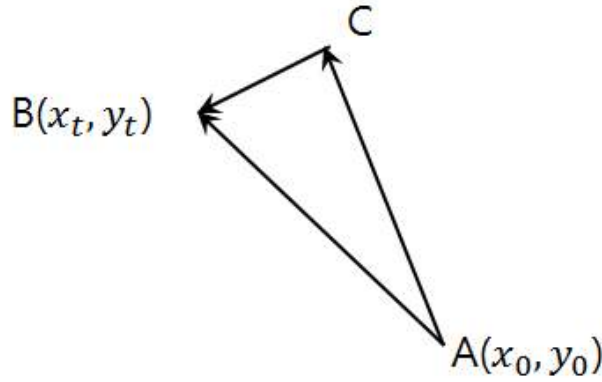


그림 2.22 로봇선 속도벡터와 유속벡터와의 관계

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.

(나) 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 x성분과 y성분은 그림 2.22와 같이 각각 다른 조합을 가지게 된다.

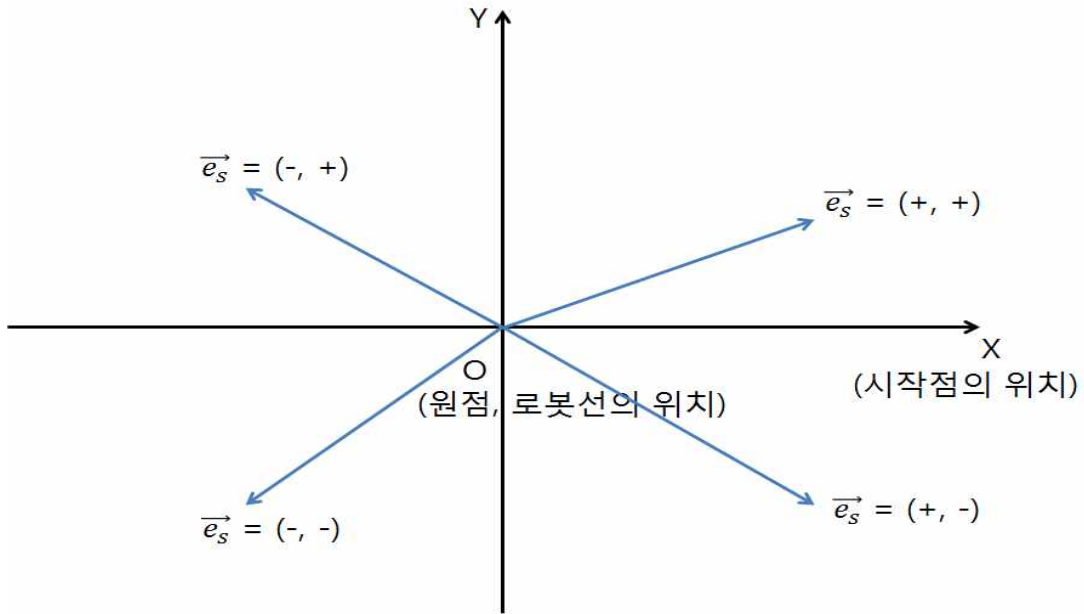


그림 2.23 로봇선의 단위벡터와 로봇선에서 목표점까지의 위치벡터와의 관계

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

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

$$\text{여기서, } \|\vec{e}_s\| = \sqrt{(x_s)^2 + (y_s)^2}$$

$$\|\vec{p}_d\| = \sqrt{(x_d)^2 + (y_d)^2}$$

$$\vec{e}_s \cdot \vec{p}_d = (x_s \times x_d) + (y_s \times y_d)$$

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

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,

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

(4) Move Rotation

로봇선을 목표점 방향으로 제대로 회전시켰다면 쓰러스터를 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.

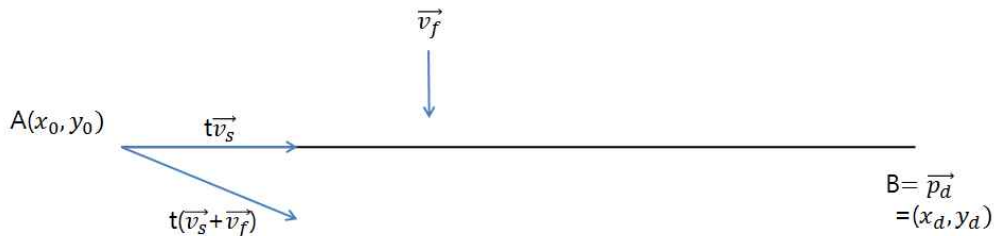


그림 2.24 유속벡터에 의한 로봇선의 진행 경로 변화

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 되는지 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 거리

를 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.

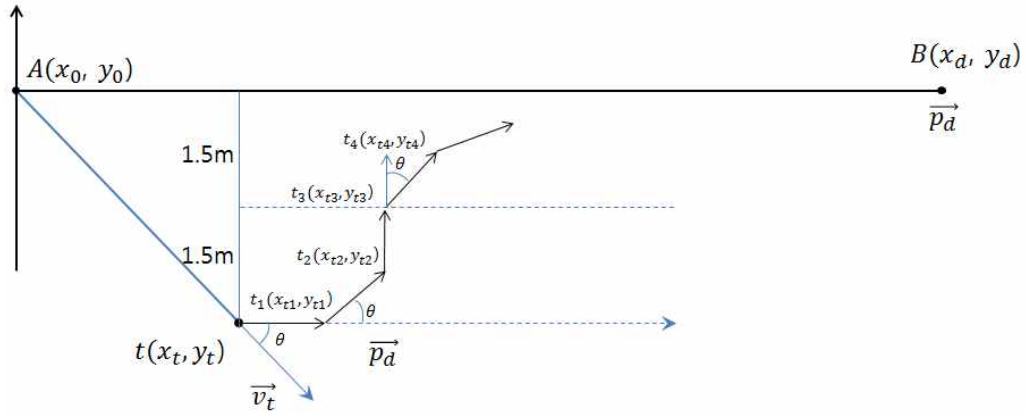


그림 2.25 Move Rotation을 통한 자동운항

(5) 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.5) 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.

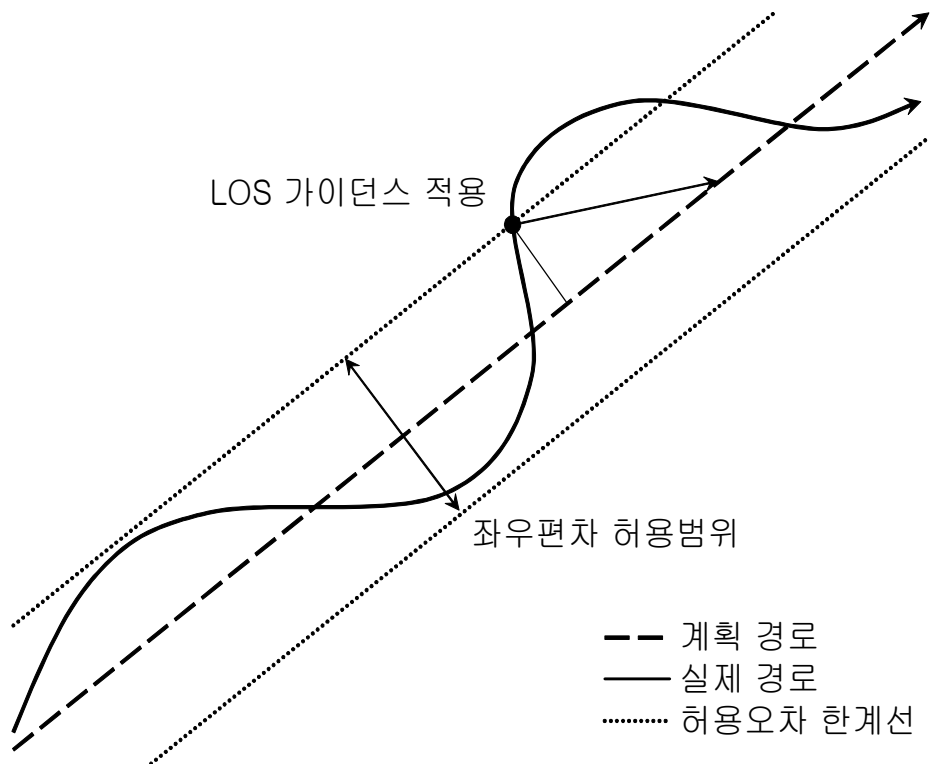


그림 2.26 LOS를 적용한 자동제어 정확도 개선

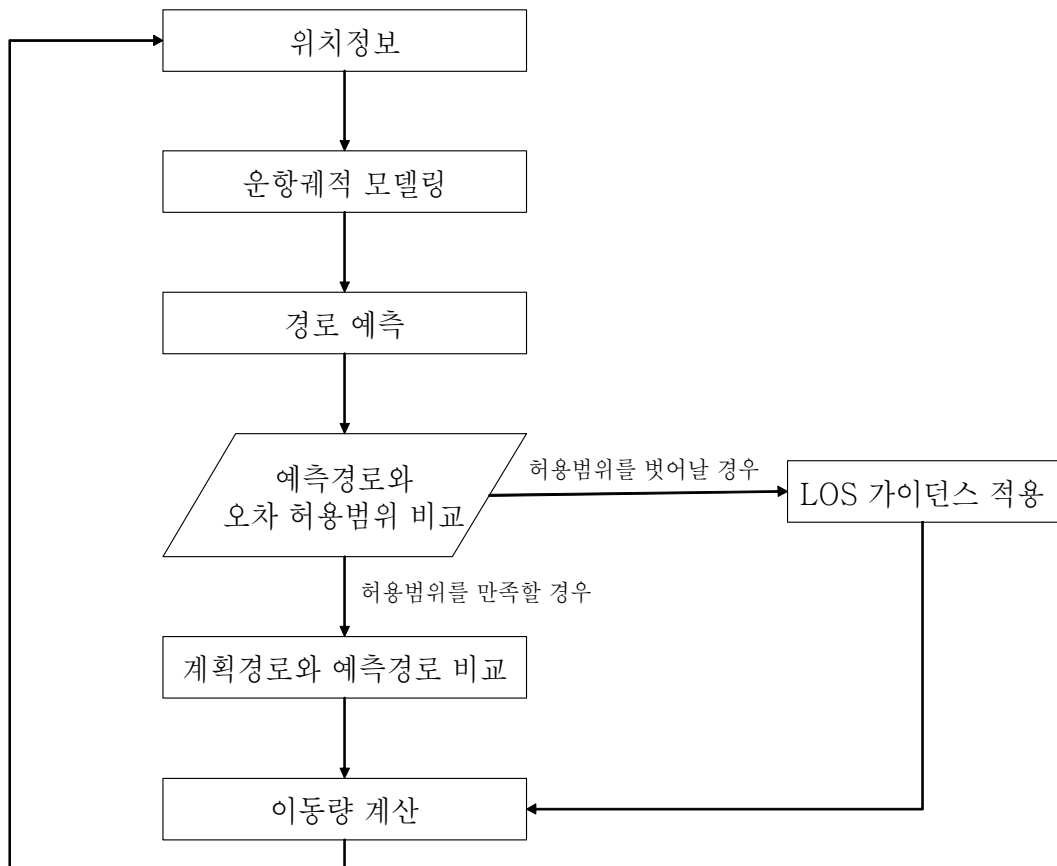


그림 2.27 자동제어 알고리즘 절차



그림 2.28 자동운행 알고리즘 육상적용 실험

다. 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 좌·우 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 좌·우 회전시에 모멘트의 중심이 선체의 중심에 위치하므로 회전각은 크며, 회전반경은 작게 할 수 있다. 또한 좌·우 추진기의 방향을 서로 달리하여 제자리에서 회전할 수 있는 장점이 있다. 이는 유속을 고려하지 않았으므로 유속에 따른 오차가 발생한다.

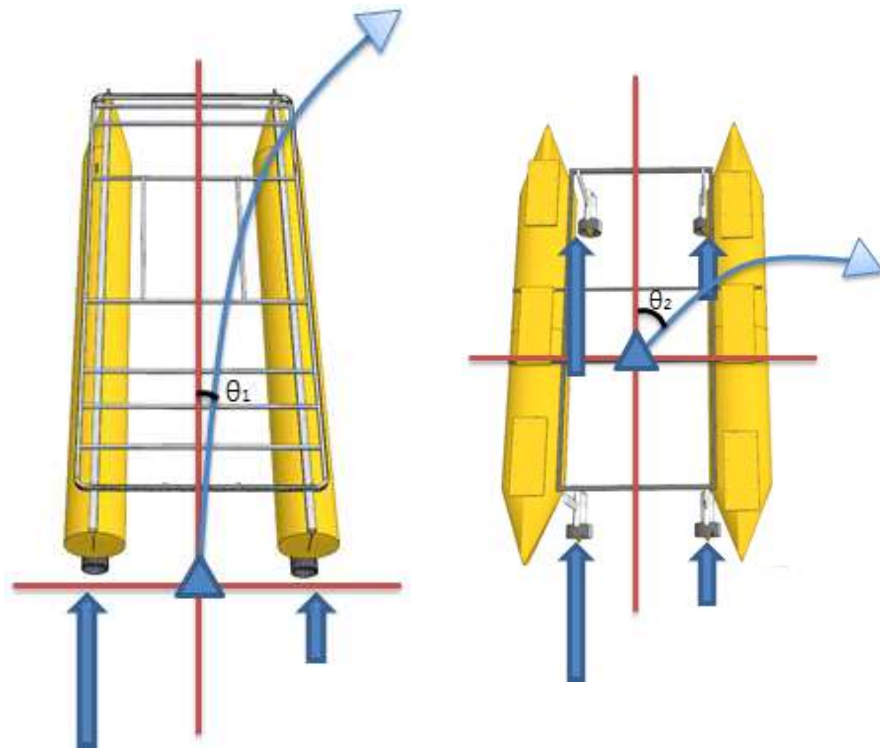


그림 2.29 추진기 위치에 따른 중심에서의 회전반경 비교

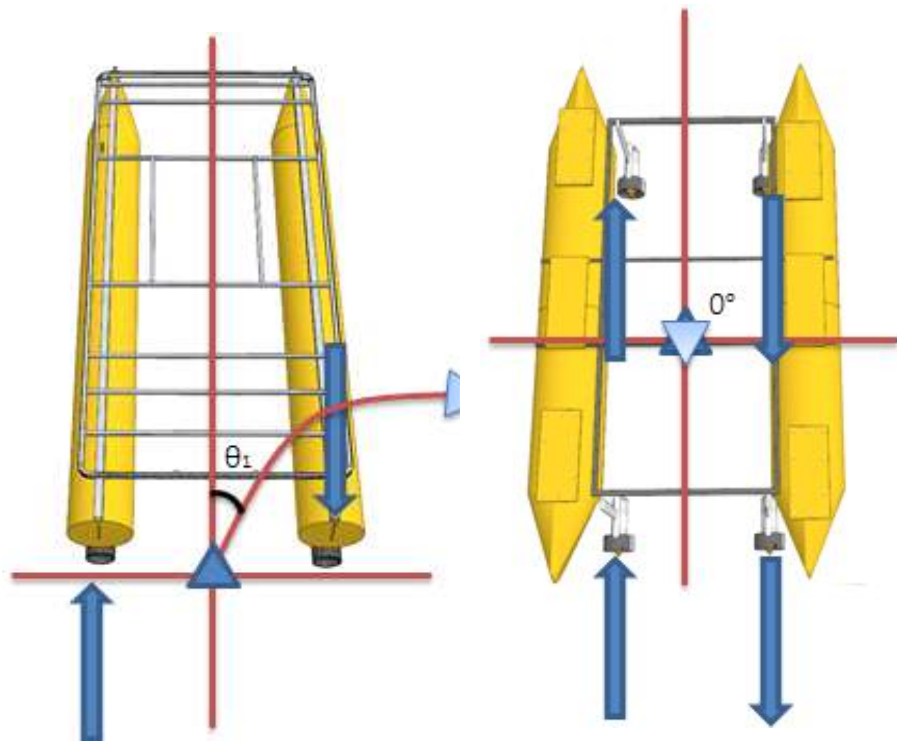


그림 2.30 추진기 위치에 따른 선미에서의 회전반경 비교

2. 무인 로봇선 개발

가. 선체 및 추력 장치의 성능 개선

본 연구에서 개발된 무인 로봇선은 전기장치에 의해 회전하는 쓰러스터(추진기)를 동력으로 사용한다. 쓰러스터는 본래 선박이 부두에 접이안할 때에 조종 보조용으로 이용되나, 현재는 무인 로봇선이나 무인 잠수정에 주동력으로 사용되고 있다.

기존 연구를 통해 개발된 무인 로봇선에 활용되는 추진기는 본래 미국 Tecnadyne사의 Model-1060을 사용되고 있었다. 그러나 입력전압(260vdc)을 인가하기 위하여 무거운 중량의 발전기와 인버터가 사용되고 있어 선체의 적재하중을 대부분 차지하고 있다. 이로 인해 추가 장비의 탑재가 어렵고 속도저하의 원인이 되고 있다. 다음은 기존 로봇선의 추력 장치와 부속장치를 나타내고 있다.



그림 2.31 기존 무인선의 추력장치 및 부속장치

따라서 무인 로봇선의 추력장치 및 부속장치들의 단점을 고려하여 무게가 가볍고 출력이 높은 미국 Seabotix사의 HPDC1513 모델로 추력장치를 교체하여 사용하였다. 다음은 본 연구에서 사용된 미국 Seabotix사의 HPDC1513 추진기의 주요사양을 나타내고 있다.

표 2.7 Seabotix사 HPDC1513 모델 쓰러스터의 주요사양

Seabotix사의 HPDC1513	주요사양
	• 추력 : 8kgf • 입력전압 : 28vdc • 최대전류 : 10.0Amps • 대기중 중량 : 738g • 수중 중량 : -397g • 속도제어 : RS485

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 쓰러스터를 이용하여 속도 및 방향을 모두 조절함으로써 구조가 단순해지고 열 및 진동의 영

향을 최소화 할 수 있다. 또한 장비적재 상황에 따라 선폭을 가변적으로 변형하여 장비 적재의 선택폭이 넓도록 개발되었다. 다음 표는 프레임과 헬로 이루어진 선체의 모습과 제원을 나타내고 있다.

표 2.8 무인 로봇선 선체의 제원

선체	제원
	• 길이 : 197cm • 폭 : 100cm 이상(가변형) • 높이 : 30cm • 적재공간 : 90cm(이상)x190cmx50cm

또한 선체에 장착된 추진기 개수와 위치를 변경하여 로봇선의 기동성을 확보하고, 자동 운항에 적합하도록 제작하였다.

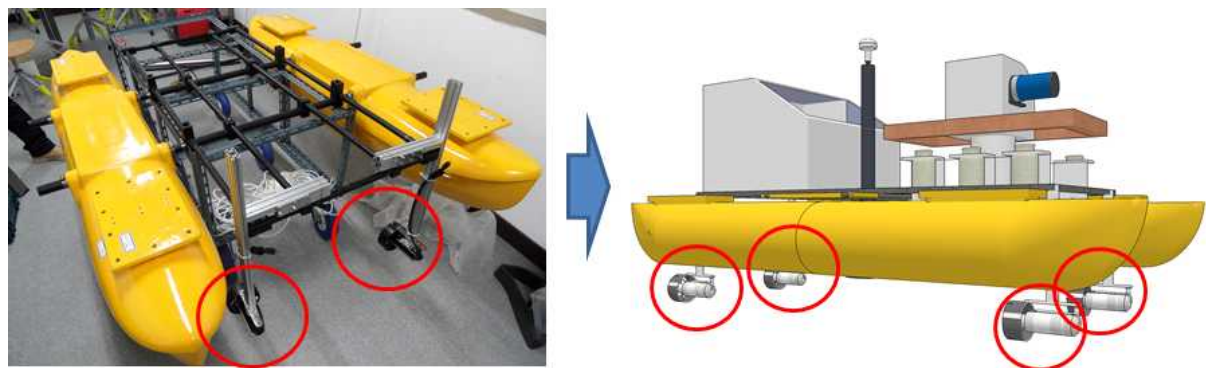


그림 2.32 선체의 추진기 장착 위치

개방된 선체의 특성상 무인 로봇선에 탑재될 노트북 및 기타 전자기기의 방수가 취약하여 다음 그림과 같은 가벼운 재질(아크릴)을 이용하여 별도의 방수 케이스를 제작하였다.

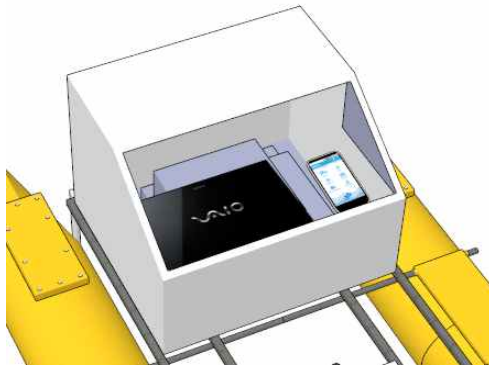


그림 2.33 방수 케이스의 설계도



그림 2.34 방수 케이스의 제작 결과

나. 전원 공급장치의 성능 개선

기존 로봇선에서 사용되는 발전기와 인버터의 중량을 줄이고 충분한 작업시간을 확보하기 위해 추진기의 동력원으로 리튬 이온 폴리머 배터리를 사용하였다. 리튬 이온 폴리머 배터리는 폭발위험성이 있는 액체 전해질 대신 화학적으로 가장 안정적인 Polymer(고체 또는 젤 형태의 고분자 중합체) 상태의 전해질을 사용하여 누액과 폭발의 위험성이 적다.

또한 에너지 효율이 높고 다양한 크기와 모양으로 제조가 가능하므로 본 추진기의 사양에 맞게 제작하여 무게를 줄였다. 본 제작된 배터리는 기본적인 보호회로(PCM)에 각 셀의 전압을 일정하게 조절(BMS)할 수 있도록 설계하였다.

다음 표는 본 배터리의 기본사양을 나타내고 있다.

표 2.9 전원공급 장치의 기본사양

항 목	사 양	
공칭 용량	20Ah	
공칭 전압	25.55V	
표준 충전	정전류 : 10A	
	정전압 : 29.05V	
표준 방전	종료 전류 : 2A	
	정전류 : 10A	
	종료 전압 : 21V	
최대 연속 방전 전류	20A 이하	
최대 방전 전류 (최대 10초 미만)	30A 이하	
방전 종료 전압	21.00V	

다. 자동측정 센서부 개발

기존의 수질측정방법은 물가에서 직접 채수하여 실험실에서 수질을 측정하거나, 휴대용 장비를 이용하여 직접 수질을 측정하고 있다. 이는 채수하여 운송하는 과정에서 시료가 변질할 수 있으며, 실험실에서 직접 수질측정을 해야 하는 번거로움 등 시간적, 경제적 측면에서 효율적이지 못하다.



그림 2.35 기존 채수 방법

따라서 본 연구에서는 자동 수질 센서로 pH, ORP, Do, 전도도, 염도, 온도를 측정할 수 있는 다항목 자동측정 센서인 iSTEK사의 Multi 90i 모델을 사용하였다. 최대 6개 항목이 동시에 측정 가능하며, 측정중인 데이터를 실시간으로 PC에 전송 할 수 있어 현장에서 실시간으로 모니터링하는 것이 가능하다. 이는 채수를 통하여 실험실에서 분석하는 것과 비교하여 시간과 경제적 측면에서 효율적이다.

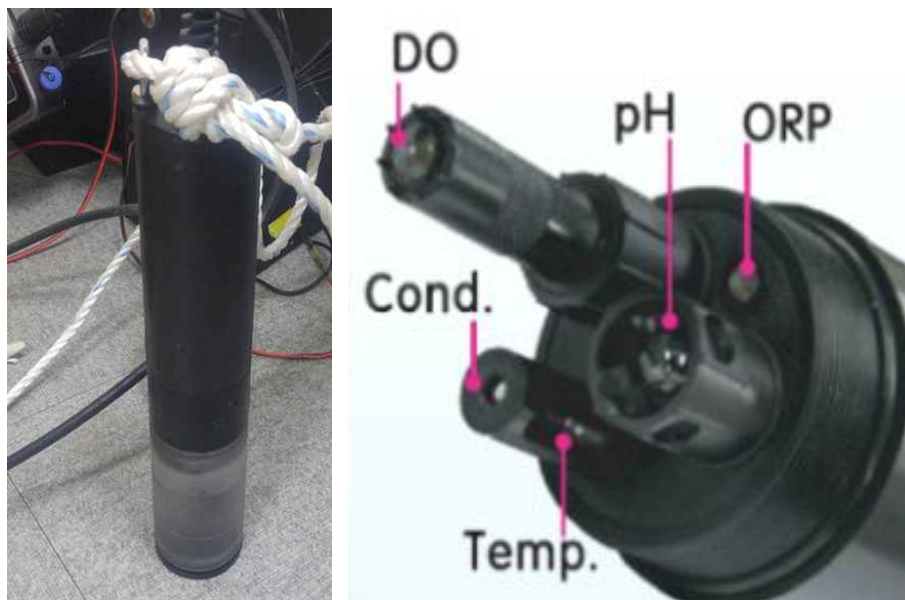


그림 2.36 자동 수질측정 센서 구성

표 2.10 자동수질 측정센서의 사양

측정항목	pH	ORP	DO/O2	Cond.	Salinity/TDS	온도
범 위	0~20.00pH	± 1000.0mV	0~19.99 mg/L	0~200 mS/cm	0~80.0 ppt 0~1999.9 mg/L	-10~50 ° C
분해능	0.01 pH	0.1 mV	0.1 mg/L ±0.1 %	1 uS/cm 0.01 mS/cm	0.1 ppt 0.1 mg/L	0.1° C
정확도	±0.1 pH	±20 mV	±5 %	±0.5%	±1.0 of reading or 0.1 ppt ±0.2 %	±0.2° C
센서타입	유리전극방식	백금	Polarographic	4 전극 방식 (Autoranging)		PT100
보 정	Auto/Manual 1 5point	Auto 1 Point (228 or 475 mV)	02/Air : 1 Point DO : 2 Pont	Auto 1 Point		Auto
온도보상	Auto / Manual					
Data-log	Auto : 500,000 Points / Manual : 500 Points					
입 력	센서 연결 커넥터, USB(충전/통신) 연결 커넥터					
출 력	RS232C					

또한 채수 리프트에 부착되어 수면에서뿐만 아니라 수심 별 실시간 수질 측정이 가능 하도록 자동 수질측정 센서의 마운트를 제작하였다.

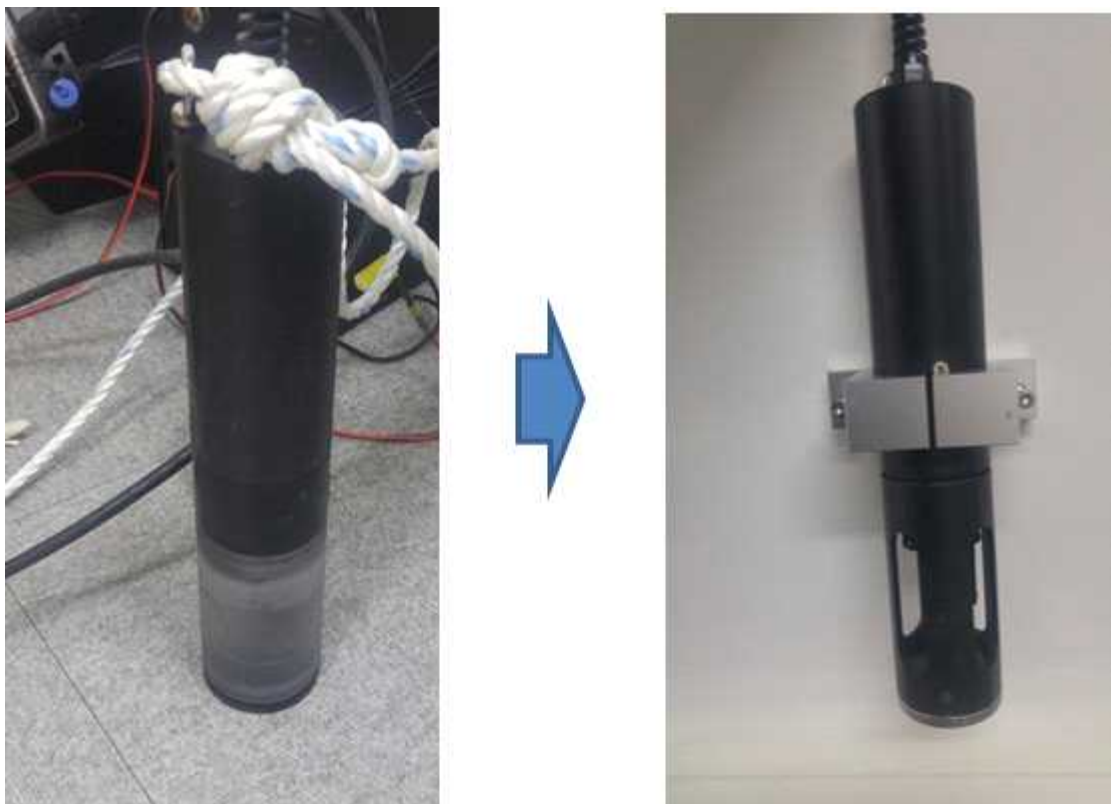


그림 2.37 자동 수질측정 센서 마운트 제작

하상 정보 수집을 위해 음향측정센서부를 개발하였다. 음향측정센서(사이드스캔소나, Side Scan Sonar)는 영국의 Tritech사(<http://www.tritech.co.uk>)의 StarFish 990F를 사용하였으며, 내수면에서 50m까지 측정이 가능하며, 무게가 약 2kg으로 비교적 소형으로 제작되어, 본 연구의 목적과 일치하는 장비로 판단되었다.



그림 2.38 하상정보 수집을 위한 음향측정 센서

표 2.11 하상정보 수집을 위한 음향측정센서의 세부 사양

구 분	세부사양
Frequency	1MHz CHIRP
Operating Range	Up to 35m (115ft) per channel
Horizontal Beam Width	0.3°
Vertical Beam Width	60°
Transducer Angle	Tilted Down 30° from Horizontal
Length	378mm (14.88")
Width	110mm (4.33")
Height	97mm (3.81")
Weight(in Air)	2.0kg (4.41lb)
Construction	Reinforced polyurethane rubber
Colour	High-Vis Red
Depth Rating	50m (164ft)
Connector	Impulse, 5-way (MCIL-5-FS)

무인 로봇선에 탑재된 유속계는 하천, 수로, 수중 실험장치 등의 유속을 측정하며 대하천의 중고속 유속부터 소하천의 저유속까지 하천의 모든 유속을 측정할 수 있다. 유량조사사업

단의 표준 유속계를 사용하였으며, 한국수자원공사, 4대강 물환경연구소, 한국건설기술연구원, 보건환경연구원 등에서 사용 중이다.

표 2.12 유속계 사양

기능	현재, 최고, 평균
단위	Knots, mph, km/h, m/s, fps, cm/s
임펠러의 최소감도	0.1m/s, 0.3km/h
최고속도	13.8m/s, 50km/h
분해능	0.1(다만 cm/s의 경우는 3)
정확도	$\pm 2\%$

라. 데이터 통신 방법 개선

통신부는 원활하고 안정된 데이터 송수신을 위하여 기존 RF통신 모뎀 및 안테나를 선체에 장착하는 번거로움과 선체의 적재하중에 영향을 많이 주고 있다. 또한 직접 1:1 통신방식으로 통신거리의 한계(1km)가 있었다.



그림 2.39 RF 통신 모뎀 및 송수신 안테나

현재 휴대폰 통신의 발달로 인해 스마트폰의 무선 인터넷 이용이 용이하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 통신 거리의 한계가 없으며, 전송률이나 데이터 손실율에서 크게 향상된 통신 방식이 적용된 스마트폰을 이용한 무선인터넷을 사용하여 데이터 및 제어 신호를 송수신 할 수 있도록 통신방식을 개선 적용하였다.



그림 2.40 스마트폰을 이용한 무선 인터넷 통신 개념도

2차년도에 전송률이나 데이터 손실률에서 크게 향상된 통신방식이 적용된 스마트폰을 이용한 무선인터넷을 사용하여 데이터 및 제어 신호를 송수신 할 수 있도록 통신방식을 개선하였으나, 3차년도에 현장적용 시험과정에서 데이터양이 증가하고 하천 및 호수가 대부분 도시 외곽지역에 위치해 대상지역의 특성상 LTE 통신이 어려워 통신 속도를 만족하지 못하는 단점이 있었다. 이에 3차년에는 직접적인 통신이 가능하고 양방향 통신이 가능한 대용량의 데이터의 전송이 가능한 지그비(Zigbee)를 이용하여 데이터 통신방법을 개선하였다.



그림 2.41 지그비를 이용한 무선통신 개념도

표 2.13 지그비 통신장치 세부 사양

구분	지그비(ProBee-ZU10) 사양
RF 특성	- 주파수 대역 : 2.4GHz - 주파수 변조 : DSSS - 통상출력 : +20dBm E.I.R.P (max.) - 수신감도 : -102dBm @1% BER - RF 데이터 속도 : 250 kbps - 작동거리 : Up to 5km using 5 dBi dipole antenna - 채널 : 14 - 채널간격 : 5 MHz
지그비 네트워크	- Network topology: Mesh - Stack profile: ZigBee 2007 / ZigBee Pro - Network addressing: Channel, PAN ID, EPID
지그비 데이터 전송	- 유니캐스팅(Unicasting) - 멀티캐스팅(Multicasting) - 브로드캐스팅(Broadcasting) - Many-to-One Communication - Enhanced Reliability based on data retransmission
지그비 보안	128 bit AES encryption algorithms - Strong, NIST-approved security
인터페이스	- USB 'A' type Connector - USB 2.0 Full Speed compatible
물리적 특성 및 기타	- Size : 70.9 mm x 22.0 mm x 10.0 mm - Weight : 10g - Operating Temperature: -40°C to 85°C
인증	FCC, CE, TELEC, KCC



그림 2.42 통신포트 설정화면

Depth	Time	Temp	Salinity	Voltage	Current	Conductivity	Weight
/L 66%	013-08-0918:52:57	27.7	6.31	364.6mV	4.63mg/L	281.25mS/cm	196.9mg
/L 65%	013-08-0918:52:58	27.7	6.30	364.8mV	4.63mg/L	281.25mS/cm	196.9mg
/L 65%	013-08-0918:52:59	27.7	6.30	364.8mV	4.63mg/L	281.25mS/cm	196.9mg
/L 66%	013-08-0918:53:00	27.7	6.29	364.6mV	4.63mg/L	271.88mS/cm	190.3mg
/L 66%	013-08-0918:53:57	27.7	6.30	362.8mV	4.61mg/L	271.68mS/cm	190.2mg
/L 66%	013-08-0918:53:58	27.7	6.30	362.6mV	4.61mg/L	271.68mS/cm	190.2mg
/L 66%	013-08-0918:53:59	27.7	6.29	362.7mV	4.62mg/L	271.88mS/cm	190.3mg
/L 66%	013-08-0918:54:00	27.7	6.29	362.8mV	4.62mg/L	271.88mS/cm	190.3mg
/L 66%	013-08-0918:54:01	27.7	6.30	363.2mV	4.62mg/L	271.88mS/cm	190.3mg
/L 66%	013-08-0918:54:02	27.7	6.30	363.3mV	4.62mg/L	271.68mS/cm	190.2mg
/L 66%	013-08-0918:54:03	27.7	6.30	363.3mV	4.61mg/L	244.52mS/cm	171.2mg

그림 2.43 통신 연결이후 데이터 수신 결과

마. 로봇선 운항 프로그램 개발

(1) 로봇선 제어프로그램 개요

로봇선이 계획 항로를 따라 운항할 수 있도록 수동제어 프로그램을 개발하였다. 수동제어 프로그램은 노트북 모니터에 실시간으로 나타나는 로봇선의 위치를 모니터링하면서 방향 및 속도를 제어할 수 있도록 개발하였으며 그림 2.35와 같다.



그림 2.44 로봇선 제어 프로그램

제어 프로그램의 베이스 맵으로는 국토교통부 Vworld와 포털사이트들에서 제공하고 있는 open API(Application Programming Interface, 응용 프로그램 프로그래밍 인터페이스)를 이용하였으며, GPS로부터 입력된 위치정보에 의해 대상지역으로 바로 이동하게 된다. 전후좌우 방향 조절을 이용하여 좌우 쓰러스터의 출력을 조절하도록 개발하였다.

무인 로봇선의 운항 및 데이터 수집을 위해 로봇선 내부에는 쓰러스터와 GPS, 음향측심기, 수질 센서 등의 상태를 확인할 수 있는 기능을 가진 로봇선 제어 및 데이터 수집프로그램을 다음 그림 2.72과 같이 개발하였다.

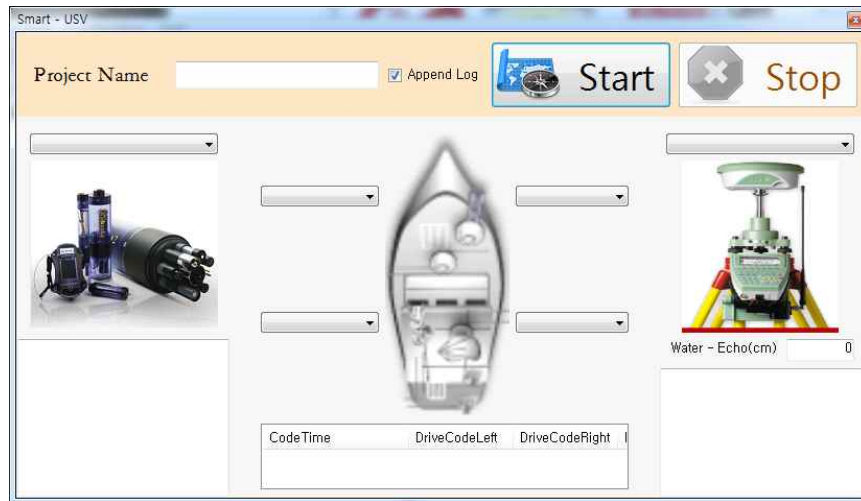


그림 2.45 로봇선 제어 및 데이터 수집 프로그램

(2) 수동 및 자동 운항 프로그램 개발

무인 로봇선의 제어는 쓰러스터의 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 쓰러스터의 성능이 제조사의 성능과 다르게 나타나므로, 무인 로봇선의 현장실험을 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.

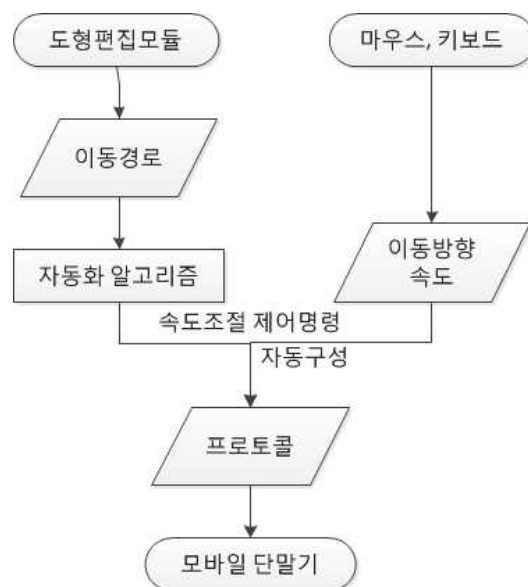


그림 2.46 원격제어 데이터 처리과정

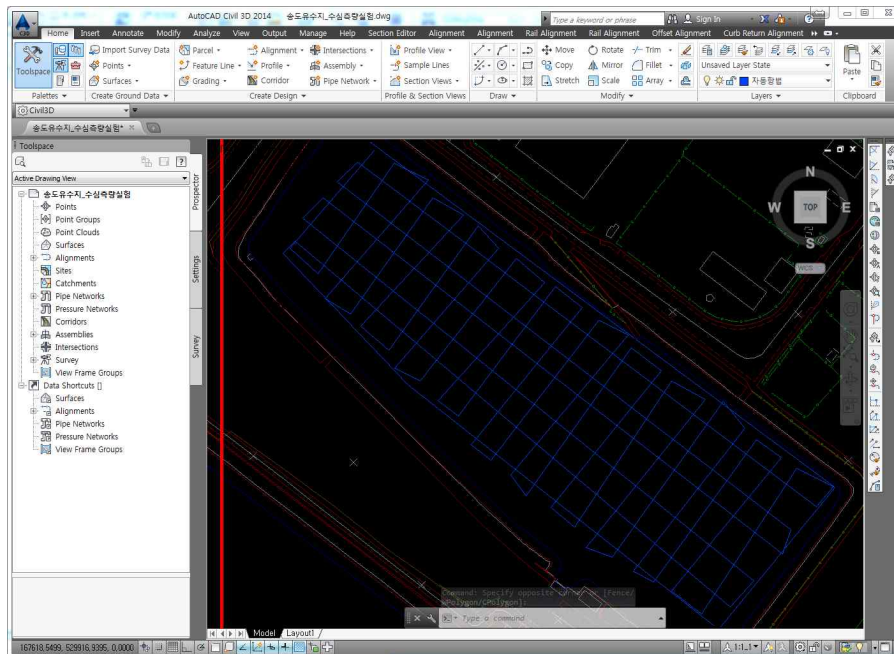


그림 2.47 캐드 기반의 자동향로 작성화면



그림 2.48 자동 향로 설정 화면

향로선형 선택 단추는 대상지역의 CAD 도면위에서 Polyline으로 작성된 계획향로를 선택하는 기능이 실행된다. 찾아보기 단추는 자동 운향을 위한 자료를 저장하기 위한 파일을 선택하는 기능이 실행된다. 향로 설정 파일 작성 단추는 무인 로봇선에 경로에 맞게 이동하도록 쓰레스터가 작동되도록 작성된 자동 운향 명령 파일을 작성하게 된다.

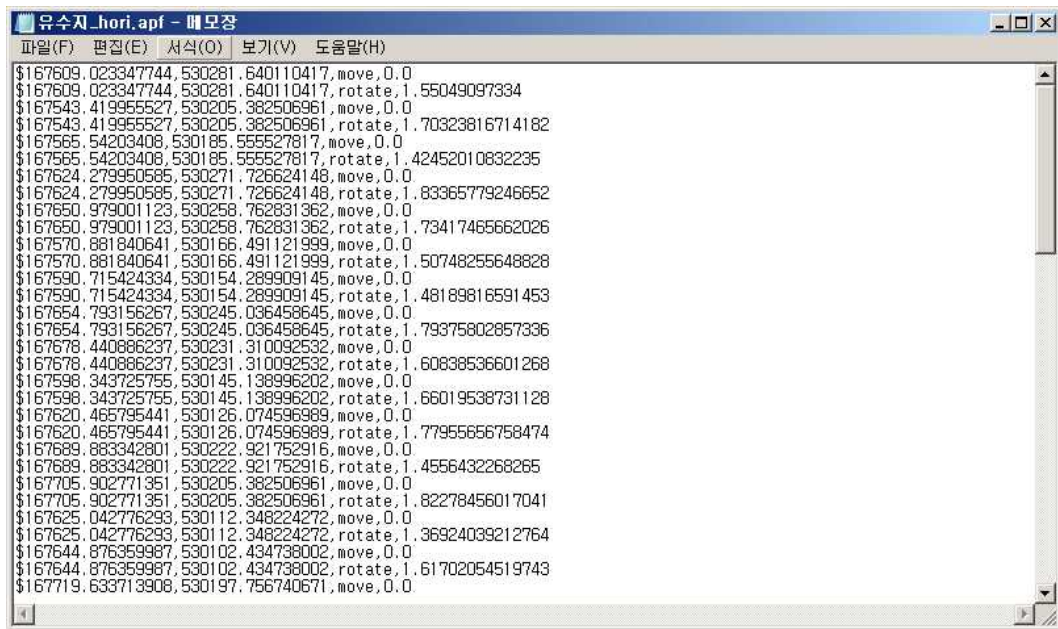


그림 2.49 자동 항로 운항 명령 파일 예시

3. 자동 채수 시스템 개발

하천 또는 저수지의 수질 조사에서 실내 실험을 위하여 시료 채취(채수)할 경우, 기존에는 수작업을 통해 채수 하던 것을 본 연구과제에서는 무인으로 운항되는 로봇선을 이용하여 자동으로 채수 할 수 있는 장치를 개발한다.

기존의 시료 채취 방법은 사람이 배를 타고 측정 지점까지 가거나 다리 위에서, 줄에 채수통을 매달아 물속에 던져 넣는 방법을 이용하는 것이 대부분이었다. 이러한 방법은 채수통의 뚜껑을 연채로 물에 던지기 때문에 물속에 들어가는 중에 시료가 채취되어 정확한 수심에서의 시료를 채취하기는 불가능하였다. 또한 수중에서 뚜껑을 여는 채수통을 이용하더라도 채수통 안에 들어있는 공기의 부력으로 인해 원하는 수심까지 들어가지 못하는 단점이 있었다.

따라서, 본 연구과제에서는 자동 채수시스템은 전기 모터와 기계적 신축장치 등을 이용하여 정확한 위치(공정시험법에 의한 채수지점)까지 자동으로 하강시킬 수 있는 자동 채수 리프트와 전자 신호에 의한 공압으로 밸브를 자동으로 개폐할 수 있고 채수통의 탈부착이 용이한 카트리지형 채수 컨테이너를 개발하였다.

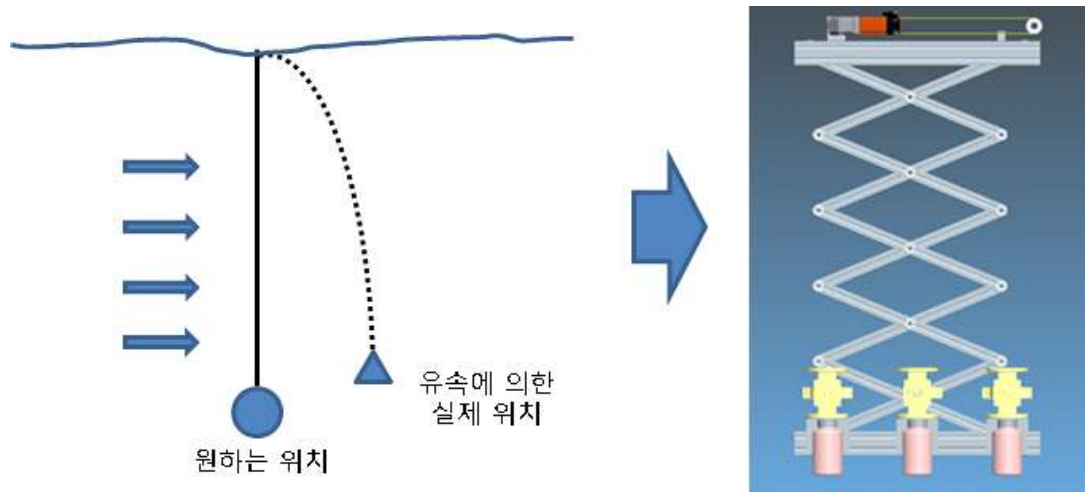


그림 2.50 자동 채수시스템의 개념

가. 채수 리프트 개발

관절형식의 신축장치를 이용하여 하강장치(채수 리프트)를 설계하였다. 다음은 채수 리프트의 하강 수치를 수학적으로 계산하기 위한 개념도를 나타내고 있다.

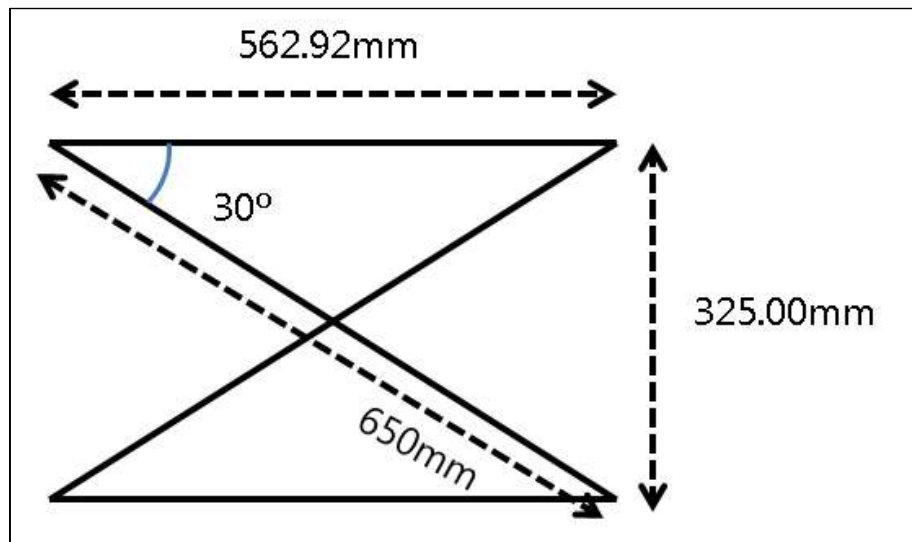


그림 2.51 채수 리프트의 하강 수치 계산을 위한 개념도

관절형식 채수 리프트는 650mm 부재를 사용할 경관절 각도에 따라 최소 28.35mm에서 최대 562.92mm까지 수직이동이 가능하게 된다. 즉, 부재 길이의 약 4%에서 87%까지 신축이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 이동시 부피가 작고 신축이 용이한 관절형식의 신축장치를 이용하여 자동 채수 리프트를 개발하였다.

표 2.14 관절 각도에 따른 수평 및 수직 거리

관절각도	수평거리(mm)	수직거리(mm)	수평이동거리(mm)
5.00	649.38	28.35	0.62
10.00	647.53	56.65	2.47
30.00	627.85	168.23	22.15
40.00	610.80	222.31	39.20
50.00	589.10	274.70	60.90
60.00	562.92	325.00	87.08
70.00	532.45	372.82	117.55
80.00	497.93	417.81	152.07
90.00	459.62	459.62	190.38
100.00	417.81	497.93	232.19
110.00	372.82	532.45	277.18
120.00	325.00	562.92	325.00

이러한 관절형식의 신축장치는 여러 개의 단으로 구성할 경우 동일한 수평 이동거리에 따라 몇 배의 수직 이동이 가능하게 된다. 즉, 관절을 5단으로 구성하여 수평으로 약 30cm 이동 시킬 경우 최대 수직으로 약 2.5m까지 이동이 가능하다. 이는 부재 길이의 최대 8개 이상 되는 길이이다. 다음은 채수 리프트의 설계도를 나타내고 있다.

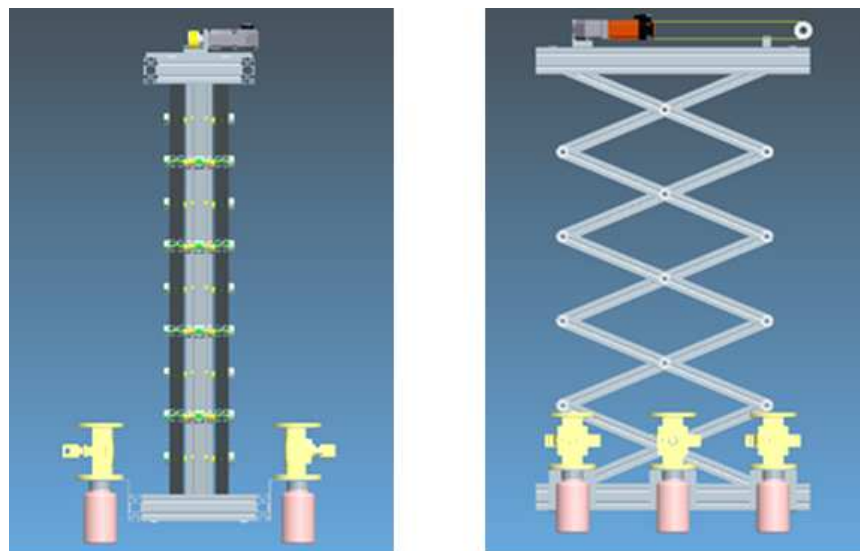


그림 2.52 채수 리프트 설계도

다음은 수학적으로 계산된 수평이동 거리에 따른 수직 이동 거리를 나타내고 있다.

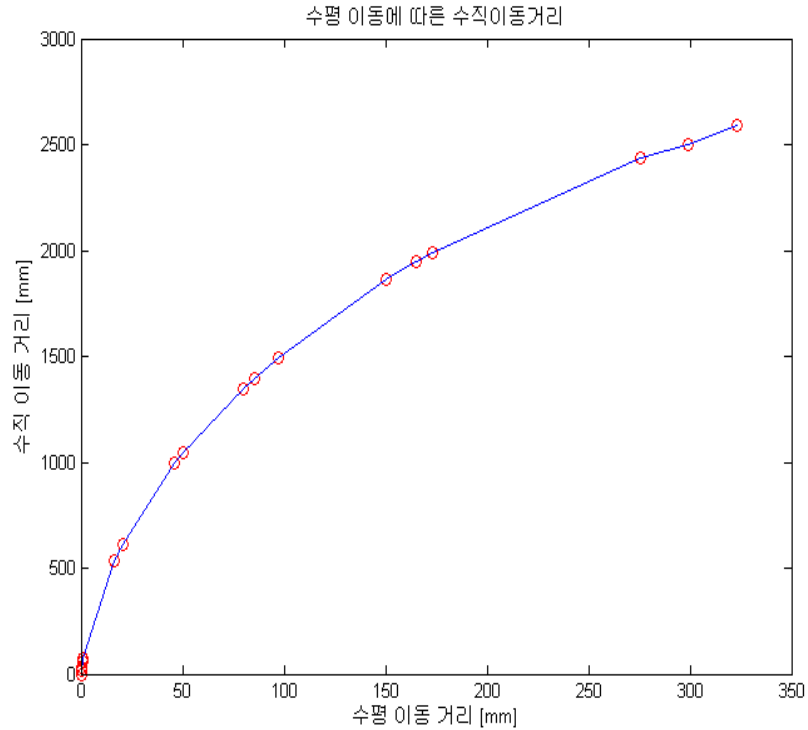


그림 2.53 수평 이동 거리에 따른 수직이동 거리

또한 구동장치로는 정밀하게 제어되는 모터를 이용하여 수평이동이 이루어지고 관절형식 신축장치는 하강하게 된다.

모터에 의한 회전수에 따른 하강 깊이의 관계식은 다음과 같다.

$$H = \sqrt{D^2 - [D - (N_r \times \frac{2\pi r}{100})]^2}$$

여기서, H : 하강 깊이(5단 연결일 경우 5배)

D : 관절의 길이(mm)

N_r : 모터의 회전수

r : 모터에 연결된 기어의 반지름(mm)

하강 깊이에 따른 모터의 회전수 관계식은 다음과 같다.

$$N_r = \frac{D - \sqrt{D^2 - \Delta H^2}}{2\pi r} \times 100$$

여기서, ΔH : 채수 리프트의 최소 길이(22.68mm)가 포함된 채수 깊이

예) 1단 사용시 : 100mm 하강 요구시 ΔH 는 122.680mm

5단 사용시 : 100mm 하강 요구시 ΔH 는 24.536mm

표 2.15 요구 깊이에 따른 회전수

	요구깊이(mm)	$\Delta H(\text{mm})$	회전수(Nr)
1단	100	122.68	7.67
	200	222.68	25.81
	300	322.68	56.27
	400	422.68	102.49
	500	522.68	172.97
	600	622.68	304.16
5단	100	24.536	0.30
	200	44.536	1.00
	300	64.536	2.11
	400	84.536	3.62
	500	104.536	5.55
	600	124.536	7.90
	700	144.536	10.68
	800	164.536	13.89
	900	184.536	17.55
	1000	204.536	21.67
	1500	304.536	49.71
	2000	404.536	92.67
	2500	504.536	157.61
	3000	604.536	269.80

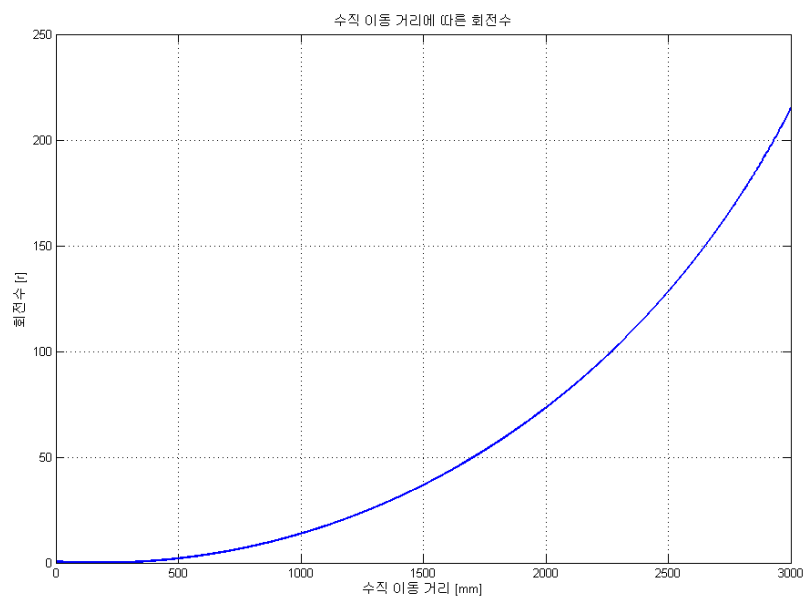


그림 2.54 요구 깊이에 따른 모터의 회전수

또한 채수 리프트는 소형선박에 적합하도록 중량을 최소화하면서 유속에 의한 영향을 최소화하기 위해, 관절형식이 유지되도록 기존에 계획했던 총 32개(1단에 8개) 프레임(관절)에서 총 15개(1단에 3개)로 변경하여 개발하였으며, 프레임의 재질을 기존에 계획했던 스테인리스강(stainless steel)에서 알루미늄 프로파일로 변경하여 무게를 줄여 개발하였다.

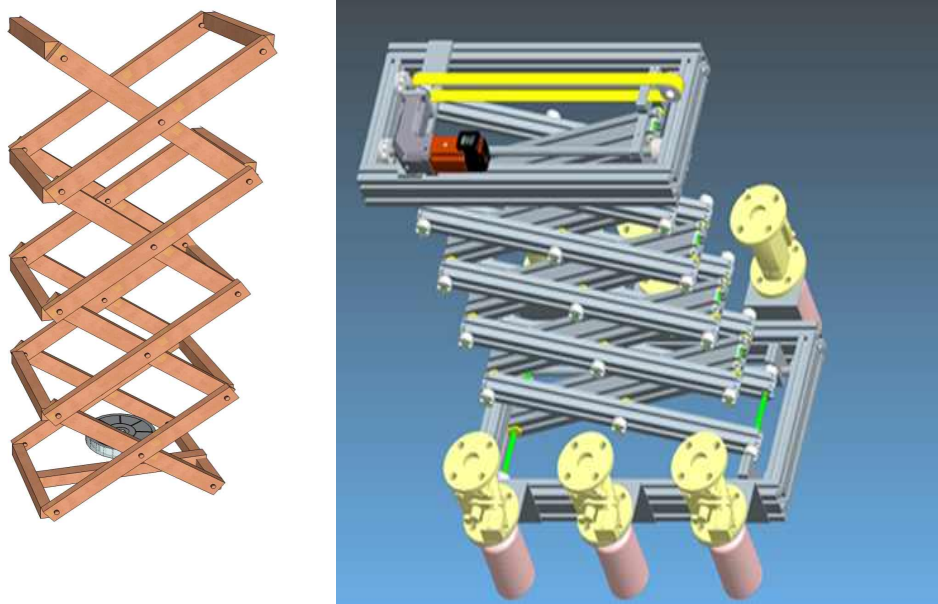


그림 2.55 채수 리프트의 프레임 구조 및 재질 변경

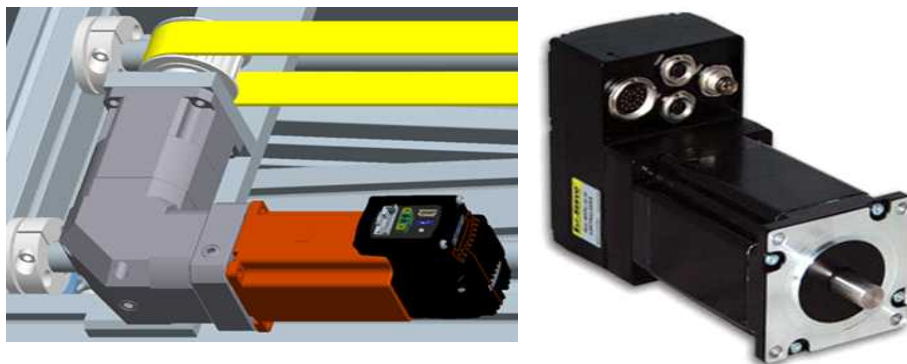


그림 2.56 채수 리프트 하강을 위한 동력전달 장치

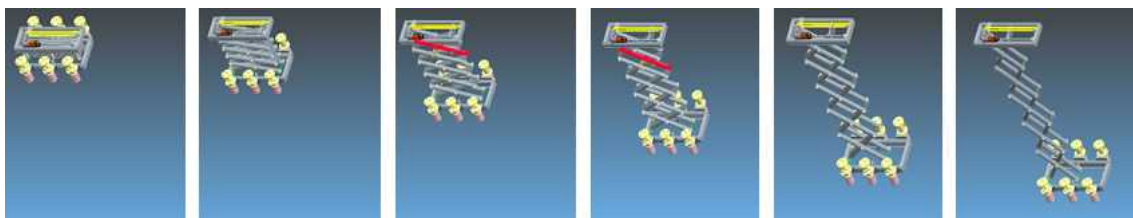


그림 2.57 수평이동 변화에 따른 채수 리프트 하강 시뮬레이션

채수 리프트의 프레임은 완전히 접혔을 경우 약 40cm로 무인 로봇선의 메인 프레임의 상단에서 수면까지 내려가게 된다.



그림 2.58 관절식 채수 리프트 개발 결과



그림 2.59 관절식 채수 리프트 승강 시험

동력장치에 의해 프레임 상단의 3개 관절의 거리를 좁혀지면 채수 컨테이너가 장착된 하부가 하강하며, 수심측정결과를 기반으로 수심의 1/3, 2/3가 되는 정확 심도에서의 채수가 가능하도록 개발하였다.

나. 채수 리프트 성능 개선

기존 채수 리프트의 무게와 공차 문제를 해결하기 위하여 체인방식의 채수 리프트를 설계하였다. 다음 그림은 다양한 수직이동 가능한 장치를 나타내고 있다.



그림 2.60 수직이동 가능한 장치의 종류

수직이동이 가능한 장치들 중에서 본 연구에서는 수직체인방식의 Rigid Chain Actuator를 이용하였다. 다음 그림은 수직체인의 원리와 사례를 나타내고 있다. 사례에서 볼 수 있듯이 무거운 무게를 들어 올릴 수 있을 정도의 리프트장치가 제작되고 있으며, 구조가 간단하여 적은 무게로 제작이 가능하고 서브모터에 의해 정확한 위치제어가 가능하다. 또한 제작공차에 의한 처짐이 없을 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서도 수직체인 방식을 이용하여 채수 리프트를 개발 하였다.

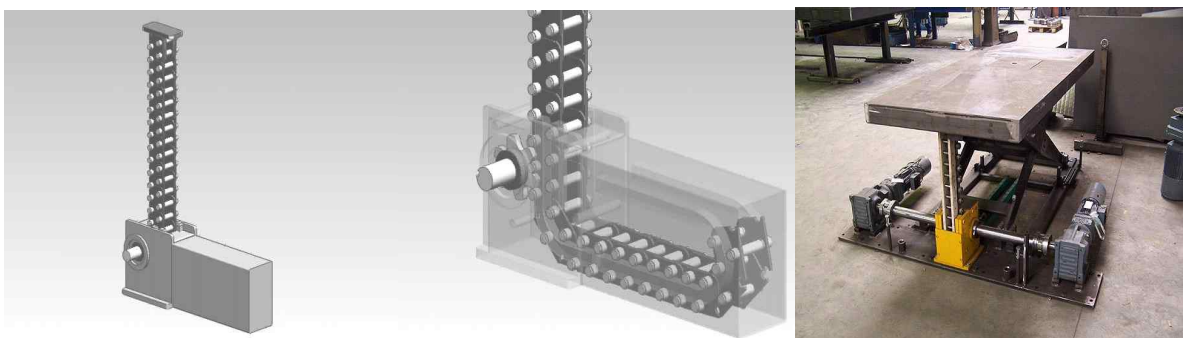


그림 2.61 수직체인의 원리와 사례

이러한 수직체인의 원리를 이용하여 다음 그림과 같이 본 연구에서는 수직이동이 가능한 수직 체인을 설계하였다.

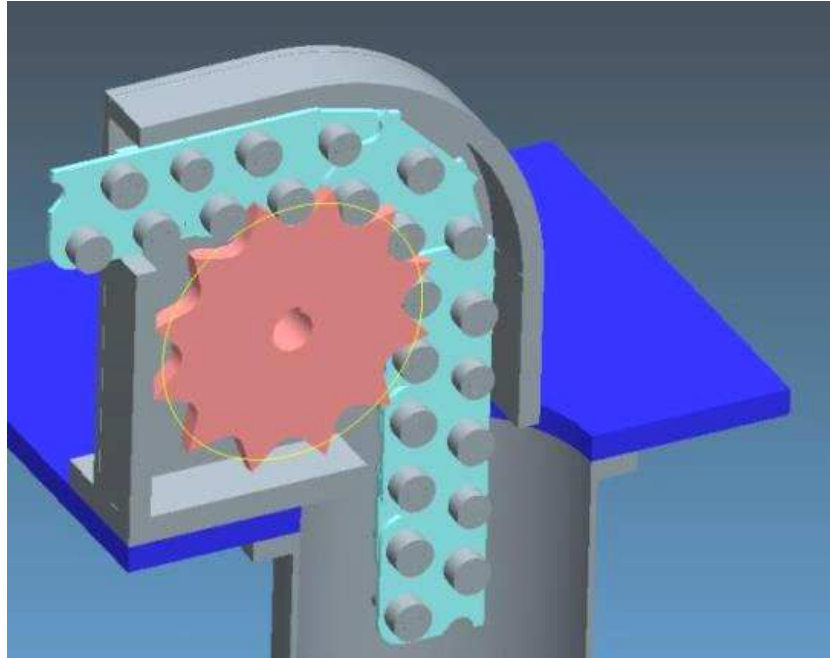


그림 2.62 체인원리를 이용한 수직상승과 하강 연결부 설계

또한 채수 리프트의 프레임은 수중에서 유속에 의한 영향을 최소화시키기 위하여 다음 그림과 같이 원형의 봉 형태로 다단으로 설계하였다. 이를 통하여 체인의 길이가 확보되면 무한의 수직이동장치의 개발이 가능할 것으로 예상되며, 수중에서의 작업효율 및 정확한 채수가 이루어 질 수 있을 것이다.

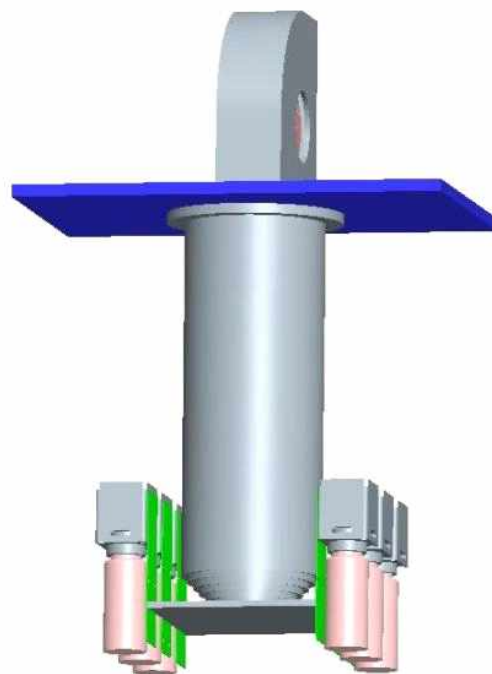
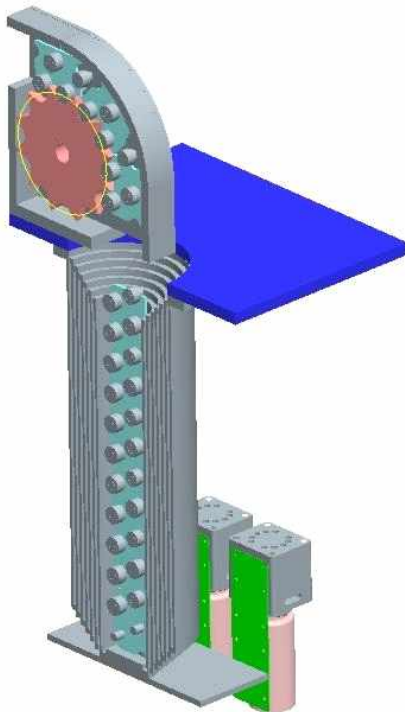


그림 2.63 채수 리프트 설계 단면도 그림 2.64 채수 리프트 및 채수컨테이너 결합

다음 그림은 수직체인 방식의 채수컨테이너를 결합하고 수직 이동되는 시뮬레이션의 결과를 나타내고 있다.

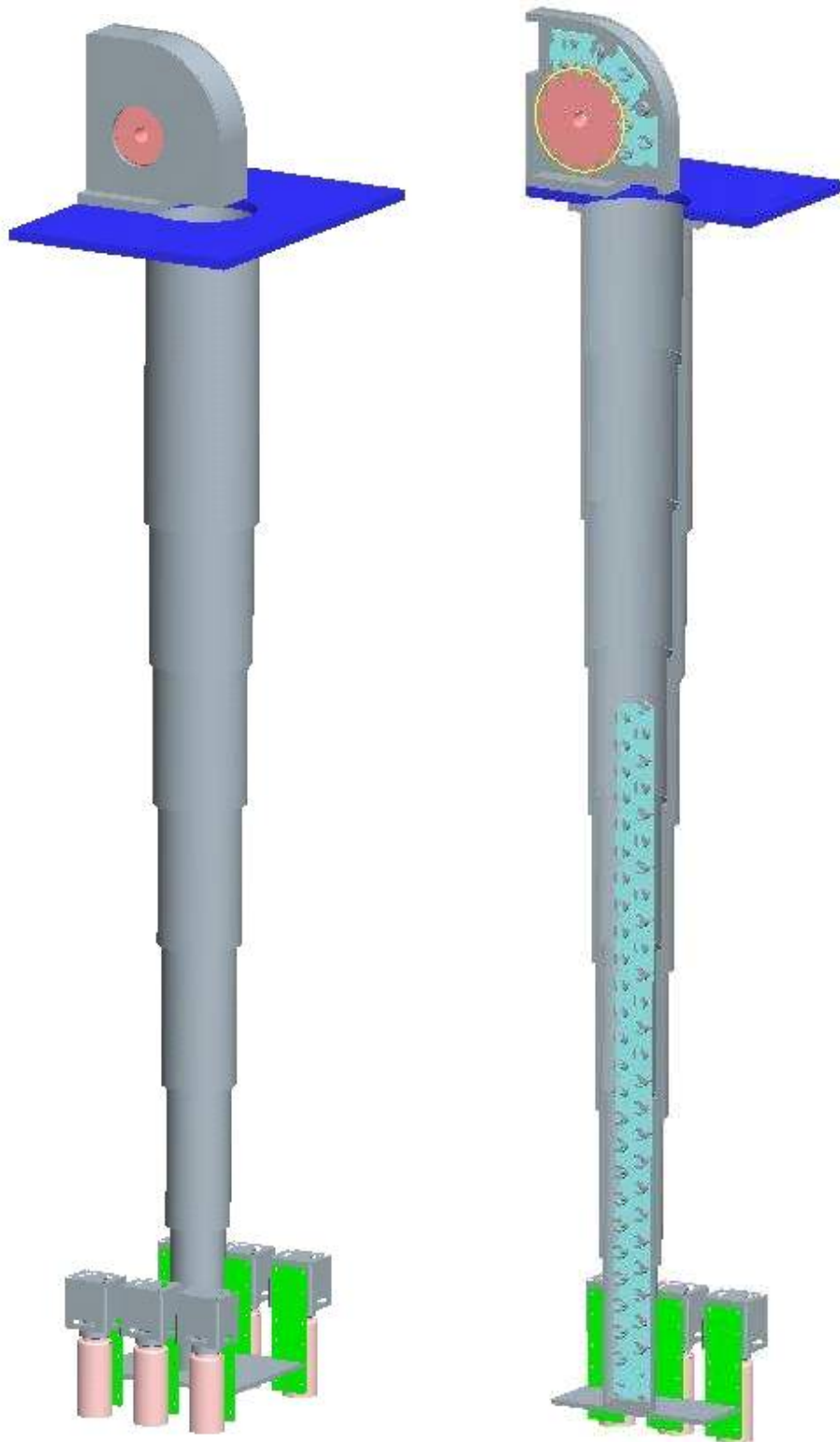


그림 2.65 채수 리프트 하강 시뮬레이션 결과

다. 채수 컨테이너 개발

기존 채수통의 경우 간단한 기계장치에 의해 줄로 뚜껑을 열고 닫았고 있으며, 채수통 안에 들어있는 공기의 부력으로 인해 원하는 수심까지 들어가지 못하는 단점이 있다. 또한 채수통과 줄이 일체로 되어있어 다수의 지점에서 채수하기 위해서는 별도의 용기에 옮겨 담아야 하는 문제점을 가지고 있다. 다음은 기존에 사용되고 있는 채수통들을 나타내고 있다.



그림 2.30 기존 채수장치인 채수통

기존에 계획된 채수장치는 다수 지점의 시료를 채수할 수 있는 채수 컨테이너로 전기 장치에 의해 뚜껑이 개폐되는 방식이었으나, 수중에서는 방수, 부력, 정밀한 제어 문제로 인해 자동 개폐가 용이하고 채수통의 탈부착이 용이한 카트리지형 채수 컨테이너를 개발하였다.

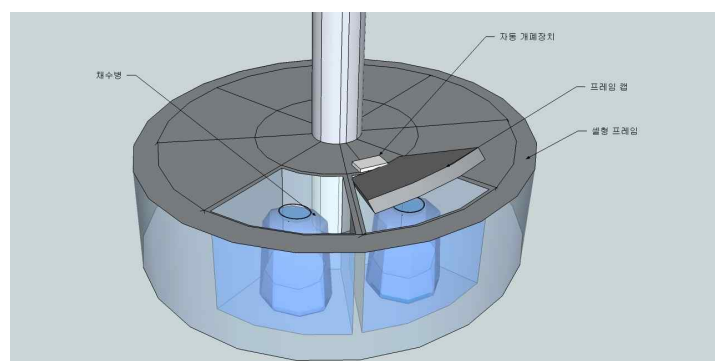


그림 2.67 채수 컨테이너 설계(안)

자동 개폐장치는 다음 그림과 같은 기계식 공압밸브로 채수 컨테이너 상부의 밸브를 자동 개폐할 수 있도록 개발하였다.



그림 2.68 기계식 공압 밸브

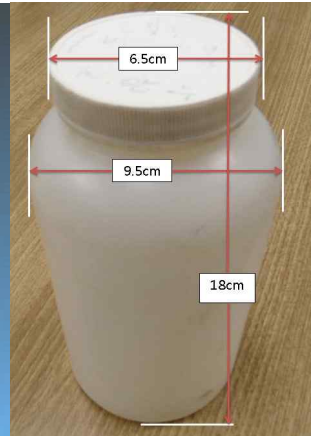
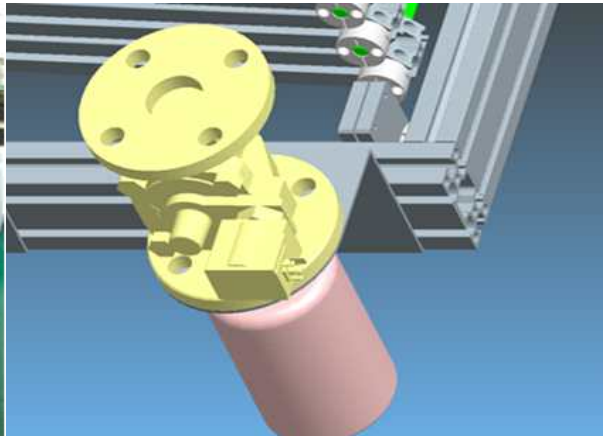


그림 2.69 개발된 카트리지형 채수 컨테이너

채수컨테이너는 카트리지형으로 탈부착이 가능하도록 개발하였고, 채수 리프트 바닥에서 수면으로 돌출 되도록 개발하여 로봇선 상부에서 채수가 완료되도록 개발하였다. 또한 채수통과 밸브의 연결 부분은 수밀성을 확보하기 위해 나사선 간격을 조밀하게 제작하였다.

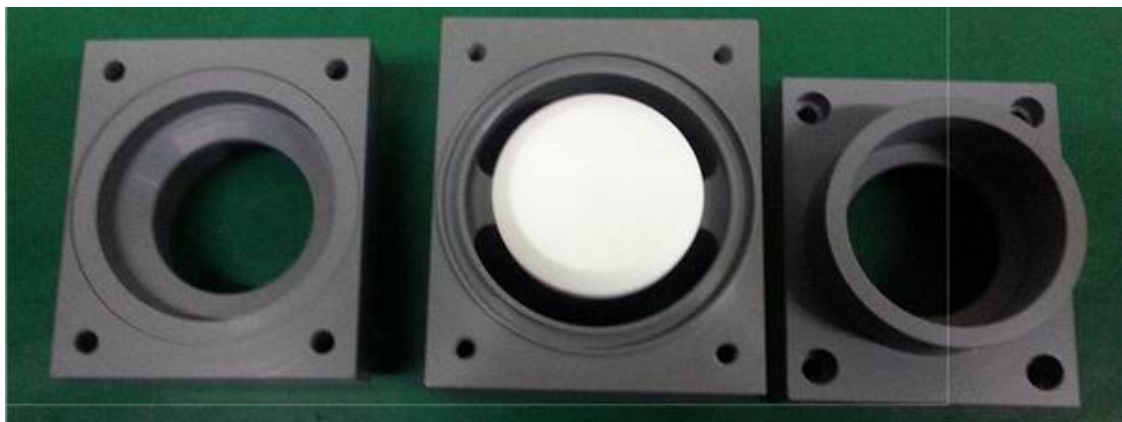


그림 2.70 채수통과 밸브의 연결 부분

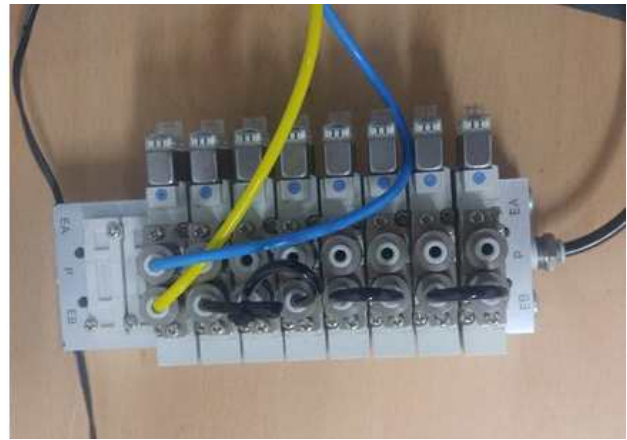


그림 2.71 채수 컨테이너의 가압 및 제어장치

4. 하천정보 관리 시스템 개발

가. 하천정보 관리 시스템 개발 개요

GPS, 음향측정센서, 쓰러스터, 전원 공급장치, 채수장치 및 수질측정센서 등이 장착된 길이 2m 정도의 소형 무인 로봇선이 자동으로 운항되며, 수중 공간정보 및 수질환경 정보를 획득하여 중앙 데이터베이스에 저장된 자료를 이용, 각종 도면을 작성할 수 있는 하천정보 관리시스템을 개발한다.

하천정보 관리 시스템은 6개의 개별 처리시스템을 포함하여 크게 다음 2개의 레이어로 구성되며 각각의 모듈은 다음과 같은 기능을 수행한다. 통합시스템 내에서 개별 처리시스템은 해당 장비 고유데이터에 대한 접근과 처리를 수행한다.

표 2.16 하천정보 관리 시스템의 기능

구분	명칭	설명
시스템	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 여러 가지 수질 분포도를 작성한다.
	하상 분포 시각화 프로그램	측정된 하상 측정 자료를 이용하여 3차원으로 모델을 만들고 분석한다.
통합데이터	데이터 교환 프로그램	계측된 자료를 DWG 형태로 변환하여 사용 가능한 형태의 자료로 변환한다.

하천정보 관리 시스템을 개발하기 위한 로봇선과 자료 분석 처리용 컴퓨터의 전체적인 시스템 구성은 다음과 같다.



그림 2.72 하천정보 관리 시스템 구성도

로봇선과 하천정보 관리 시스템과의 연계성을 잘 보여주며 두 시스템 사이는 관계형 데이터베이스를 이용하여 연동 할 수 있다.

나. 하천정보 관리 시스템의 기능 및 연결성

통합시스템이 사용자에게 제공하는 기능은 크게 분류하여 탐사장비별 고유데이터의 표준 데이터 전환, 다양한 가시화 기능을 통한 계측 자료의 제공, 주제도 및 보고서 등 측량 성과물 작성의 4가지로 나누어지며 이러한 기능은 내부적으로 개별시스템을 포함한 라이브러리의 기능을 호출하여 수행된다.



그림 2.73 하천정보 관리 시스템의 기능 및 연결성

다. 하천정보 관리 프로그램 프로세스 정의

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

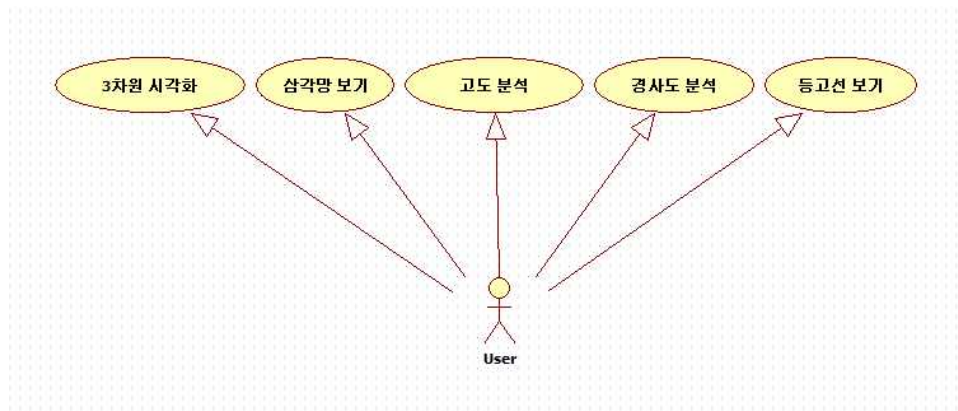


그림 2.74 3차원 시각화 유즈케이스



그림 2.75 3차원 시각화 시퀀스 다이어그램

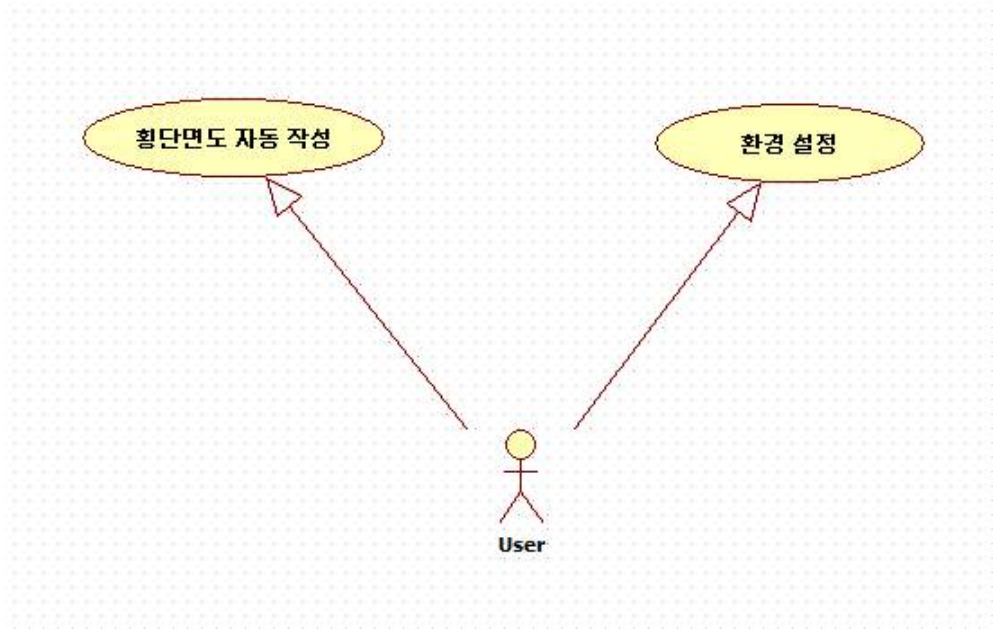


그림 2.76 횡단면도 자동 작성 유즈케이스

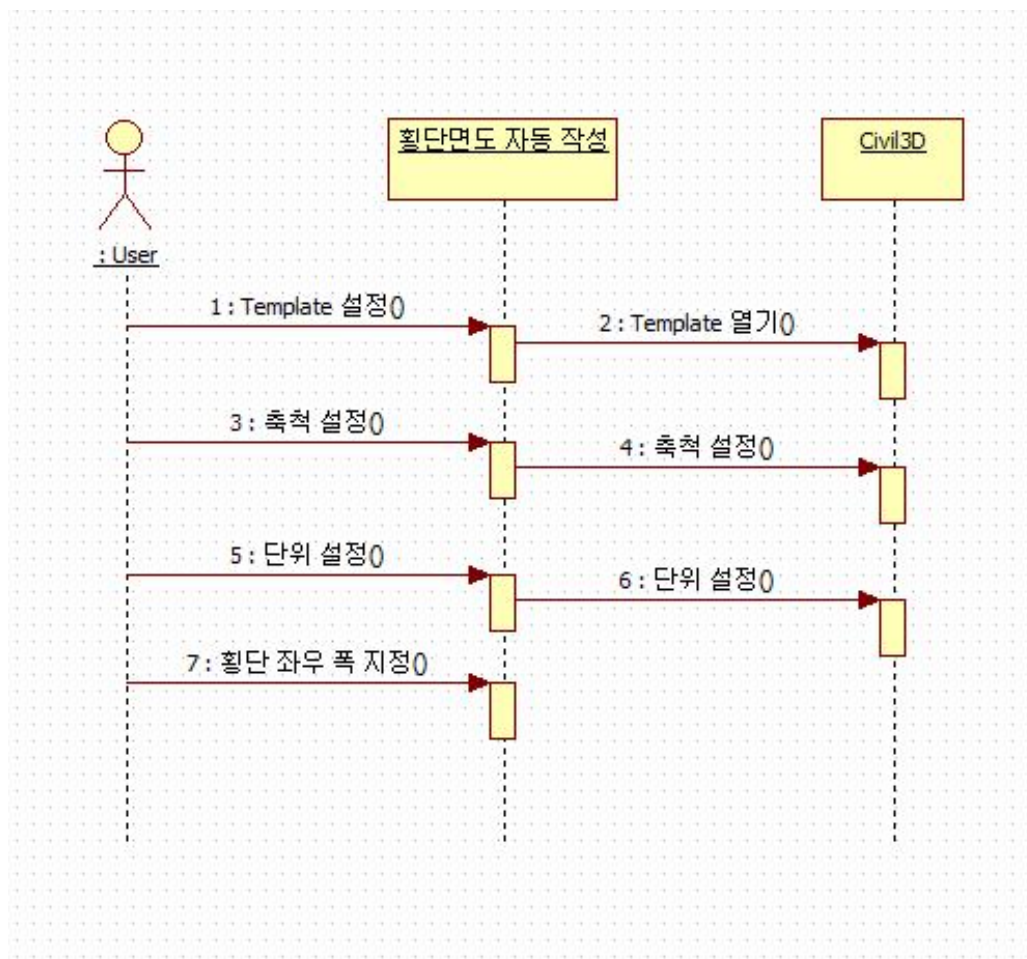


그림 2.77 횡단면도 자동 작성 환경설정 시퀀스 다이어그램

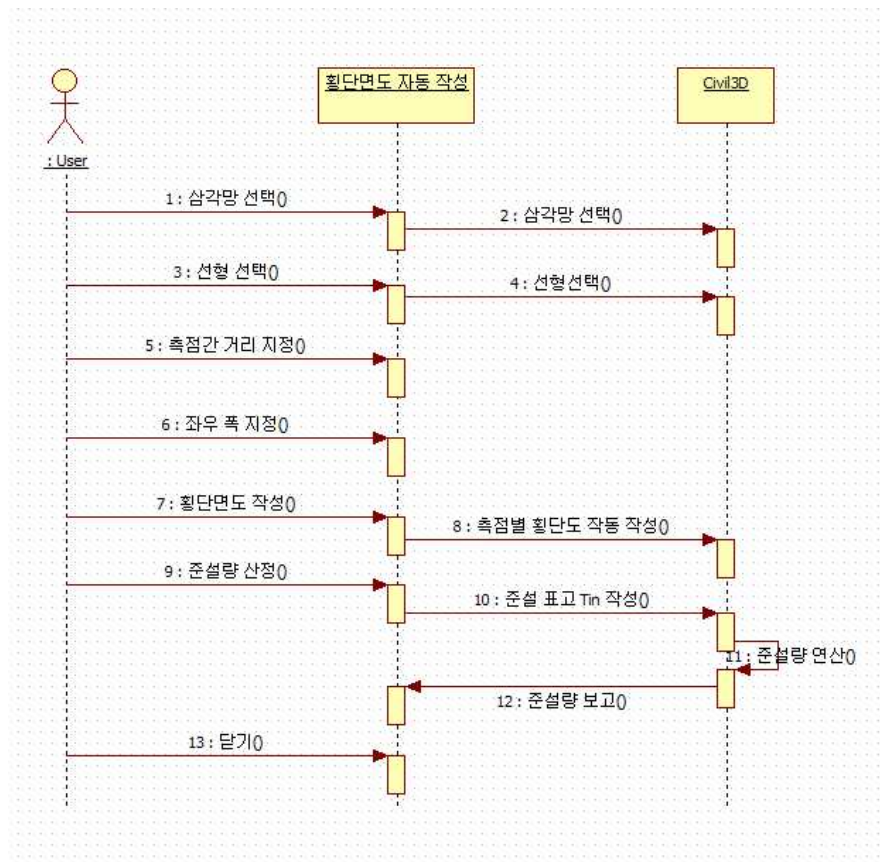


그림 2.78 횡단면도 자동 작성 시퀀스 다이어그램

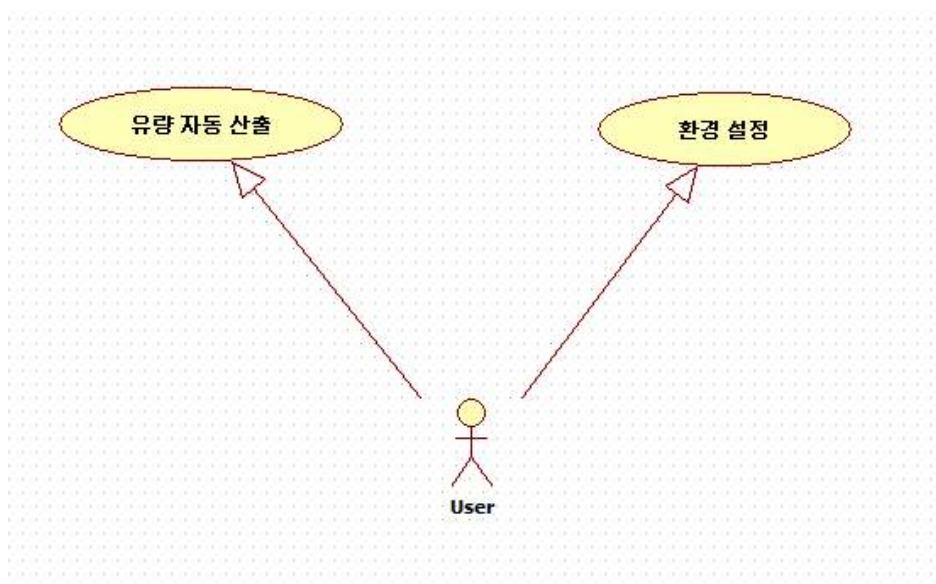


그림 2.79 유량 자동 산출 유즈케이스

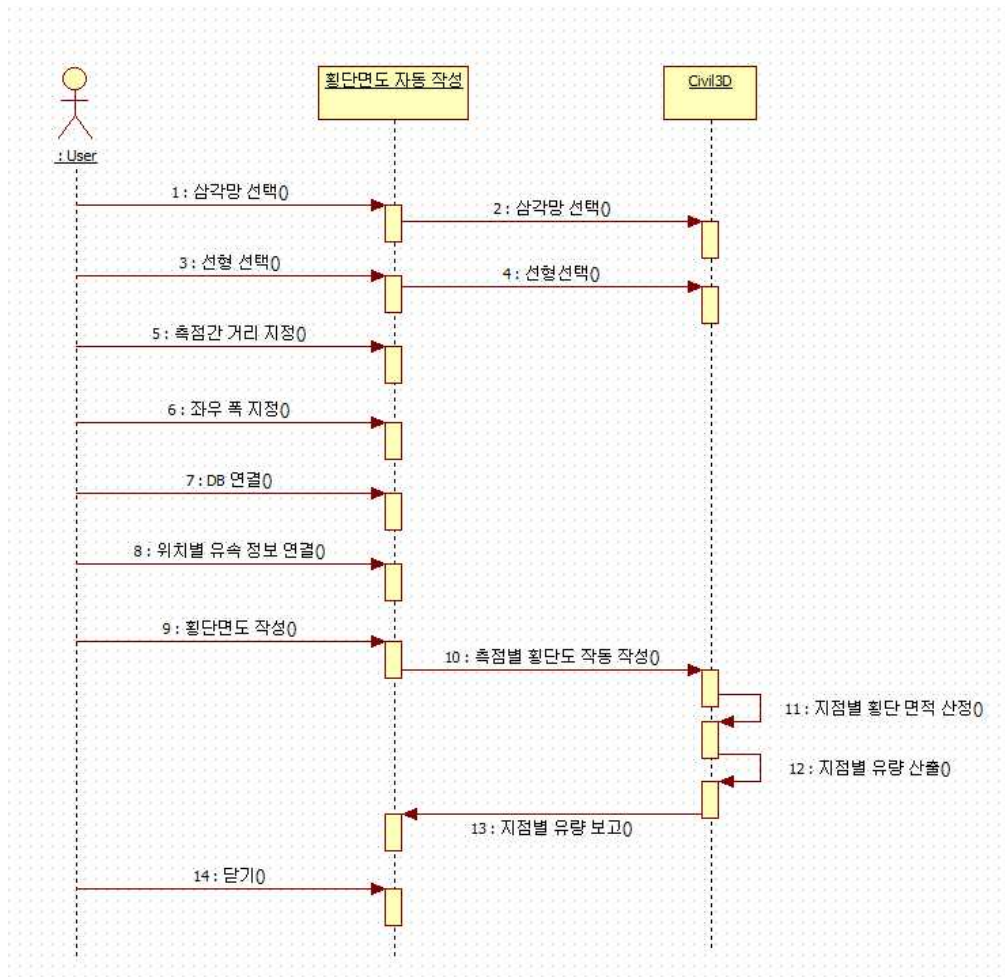


그림 2.80 유량 자동 산출 시퀀스 다이어그램

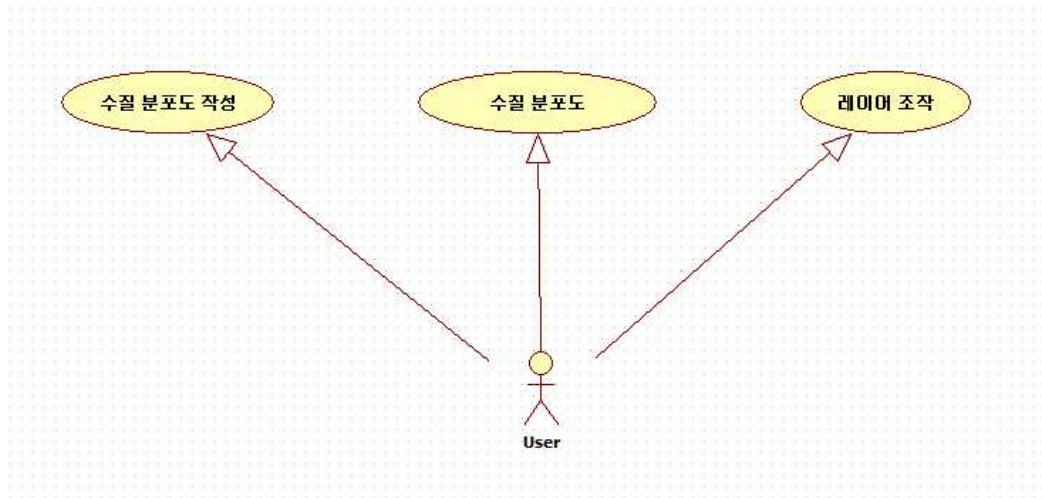


그림 2.81 수질분포도 유즈케이스

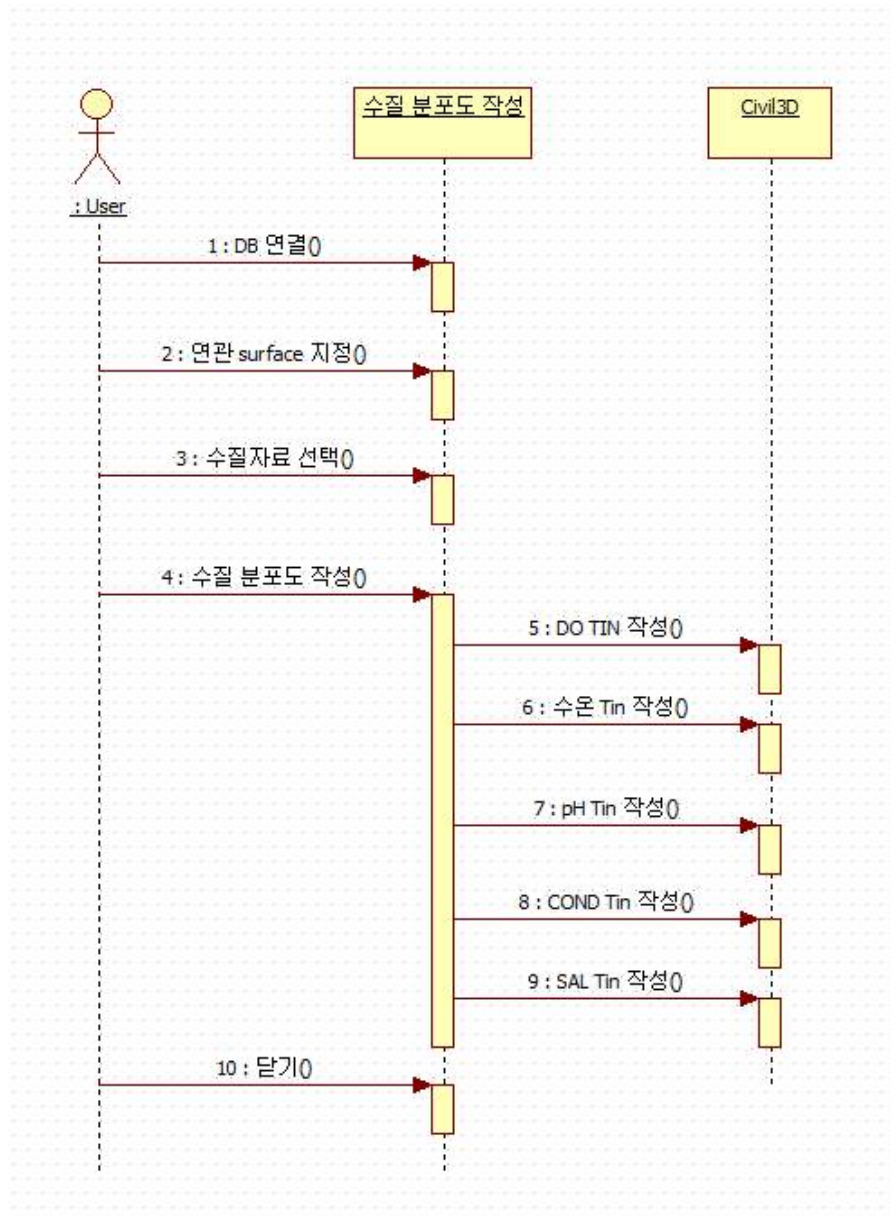


그림 2.82 수질분포도 작성 시퀀스 다이어그램

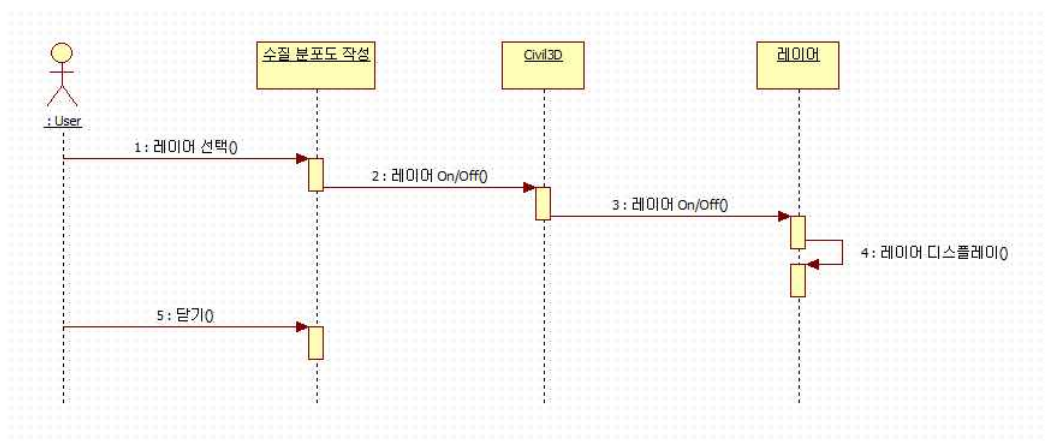


그림 2.83 수질분포 레이어 제어 시퀀스 다이어그램

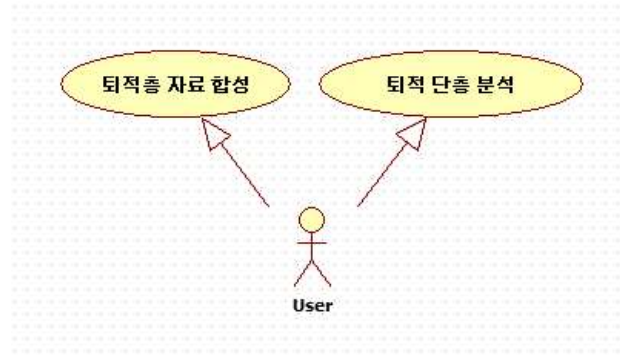


그림 2.84 하상 퇴적층 자료 유즈케이스

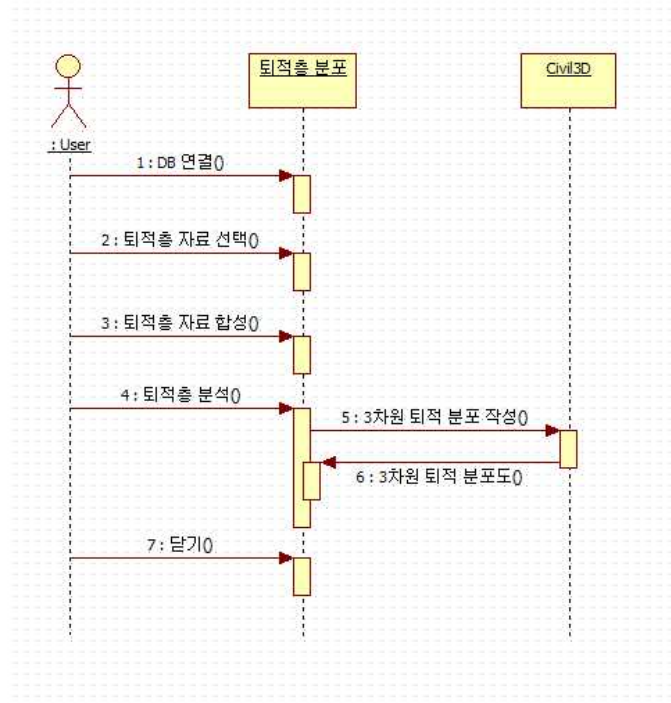


그림 2.85 하상 퇴적층 분포 시퀀스 다이어그램

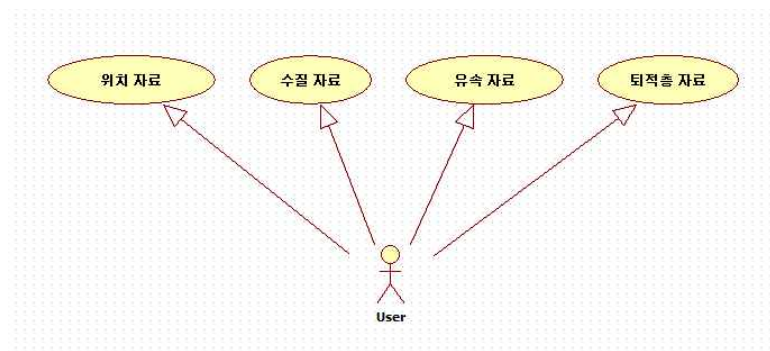


그림 2.86 통합데이터 교환 유즈케이스

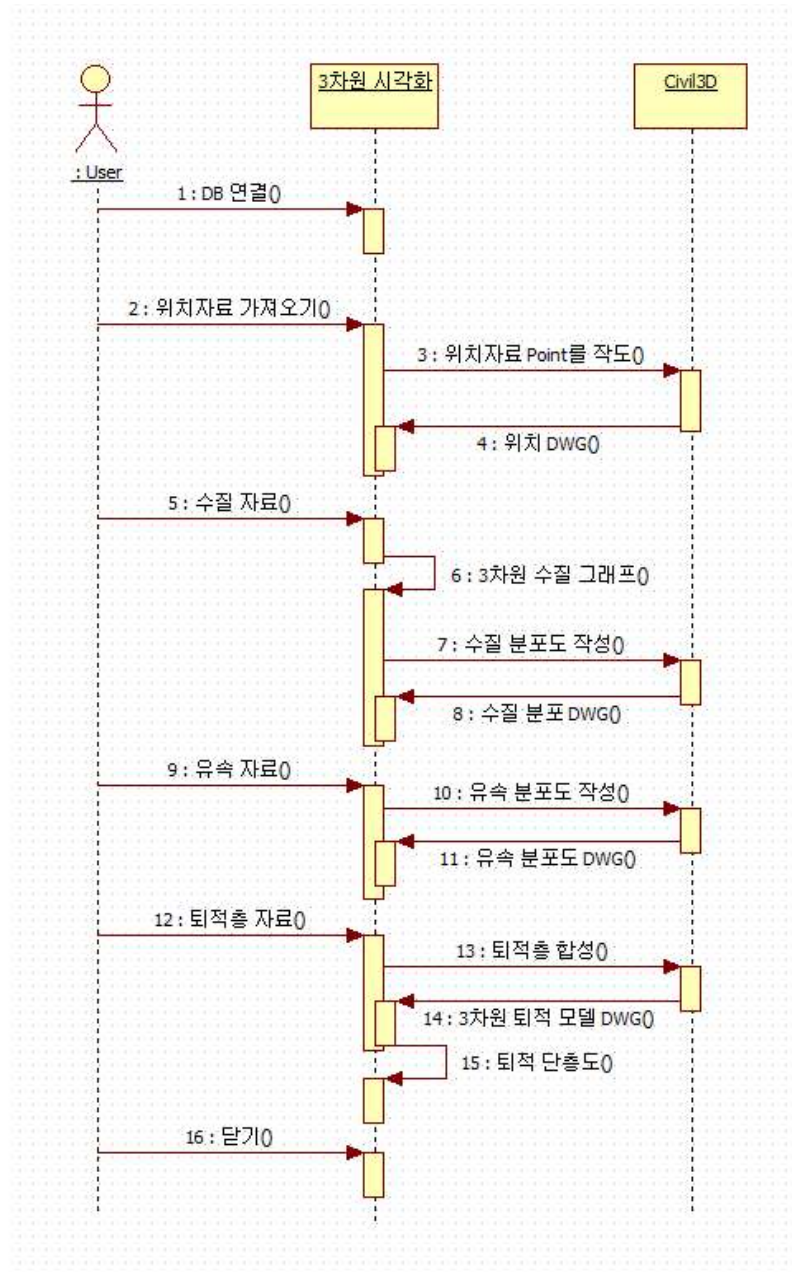


그림 2.87 통합데이터 교환 시퀀스 다이어그램

라. 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 설계되었다. 개발 단계에서 아래의 클래스들은 변경되거나 수정되어 질 수 있다.

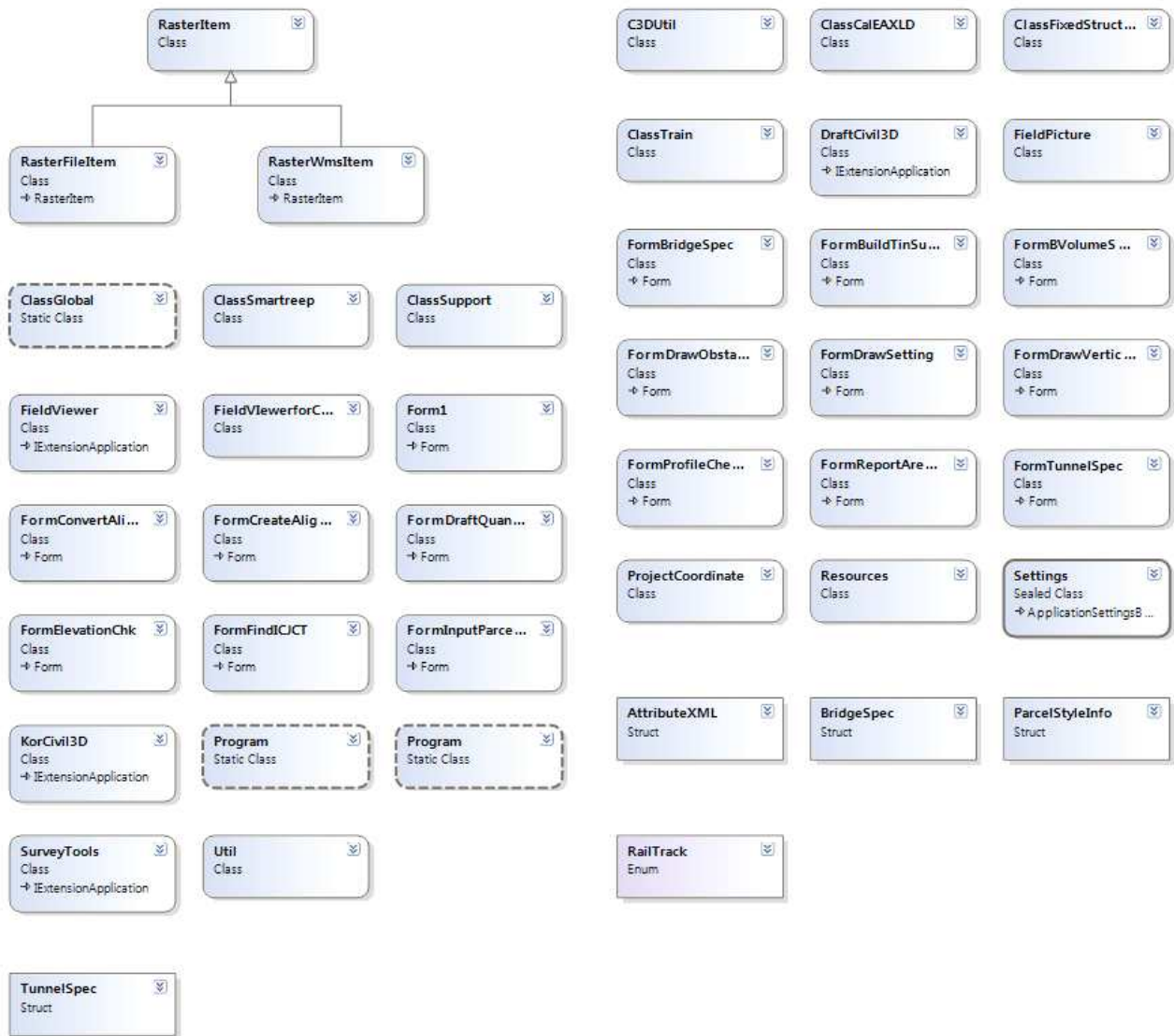


그림 2.88 하천 정보 관리 시스템 클래스 다이어그램

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 2.89 하천정보 관리 시스템 클래스 모델(1)

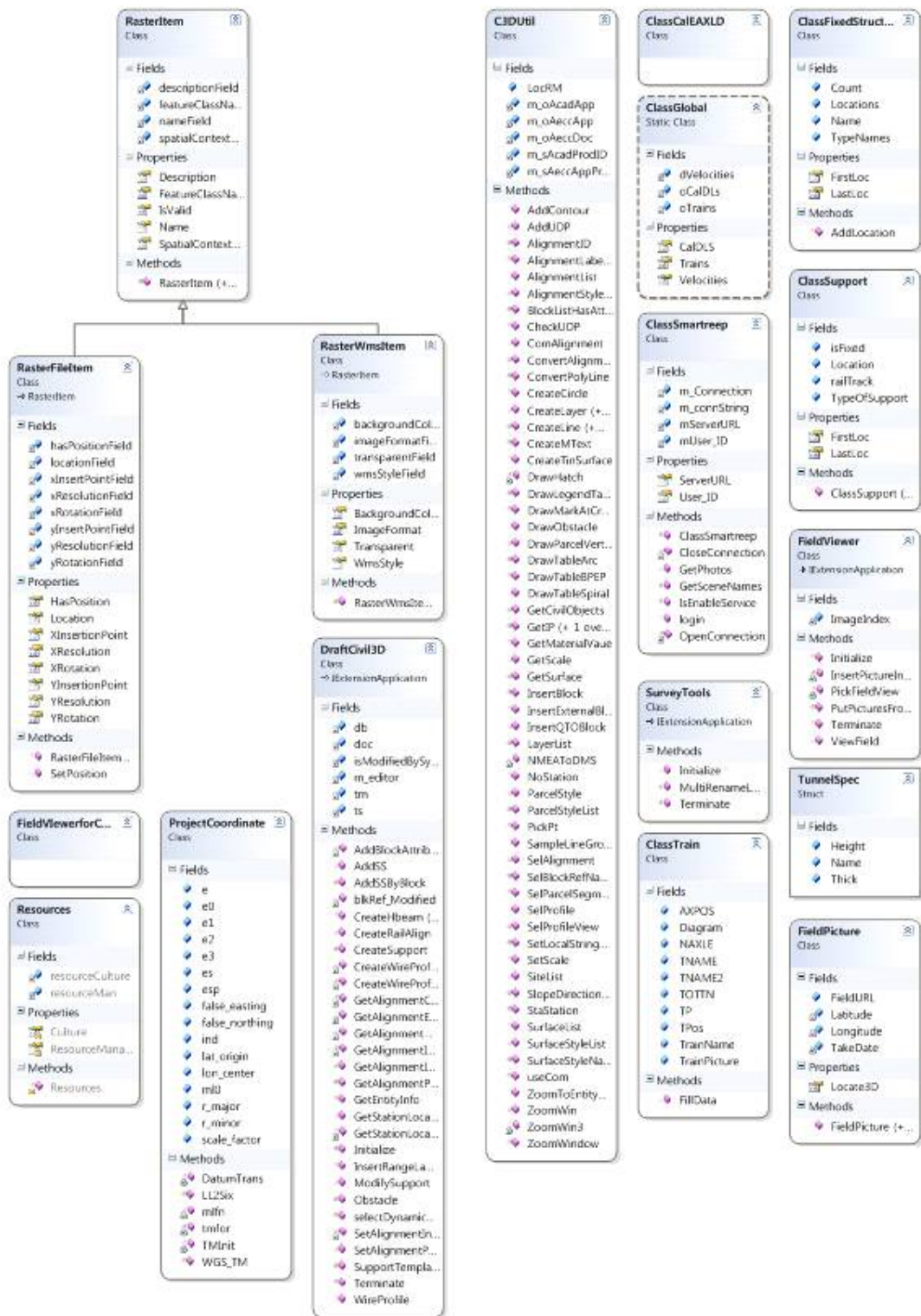


그림 2.90 하천정보 관리 시스템 클래스 모델(2)



그림 2.92 메인 화면 프로그램 인터페이스 설계

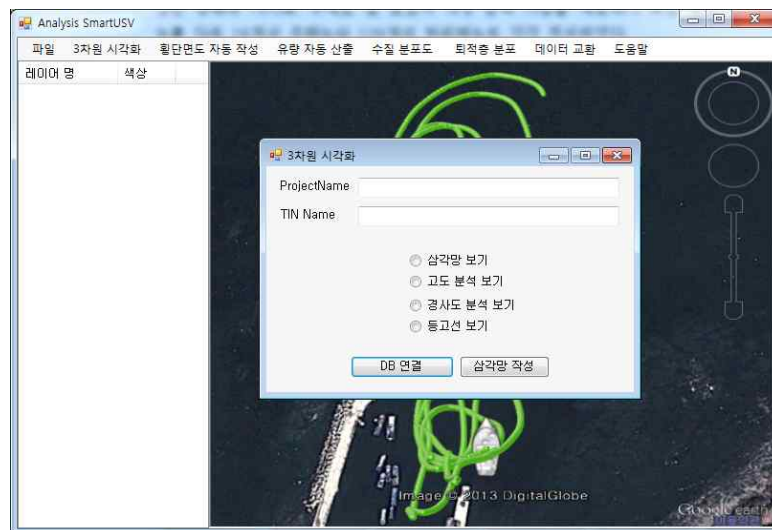


그림 2.93 3차원 시각화 프로그램 인터페이스 설계

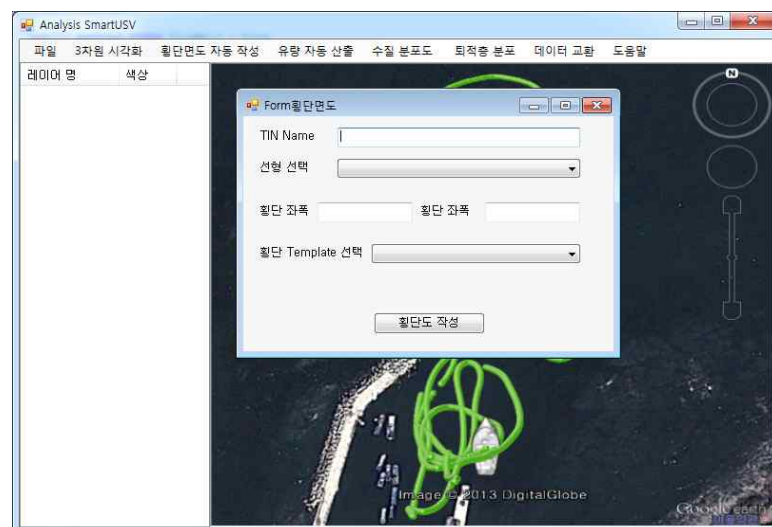


그림 2.94 횡단면도 자동 작성 프로그램 인터페이스 설계

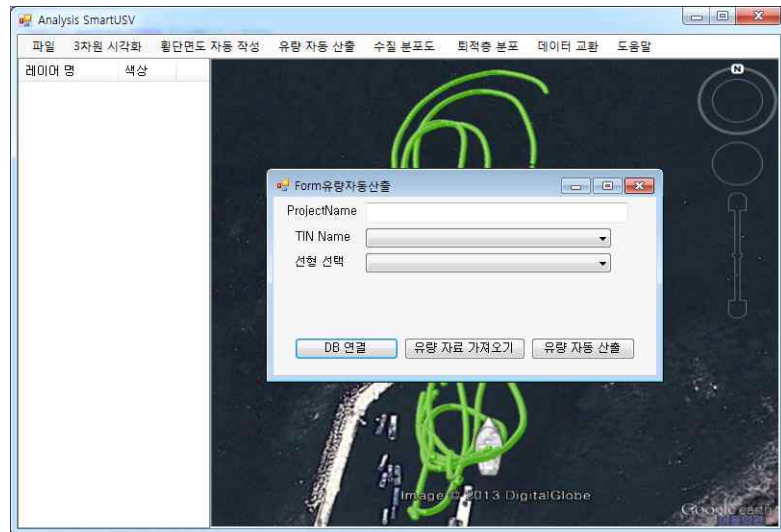


그림 2.95 유량 자동 산출 프로그램 인터페이스 설계

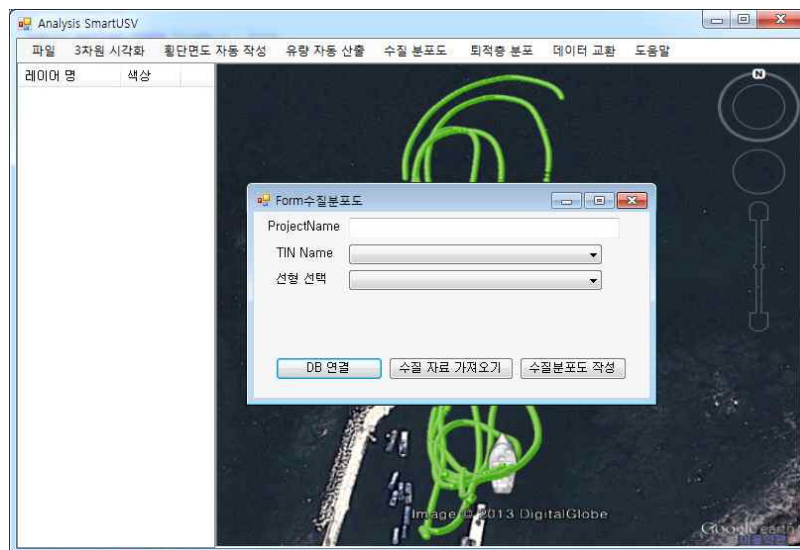


그림 2.96 수질 분포도 프로그램 인터페이스 설계

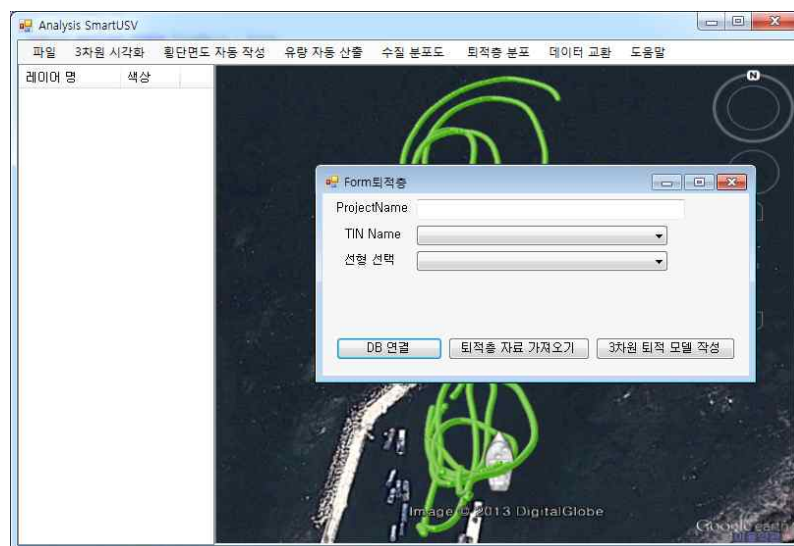


그림 2.97 퇴적층 분포 시각화 프로그램 인터페이스 설계

바. 음향측정센서 수집 프로그램 개발

음향측정센서로부터 수집되는 데이터 즉, 음향측심기의 데이터의 처리 모듈은 실험 시간동안 음향측심기의 총 음파발신수를 이론적으로 계산한 값과 실제데이터의 수를 비교하여 얼마나 누락되었는지를 백분율로 나타낸 결과 약 91%의 처리율을 보였다.

원시 데이터를 모두 확인한 결과 하나의 데이터 세트에 GPS 데이터는 저장되었으나 수심 데이터 필드가 비어 있는 경우가 전부였다. 따라서 이는 로봇선의 데이터 처리 프로그램 성능에 의한 문제라기보다는 음향측심기 자체의 문제라고 판단하였다. 이는 음향측심기와 거치대의 접촉부분이 볼트와 너트로 제작되어있어, 이는 지속적으로 탈부착 할 경우 음향측심기의 데이터선과 전원선이 회전에 의해 단선될 수 있는 문제점이 있는 것으로 분석되었다. 따라서 이를 개선하기 위하여 다음 그림과 같이 음향측심기의 데이터선과 전원선 꼬이게 되어도 영향을 받지 않는 나선 형태의 탄력형 전선으로 교체 개발하였다.



그림 2.98 음향측심기 데이터 케이블 개선 결과

GPS와 음향측심기의 데이터는 시각동기화가 된 상태로 획득되며, 획득된 x좌표 및 y좌표를 이용하여 측정 지점간의 거리, 측정 지점간의 이동 시간을 계산하고 총 운항 거리와 평균 이동 속도를 산출한다. 다음 표는 GPS와 음향측심기의 원시데이터이다.

표 2.17 GPS와 음향측심기의 원시 데이터

항목	time	TMx	TMy	TMz	dist	deltat	velo_kmh
설명	시간	X좌표	Y좌표	정표고	지점간거리	지점간시간	운항속도 (Km/h)
	250.0	167818.19	530127.67	0.90	0.49	0.3	5.34
	250.3	167818.19	530128.16	1.30	0.48	0.3	5.24
	250.7	167818.18	530128.64	0.70	0.47	0.3	5.11
	251.0	167818.16	530129.11	1.10	0.46	0.3	4.97
	251.3	167818.12	530129.56	0.40	0.44	0.3	4.80
	251.7	167818.05	530129.99	1.00	0.42	0.3	4.62
	252.0	167817.96	530130.41	1.10	0.41	0.3	4.45
	252.3	167817.84	530130.80	0.50	0.39	0.3	4.30

다음 그림은 음향측심기의 위치에 따라 측정되는 소나데이터를 이용하여 수심 및 정표고의 산출하는 방법을 나타내고 있다.

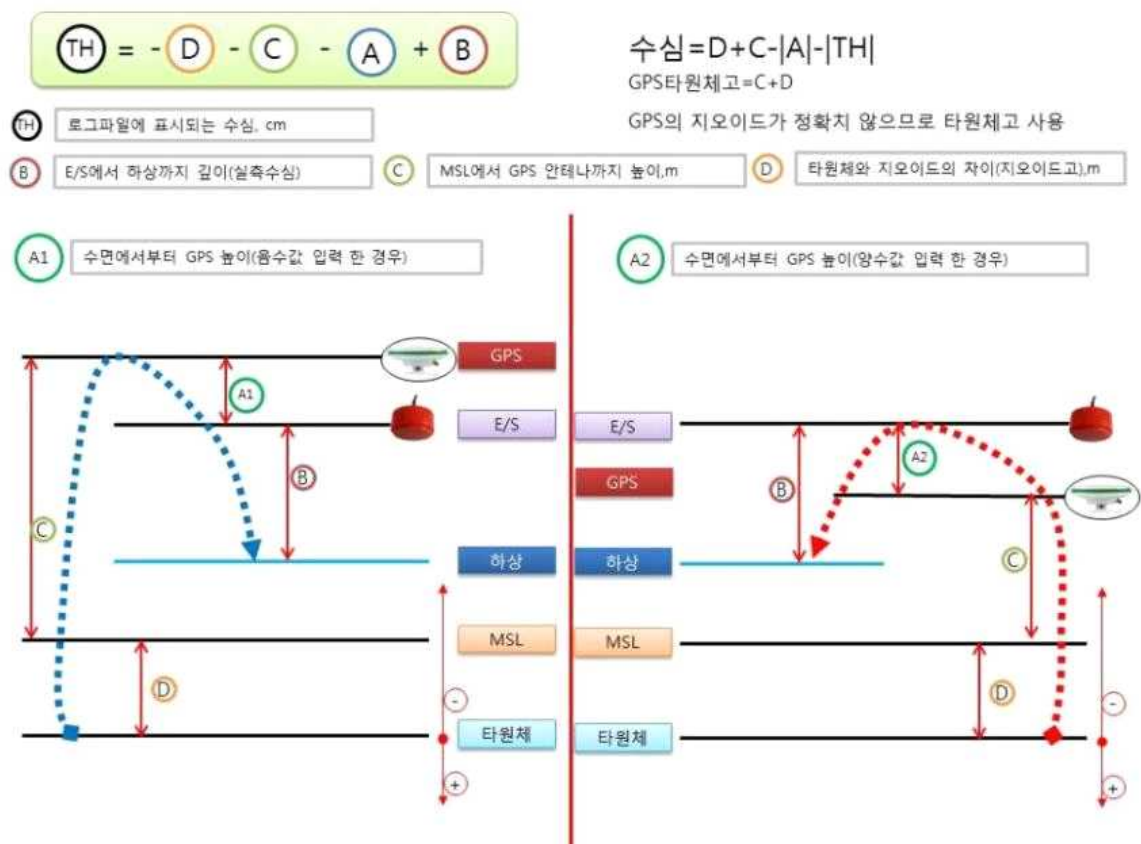


그림 2.99 음향측심기의 위치에 따른 수심 및 정표고 산출방법

사. 유량 자동 산출 프로그램 개발

하천의 유량은 강수에 따라 좌우되는데, 강수량이 많은 지역의 하천은 그 유량이 많고, 강수량이 적은 지역의 하천에서는 적다. 건조지역에 유수가 없는 것은 이 때문이다. 습윤지역에

서도 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 소형의 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.

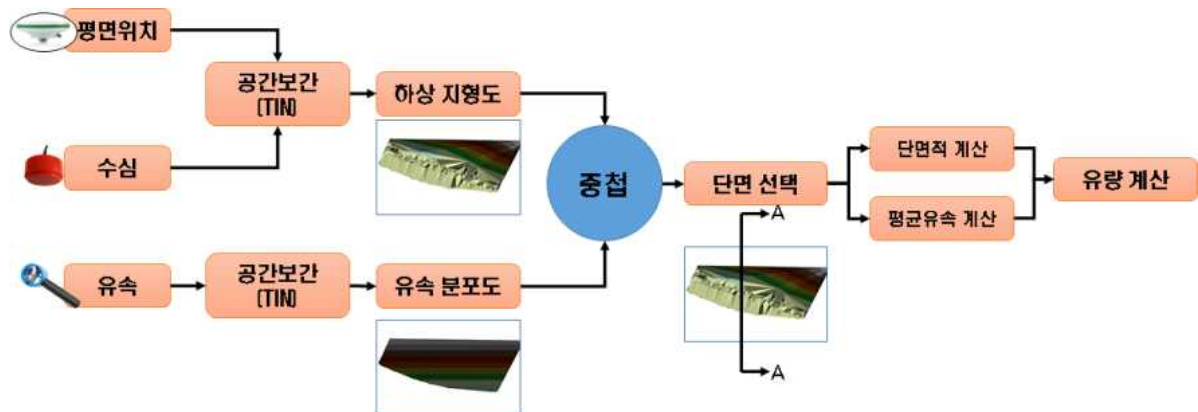


그림 2.100 자동 유량산정 알고리즘

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

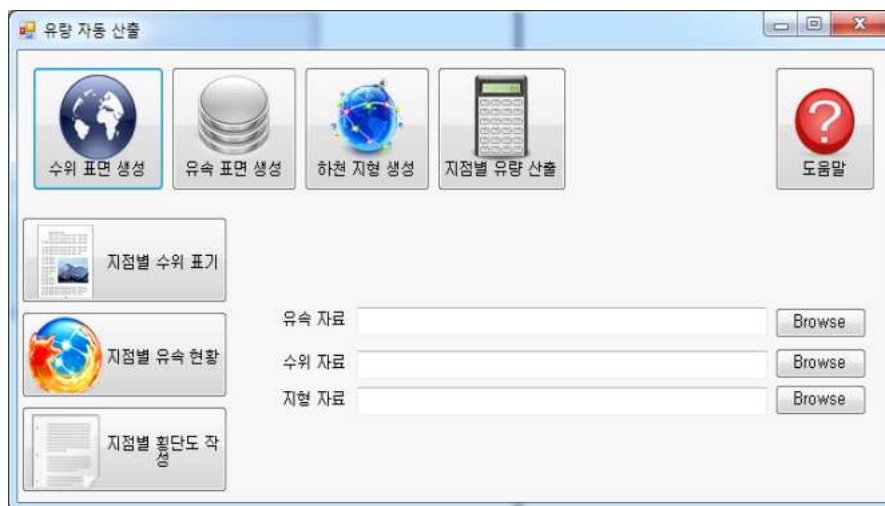


그림 2.101 유량 자동 산출 프로그램 인터페이스



그림 2.102 유량 자동 산출 프로그램 인터페이스 개선

아. 수질분포도 작성 프로그램 개발

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



그림 2.103 캐드기반의 수질분포도 작성 프로그램

자. 하상 분포 시각화 프로그램 개발

퇴적층의 두께에 의해 결정되는 준설량은 준설등급과 함께 비용 산정의 중요한 요소로 작용하고 있으며, 채취할 수 있는 모래나 자갈 등의 양을 측정하는 것은 경제적인 효과를 가져올 수 있다. 음향측정센서인 사이드스캔소나로 부터 수집된 원시지료를 이용하여 하상 분포 시각화 프로그램의 인터페이스는 다음 그림과 같으며 직관적인 인터페이스를 같도록 하여 사용자가 메뉴를 찾는 불편함을 없애고 간편하게 사용할 수 있도록 구성하였다. 이 프로그램을 이용하기 위해서는 프로그램과 음향측정센서인 StarFish 990F를 연결하기 위한 작업을 먼저 해야 한다. 인터페이스의 'open' 단추와 'Close' 단추를 StarFish 990F와 연결하기와 연결 끊기를 수행하는 단추이다.

작동부분의 단추는 'start', 'once', 'stop'으로 구성되어 있으며, 'start'는 하상표면 데이터를 연속적으로 취득하는 단추이다. 이 단추를 누르면 StartFish 990F로부터 실시간으로 하상 표면 자료를 취득할 수 있다. 'once' 단추는 StarFish 990F로부터 단 한번의 하상 표면 자료를 취득하는 단추이다. 이 기능은 장비의 정상적인 작동유무를 확인하거나 원하는 지점의 자료를 화면의 변동 없이 확인하고자 할 때 사용할 수 있는 기능이다. 'stop' 단추는 StarFish 990F로부터 하상 표면 자료를 취득하는 기능을 중지시키는 기능이다.

하상 자료를 취득할 때 좌·우 폭과 음파의 샘플 개수를 지정할 수 있는데, 기본 값으로 Range는 20m, 샘플 개수는 500개를 사용하고 있다. 측정하고자 하는 하천 또는 저수지의 특성에 맞는 값을 지정하여 사용할 수 있으며, 일반적인 하상에는 기본 값을 사용해도 하상 표면 자료를 취득할 수 있을 것이다.

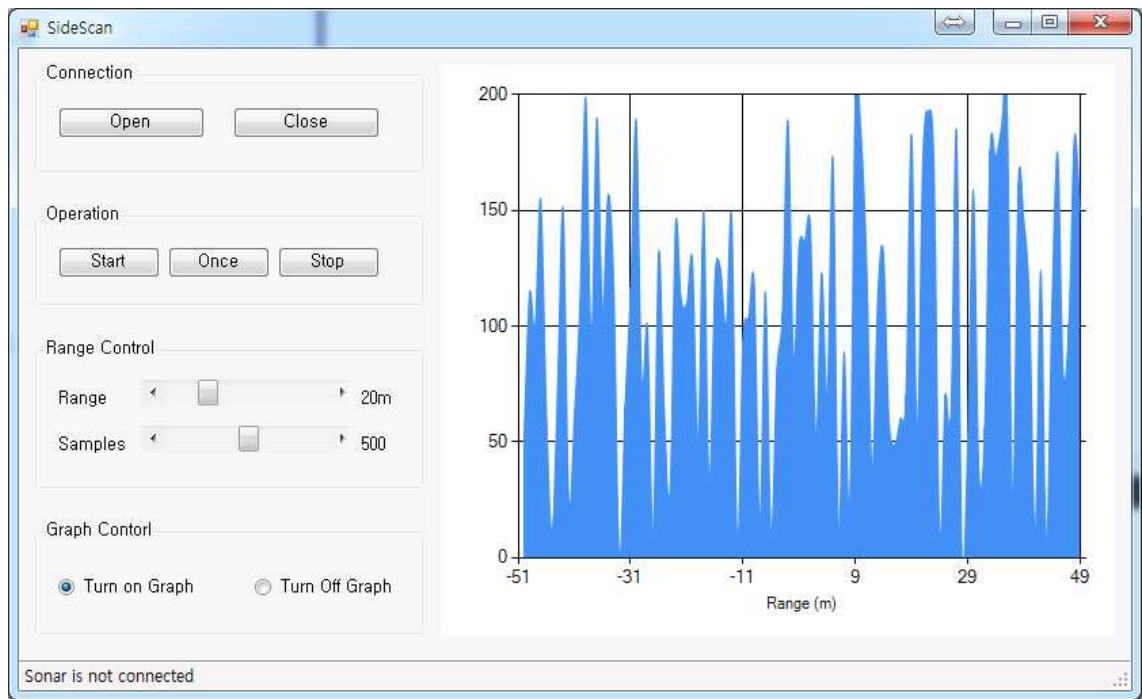


그림 2.104 음향측정센서 연결 프로그램 개발결과

본 프로그램은 배터리로 운용이 되는 무인 로봇선에 사용되는 프로그램이므로 그래프를 실시간으로 출력하게 되면 배터리의 소모가 무인 로봇선의 운영에 영향을 줄 수 있다. 따라서 하상 표면 자료를 표시하는 우측의 그래프로 보이거나 보이지 않게 설정하는 기능을 추가하였다. ‘Turn On Graph’는 취득한 하상 표면 자료를 그래프로 표시하는 기능을 수행하는 단추이고, ‘Turn Off Graph’는 그래프를 보이지 않게 하는 기능의 단추이다.

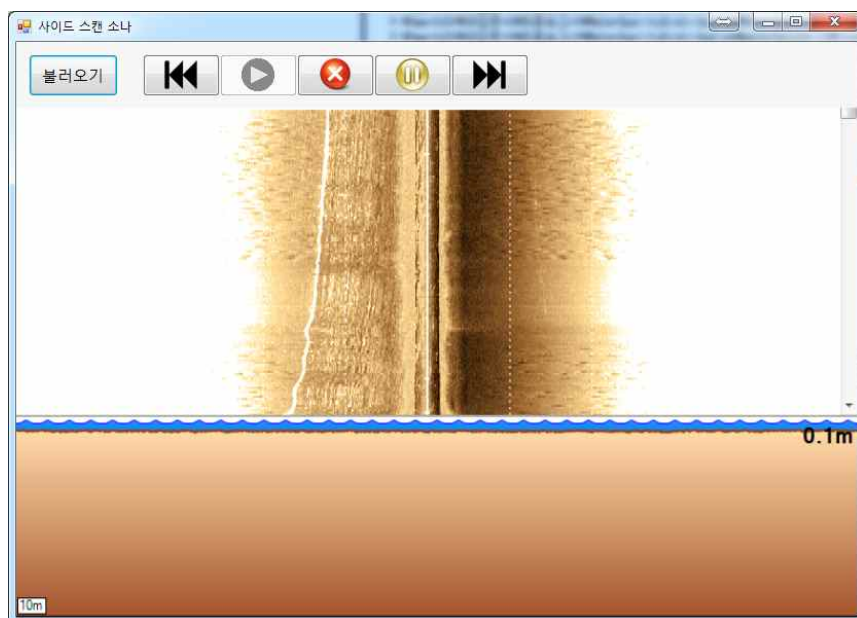


그림 2.105 하상 분포 시각화 프로그램 개발결과

음향측정센서로부터 수집된 원시자료는 그림과 같이 하상 분포 시각화 프로그램에 의해 시각화 되며, 사이드스캔소나 데이터의 호환 포맷인 XTF(eXtended Triton Format)으로 변환하여 다음 그림과 같이 3차원으로 시각화 할 수 있게 된다.

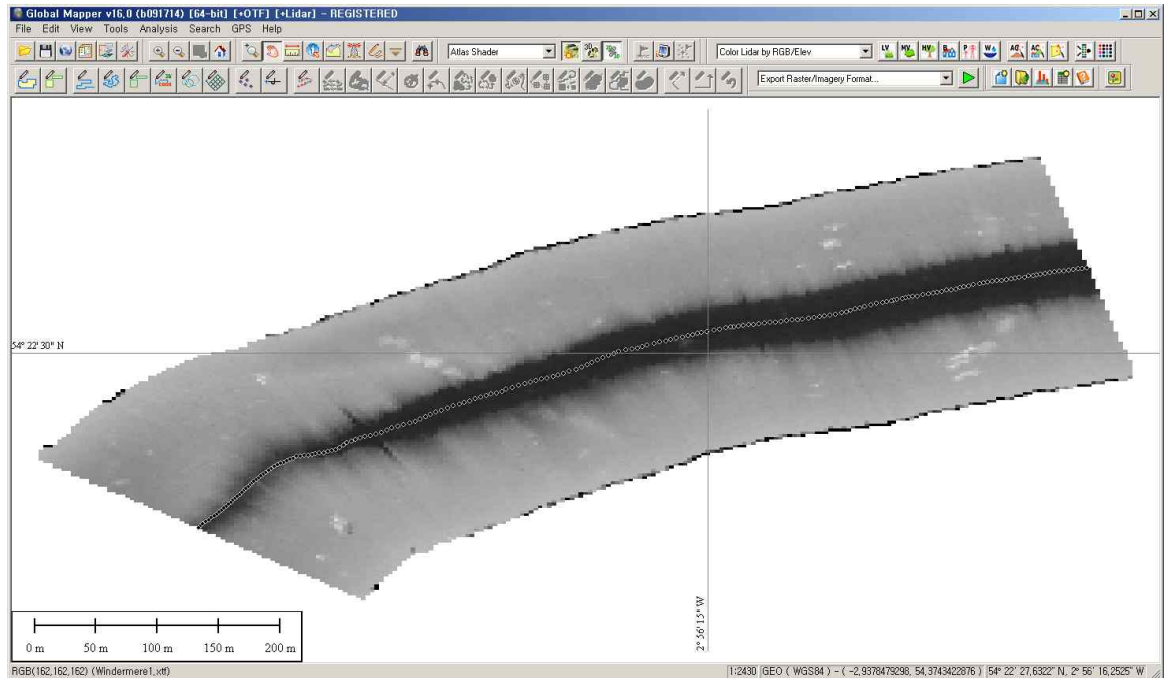


그림 2.106 하상 분포 3차원 시각화 결과

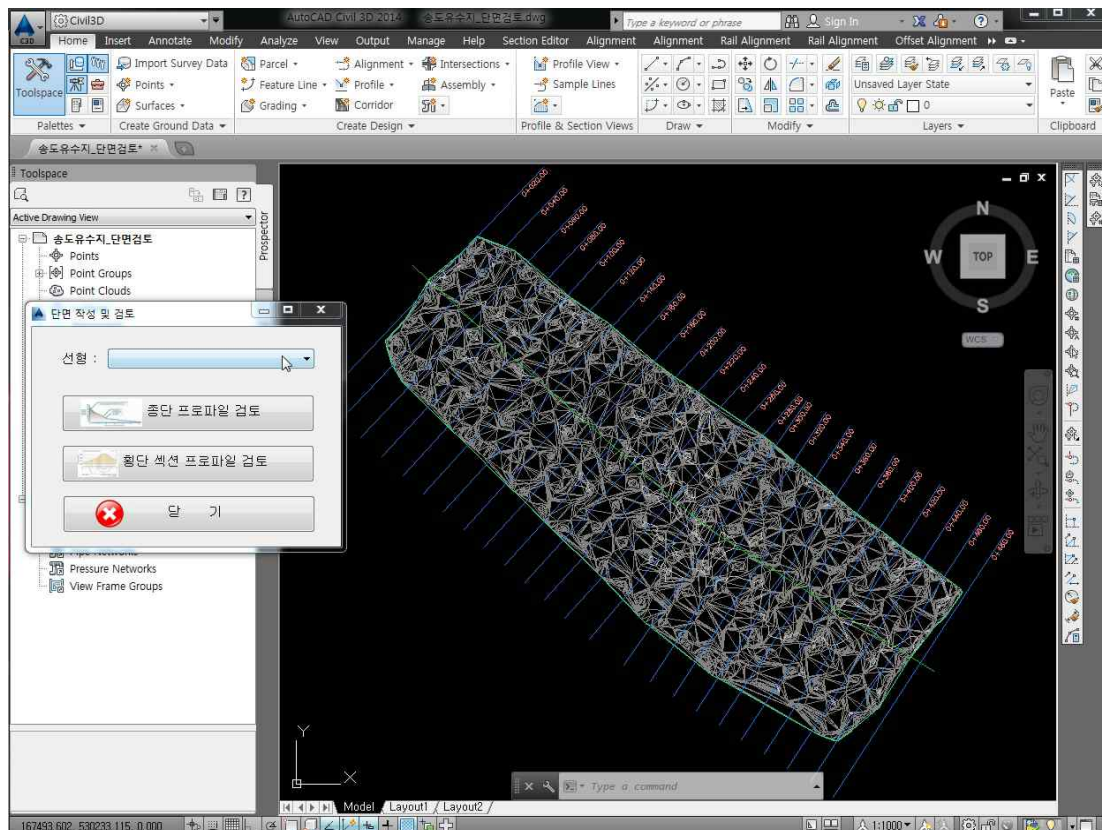


그림 2.107 하상 단면 자동 작성 프로그램

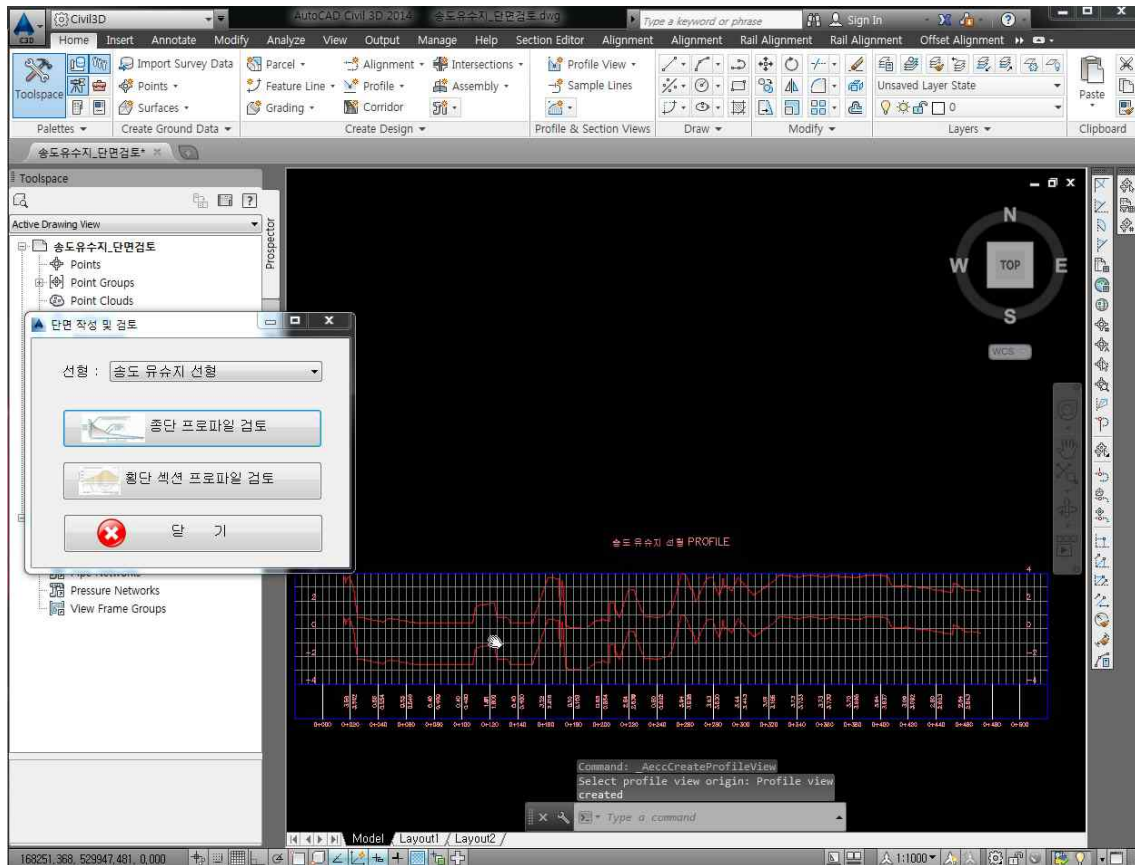


그림 2.108 하상 분포의 종단면도 생성 결과

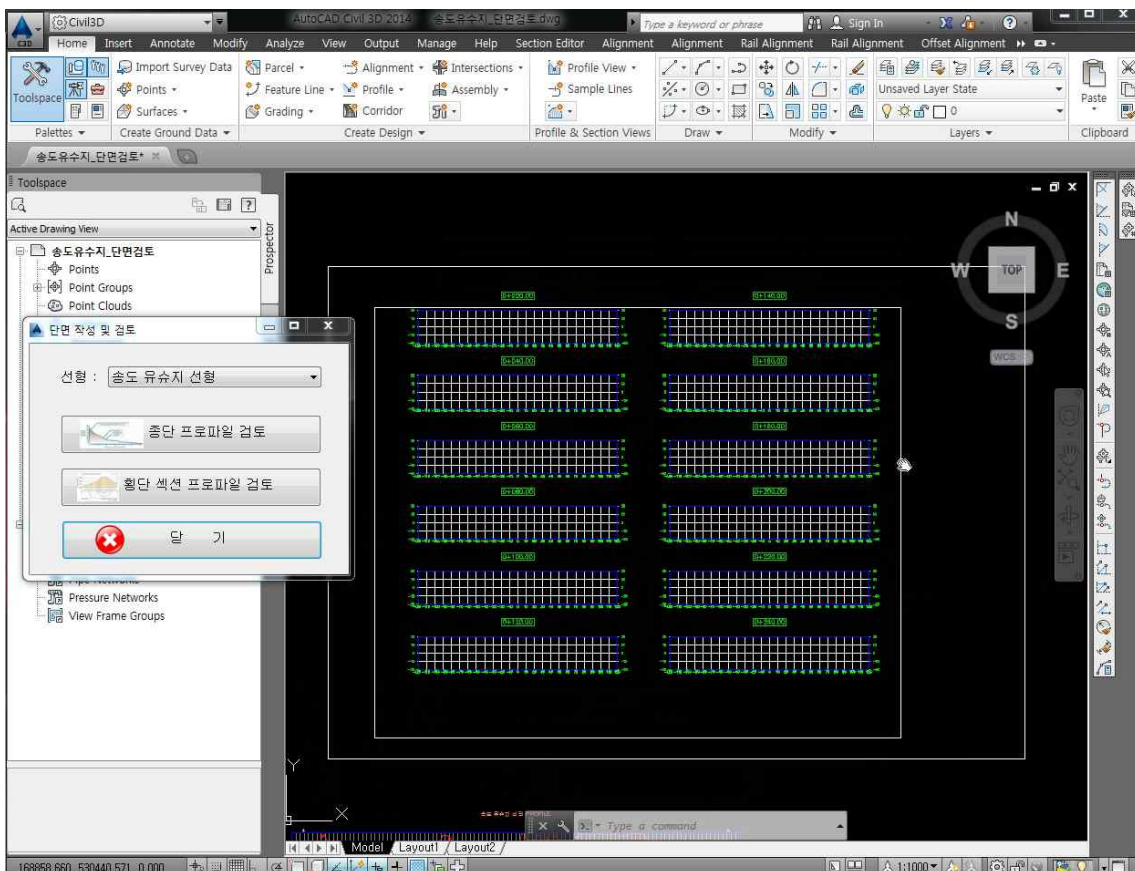


그림 2.109 하상 분포의 횡단면도 생성 결과

제3절 시스템 적용 실험 및 분석 결과

1. 자동 채수시스템 운용 실험 및 분석

가. 채수 리프트 및 채수 컨테이너 작동실험

자동 채수시스템은 다수의 시료(6개)를 동시에 채수할 수 있도록 자동 채수 리프트와 자동 개폐식 채수 컨테이너에 다항목 수질 측정 센서, 유속계 등의 각종 센서와 통합하여 자동 채수 시스템을 보완 개발하였다. 무인 로봇선에 자동 채수 시스템을 장착하여 시료 채취, 시험 및 분석을 가능하게 한다.

(1) 자동 채수 리프트 승강 실험

본 연구과제에서의 자동 채수시스템은 전기모터와 기계적 신축장치 등을 이용하여 정확한 위치까지 자동으로 하강시킬 수 있는 자동 채수 리프트와 전자 신호에 의한 공압으로 밸브를 자동으로 개폐할 수 있고 채수통의 탈부착이 용이한 카트리지형 채수 컨테이너를 개발하였으나, 관절형식의 신축장치를 이용한 채수 리프트는 다음과 같은 문제점이 발생하였다.

(가) 채수 리프트의 무게

1차년도에 개발된 관절형식의 채수 리프트는 물의 저항을 고려하여, 변형 및 파괴를 방지하기 위하여 알루미늄 프로파일로 제작되었으나, 설계 하강 깊이를 증가시키기에 따라 관절을 증가시키면 자중에 의해 관절 부분에서의 제작 공차로 인해 자체 처짐이 발생하고, 무인 로봇선체에 하중이 작용하여 선체의 무게중심 및 부력을 맞추는 데에 한계점이 있다.

(나) 채수 리프트의 공차

관절형식의 신축장치를 이용한 채수 리프트의 하강 수치를 수학적으로 계산한 결과는 다음과 같았다. 이러한 관절형식의 신축장치는 여러 개의 단으로 구성할 경우 동일한 수평이동 거리에 따라 몇 배의 수직 이동할 수 있는 장점을 가지고 있다.

그러나 관절이 증가하게 되면 프레임의 무게를 견디지 못하고 계산된 수치와는 다르게 제작공장에 의해 아래로 늘어지는 현상이 나타났다. 이는 하강 깊이를 증가시키기 위해 5단 이상의 프레임을 구성할 경우 매우 심각한 현상을 보였다.



그림 2.110 채수 리프트 관절부분의 제작공차



그림 2.111 채수 리프트의 관절 제작공차에 의한 처짐현상

(다) 채수컨테이너 및 채수 리프트 운용 실험

① 채수 리프트 운용 실험

다양한 수직이동이 가능한 장치들 중에서 본 연구에서는 수직체인방식 Rigid Chain Actuator를 이용하였다. 사례에서 볼 수 있듯이 무거운 무게를 들어 올릴 수 있을 정도의 리프트장치가 제작되고 있으며, 구조가 간단하여 적은 무게로 제작이 가능하고 서브모터에 의해 정확한 위치제어가 가능하며, 제작공차에 의한 처짐이 발생하지 않았다.



그림 2.112 자동 채수 리프트 승강실험 결과

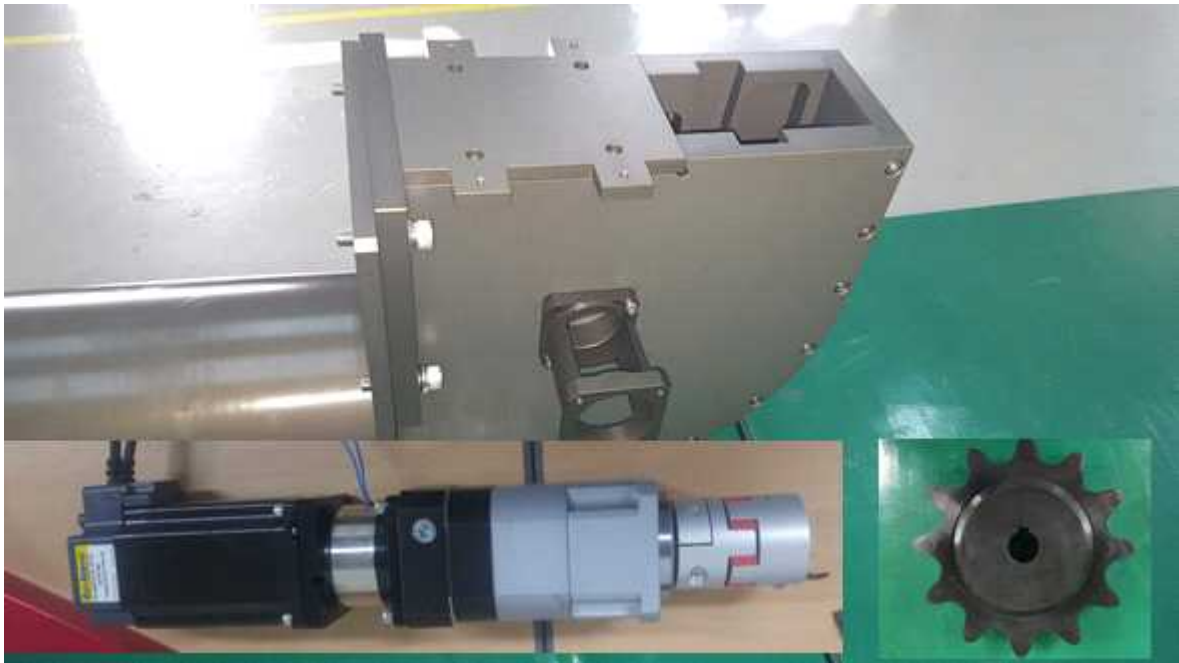


그림 2.113 자동 채수 리프트 구동부

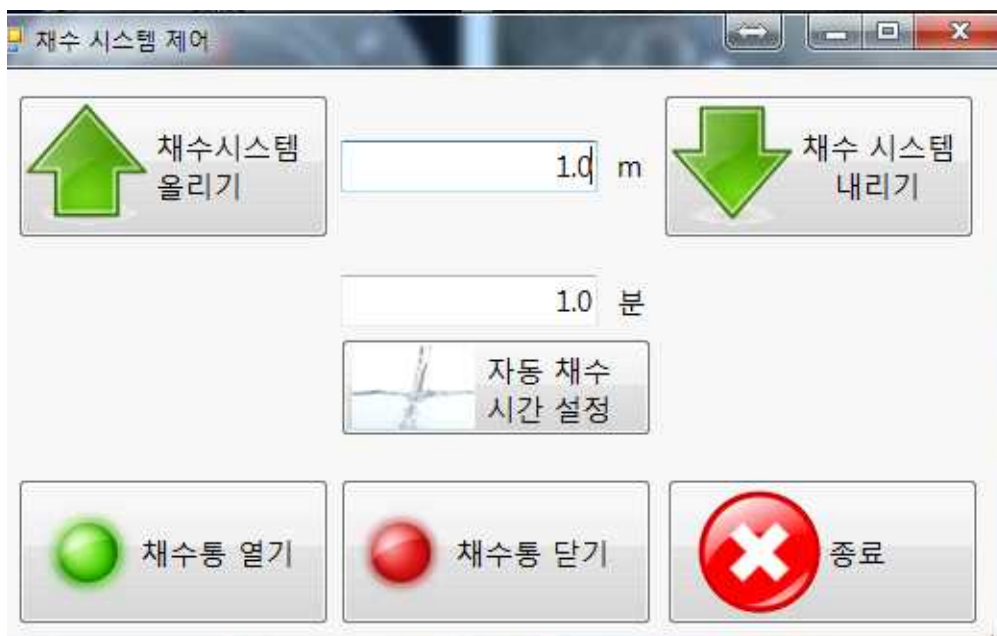


그림 2.114 심도별 채수 리프트 설정 화면

② 자동 채수 컨테이너 운용 실험

채수 리프트 하단부에 위치하는 채수컨테이너는 수중에서 작동하므로 개폐작동에 있어 전 기적 요인을 제외한 공압으로 작동 될 수 있도록 개발하였다. 다음 그림들은 채수컨테이너 개폐작동 실험 과정을 나타내고 있다.



그림 2.115 채수컨테이너와 컨트롤러

다음 그림은 채수컨테이너 컨트롤 작동으로 열린 상태를 나타내고 있다.



그림 2.116 채수컨테이너 작동

다음 그림은 수중에서 채수컨테이너 작동시 채수가 진행 중인 상태를 나타내고 있다.



그림 2.117 수중에서 채수컨테이너 작동

다음 그림은 채수컨테이너가 작동되고, 채수통에 채수가 완료된 상태를 나타낸다.



그림 2.118 채수컨테이너를 이용한 채수 결과

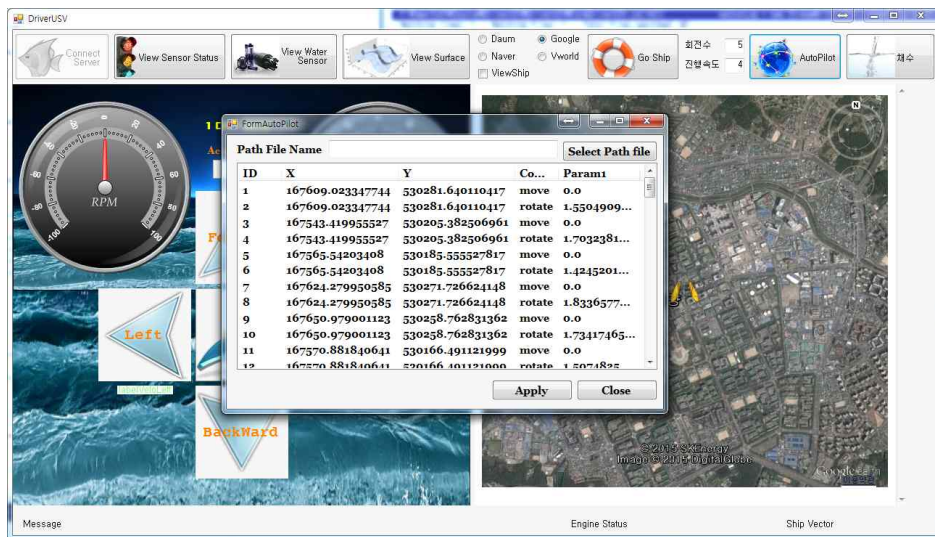


그림 2.119 정확한 수평 위치로 이동하기 위한 로봇선 제어 명령

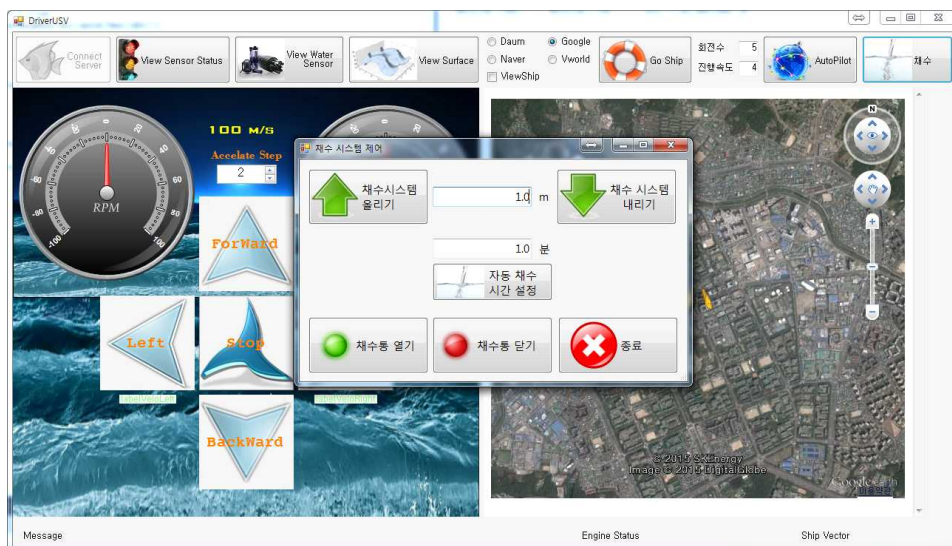


그림 2.120 심도별 채수장치 작동 설정화면

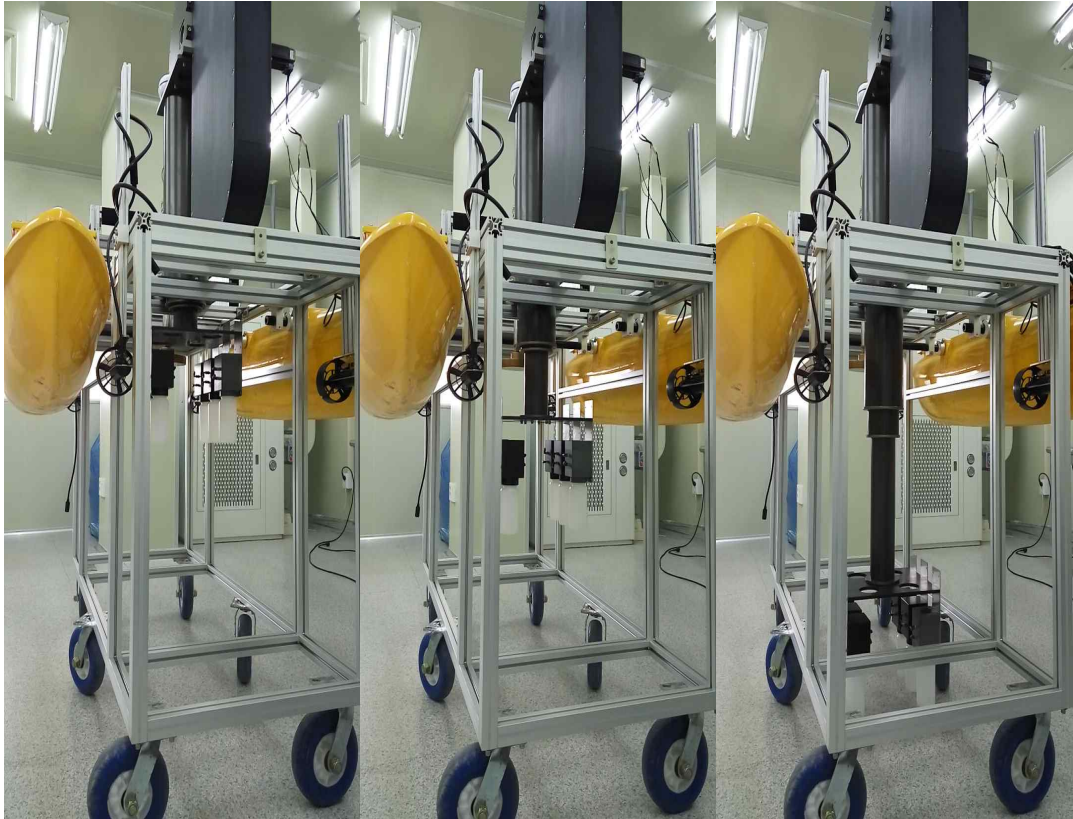


그림 2.121 심도별 채수장치 작동 실험

2. 하천정보 관리 시스템 운용 실험 및 분석

가. 다양한 환경에서의 운용실험 결과 분석

(1) 유수지에서의 시스템 운용실험 결과 분석

(가) 실험 목적 및 범위

무인 로봇선을 수동 및 자동으로 운항하여 로봇선의 성능을 분석하기 위한 것이다. 실험은 인천대학교 인근의 유수지를 대상으로 로봇선을 종방향 및 횡방향으로 운항하여 데이터를 획득하고 다음의 성능을 분석하였다.

- 로봇선의 속도 시험
- 제어명령 반응속도 시험
- 소나센서 데이터 처리율 분석
- 양방향 통신 전송률 분석
- 로봇선의 자동제어 여부 분석

본 연구를 통해 개발된 시스템의 운용성을 실험하기 위해 다음 그림과 같이 인천광역시 연수구 송도동에 위치하고 있는 면적 약 74,299m²의 유수지를 대상으로 하였다.

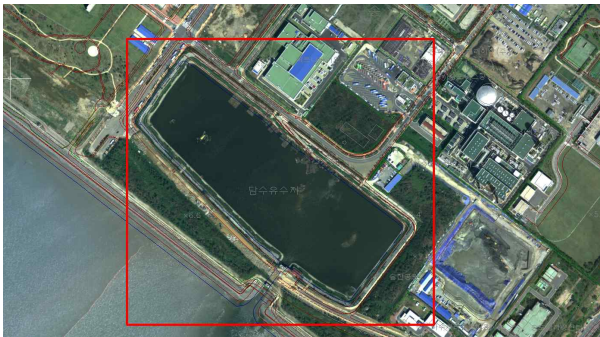
	주 소	인천시 연수구 송도동 13-40
	면 적	약 74,299㎡
	좌표계	평면직각좌표(중부)
	도 법	횡메르카토르 도법(TM)
	타원체	GRS80 타원체

그림 2.122 유수지에서의 현장실험 대상지역 현황

실험은 2013년 9월 15일부터 2013년 9월 30일까지 수행하였으며, 약 16,000개의 데이터 세트를 획득하여 분석하였으며, 2014년 4월 17일부터 2014년 5월 3일까지 현장시험 준비, 로봇선의 안정성 테스트, 시스템 모듈별 성능테스트와 자동운항 시험 등을 30회 이상 수행하였으며, 약 1,000개의 데이터 세트를 획득하여 분석하였다. 실험에 사용된 장비는 무인 로봇선, GPS, 음향측심기, 수질센서 등이며 제원은 다음 표와 같다.

표 2.18 실험에 사용된 장비의 제원

RTK GPS	Static, long observations : 3mm+0.5ppm(rms) Rapid static : 5mm+0.5ppm(rms) RTK : 10mm+1ppm(rms)
에코사운드 (음향측심기)	High Frequency: 200kHz, 8 degree beam with @ -3dB Low Frequency: 30kHz, 19 degree beam with @ -3dB Depth range - High Frequency : 30cm to 99.99 meters - Low Frequency : 75cm to 99.99 meters Accuracy : 0.02% of depth or 1cm 중 큰 값
수질센서	pH : 0 ~ 20.00 pH DO/02 : 0 ~ 19.99 mg/L ORP : ± 1000.0 mV Cond. : 0 ~ 200 mS/cm Salinity/TDS : 0 ~ 80.0 ppt, 0 ~ 1999.9 mg/L Temp Meter : -10 ~ 50 ° C

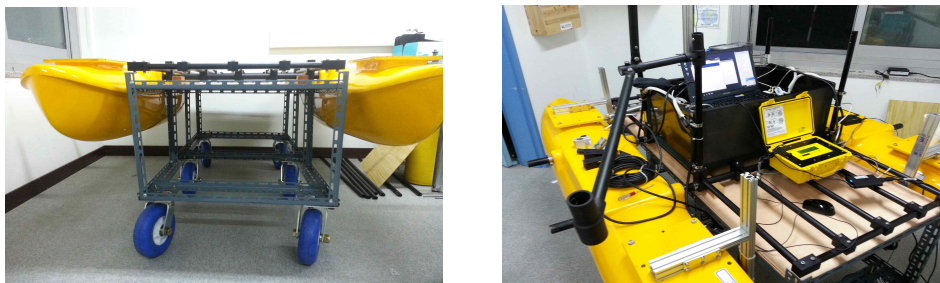


그림 2.123 유수지에서의 운용 실험 준비

(나) 유수지에서의 운항실험 결과

① 운항 계획 수립

로봇선의 운항 실험은 유수지 수치지형도에 유수지의 방향을 고려하여 다음 그림과 같이 20m 간격으로 계획 항로를 작성하고 로봇선이 계획항로를 설정하였다. 계획된 항로를 기준으로 무인 로봇선을 수동 및 자동으로 운항하여 로봇선의 성능을 분석하였다.

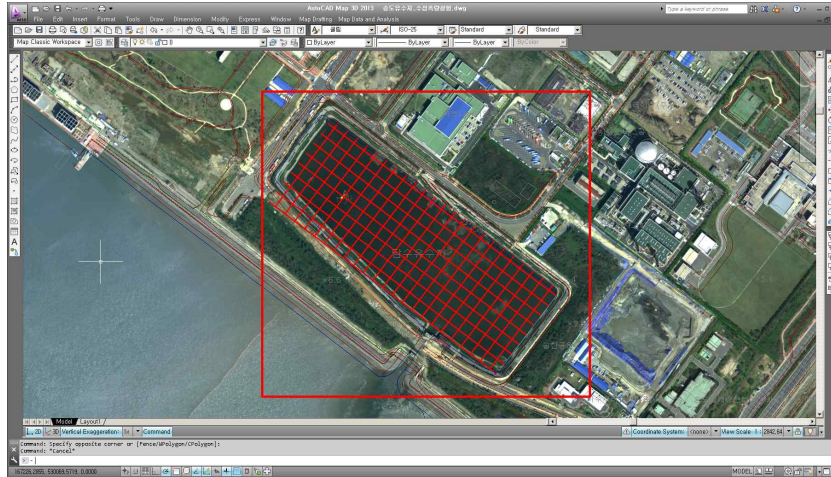


그림 2.124 유수지에서의 로봇선 운항 계획도

② 운항 실험 결과

무인 로봇선을 자동 및 수동으로 계획 항로를 따라 다음 그림과 같이 운항하였다. 실험 준비 및 운항 실험 등 15일 동안 운항시간이 1시간 36분 30초이며, 총 데이터 세트는 17,370개였으며, 이 중에서 수심 데이터 필드가 없는 1,416개를 제외한 15,954개의 데이터 세트를 유효한 데이터 세트로 하고 결과를 분석하였다.



그림 2.125 유수지에서의 현장 운항 실험 결과

다음 그림은 로봇선의 GPS로 부터 획득된 평면 위치를 나타낸 것이다. 계획 항로는 격자 형으로 작성하였으나 실제 유수지 내 장애물이 존재하고 있었으며, 자동 운항 알고리즘 수정 과, 수동조작 등이 익숙하지 않아 실제 운항 경로는 비정규포물선 형태의 곡선으로 나타나고 있음을 알 수 있다.

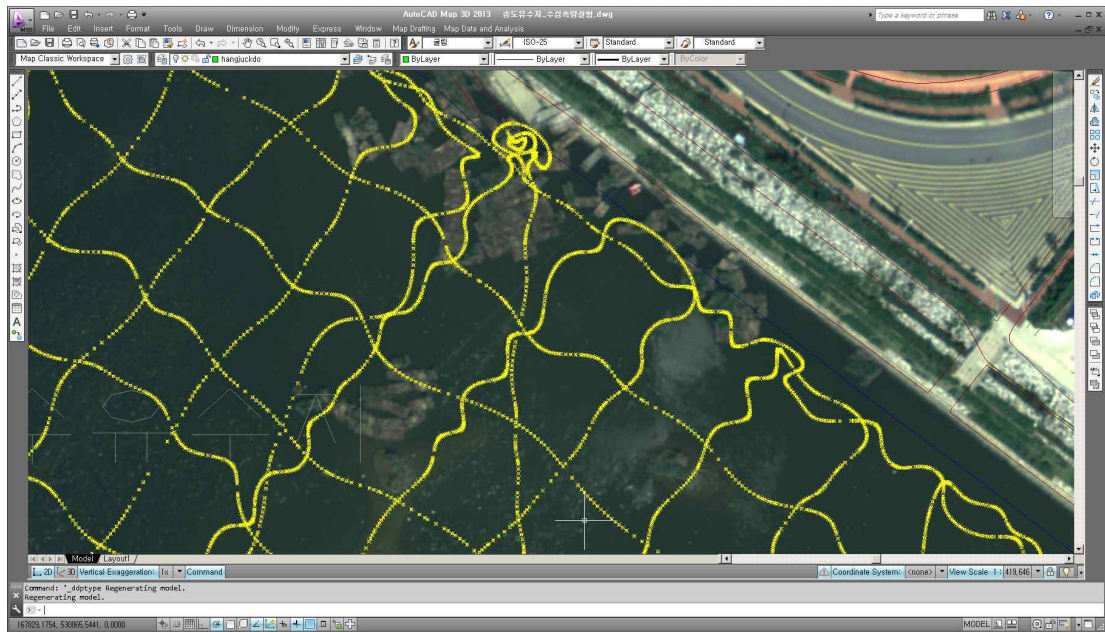


그림 2.126 유수지에서의 측량 결과 평면위치도

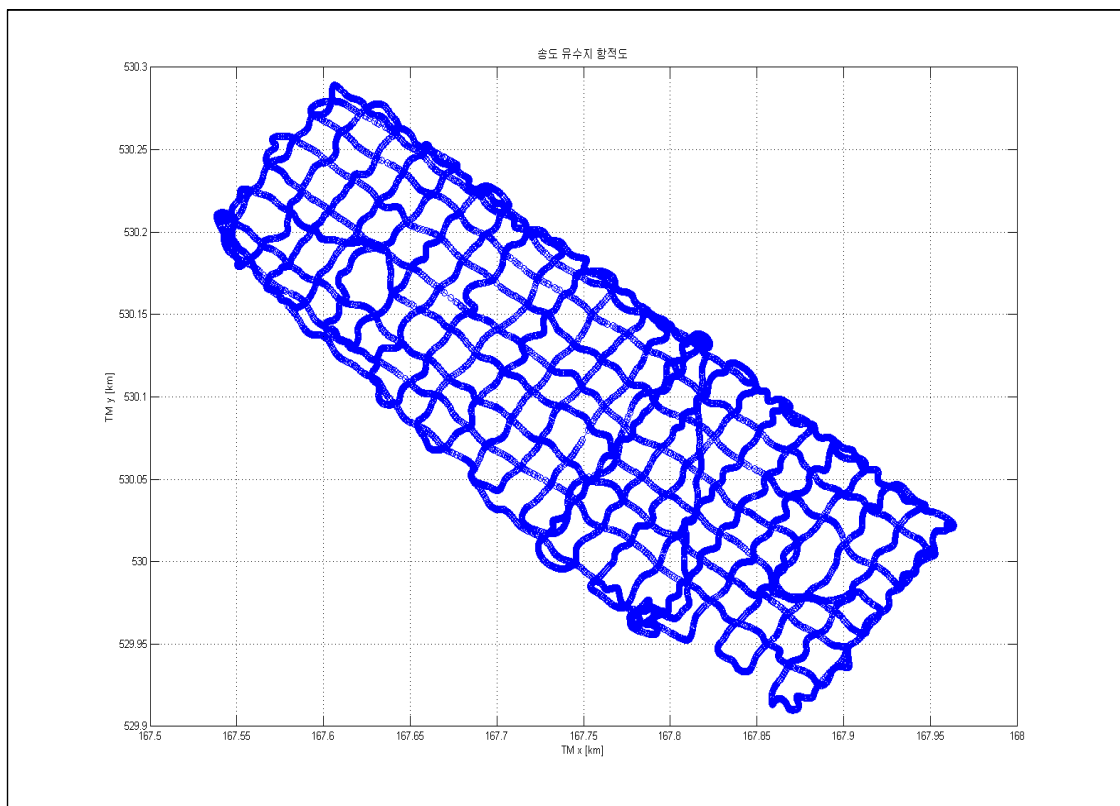


그림 2.127 유수지에서의 로봇선 운항 항적도

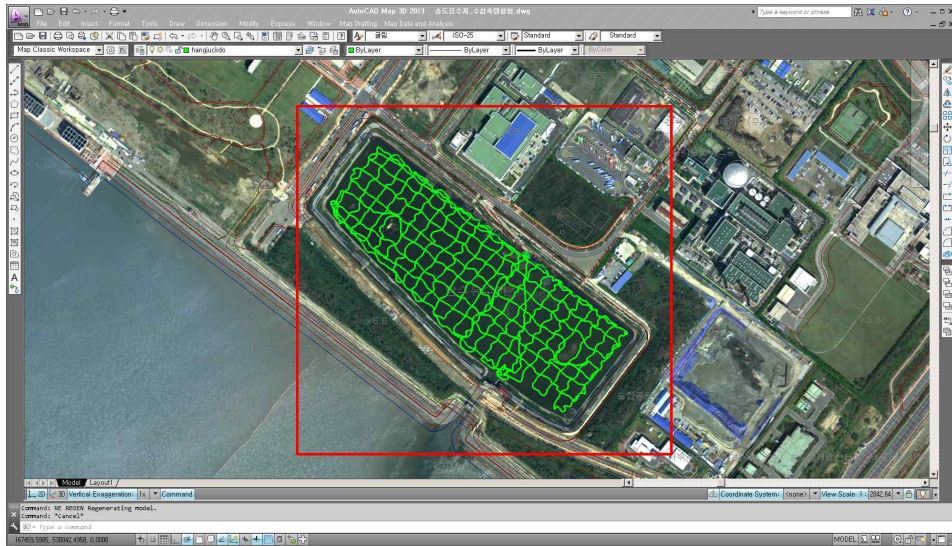


그림 2.128 유수지의 항공사진과 항적도의 중첩

③ 운항 속도 분석

운항 실험을 통해 획득된 15,954개의 데이터 세트로부터 로봇선의 속도를 분석한 결과 다음 표와 같이 로봇선의 총 유효 운항 시간은 1시간 23분 34초, 총 유효 운항 거리는 약 8.14km이며 평균 속도는 5.85km/h로서 설계 속도인 5km/h를 약간 상회하는 결과를 얻을 수 있었다.

표 2.19 로봇선 속도 분석 결과

총 운항 시간	총 운항거리	평균 속도
1시간 23분 34초	8.14km	5.85km/h

GPS와 음향측심기의 데이터는 시각동기화가 된 상태로 획득되며, 획득된 x좌표 및 y좌표를 이용하여 측정 지점간의 거리, 측정 지점간의 이동 시간을 계산하고 총 운항 거리와 평균 이동 속도를 산출하였다. 다음 표는 본 실험에서 획득한 원시데이터 중 일부이다.

표 2.20 GPS와 음향측심기의 원시 데이터

항목	time	TMx	TMy	TMz	dist	deltat	velo_kmh
설명	시간	X좌표	Y좌표	정표고	지점간거리	지점간시간	운항속도 (Km/h)
	250.0	167818.19	530127.67	0.90	0.49	0.3	5.34
	250.3	167818.19	530128.16	1.30	0.48	0.3	5.24
	250.7	167818.18	530128.64	0.70	0.47	0.3	5.11
	251.0	167818.16	530129.11	1.10	0.46	0.3	4.97
	251.3	167818.12	530129.56	0.40	0.44	0.3	4.80
	251.7	167818.05	530129.99	1.00	0.42	0.3	4.62

항목	time	TMx	TMy	TMz	dist	deltat	velo_kmh
	252.0	167817.96	530130.41	1.10	0.41	0.3	4.45
	252.3	167817.84	530130.80	0.50	0.39	0.3	4.30
	252.6	167817.69	530131.16	0.90	0.19	0.3	2.10
	253.0	167817.60	530131.33	0.50	0.19	0.3	2.08
	253.3	167817.50	530131.49	0.90	0.19	0.3	2.07
	<부록 2> 참조						

④ 자동운항 경로 분석

대상지역의 수치지형도에 붉은 선으로 계획 항로를 설정하고 로봇선이 계획항로를 따라 운항하도록 수동으로 조작하면서 GPS, 음향측심기, 수질측정센서를 이용하여 데이터를 획득하였다. 운항 계획도는 다음 그림과 같다.

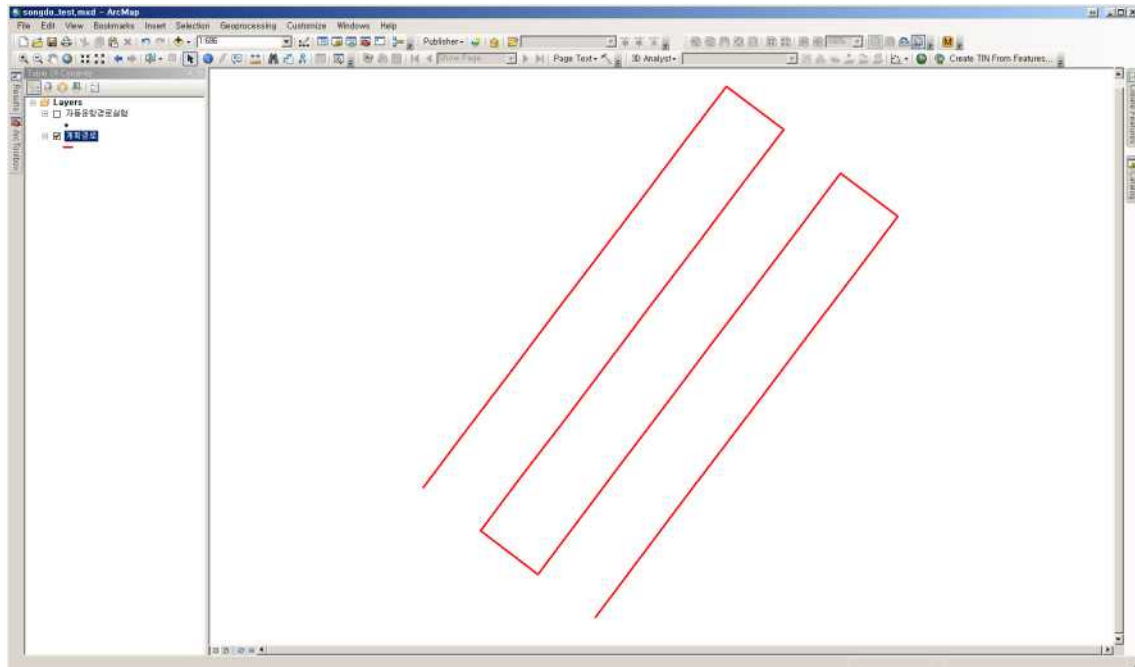


그림 2.129 운항 계획도

로봇선을 수동으로 조작하여 계획 항로를 따라 그림 3.3과 같이 항적을 그리며 운항하였다. 총 운항시간은 실험 준비기간 및 성능테스트를 포함하여 약 10시간 32분이며, 자동운항을 위한 실험은 30분 41초의 데이터 세트는 6,075개였으며, 이 중에서 수심 데이터 필드가 없고 계획 노선이 설정되지 않아 수동으로 이동한 항적의 데이터인 5,072개를 제외한 1,003개의 데이터 세트를 유효한 데이터 세트로 하고 결과를 분석하였다.

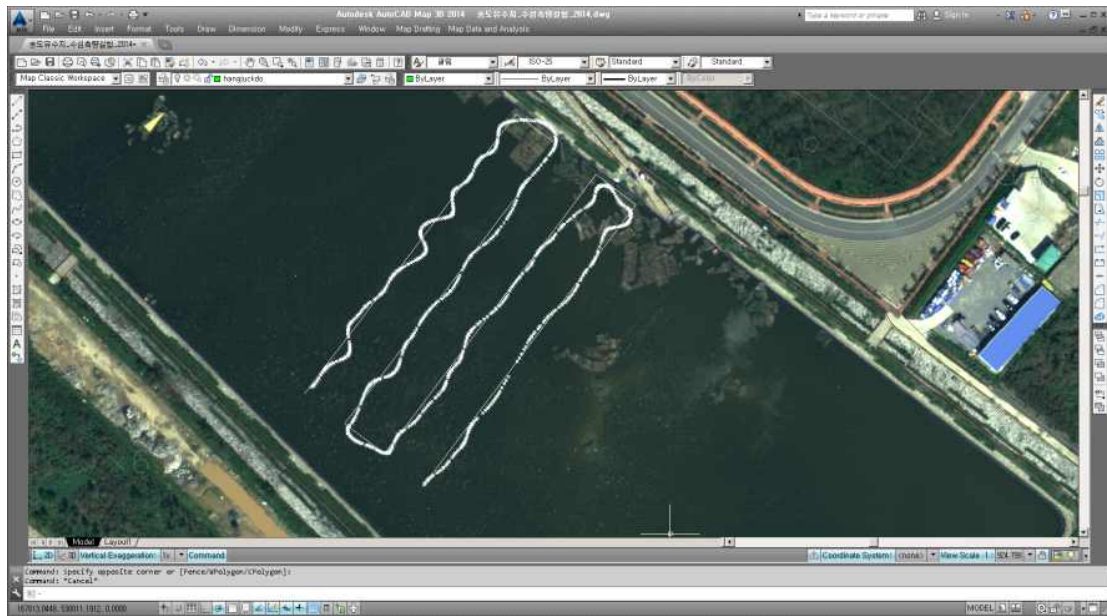


그림 2.130 로봇선 항적도

[illegible]

그림 2.131 로봇선 운항 결과

계획항로와의 인접성 분석을 위해 GIS의 공간 근접 분석 방법에 의한 계획 항로와의 거리를 분석을 위해 GIS의 소프트웨어인 ArcGIS의 인접성 분석 툴을 이용하였다. 다음은 인접성 분석의 개념도를 나타내고 있다.

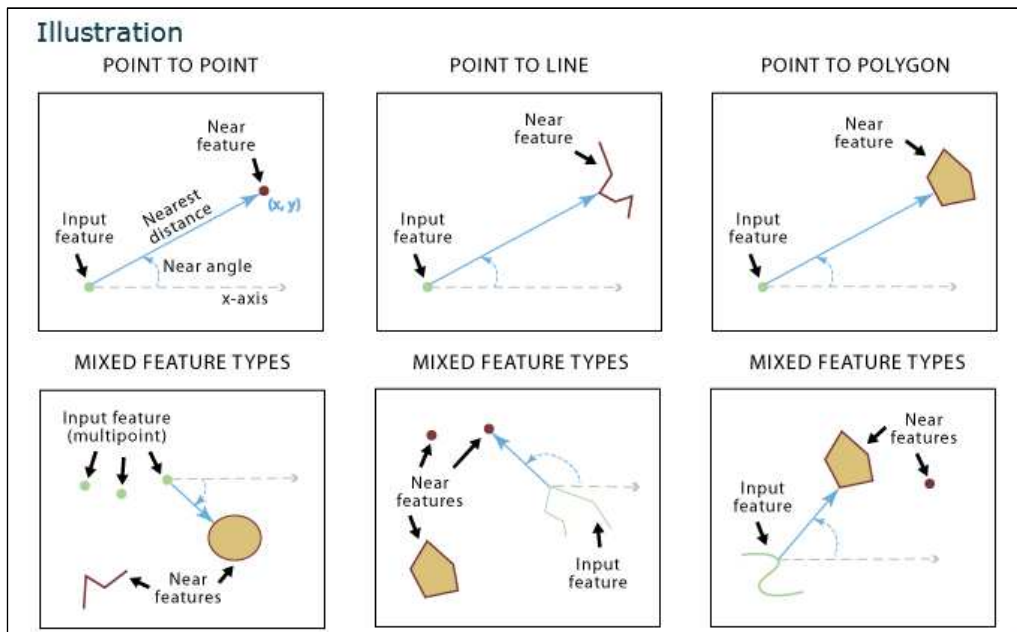


그림 2.132 GIS를 이용한 인접성 분석의 개념도

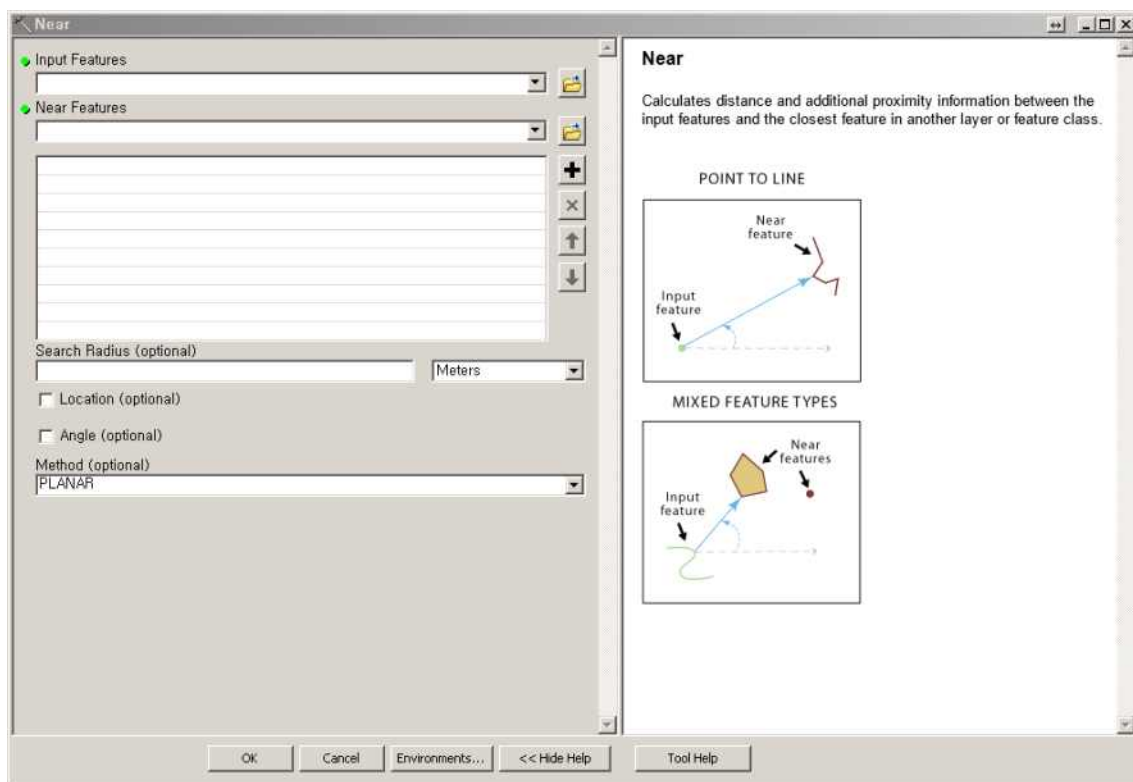


그림 2.133 ArcGIS를 이용한 인접성 분석 과정

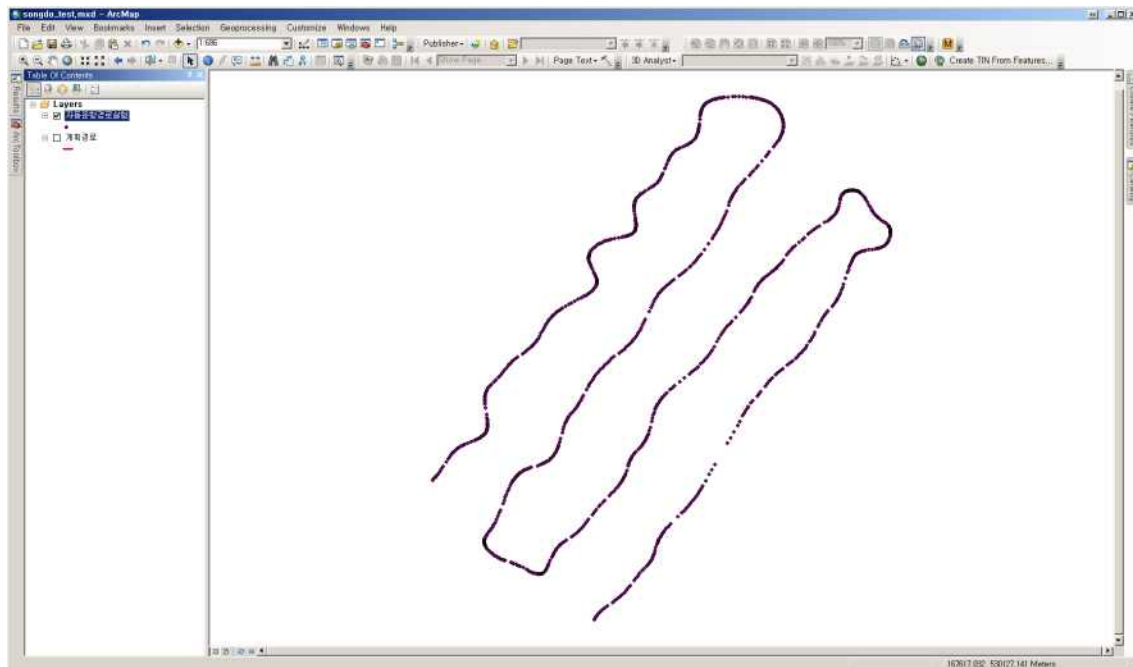


그림 2.134 ArcGIS를 이용한 인접성 분석을 위한 향적데이터 변환결과

FID	Shape	CORD_X	CORD_Y	CORD_Z	NEAR_FID	NEAR_DIST	NEAR_X	NEAR_Y	NEAR_ANGLE
0	Point 2M	167695.6734	530050.9614	0.3	30	2.611392	167697.44106	530052.44405	52.905216
1	Point 2M	167695.6736	530054.389	0.3	30	0.484454	167695.381543	530054.001479	-127.074784
2	Point 2M	167725.025	530075.6508	1	15	1.709211	167723.961307	530074.69121	142.925216
3	Point 2M	167720.3837	530103.5343	0.5	10	0.002736	167720.381571	530103.515948	142.925215
4	Point 2M	167744.9501	530131.6094	0.5	11	2.947159	167742.877421	530133.023401	142.925216
5	Point 2M	167775.2367	530138.1324	1.5	20	2.098999	167772.925736	530139.000032	142.925216
6	Point 2M	167784.8119	530150.0781	0.2	12	0.938952	167785.099993	530148.715078	-27.074784
7	Point 2M	167786.1686	530163.9256	0.5	13	0.474691	167785.760068	530163.61177	142.925216
8	Point 2M	167715.806	530036.7199	0.9	21	0.362118	167715.750009	530031.047864	64.952699
9	Point 2M	167715.8382	530031.1135	1.4	21	0.024232	167715.819666	530031.129109	142.925215
10	Point 2M	167716.0896	530031.4629	0.6	21	0.002581	167716.071659	530031.461344	-27.074784
11	Point 2M	167716.9543	530031.9509	0.9	21	0.009292	167716.981709	530031.949204	-27.074784
12	Point 2M	167716.6337	530032.1941	0.9	21	0.006877	167716.628373	530032.190125	142.925216
13	Point 2M	167716.9281	530032.5221	1.5	21	0.042231	167716.892408	530032.547059	142.925215
14	Point 2M	167717.2302	530032.836	0.9	21	0.09582	167717.15591	530032.893645	142.925216
15	Point 2M	167717.5485	530033.1374	0.1	21	0.059892	167717.41329	530033.239821	142.925216
16	Point 2M	167717.0802	530033.4273	0.2	21	0.248076	167717.670954	530033.577997	142.925216
17	Point 2M	167718.5412	530033.8196	1.4	21	0.452776	167718.179963	530034.251559	142.925216
18	Point 2M	167719.2365	530034.5005	0.3	21	0.69289	167718.883678	530034.919213	142.925216
19	Point 2M	167720.6593	530035.4887	0.3	21	1.220290	167719.980999	530036.237862	142.925216
20	Point 2M	167721.2677	530035.9961	0.8	21	1.816333	167720.177801	530036.865341	142.925216
21	Point 2M	167722.0615	530036.5068	1.1	21	1.757423	167720.675299	530037.554017	142.925216
22	Point 2M	167722.7311	530037.0409	1.1	21	1.949556	167721.175648	530038.216203	142.925216
23	Point 2M	167723.1082	530037.389	1	21	2.052620	167721.470512	530038.606441	142.925216
24	Point 2M	167723.3673	530037.6933	1.1	21	2.114464	167721.800224	530039.089993	142.925216
25	Point 2M	167723.9676	530038.2148	0.4	21	2.209403	167722.189671	530039.598208	142.925216
26	Point 2M	167724.5391	530038.6513	0.3	21	2.300656	167722.709524	530040.230286	142.925216
27	Point 2M	167725.089	530039.512	1.3	21	2.341085	167723.221167	530040.823339	142.925216
28	Point 2M	167725.6247	530040.1462	0.9	21	2.398936	167723.740266	530041.412723	142.925216
29	Point 2M	167725.6825	530041.0717	0.2	21	2.558476	167724.760996	530043.000825	142.925216
30	Point 2M	167727.2189	530042.2616	0.8	21	2.903126	167725.317023	530043.898285	142.925216
31	Point 2M	167727.7712	530042.9418	0.6	21	2.413388	167725.849672	530044.386734	142.925216
32	Point 2M	167728.2796	530043.532	1.4	21	2.463219	167726.314323	530045.019986	142.925216
33	Point 2M	167728.9433	530044.2501	0.7	21	2.558476	167726.801222	530045.769996	142.925216
34	Point 2M	167729.5481	530044.8674	1.2	21	2.699170	167727.427274	530046.489981	142.925216
35	Point 2M	167730.1402	530045.5281	0.4	22	2.744334	167727.950635	530047.182541	142.925216
36	Point 2M	167730.4254	530046.054	1.5	22	2.77541	167728.211041	530047.527175	142.925216
37	Point 2M	167730.7	530046.1956	0.3	22	2.794582	167728.470337	530047.870339	142.925216

그림 2.135 ArcGIS를 이용한 인접성 분석 결과

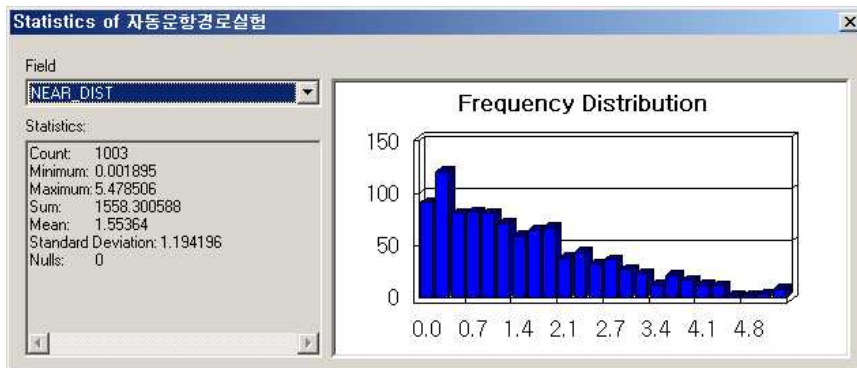


그림 2.136 ArcGIS를 이용한 인접성 분석 결과 통계량

표 2.21 인접성 분석결과와 기술통계값

항목	내용
평균	1.554
표준 오차	0.038
중앙값	1.287
최빈값	-
표준 편차	1.195
분산	1.428
첨도	0.252
왜도	0.901
범위	5.477
최솟값	0.002
최댓값	5.479
합	1,558.301
관측수	1,003
신뢰 수준 (95.0%)	0.074

ArcGIS를 이용하여 계획노선과 관측 결과값의 인접성을 분석한 결과(부록 4. 참조) 평균 거리가 1.554m로 나타나 수심측량과 관련된 시방기준의 오차범위인 3m 이내에 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 관측 결과값의 최댓값이 5.477m로 계획노선에서 허용범위를 벗어나는 결과값이 있는 것으로 분석되었다. 따라서 허용범위를 벗어나는 관측값을 자세히 분석하였다.

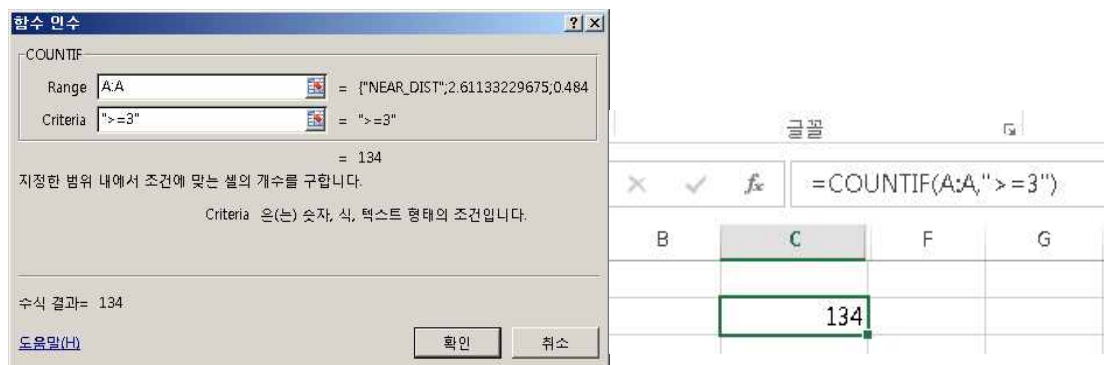


그림 2.137 자동운행 경로의 관측값 분석

허용범위인 3m를 벗어나는 관측값을 함수를 이용하여 분석한 결과 134개로 전체 1,003개의 관측값의 13%에 해당한다.



그림 2.138 자동운행 경로의 인접성 분석결과

이는 A지역에서는 운항 중 바람에 의한 영향으로 분석되었으며, B지역의 경우 육상부분과 인접된 지역으로 운항 중 수심이 낮아 로봇선의 운항이 어려운 지역으로 분석되었다.

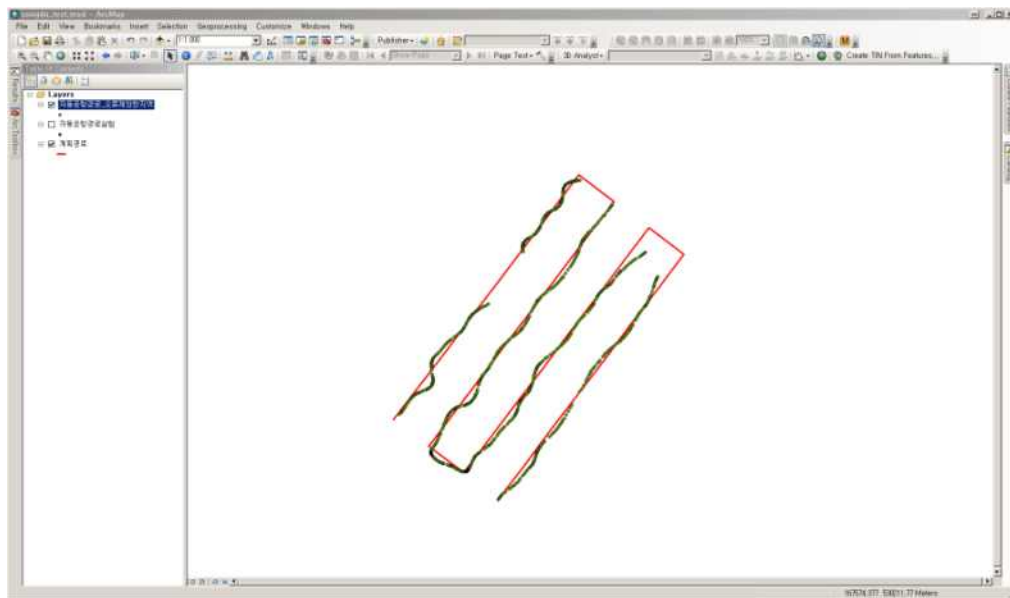


그림 2.139 자동운행 경로의 분석결과 출력

이 두 개의 지역을 제외할 경우 계획노선과의 거리가 3m이상인 관측점이 51개로 전체 777개의 관측점의 약 7%에 해당한다. 따라서 계획노선과 실제 운항노선과의 일치율은 약 93%로 기존에 연구계획서 작성 시 계획했던 90%이상 일치율의 성과목표에 부합하는 결과임을 알 수 있다.

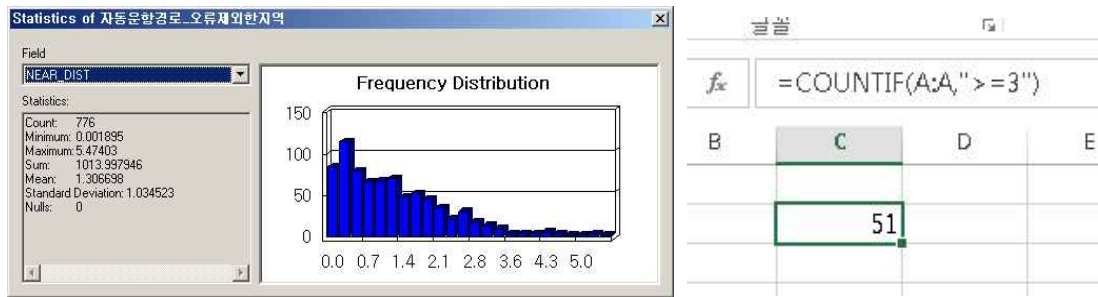


그림 2.140 계획경로와의 일치율 그래프

⑤ 무인 로봇선의 데이터 통신 속도 분석

무인 로봇선의 무선 데이터 통신을 위해 사용되는 인터넷 통신 속도의 품질을 실험하였다. 인터넷 통신 속도의 측정은 한국정보화진흥원(<http://speed.nia.or.kr>)의 인터넷 품질측정 프로그램을 이용하였으며, 측정 방법은 다양한 인터넷 통신환경에서 약 10~15초 동안 임의의 데이터를 송·수신하여 계산되는 평균 속도를 측정하였다.

품질 측정의 신뢰성을 높이기 위해 무인 로봇선에 실제 사용되는 노트북을 이용하였으며, 인터넷 환경은 주관기관의 유선 랜, WiFi, 스마트폰의 테더링 등 세 가지 방법을 이용하였다.

실험 결과 데이터 통신 속도는 유선 랜의 업로드 속도 176.30Mbps, 다운로드 속도 20.41Mbps, 지연시간 2.55ms로 가장 빠른 것으로 나타났으며, WiFi는 업로드 속도 18.91Mbps, 다운로드 속도 12.91Mbps, 지연속도 27.15ms로 비교적 안정적인 통신으로 나타났다. 스마트폰 테더링은 K사의 통신망으로 업로드 속도 4.26Mbps, 다운로드 속도 6.23Mbps, 지연속도 50.84ms로 나타나 비교적 느리지만 로봇선 운항 조건에 만족하는 것으로 분석되었다. 모든 통신에서 데이터의 손실은 없는 것으로 나타났다.

로봇선과 사용자가 송수신하는 데이터의 용량이 수십 byte 수준인 것을 감안한다면 통신 속도는 충분하다는 것을 알 수 있으며, 지연시간 역시 최대 약 51ms로서 예상 규격의 절반 수준으로 데이터 전송 누락이나 명령 수행 지연이 거의 없는 것으로 판단된다.

표 2.22 무선 인터넷 품질 비교

통신 방법	업로드 속도(Mbps)	다운로드 속도(Mbps)	지연 시간(ms)	손실율(%)
실내 유선 랜	176.30	20.41	2.55	0.00
실내 WiFi	18.91	12.91	27.15	0.00
테더링	4.26	6.23	50.84	0.00

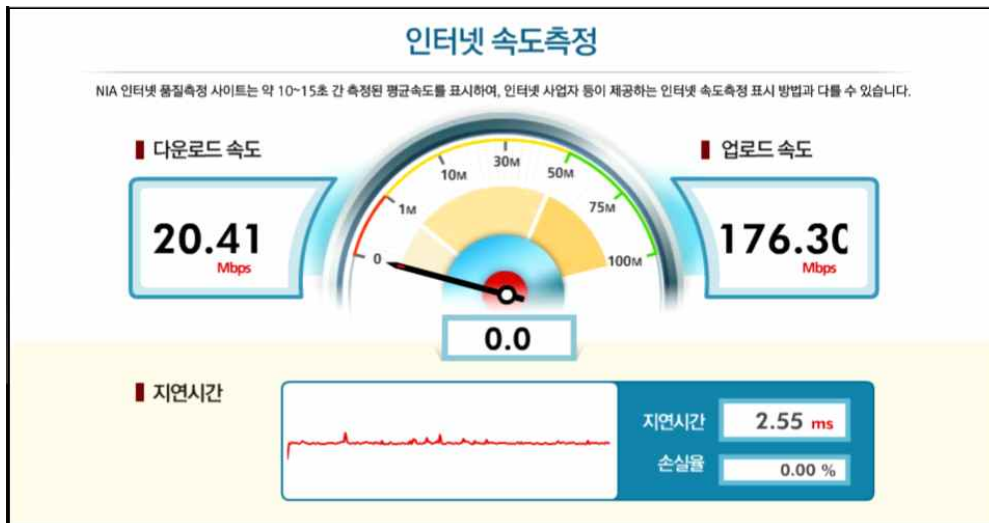


그림 2.141 실내 유선 LAN망의 전송 속도 및 품질

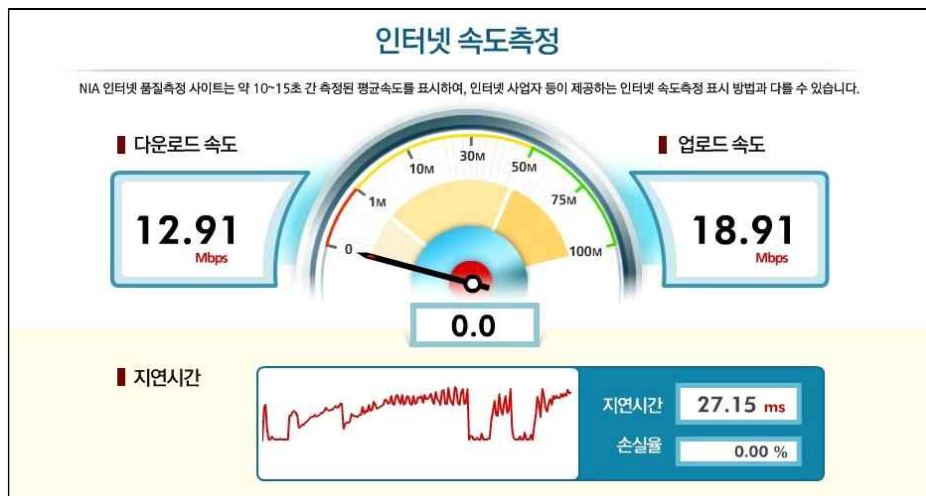


그림 2.142 실내 WiFi 망의 전송 속도 및 품질

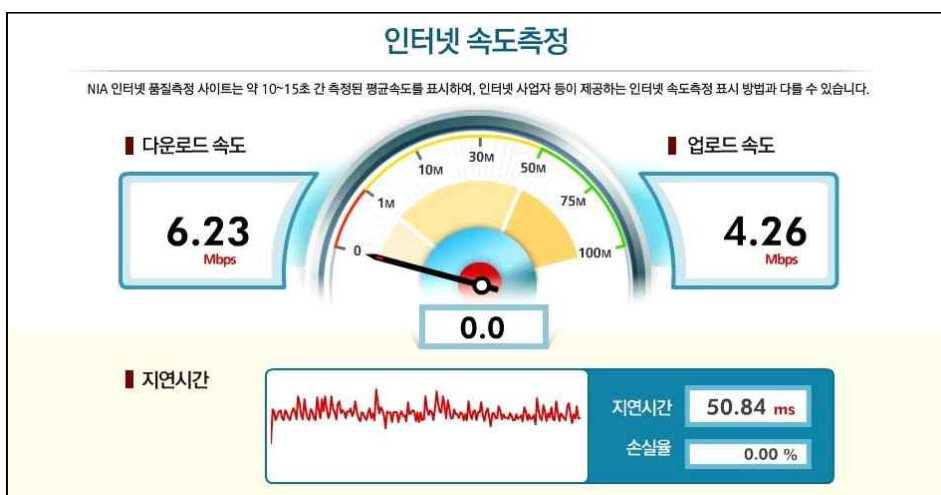


그림 2.143 테더링(스마트폰 통신)에 의한 WiFi망의 전송 속도 및 품질

유수지에서 무인 로봇선을 실제로 운항한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 첫째, 로봇선의 성능이 계획한 성능을 만족하였다. 로봇선의 속도, 제어명령 반응속도, 소나센서 데이터 처리율, 양방향 통신 전송률 모두 계획한 성능을 다소 상회하는 결과를 얻음으로써 전체 연구개발을 성공적으로 완료할 수 있는 기반을 마련하였다.

둘째, 통신 장비의 변경을 통해 데이터 전송 속도 및 전송률과 제어명령 반응속도가 비약적으로 향상되었다. 연구 기획 단계에서 통신 장비로 설정한 RF 모듈 대신에 휴대폰에 의한 테더링을 이용한 결과, 거의 실시간으로 데이터가 송수신되고 손실 데이터도 없었으며, 이로 인해 로봇선이 제어명령에 즉각적으로 반응하는 결과를 얻을 수 있었다.

셋째, 로봇선 제어 및 센서 데이터 처리를 위한 보드제작 대신 노트북을 사용함으로써 작동 효율을 유지하면서도 효과적으로 시스템을 개발할 수 있었다. 연구 기획 단계에서 로봇선 제어 장비로 PCB(Printed Circuit Board, 인쇄 회로 기판)를 제작하려고 하였으나, 명령전달 체계 단순화 및 센서들과의 연계성을 위하여 노트북으로 대신하였다. 이로 인해 별도로 PCB를 제작하는데 소요되는 시간과 비용이 필요 없게 되었고, 제어 프로그램과 분석 프로그램을 통합하여 개발함으로써 프로그램의 UI, 알고리즘 등에 일관성을 가지게 되었으며, 센서의 커넥터를 변경하거나 별도로 준비하지 않아도 되기 때문에 작업의 효율성도 상승시킬 수 있었다.

(2) 하천에서의 시스템 운용실험 결과 분석

(가) 실험 목적 및 범위

본 연구를 통해 개발된 무인 로봇선으로 유속이 빠른 대하천에서 수동 및 자동으로 운항하여 로봇선의 성능을 분석하고, 개선할 점을 도출하였다. 또한 수심측량 사업(시범사업)의 적용성에 검토에 목적이 있다.

본 실험은 경상북도 성주군 선남면과 대구광역시 달성군 하빈면을 잇는 낙동강 다리 부근을 대상으로 하였다.

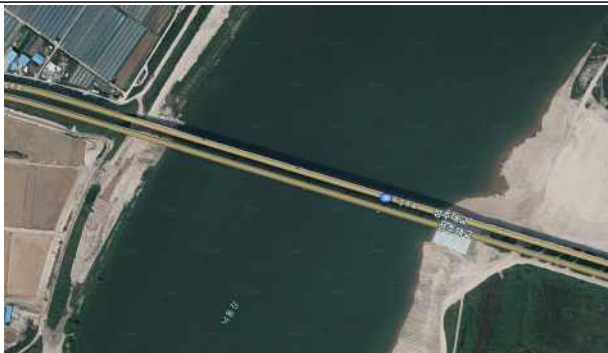
	주 소	경북 성주군 선남면 선원리
	면 적	약 231㎡
	좌표계	평면직각좌표(중부)
	도 법	횡메르카토르 도법(TM)
	타원체	GRS80 타원체

그림 2.144 하천에서의 현장실험 대상지역 현황

본 실험에서는 보다 정밀한 수심측량의 결과를 도출하기 위하여 다음 그림과 같이 성주대

교 부근 수준점의 위치를 GPS를 이용하여 측량을 실시하였다.



그림 2.145 하천에서의 현장실험 대상지역의 수준점 측량

(나) 시간적 범위

실험은 2014년 1월 26일에 수행하였으며, 성주대교 하단 부근 하천으로 약 231m² 면적에 대한 수심, 횡단면도, 유속 등에 대한 데이터를 취득하였다.

(다) 수동 및 자동제어 운항 실험

로봇선을 육안으로 확인하며 운항할 수 있는 수동제어 프로그램과 설정된 항로를 따라 운항할 수 있는 자동제어 프로그램을 개발하였다. 모바일 기반으로 진행하였으며, 통신에 큰 문제점은 발견되지 않았다.

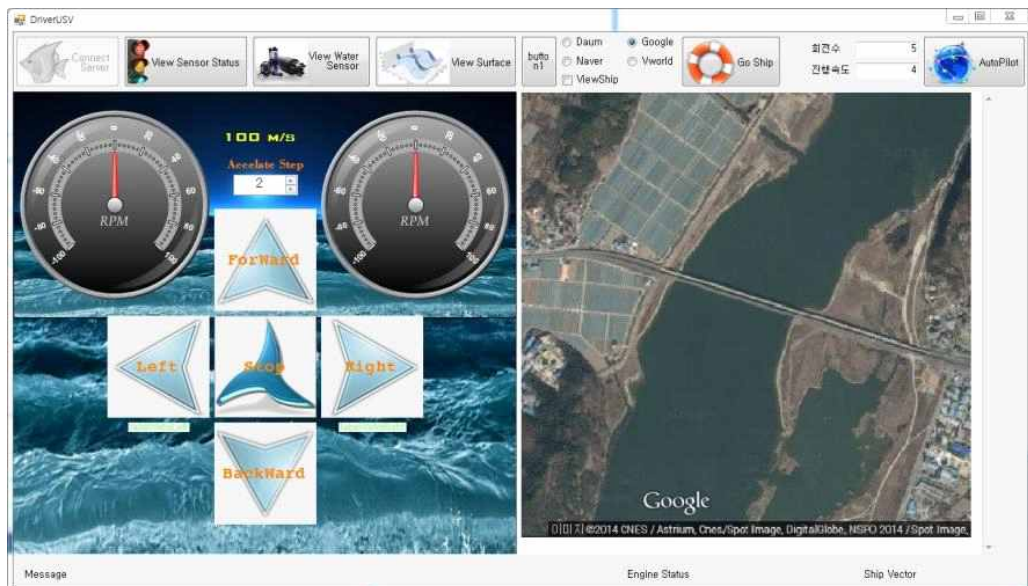


그림 2.146 로봇선 수동 제어 프로그램

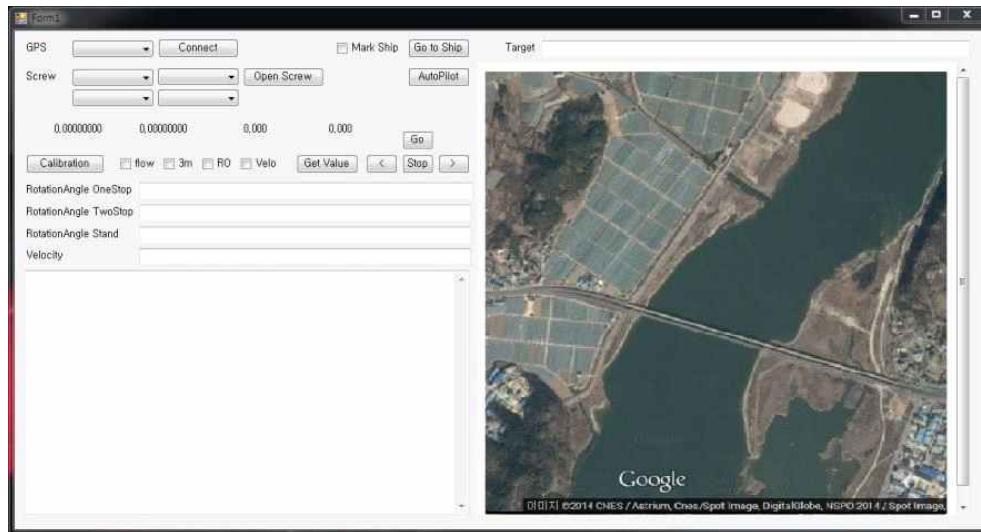


그림 2.147 로봇선 자동 제어 프로그램

본 실험은 하천에서의 유속과 장애물에 의해 무인 로봇선의 유실 및 파손으로 우려하여 고무보트와 로프로 연결하여 진행하였다. 수동제어 운항시 문제점이 발견되지 않았으며, 고무보트를 끌고 약 4km/h로 운항하였다. 쓰러스터의 출력에 무리가 없음을 확인할 수 있었다.

자동제어 운항시 성주대교 하단 부근 음지에 두께 약 5cm 정도의 얼음이 있는 방향으로 운항하였다. 따라서 장애물을 피하지 못하는 문제점이 발견되었다. 다음 그림은 수동 및 자동 운항 과정을 나타내고 있다.



그림 2.148 수동제어 운항 실험 결과



그림 2.149 자동제어 운항 실험결과

(라) 통신 실험

본 실험에서는 통신장비로 휴대폰을 이용하였다. 연구 기획 단계에서 RF 모뎀을 이용하려고 하였으나, 별도의 전원이 필요하고 통신 성능 향상을 위해 안테나 및 부수장비를 설치해야 하기 때문에 작업 효율이 떨어지는 단점이 발생하게 된다.

휴대폰의 테더링 기술을 이용한 무선 인터넷 데이터 통신을 이용할 경우, 4G 통신이 최대 4Gbps, 3G 통신이 최대 2.4Mbps의 속도로 데이터를 전송할 수 있어 별도의 장비나 전원 없이도 대용량의 데이터를 고속으로 전송할 수 있는 장점이 있다. 또한 상용 통신망을 이용하게 되면 데이터 전송의 흐름이 절단 없이 연속성을 유지할 수 있다.

이로 인해 양방향 통신 전송률이나 제어명령의 반응 속도를 실험하는 것이 큰 의미가 없게 되었으나, 로봇선의 성능을 확인하기 위해 두 가지 실험을 수행하였다. 하나는 제어 명령을 전송하고 로봇선에서 이를 수행하는지의 여부와 소요 시간의 측정, 다른 하나는 테더링에 의한 휴대폰 무선 인터넷 데이터 통신의 품질 측정이다.

① 제어명령 수행 여부

로봇선의 통신 전송률 및 제어명령 반응속도를 분석하기 위해 다음과 같은 실험을 수행하였다. 사용자가 제어용 노트북으로 로봇선에 제어명령을 보낼 때 전송 시간을 함께 보내고 이를 저장한다. 로봇선의 노트북이 이를 수신하고 명령을 수행하면서 제어 명령 데이터를 저장한다. 이때 저장하는 시각과 수행여부를 동시에 저장하여 제어 명령 송신 시각과 수신 시각을 비교하고, 명령을 수행했는지 확인할 수 있도록 하였다. 로봇선의 데이터베이스에는 제어명령 전송시각, 좌측 쓰러스터 제어 명령, 우측 쓰러스터 제어 명령, 제어명령 저장시각, 수행 여부가 차례로 저장된다.

3분 55초 동안 총 267건의 제어 명령을 송수신하였으며, 송수신을 100%, 제어명령 반응 속도 1초 이내의 결과를 얻을 수 있었다. 다음 그림은 송수신된 제어명령을 SQL 서버 프로그램을 이용하여 확인한 화면이며, 다음 표는 DB에 저장된 원시 데이터 중 일부이다.

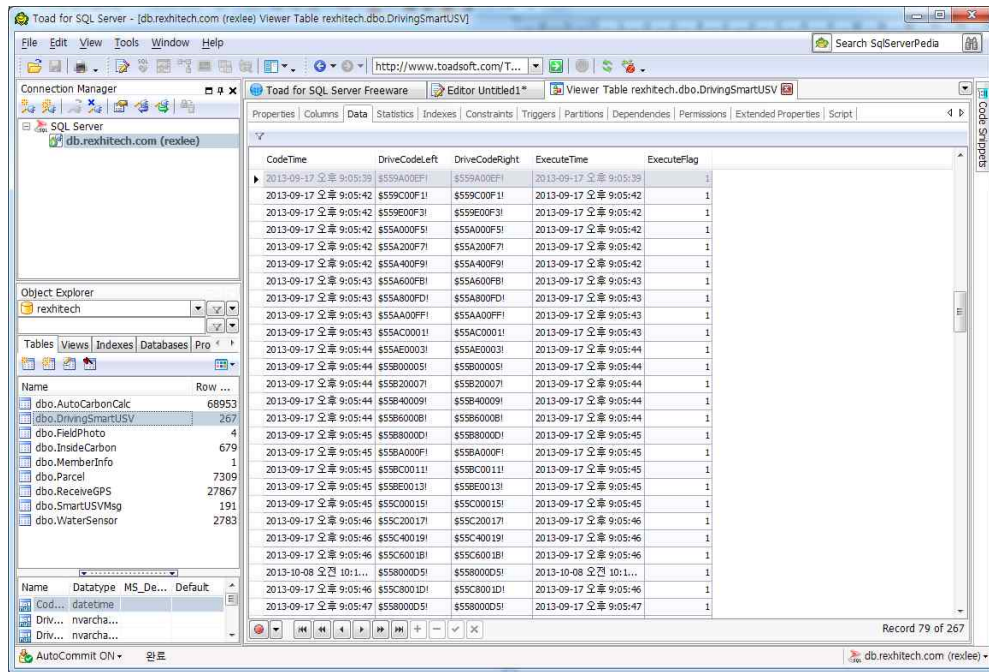


그림 2.150 제어명령 송수신 데이터 DB 화면

표 2.23 DB에 저장된 송수신명령 원시데이터

CodeTime,	DriveCodeLeft,	DriveCodeRight,	ExecuteTime,	Execute Flag
'2013-09-17 21:05:20',	\$558C00E1!,	\$557400C9!,	'2013-09-17 21:05:20',	1
'2013-09-17 21:05:16',	\$558000D5!,	\$558000D5!,	'2013-09-17 21:05:16',	1
'2013-09-17 21:05:16',	\$558200D7!,	\$558200D7!,	'2013-09-17 21:05:16',	1
'2013-09-17 21:05:17',	\$558400D9!,	\$558400D9!,	'2013-09-17 21:05:17',	1
'2013-09-17 21:05:17',	\$558600DB!,	\$558600DB!,	'2013-09-17 21:05:17',	1
'2013-09-17 21:05:17',	\$558800DD!,	\$558800DD!,	'2013-09-17 21:05:17',	1
'2013-09-17 21:05:17',	\$558A00DF!,	\$558A00DF!,	'2013-09-17 21:05:17',	1
'2013-09-17 21:05:17',	\$558C00E1!,	\$558C00E1!,	'2013-09-17 21:05:17',	1
'2013-09-17 21:05:18',	\$558E00E3!,	\$558E00E3!,	'2013-09-17 21:05:18',	1
'2013-09-17 21:05:18',	\$559000E5!,	\$559000E5!,	'2013-09-17 21:05:18',	1
'2013-09-17 21:05:19',	\$558000D5!,	\$558000D5!,	'2013-09-17 21:05:19',	1
'2013-09-17 21:05:19',	\$558200D7!,	\$557E00D3!,	'2013-09-17 21:05:19',	1
'2013-09-17 21:05:20',	\$558400D9!,	\$557C00D1!,	'2013-09-17 21:05:20',	1
'2013-09-17 21:05:20',	\$558600DB!,	\$557A00CF!,	'2013-09-17 21:05:20',	1
'2013-09-17 21:05:20',	\$558800DD!,	\$557800CD!,	'2013-09-17 21:05:20',	1

② 음향측심기 데이터 수집 프로그램 실험

음향측심기의 데이터 처리율은 실험 시간동안 음향측심기의 총 음파발신수를 이론적으로 계산한 값과 실제 데이터의 수를 비교하여 얼마나 누락되었는지를 백분율로 나타내었다.

실험하는 동안 음향측심기의 음파 발신수는 3Hz 즉, 초당 3회로 설정하였으며 실험은 1시간 36분 30초 동안 수행하였으므로, 이론적으로 획득해야 할 음향측심기의 데이터 수는 17,370개 이다. 실험으로 획득한 데이터의 수는 <부록 3>과 같이 15,954개로 측정되었으며, 누락된 데이터는 1,416개로 약 91.85%의 음향측심기 데이터 처리율을 나타내었다.

원시 데이터를 모두 확인한 결과 하나의 데이터 세트에 GPS 데이터는 저장되었으나 수신

데이터 필드가 비어 있는 경우가 전부였다. 따라서 이는 로봇선의 데이터 처리 프로그램 성능에 의한 문제라기보다는 음향측심기 자체의 문제라고 판단된다.

(3) 호수에서의 시스템 운용실험 결과 분석

무인 로봇선의 호수운항은 하천운항과 달리 유속의 영향을 덜 받을 것으로 판단했지만, 실험 대상지역을 선정된 새만금 방조제는 여러 가지 자연환경요인이 변수로 작용하고 있어 다각도로 분석이 가능 할 것으로 판단하였다.

(가) 실험 목적 및 범위

본 실험의 목적은 무인 로봇선의 호수에서의 운항 성능을 평가하는데 있다. 운항 대상지역에 따라 무인 로봇선의 장단점을 분석하고 성능을 개선한다. 또한 수심측량 사업(시범사업)의 적용성에 검토에 목적이 있다.

대상지역의 경우 인공적으로 만들어진 호수이지만 규모가 매우 크기 때문에 호수 안쪽에서는 바다와 같이 너울이 심하게 발생하고 있다. 그러나 현장적용을 위한 대상의 경우 도로 확장 공사 위한 것으로 육상과 인접해 있다. 따라서 그 지역의 경우 너울이 심하지 않아 무인 로봇선의 운항 실험과 장거리에서의 통신 실험을 진행하였다.

	주 소	전라북도 군산시, 김제시, 부안군 일원 새만금호
	면 적	118km ²
	좌표계	평면직각좌표(중부)
	도 법	횡메르카토르 도법(TM)
	타원체	GRS80 타원체

그림 2.151 호수에서의 현장실험 대상지역 현황

(나) 시간적 범위

실험은 2013년 12월 28일부터 2014년 1월 20일까지 수행하였으며, 새만금 저수지 내에서의 무인 로봇선의 운용과 하상정보 수집을 통해 수심측량작업규정에 맞게 측량하기 위해 바체크 및 흘수보정을 실시하였으며, 기준점과 연결하여 로봇선에 의해 수집된 정보의 평면 및 수직위치 정확도를 향상시켰다. GPS와 음향측심기 등을 이용하여 약 405,110의 데이터 세트를 획득하여 분석하였다.

(다) 바체크 및 흘수보정

① 바체크

음속은 수온, 염분농도 및 압력(심도)에 의해 변화된다. 따라서 기록에서 정확히 수심을 구하기 위해서는 측정장소에서 음속보정이 필수적이다.

바체크(bar-check)법은 음향측심기의 음속보정 시 가장 많이 사용되는 방법이며, 댐, 해안, 하천의 수심관측 등에 적당한 보정법이다. 수심 30~50m 미만의 측량에 이용되면, 반사판을 기준으로 반사체(bar)를 일정깊이만큼 내려놓고 이 때의 심도를 X라고 하면, 그 심도에서 일정 깊이만큼 더 내리고 다시 심도를 기록한다. 이 때의 심도를 Y로 두고 심도를 기록하면 다음식과 같은 바체크에 의한 보정식을 나타낼 수 있다. 여기서 V_m 은 보정비율이다.

$$V_m(\%) = \frac{(Z - X) - Y}{Y} \times 100$$

이렇게 보정비율 V_m 이 구해지면 비율만큼 $\pm$ 보정을 한 다음 재측정을 하여 확인을 한다. 다음 그림은 본 연구에서 사용된 수심측정 정확도를 체크하기 위한 반체를 나타내고 있다.



그림 2.152 수심측정 정확도를 체크하기 위한 반사체

이 값을 음향측심기의 컨트롤러의 설정값에 입력하면 된다. 다음 그림은 음향측심기를 이용한 바체크 실험과정을 나타내고 있다. 즉, 바(bar)상단으로부터 음향측심기 바닥면까지의 길이를 실측한 실험이다.



그림 2.153 바체크를 위한 수심 실측 과정

다음 그림과 같이 바체크를 위해 음향측심기를 이용하여 바(bar) 상단까지의 수심을 측정하였다.



그림 2.154 음향측심기를 이용한 수심 측정 과정

② 흘수보정

음향측심기의 송수신 센서는 수면에서 일정한 깊이만큼 잠겨있다. 따라서 수심측정시 흘수량을 더해주어야 정확한 값을 얻을 수 있다. 무인 로봇선에 사용되는 측심기에서는 흘수량이 일반적으로 0.2~0.4m 정도로 한다.

흘수량은 부력과 하중과 관계가 있으며, 무인 로봇선 운항 전 항상 체크하여 보정값을 입력하여야 한다. 본 실험에서는 다음 그림과 같이 수면으로부터 음향측심기 바닥면까지의 실측하여 흘수 보정값을 입력하였다.



그림 2.155 흘수보정을 위한 실측

다음 그림은 음향측심기에 의한 측정값과 바체크에 의한 길이 측정값을 음향측심기 컨트롤러에 입력하여 보정하고 있는 과정을 나타내고 있다.



그림 2.156 바체크 및 흘수보정 값 입력 과정

(라) 시스템 운항 테스트

호수에서의 시스템 운항 테스트는 무인 로봇선의 수동운항과 자동운항 기능을 평가하고 GPS와 음향측심기를 이용한 수중공간정보 수집에 대하여 실험하였다. 다음 그림은 실험전 준비과정을 나타내고 있다.



그림 2.157 호수에서의 무인 로봇선의 운항 실험

무인 로봇선을 이용한 수중공간정보 획득 결과 다음 그림 2.156의 항적도와 같이 지정한 계획경로에 따라 운항하여 수심측량의 종횡단 간격을 만족하는 양호한 성과를 얻을 수 있었다. 또한 다음 그림 2.157과 같이 측정지점의 수평위치, 고도, 수심 등의 정보를 획득 할 수 있었다.

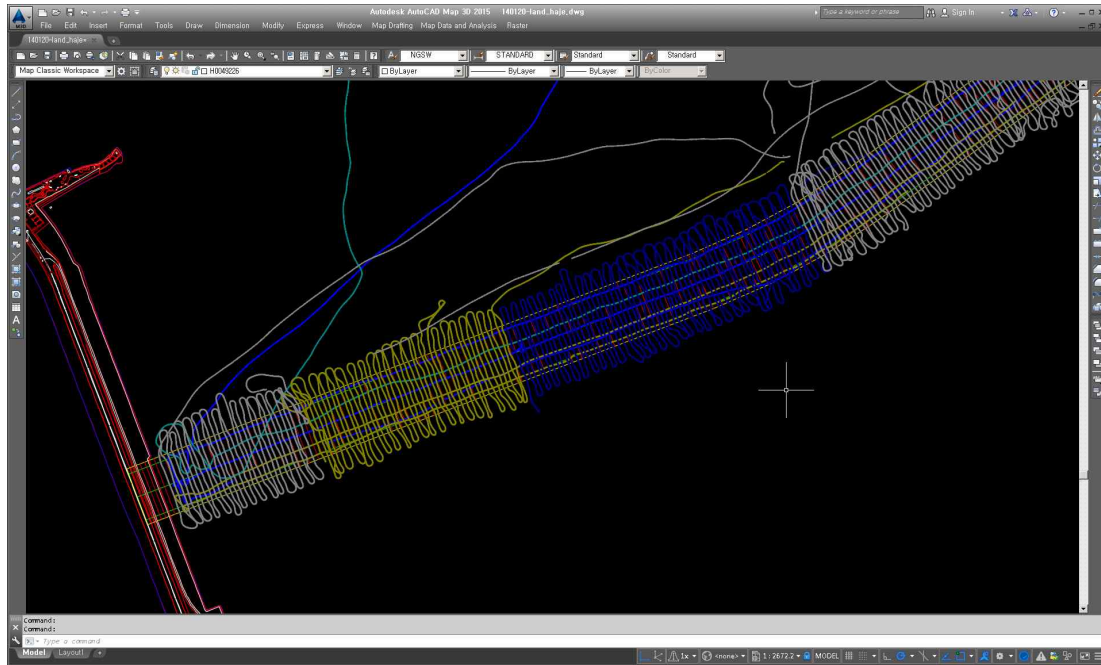


그림 2.158 호수에서의 무인 로봇선의 항적도

2014-01-19_104445.raw - 메모장

파일(F) 편집(E) 서식(O) 보기(V) 도움말(H)

, -2445, 00000, 020	GGA, 014442.00, 3551.305306, N, 12641.546225, E, 4, 14, 0.7,	22.095, M,	0.000, M,	1, *
, -2444, 00000, 020	GGA, 014443.00, 3551.305303, N, 12641.546224, E, 4, 14, 0.7,	22.107, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014443.00, 3551.305304, N, 12641.546223, E, 4, 14, 0.7,	22.101, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014443.00, 3551.305304, N, 12641.546224, E, 4, 14, 0.7,	22.106, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014443.00, 3551.305304, N, 12641.546224, E, 4, 14, 0.7,	22.101, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014443.00, 3551.305303, N, 12641.546225, E, 4, 14, 0.7,	22.105, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014444.00, 3551.305302, N, 12641.546225, E, 4, 14, 0.7,	22.105, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014444.00, 3551.305302, N, 12641.546224, E, 4, 14, 0.7,	22.105, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014444.00, 3551.305302, N, 12641.546224, E, 4, 14, 0.7,	22.104, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014444.00, 3551.305301, N, 12641.546225, E, 4, 14, 0.7,	22.105, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014444.00, 3551.305303, N, 12641.546224, E, 4, 14, 0.7,	22.108, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014445.00, 3551.305304, N, 12641.546222, E, 4, 14, 0.7,	22.105, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014445.00, 3551.305303, N, 12641.546223, E, 4, 14, 0.7,	22.107, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014445.00, 3551.305303, N, 12641.546223, E, 4, 14, 0.7,	22.107, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014445.00, 3551.305302, N, 12641.546224, E, 4, 14, 0.7,	22.106, M,	0.000, M,	1, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014445.00, 3551.305302, N, 12641.546224, E, 4, 14, 0.7,	22.104, M,	0.000, M,	1, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014446.00, 3551.305302, N, 12641.546222, E, 4, 14, 0.7,	22.108, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014446.00, 3551.305302, N, 12641.546222, E, 4, 14, 0.7,	22.108, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014446.00, 3551.305304, N, 12641.546219, E, 4, 14, 0.7,	22.112, M,	0.000, M,	0, *
, -2446, 00000, 020	GGA, 014446.00, 3551.305307, N, 12641.546219, E, 4, 14, 0.7,	22.111, M,	0.000, M,	0, *
, -2446, 00000, 020	GGA, 014447.00, 3551.305306, N, 12641.546219, E, 4, 14, 0.7,	22.114, M,	0.000, M,	0, *
, -2446, 00000, 020	GGA, 014447.00, 3551.305306, N, 12641.546219, E, 4, 14, 0.7,	22.113, M,	0.000, M,	0, *
, -2446, 00000, 020	GGA, 014447.00, 3551.305304, N, 12641.546220, E, 4, 14, 0.7,	22.111, M,	0.000, M,	0, *
, -2446, 00000, 020	GGA, 014447.00, 3551.305305, N, 12641.546221, E, 4, 14, 0.7,	22.103, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014447.00, 3551.305303, N, 12641.546222, E, 4, 14, 0.7,	22.105, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014448.00, 3551.305304, N, 12641.546220, E, 4, 14, 0.7,	22.104, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014448.00, 3551.305304, N, 12641.546222, E, 4, 14, 0.7,	22.104, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014448.00, 3551.305304, N, 12641.546221, E, 4, 14, 0.7,	22.103, M,	0.000, M,	0, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014448.00, 3551.305304, N, 12641.546221, E, 4, 14, 0.7,	22.107, M,	0.000, M,	1, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014448.00, 3551.305304, N, 12641.546220, E, 4, 14, 0.7,	22.102, M,	0.000, M,	1, *
, -2445, 00000, 020	GGA, 014449.00, 3551.305305, N, 12641.546221, E, 4, 14, 0.7,	22.105, M,	0.000, M,	0, *

그림 2.159 호수에서의 측정 데이터의 수신 결과

본 실험에서는 보다 정밀한 수심측량의 결과를 위하여 다음 그림과 같이 새만금 지역 부근 통합기준점의 위치를 GPS를 이용하여 측량을 실시하였다.

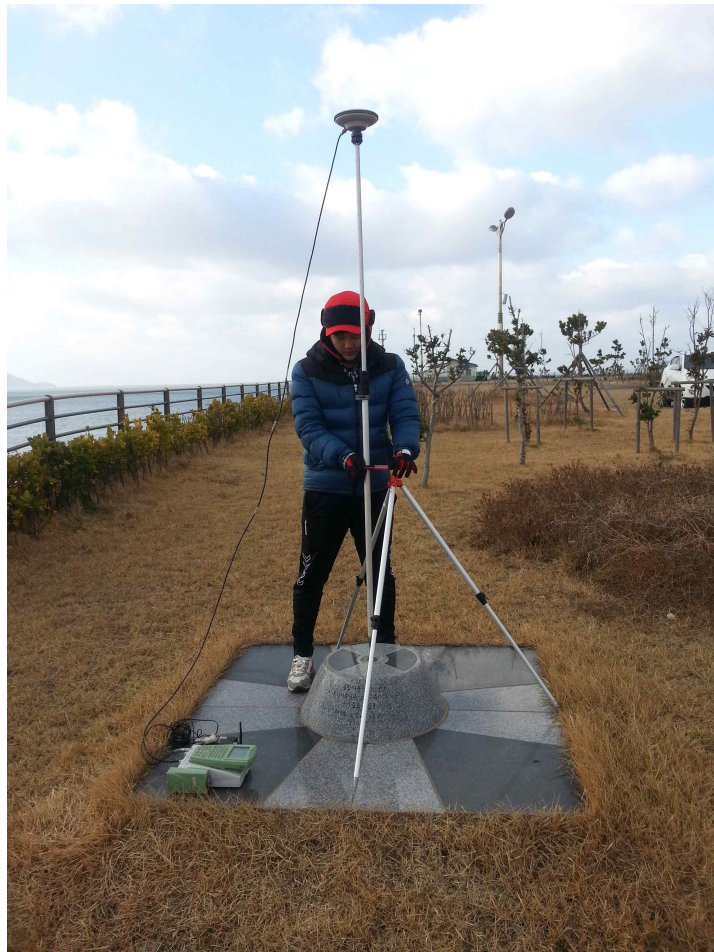


그림 2.160 측정자료 보정을 위한 기준점 측량

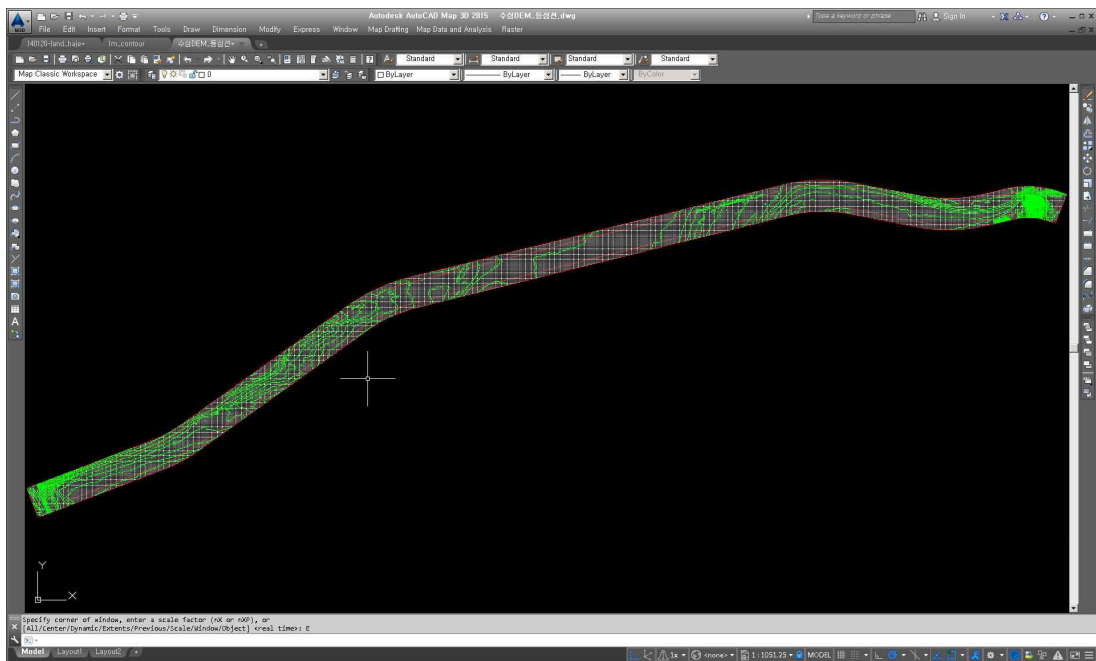


그림 2.161 획득된 수중공간정보로부터 공간보정된 하상지형의 등심선도

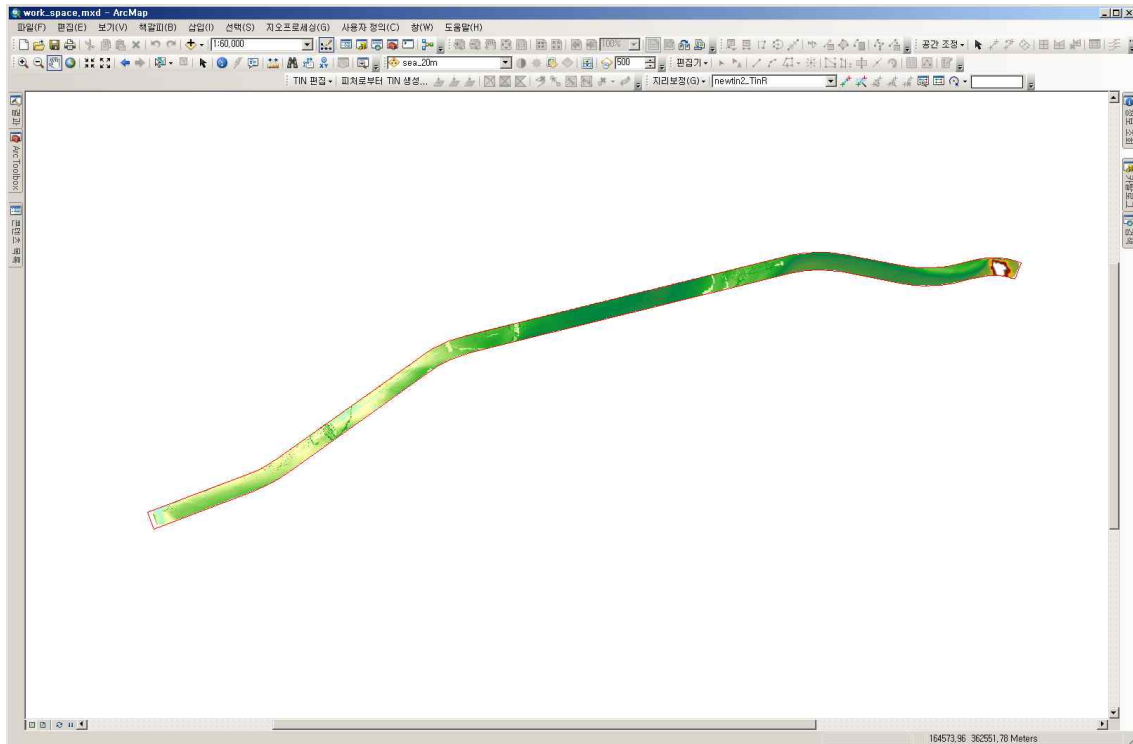


그림 2.162 획득된 수중공간정보로부터 공간보정된 하상지형의 DEM

(4) 연안해역에서의 시스템 운용실험 결과 분석

무인 로봇선의 단위 테스트를 위해 인천광역시 백령도의 사항포항 주변 해역을 대상으로 GPS와 음향측심기를 이용한 수심측량을 수행하였다. 대상지역을 20m 간격으로 계획선을 따라 운항하면서 실시하였으며, GPS가 연결된 음향측심기로부터 하상까지의 수심을 측정하였다. 측량선 접근 불가능한 지역은 무타켓 Total Station (LEICA 1100)을 사용하여 보완측량을 실시하였다.



그림 2.163 연안해역 현장에서의 실험 과정

다음 그림은 측정된 자료의 현장 검측과 지역좌표계 보간을 위한 현장 지상기준점 측량을 시행하고 있는 모습을 나타내고 있다.



그림 2.164 현장 지상기준점 측량

GPS와 음향측심기에서 출력되는 정보는 NMEA Format중 GGA 메시지로 유선 연결을 통해 노트북에 자동 저장된다. 측정 정보로는 약 2700개의 데이터가 수신되었으며, GPS로부터 수신된 시간정보와 경위도 좌표와 지오이드고, 타원체고, 음향측심기로부터 수심정보가 있으며, 단위 테스트용 프로그램을 이용하여 경위도좌표는 서부원점의 TM좌표로 자동변환 하였다.

GGA.log - 메모장															
파일(F) 편집(E) 서식(O) 보기(V) 도움말(H)															
2530.00000	240	GGA	071837.00	3758.230303	N	12437.307043	E	2.10	0.9	30.960	M	0.000	M	0.0	*
2379.00000	240	GGA	071837.00	3758.230753	N	12437.307122	E	2.9	1.1	32.877	M	0.000	M	0.0	*
2568.00000	240	GGA	071838.00	3758.230779	N	12437.306832	E	2.9	1.1	31.038	M	0.000	M	0.0	*
2383.00000	240	GGA	071838.00	3758.230783	N	12437.306623	E	2.9	1.1	30.697	M	0.000	M	0.0	*
2349.00000	240	GGA	071838.00	3758.230777	N	12437.306638	E	2.9	1.1	30.697	M	0.000	M	0.0	*
2349.00000	240	GGA	071838.00	3758.230704	N	12437.307246	E	2.9	1.1	32.635	M	0.000	M	0.0	*
2544.00000	240	GGA	071839.00	3758.230335	N	12437.307188	E	2.9	1.1	31.045	M	0.000	M	0.0	*
2385.00000	240	GGA	071839.00	3758.230523	N	12437.306522	E	2.9	1.1	29.314	M	0.000	M	0.0	*
2211.00000	240	GGA	071839.00	3758.230736	N	12437.306691	E	2.9	1.1	30.673	M	0.000	M	0.0	*
2347.00000	240	GGA	071839.00	3758.230732	N	12437.306691	E	2.9	1.1	30.664	M	0.000	M	0.0	*
2346.00000	240	GGA	071839.00	3758.230727	N	12437.306695	E	2.9	1.1	30.646	M	0.000	M	0.0	*
2345.00000	240	GGA	071840.00	3758.230305	N	12437.307201	E	2.9	1.1	31.100	M	0.000	M	0.0	*
2390.00000	240	GGA	071840.00	3758.230686	N	12437.307205	E	2.9	1.1	32.731	M	0.000	M	0.0	*
2553.00000	240	GGA	071840.00	3758.230717	N	12437.306697	E	2.9	1.1	30.632	M	0.000	M	0.0	*
2343.00000	240	GGA	071840.00	3758.230680	N	12437.307204	E	2.9	1.1	32.713	M	0.000	M	0.0	*
2551.00000	240	GGA	071841.00	3758.230716	N	12437.306700	E	2.9	1.1	30.610	M	0.000	M	0.0	*
2341.00000	240	GGA	071841.00	3758.230299	N	12437.307202	E	2.9	1.1	31.079	M	0.000	M	0.0	*
2388.00000	240	GGA	071841.00	3758.230465	N	12437.306620	E	2.9	1.1	29.178	M	0.000	M	0.0	*
2198.00000	240	GGA	071841.00	3758.230688	N	12437.307215	E	2.9	1.1	32.655	M	0.000	M	0.0	*
2546.00000	240	GGA	071841.00	3758.230703	N	12437.306719	E	2.9	1.1	30.588	M	0.000	M	0.0	*
2339.00000	240	GGA	071842.00	3758.230661	N	12437.307213	E	2.9	1.1	32.609	M	0.000	M	0.0	*
2541.00000	240	GGA	071842.00	3758.230663	N	12437.307206	E	2.9	1.1	32.578	M	0.000	M	0.0	*

그림 2.165 GPS와 음향측심기 데이터의 수집 결과

또한 측정된 GPS 위치정보 및 수심 정보를 이용하여 수심측량 결과보고서에 사용되는 항적도와 격자수심도를 작성하였다.

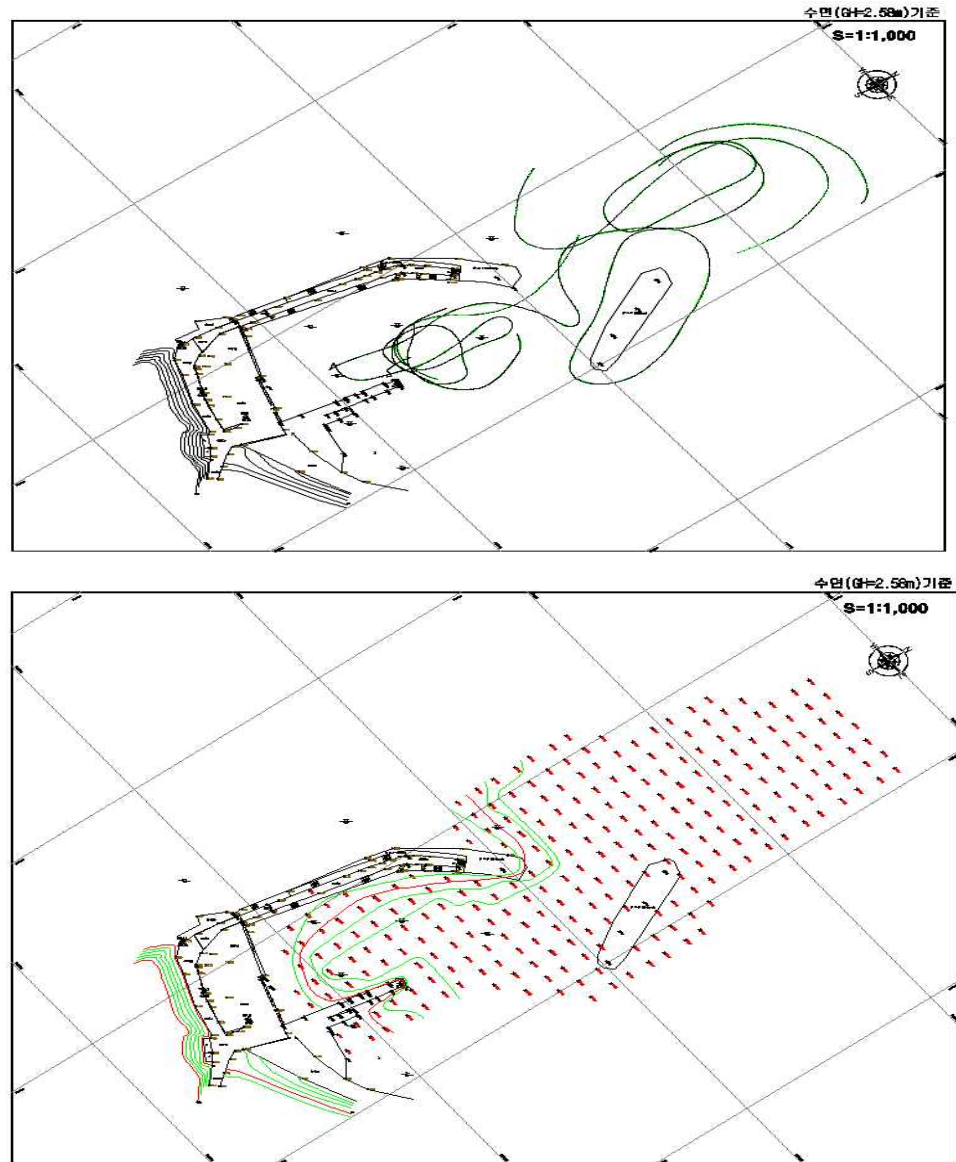


그림 2.166 연안해역에서의 항적도 및 격자 수심도

조사해역의 최대수심은 약 -2.76m 이며, 최저 수심은 약 1.26m 로 포구 중앙이 가장 변동이 없는 수심을 보이고 있는 것을 알 수 있다.

연안해역에서 무인 로봇선은 소형으로 제작되었기 때문에 너울이 심하게 일어 선체의 안정성을 확보 할 수 없었다. 따라서 본 연구에서 개발된 무인 로봇선의 경우 연안해역에서는 적용이 어려울 것으로 판단된다.

무인 로봇선의 운항 실험은 어려웠으나 소형 유인 선박에 GPS와 음향측심기를 장착하고 데이터 수집 및 통신 상태를 확인한 결과 항적도와 격자 수심도를 작성 할 수 있는 양호한 성과를 획득 할 수 있었다. 이에 본 연구를 통해 개발된 시스템의 경우 개별 센서와 운용시스템을 다양한 플랫폼에 탑재하여 활용이 가능 할 것으로 판단되었다.

나. 자료처리 및 시각화 결과 분석

(1) 하상정보의 수직모델 보정

대상지역 하상정보의 수직모델 보정을 위한 관측 정보를 획득하여 횡단 수심 및 정확한 표고값으로 보정하기 위해서 다음 그림과 같은 위치에서의 GPS에 의한 정확한 수평위치 및 수직위치를 측정하고, 음향측심기를 이용하여 정확한 수심을 측정하였다.

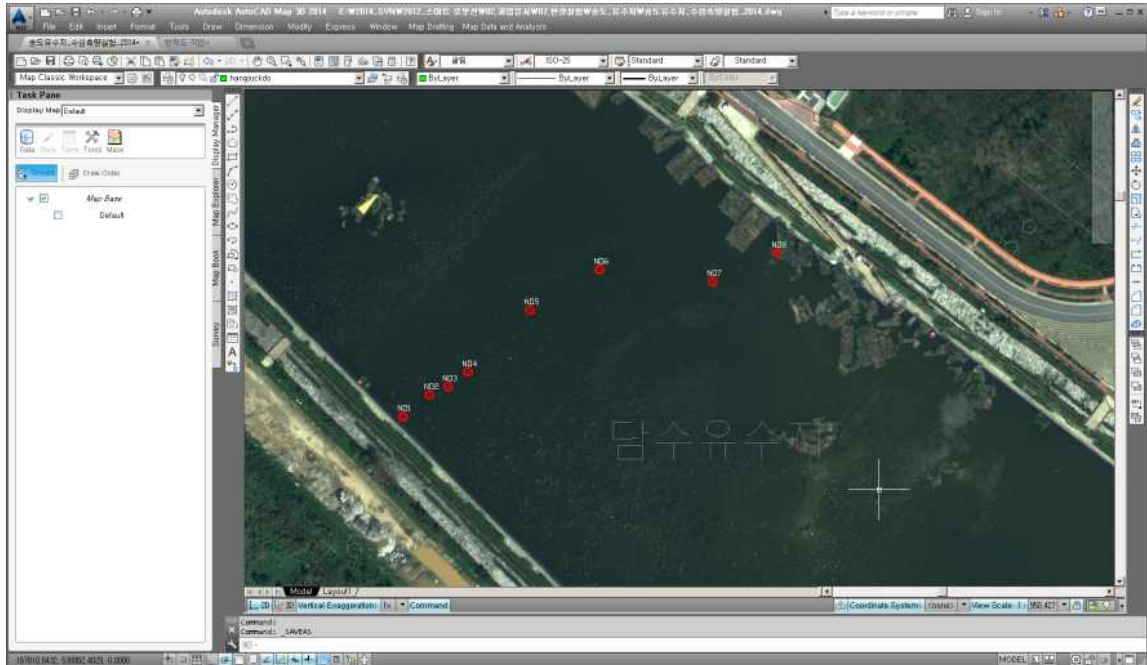


그림 2.167 하상정보의 수직모델 보정을 위한 관측 정보 획득 지점

현장실험을 통하여 획득된 데이터를 이용하여 정확한 하상정보를 산출하기 위하여 GPS내에 입력된 타원체고를 사용하지 않고, 기준점 측량을 통하여 획득된 타원체고를 통하여 국토정보지리원에서 서비스하고 있는 지오이드 모델을 사용하여 EGM08, KNGeoid13으로 산출하였다.

우선 지오이드 모델에 따른 비교결과 EGM08보다는 KNGeoid13모델을 사용할 경우 좀더 정확한 정표고를 획득할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 GPS 장비 내 지오이드모델을 사용할 경우 예도 정확한 정표고 계산을 위해서는 후처리가 이루어져야 하므로 무인 로봇선에서는 GPS 장비 내에 반드시 지오이드모델을 적용할 필요는 없는 것을 알 수 있었다. 따라서 정확한 유량산출을 위해서는 실시간 관측과 더불어 획득된 데이터를 후처리 할 수 있어야 할 것이다. 다음 그림은 GPS장비 내 지오이드 모델 적용결과와 정표고와 산출된 지오이드 모델의 정표고의 그래프를 나타내고 있다.

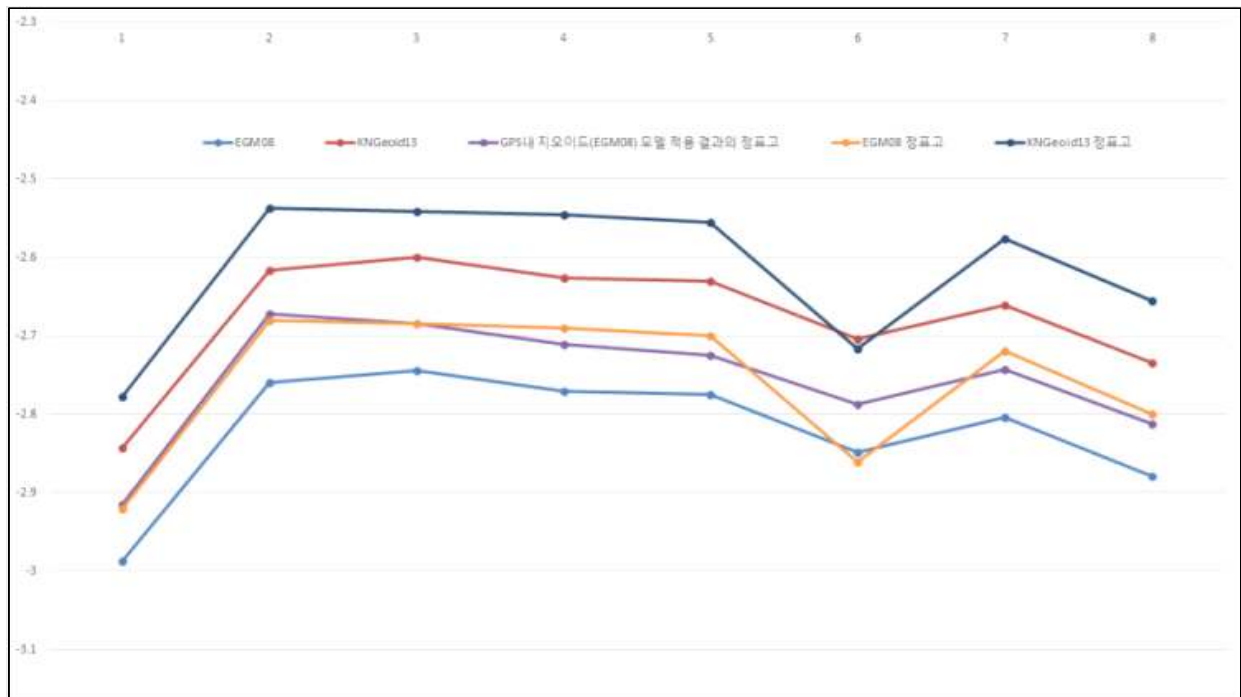


그림 2.168 GPS와 음향측심기를 이용한 정표고 산정결과 비교

(2) 횡단면도 작성 실험

음향측심기로부터 획득된 소나데이터를 공간 보간기법을 적용하여 그림 2.167과 같이 하상분포도로 작성하였으며, 자동 유량 산출을 위해 단면적을 자동으로 산정될 수 있도록 단면도를 작성할 수 있는 CAD기반의 프로그램을 이용하여 그림 2.168과 같이 임의지점에 대한 단면도를 자동으로 생성 할 수 있다.

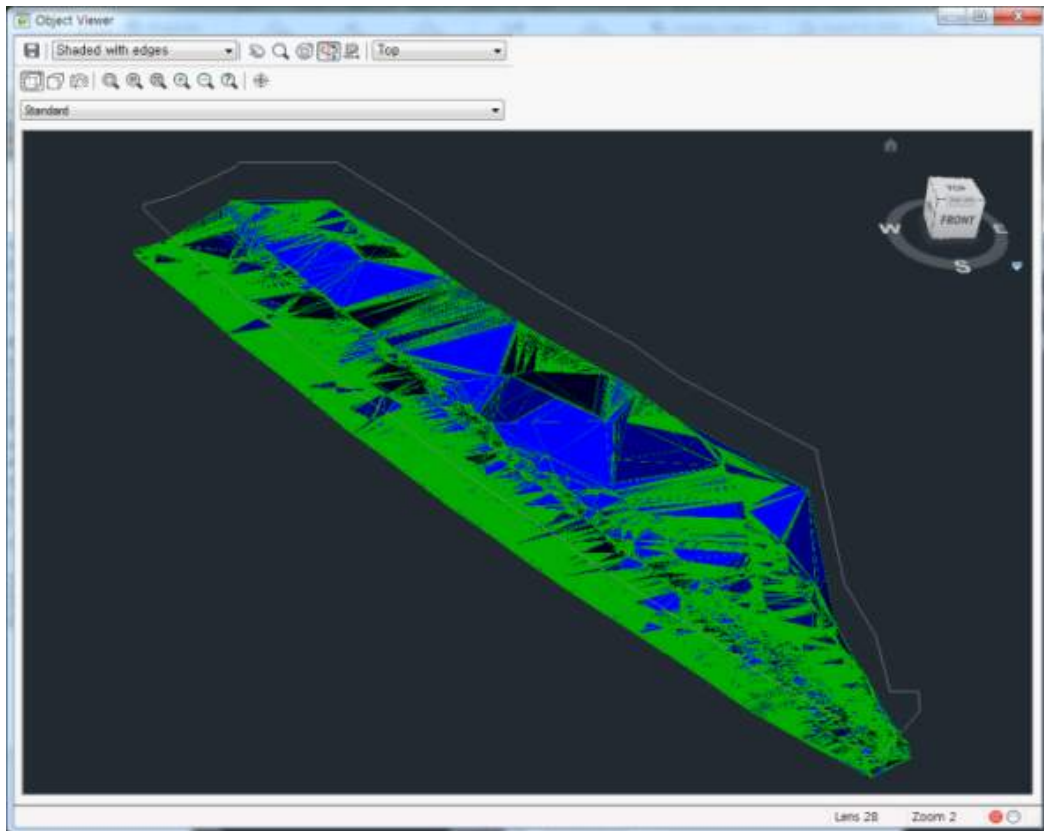


그림 2.169 측정데이터로부터 공간 보간된 하상 분포도

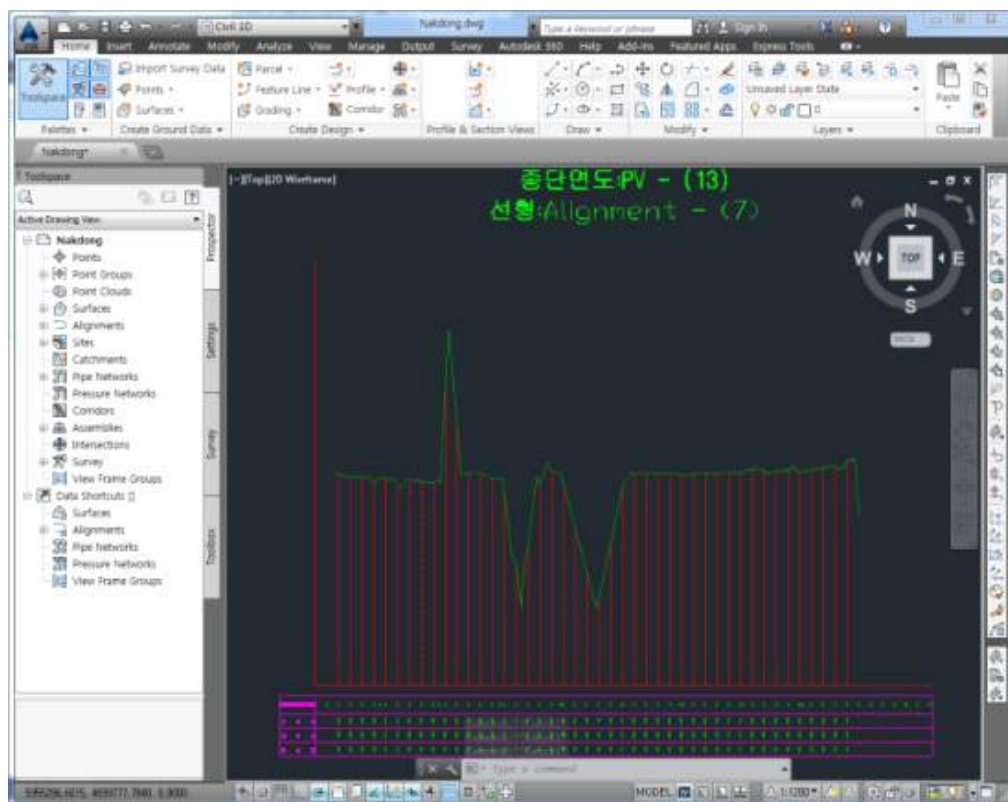


그림 2.170 선택된 임의의 단면에서의 단면도

(3) 자동 수질측정 및 자동유량산출 실험

자동 수질측정 및 자동유량산출 실험을 위해 경기도 의왕시 초평동 소재의 왕송저수지에서 2015년 11월 24일에 실시하였다. 자동 유량산출 시스템의 현장적용 관련 계약근거에서와 같이 레일바이크 설치를 위한 기본 및 실시설계를 위해 대상지역의 유량을 정하는데 목적이 있다. 따라서 본 연구에서 개발된 자동 유량산출 시스템과 자동 수질 측정장치를 이용하여 대상지역의 수질을 자동으로 측정하고 및 유량을 자동으로 산출 하였다.

무인 로봇선에 탑재된 유속계 및 수질측정기로 유속 정보와 수질정보를 (부록 5)와 같이 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.

다음은 무인 로봇선에서 수신된 수질 정보로 환경부와 국립환경과학원에서 비슷한 시기에 측정된 결과를 분석한 결과 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

표 2.24 대상지역의 측정 수질 정보 비교

구분	수온(℃)	전기전도도(μ 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	-

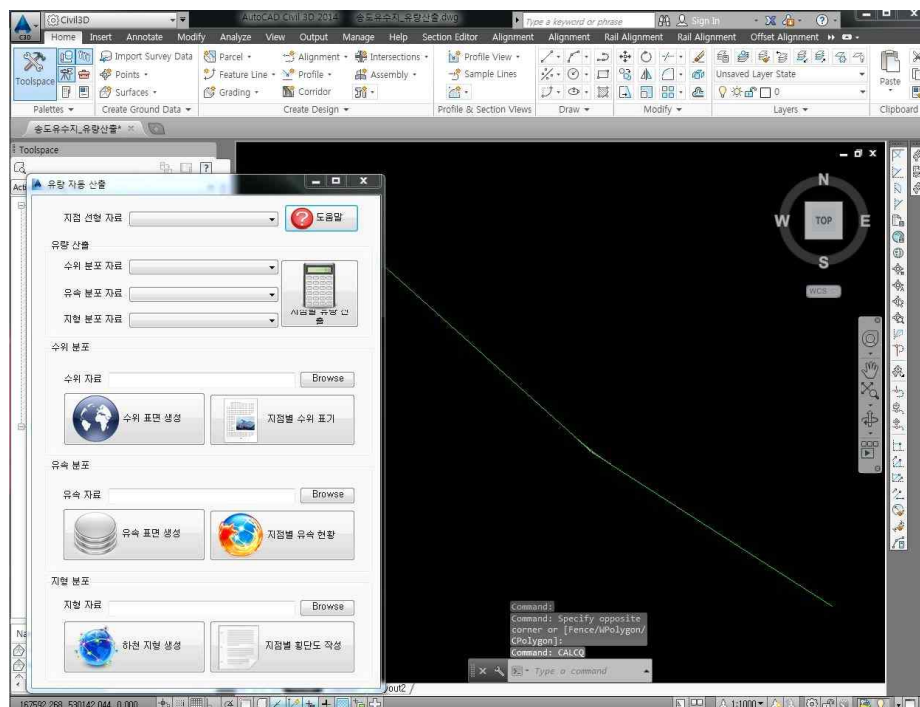


그림 2.171 대상지역의 자동 유량 산출 프로그램 초기화면

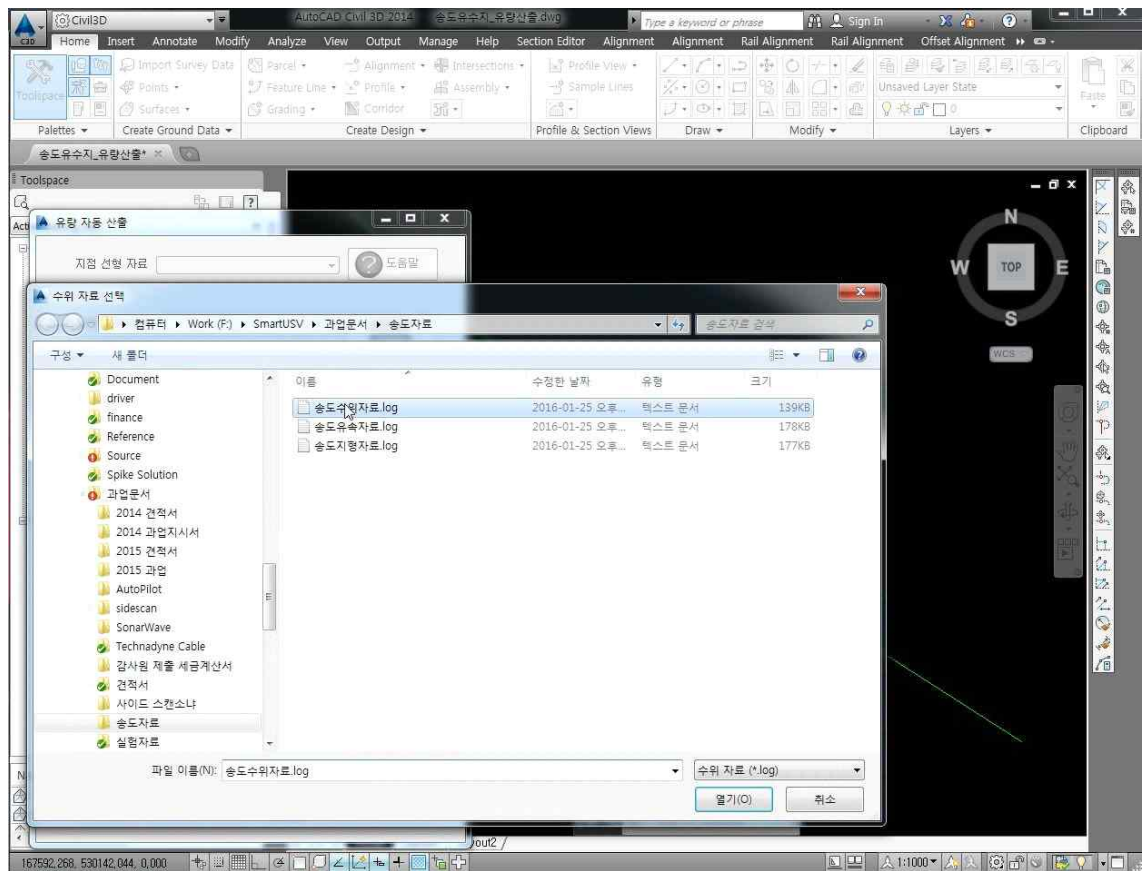


그림 2.172 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 수위자료 입력화면

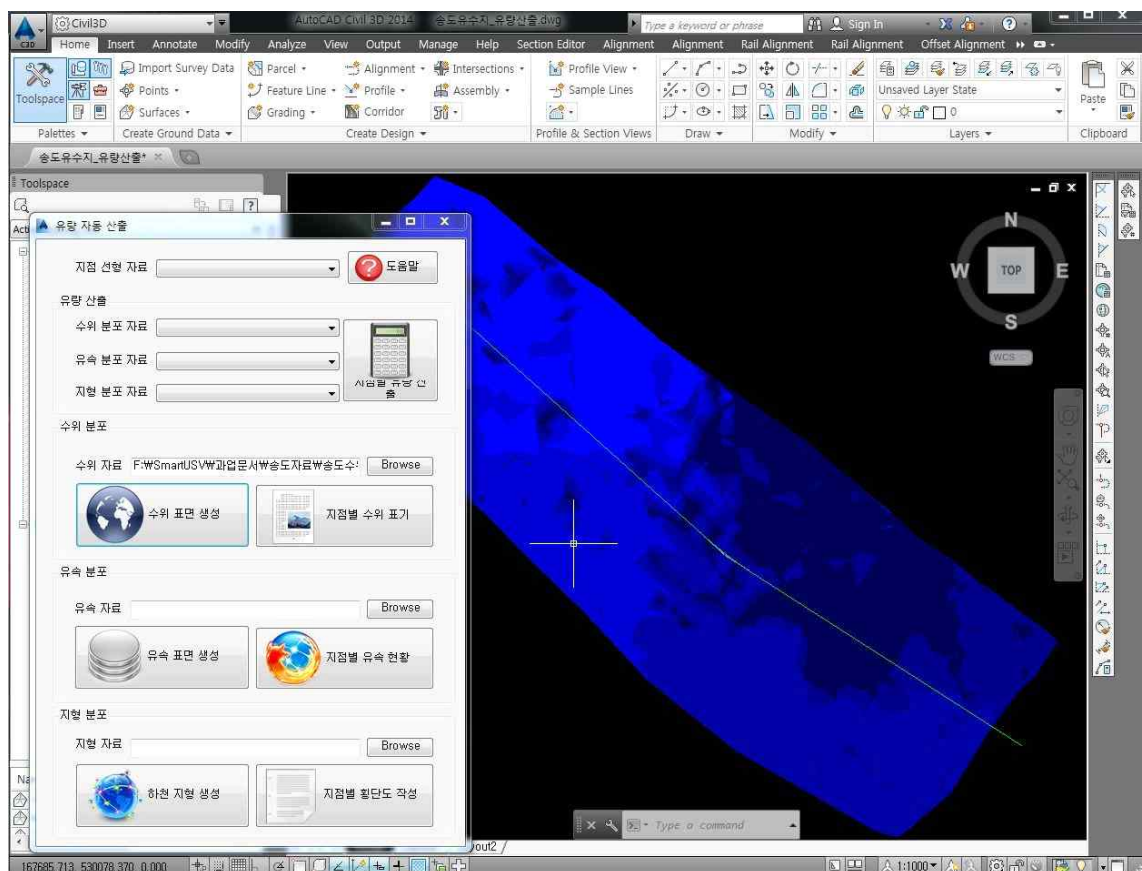


그림 2.173 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 수위표면 자료 생성 결과

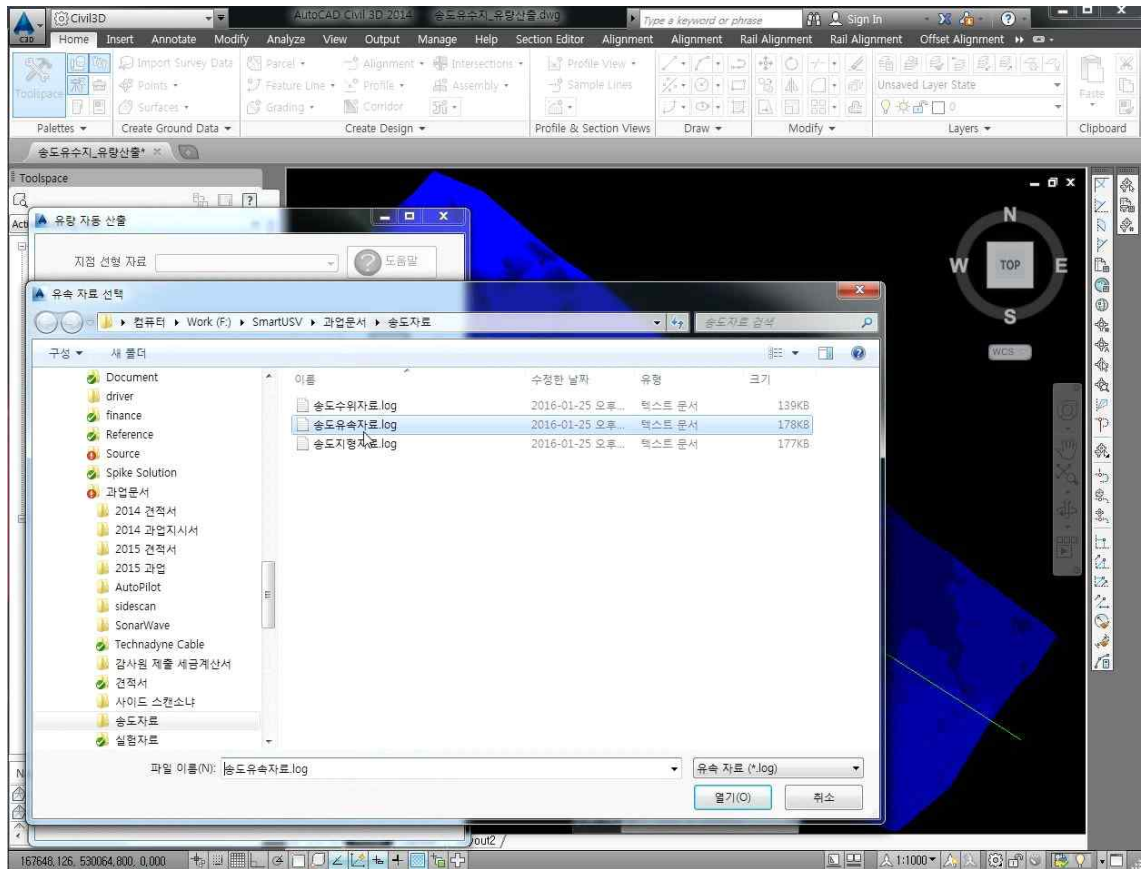


그림 2.174 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 유속자료 입력화면

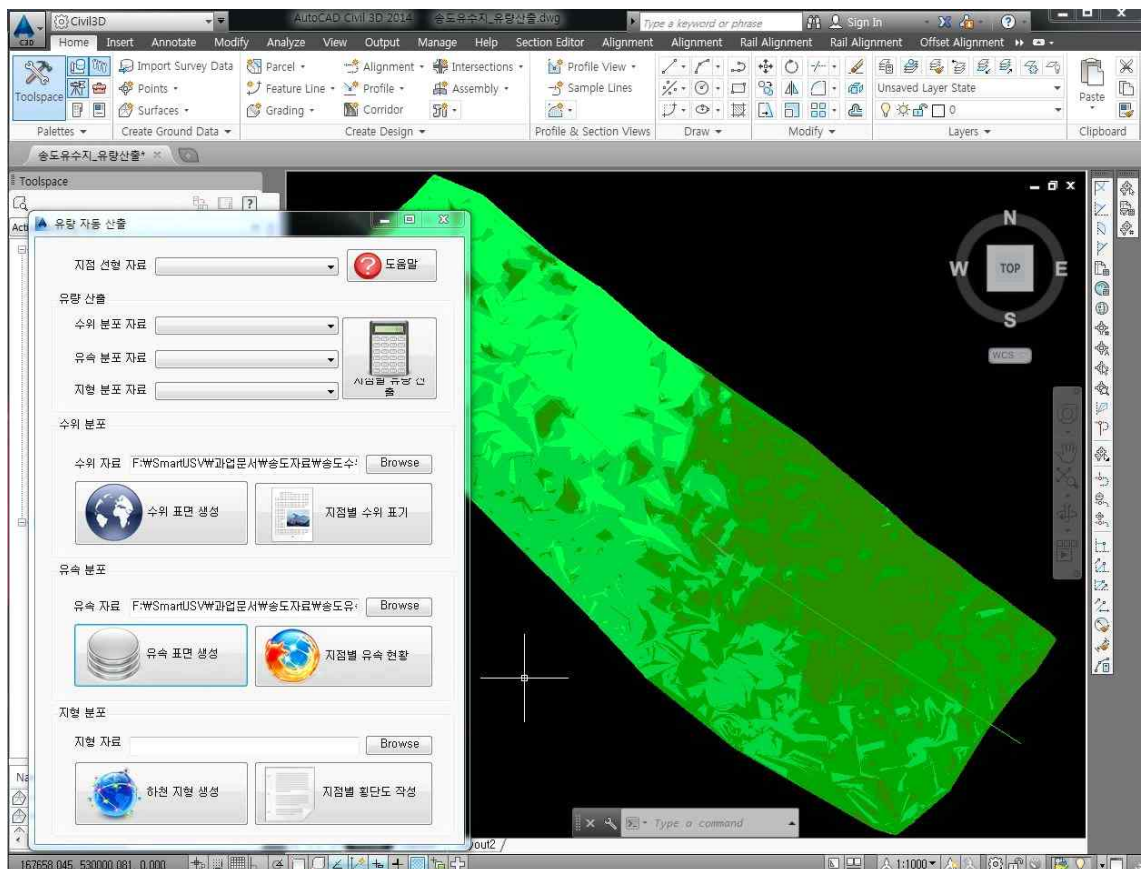


그림 2.175 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 유속표면 자료 생성 결과

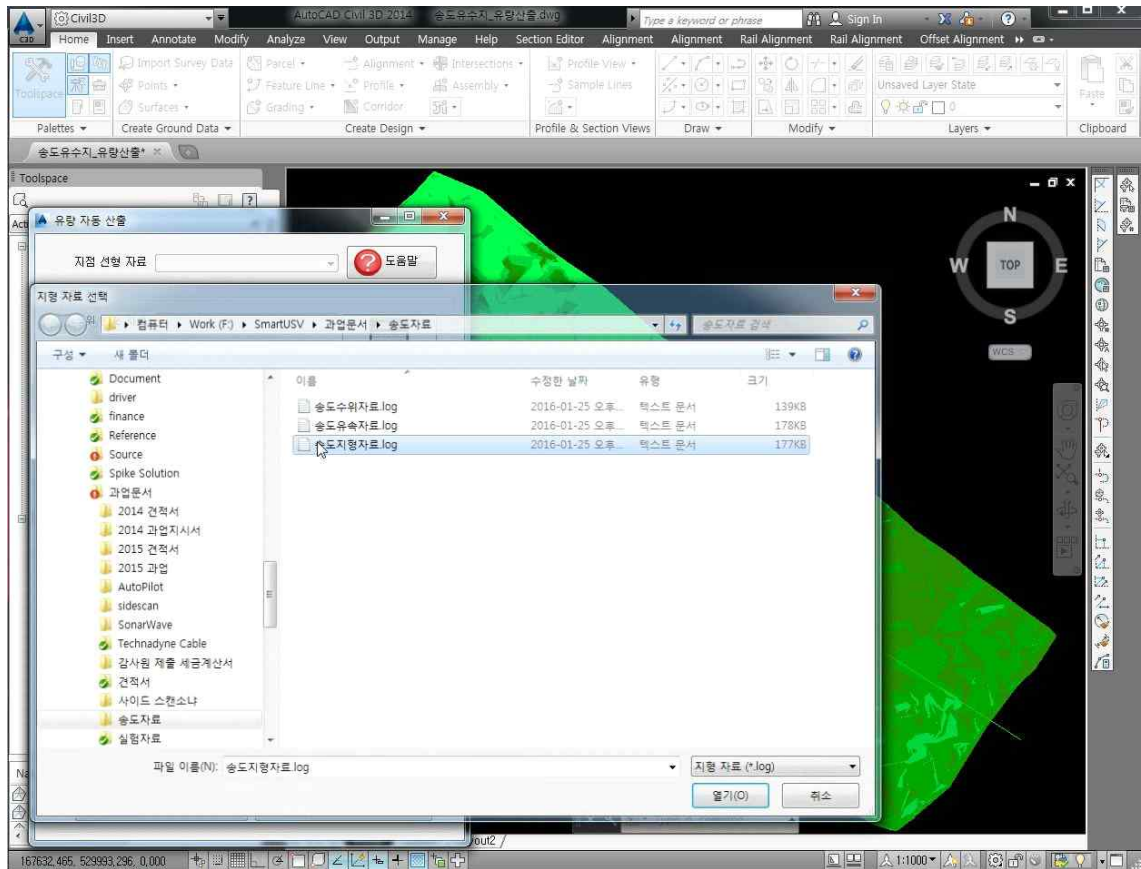


그림 2.176 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 하상지형자료 입력화면

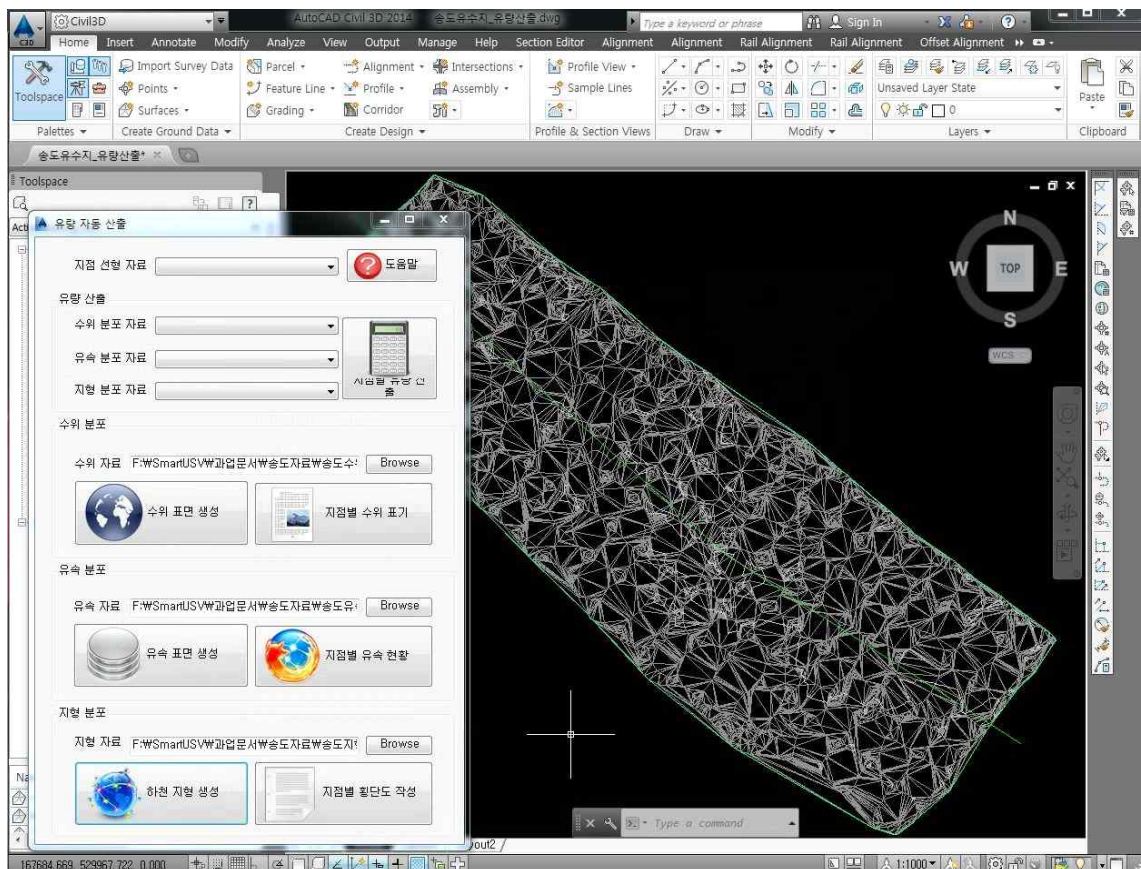


그림 2.177 대상지역의 자동 유량 산출을 위한 하상지형 표면 자료 생성 결과

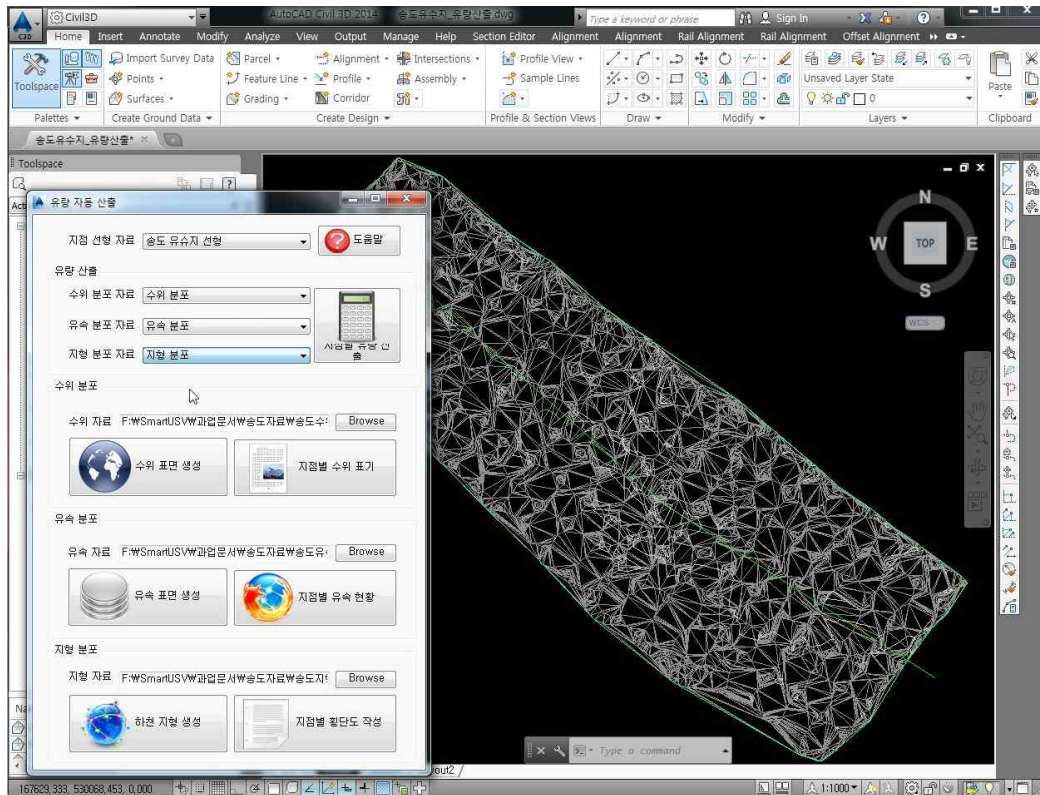


그림 2.178 대상지역의 자동 유량 산출을 표면 자료선택 화면

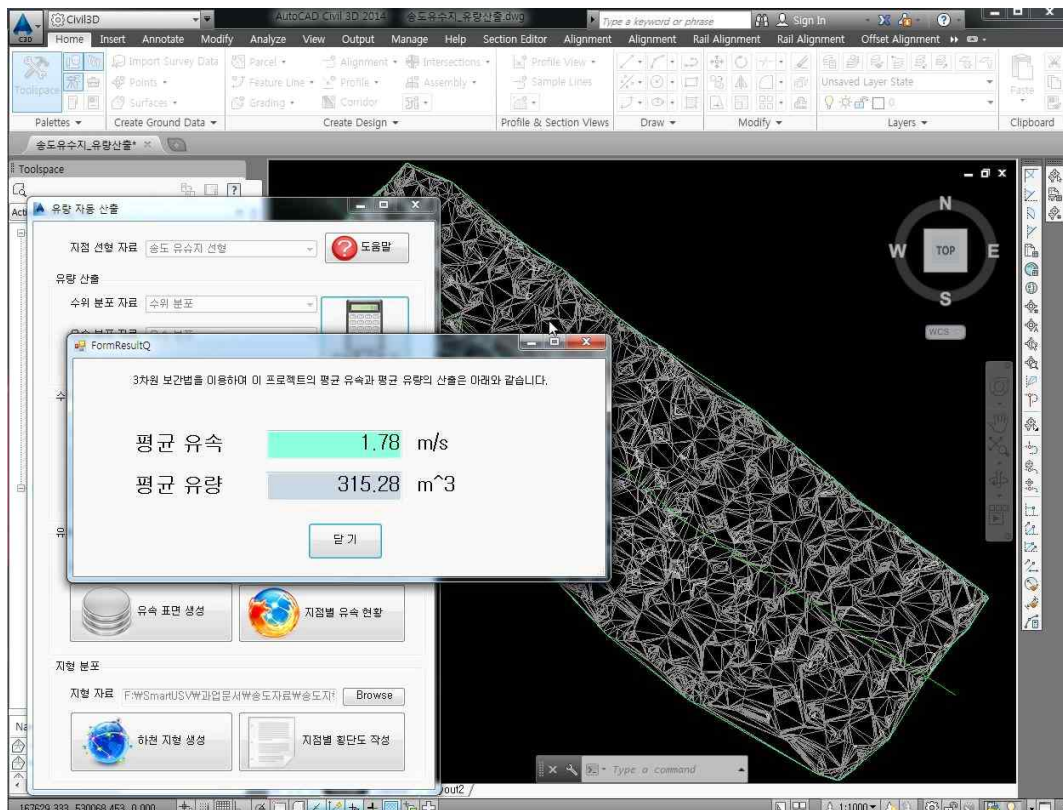


그림 2.179 대상지역의 자동 유량 산출 결과

다음 그림과 같이 3차원 공간보간법을 이용하여 대상지역의 평균 유속과 평균 유량을 산출한 결과 대상지역의 평균유속은 1.78m/s 이며, 평균유량은 $315.28\text{ m}^3/\text{s}$ 로 산출 되었다.

(4) 수질분포도 작성

무인 로봇선으로 획득된 수질정보를 기반으로 하여 수심별 수질을 쉽게 파악하도록 수질 분포도 작성 프로그램을 개발하여 적용하였다. 다음 표는 2015년 10월 28일에 실험대상지역 중 하나인 유수지 지역에서 측정된 수질자료(부록 6)를 이용한 수심별 수질분포도를 나타내고 있다.

표 2.25 수질 분포도 작성 결과

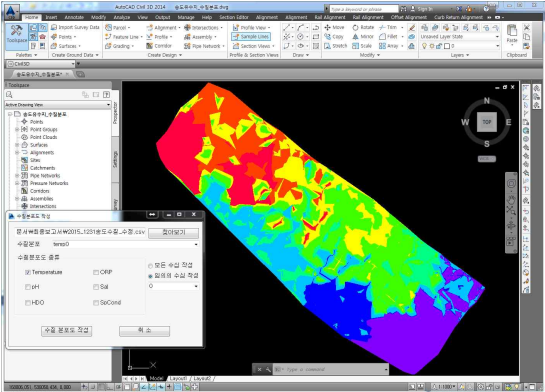
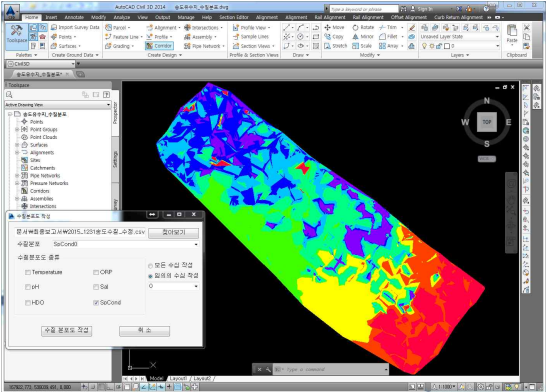
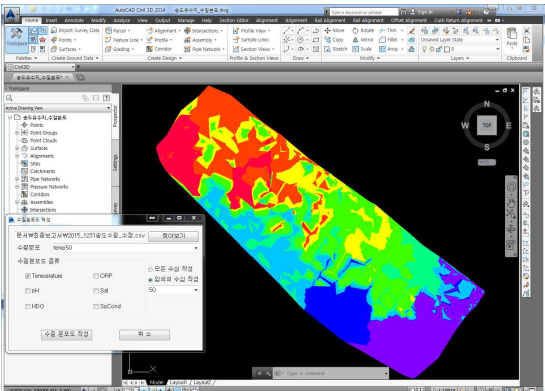
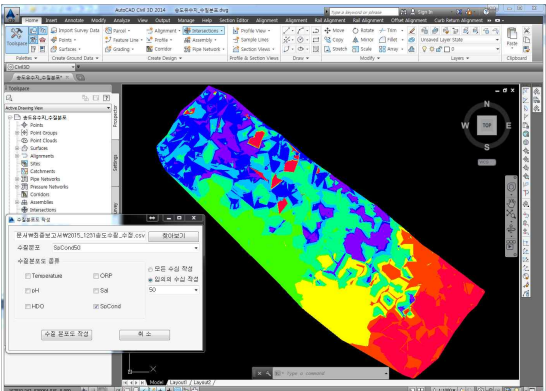
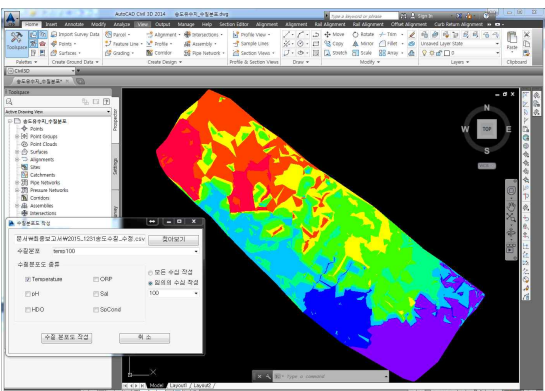
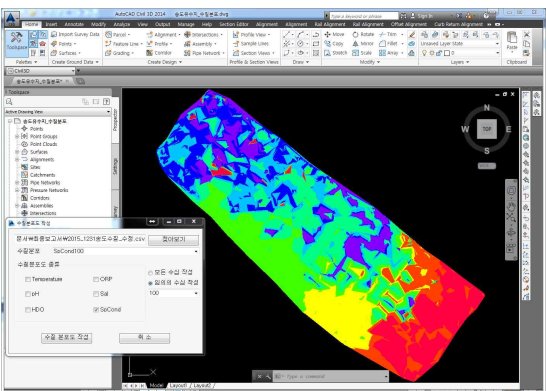
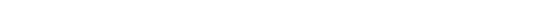
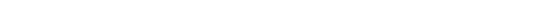
수온분포도	전도도분포도
	
수면	수면
	
1/3지점	1/3지점
	
2/3지점	2/3지점
	

표 2.25 수질 분포도 작성 결과(계속)

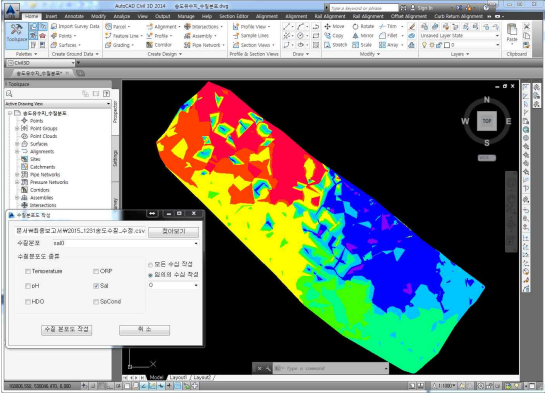
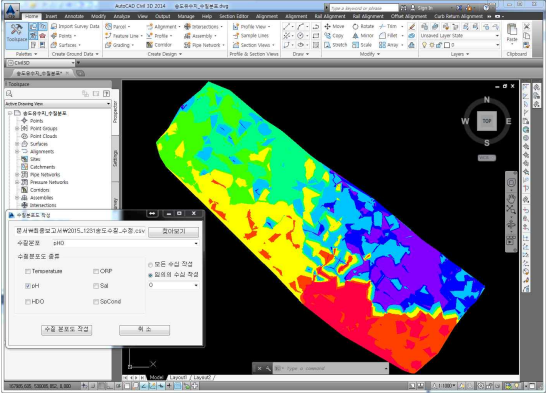
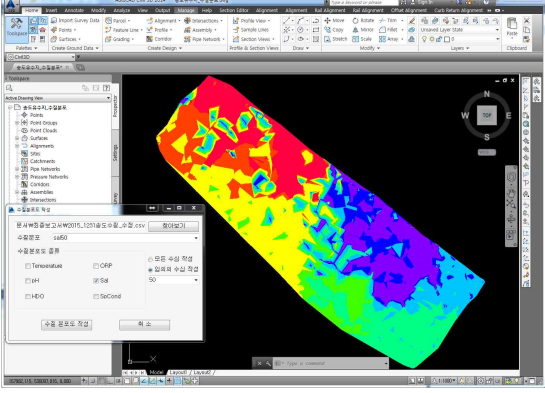
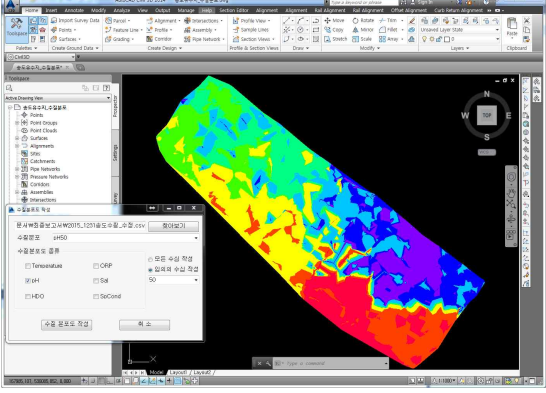
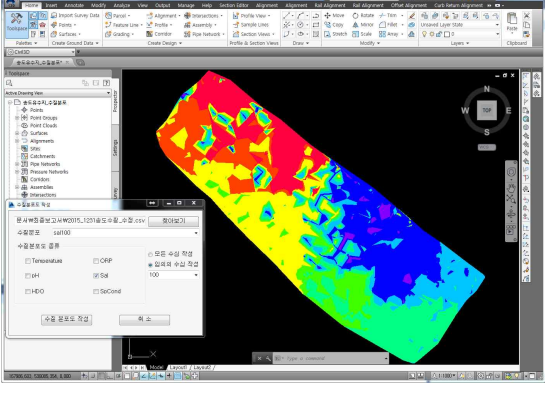
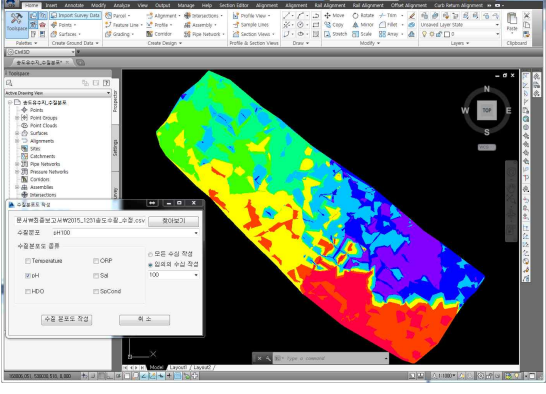
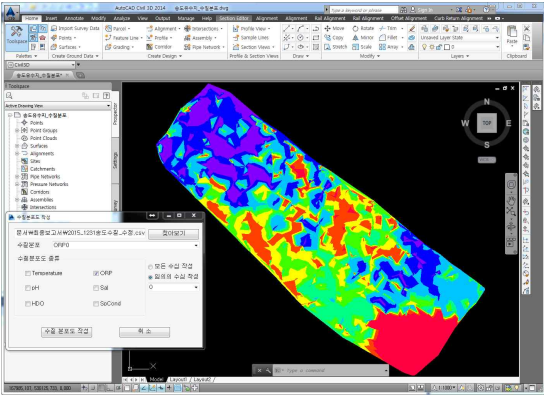
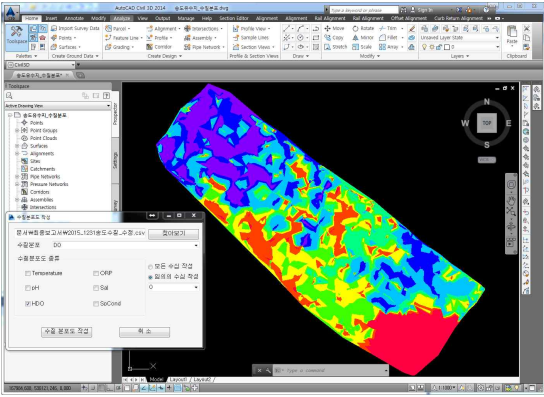
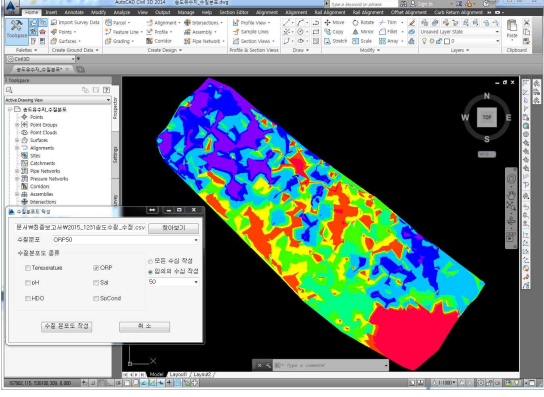
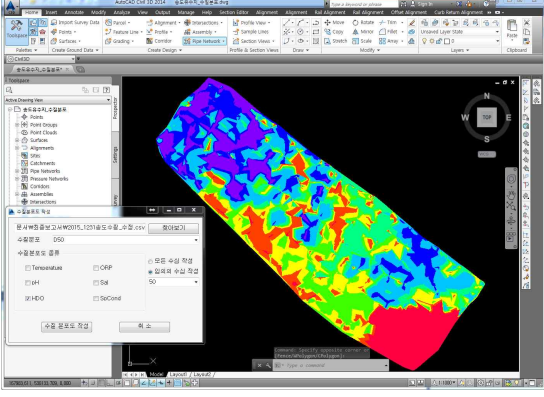
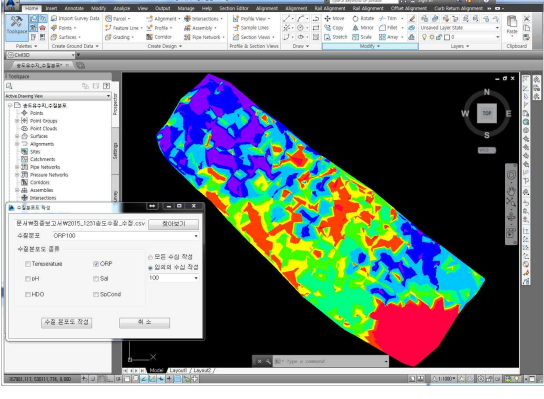
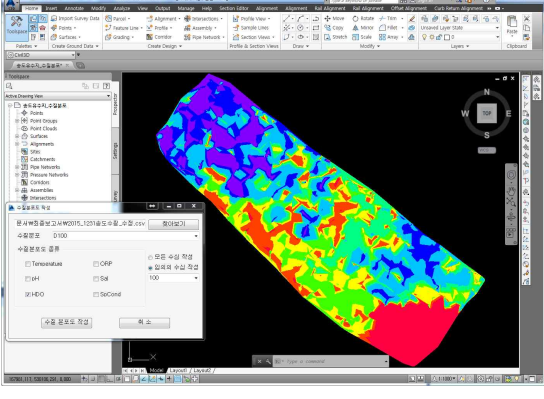
염도도 분포도	pH 분포도
	
수면	수면
	
1/3지점	1/3지점
	
2/3지점	2/3지점

표 2.25 수질 분포도 작성 결과(계속)

산화환원전위 분포도	HDO 분포도
	
수면	수면
	
1/3지점	1/3지점
	
2/3지점	2/3지점

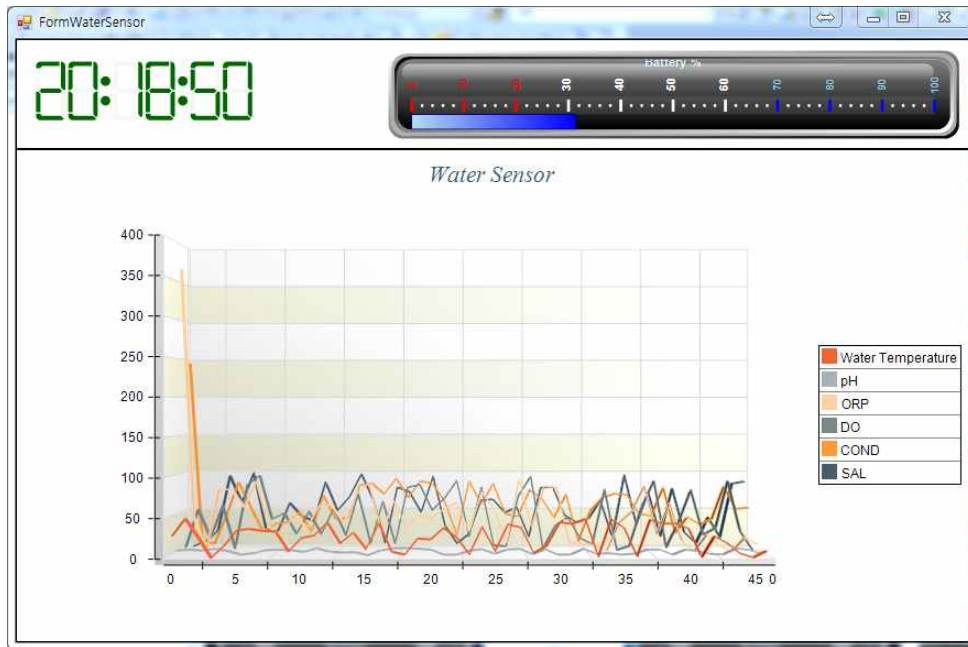


그림 2.180 수심에 따른 실시간 수질변화

기존의 수질분포도는 ArcGIS, CAD를 이용하여 사용자가 직접 제작한다는 번거로움이 존재하나 개발된 수질분포도 작성 프로그램은 무인 로봇선 운항 지역의 수질분포를 자동으로 출력 가능하다. 또한 다음 그림과 같이 수질측정 결과를 캐드기반으로 3차원 시각화 할 수 있다.

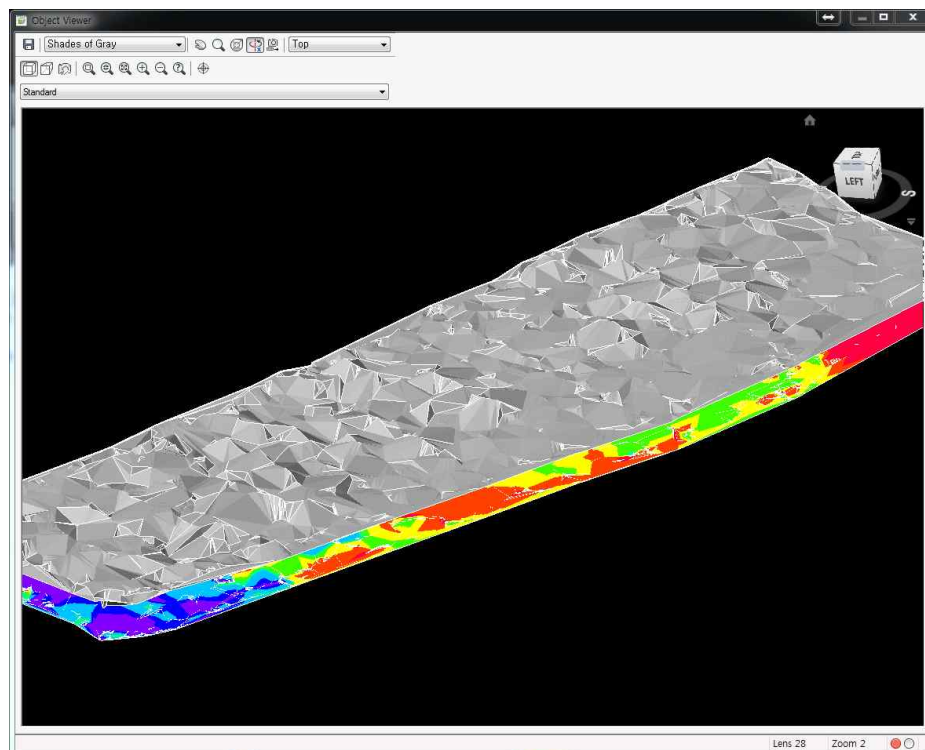


그림 2.181 캐드기반의 수질측정 결과의 3차원 시각화

(5) 다양한 환경에서의 현장적용 실험 결과 분석

본 연구를 통해 개발된 하드웨어 및 시스템의 안정성 및 적정성을 분석하기 위해 다양한 환경에서의 현장적용을 위해 유속 및 수심이 다른 다양한 환경에서 적용성을 분석하였다. 그 결과 다음 표와 같이 유수지, 하천, 저수지 등 잔잔하고 유속이 빠르지 않은 환경에서는 자동 운항, 유량산출, 채수가 가능하며, 연안해역, 대형 저수지 등 너울이 높은 환경에서는 자동 운항 및 유량산출은 어려우나 채수는 가능함을 알 수 있다.

표 2.26 현장적용 실험 결과

구분	평균유속 (m/sec)	최대수심 (m)	운항속도 (Km/h)	운용성평가	데이터획득	비고
유수지	0.13	2.53	5.85	자동운항 가능 유량산출 가능 채수 가능	통신 양호 데이터 획득 양호	송도
하천	1.24	15.37	4.03	자동운항 가능 유량산출 가능 채수 가능	통신 양호 데이터 획득 양호	낙동강
대형 저수지	1.22	29.66	3.21	자동운항 불가능 유량산출 가능 채수 가능	일부 통신 장애 데이터 획득 양호	새만금
소형 저수지	0.45	8.24	5.20	자동운항 가능 유량산출 가능 채수 가능	통신 양호 데이터 획득 양호	왕송
연안해역	0.31	2.76	-	운항 불가 유량산출 불가 채수 가능	일부 통신 장애 데이터 획득 장애	사항포

제3장 연구성과 및 적용실적

○ 연구성과명 : 무인 로봇선을 활용한 자동 유량 산출 및 채수시스템

○ 연구성과 설명 :

- 자동운항이 가능한 무인 로봇선에 다양한 측정 센서를 이용한 수중 공간정보 획득을 통한 유량 자동 산출 기술과 수질 측정을 위한 자동 채수시스템 개발
- 다양한 환경조건에서 안전하게 수중 공간정보 획득을 위한 음향측정센서, 수질 센서, 자동 채수장치 등이 탑재된 무인 로봇선 개발
- 유황 정보, 하상 지형 정보, 수질정보 등을 수집하고 자동 유량산출이 가능한 하천정보 관리시스템 개발
- 원격관제가 가능하고 정확한 위치의 수심에서의 시료채취가 가능한 자동채수시스템 개발

제1절 핵심요소기술별 성과물

1. 무인 로봇선 개발

○ 수질측정센서, 음향측심기, 사이드스캔소나, GPS 등을 탑재하고 하천의 환경 및 지형 정보를 획득할 수 있는 무인 로봇선 개발

○ 원하는 지점까지 스스로 이동할 수 있는 자동운항시스템 개발

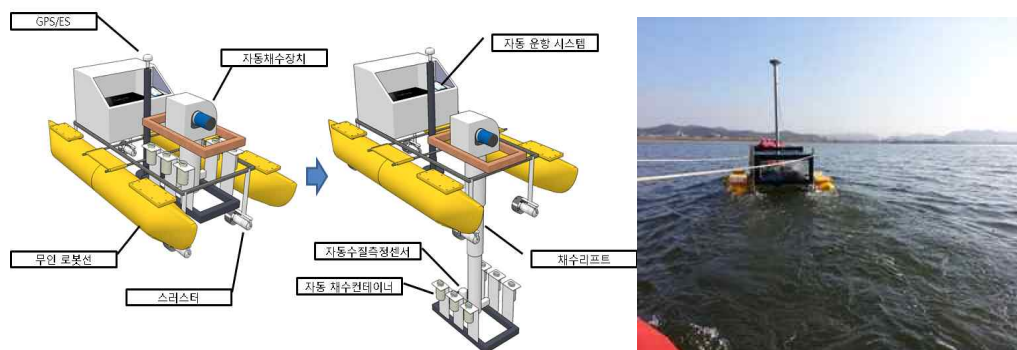


그림 3.1 자동운항이 가능한 무인 로봇선 개발 성과

○ 선체에 장착된 추진기 개수와 위치를 변경하여 로봇선의 기동성을 확보하고, 자동 운항에 적합하도록 개발

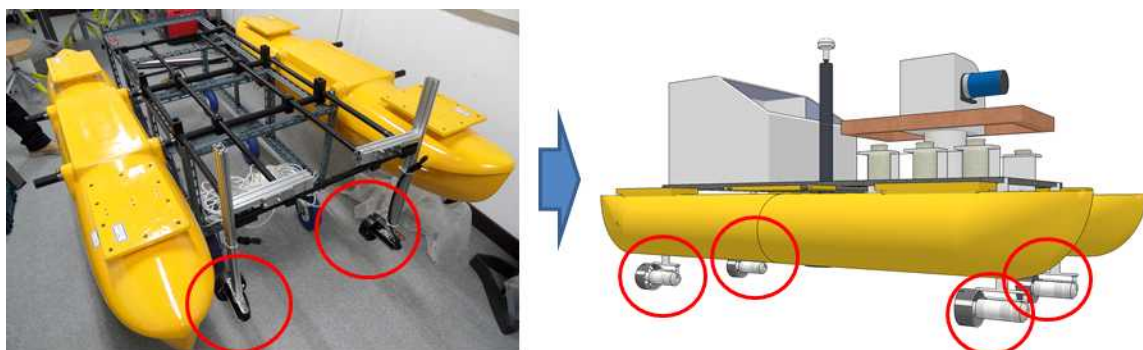


그림 3.2 방향전환이 용이한 선체의 추진기

2. 자동 채수 시스템

- 무인 로봇선에 탑재된 GPS 및 음향측심기와 자동채수장치를 이용하여 시료채취를 위한 정확한 위치의 수심에서 자동채수가 가능한 자동 채수시스템 개발
- 다수 지점의 시료를 채수할 수 있는 채수 컨테이너 개발
- 정확한 지점까지 채수 컨테이너를 승강 시킬 수 있는 채수 리프트 개발



그림 3.3 자동 채수 리프트



그림 3.4 채수 컨테이너

3. 수문정보 획득시스템 개발

- 유속 및 현장획득 가능한 수질센서 탈부착 장치개발
- 하상 공간 정보 획득을 위한 음향측정시스템 구축

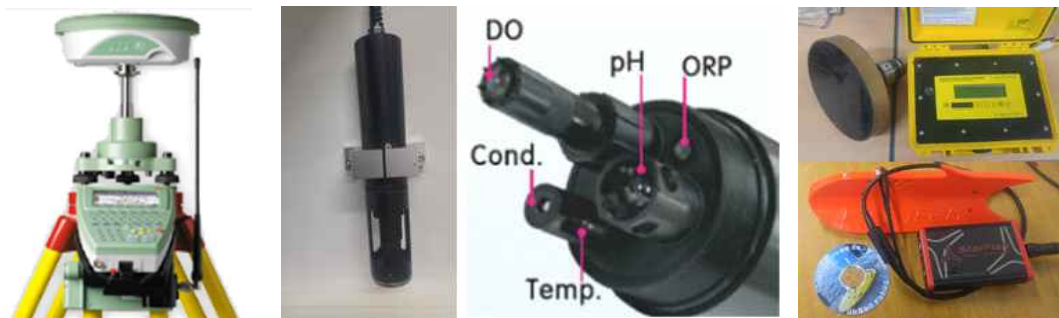


그림 3.5 수문정보 획득 시스템 개발 성과

(4) 하천정보 관리시스템

- 무인 로봇선에 GPS, 음향측심기 등을 탑재하고 이를 이용하여 수자원 지리정보를 획득하고, 수집된 데이터를 이용하여 유량산출을 위한 분석 자료를 생성할 수 있는 하천정보관리 시스템 개발
- 3차원 수중 영상과 위치좌표를 결합한 하상지형의 3차원 시각화 프로그램 개발
- 유량 산출을 위한 횡단면도 제작 프로그램 개발
- 수질측정 데이터를 이용하여 수질분포도 자동 작성 프로그램 개발
- 3차원 하상 지층 분포도 자동 작성 프로그램 개발

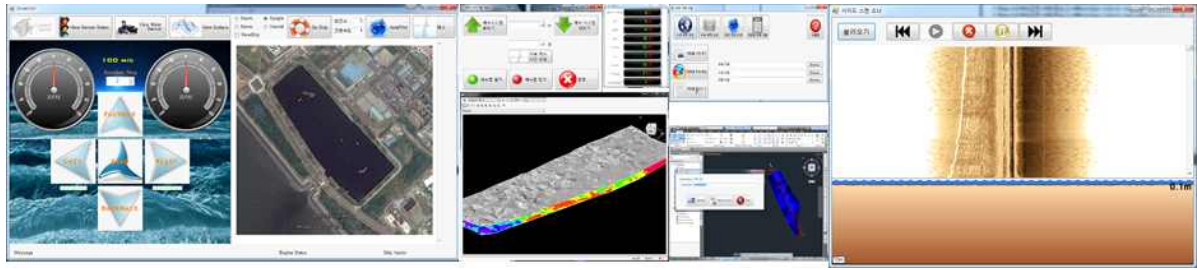


그림 3.6 하천정보 관리시스템 성과

제2절 주요 연구성과

1. 학술적 성과

- 지정 경로를 자동으로 운항 할 수 있는 자동운항 알고리즘 정립
- 쌍동선 형태로 4개의 추진기를 사용함으로써 고출력의 방향전환이 빠른 선체 운항 방법 정립
- 모터를 이용하여 승강운동이 가능한 수직 이동 조절방법과 비전기식의 자동개폐 방법 정립
- 자동측정 센서를 활용한 실시간 수자원 정보 획득 및 데이터 분석방법 정립
- “무인 측량선을 활용한 수중공간정보 획득에 관한 연구”등 7편의 논문을 관련학회의 학술 대회에 발표함

표 3.1 학술적 성과

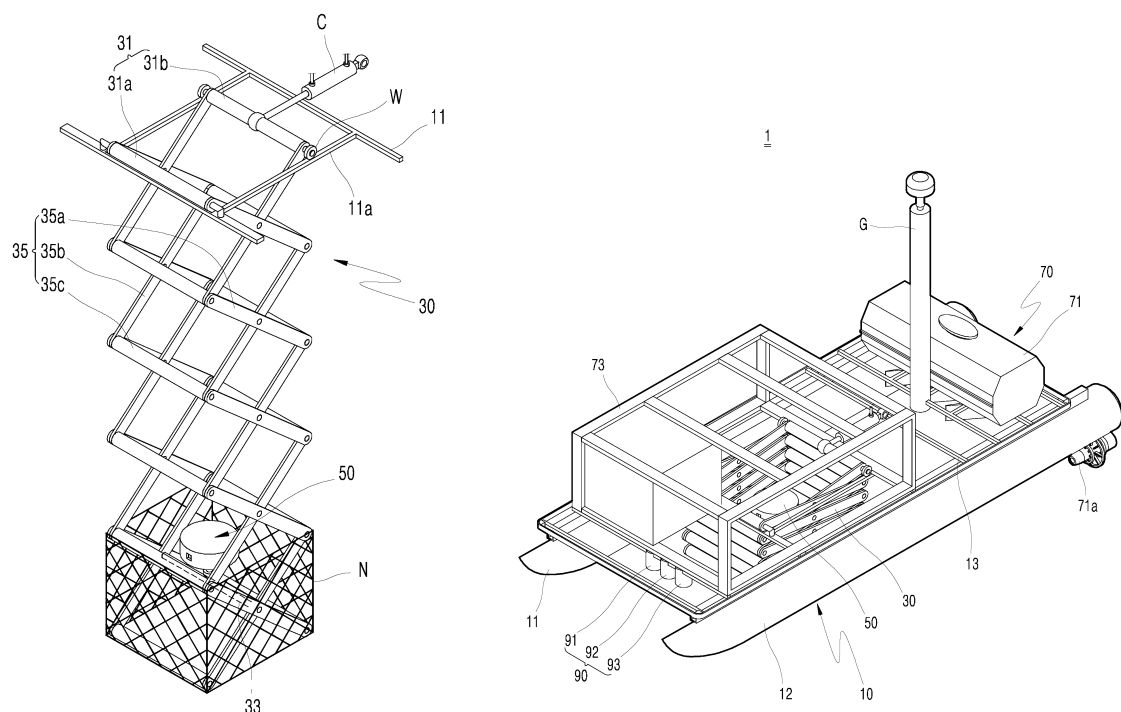
논문명	학술지명	Vol. (No)	시작 페이지	끝 페이지
무인 측량선을 활용한 수중공간정보 획득에 관한 연구	한국지형공간정보학회 학술대회	2014	161	162
무인 로봇선을 활용한 수질측정방법 개선에 관한 연구	한국측량학회 학술대회 자료집	2015	389	390
원격 수중탐사체의 운항제어 개선에 관한 연구	대한토목학회 학술대회	2015	75	76
수질측정방법의 개선을 위한 원격 탐사체의 활용방안	한국지형공간정보학회 학술대회	2015	125	126
스마트 로봇선을 이용한 수질측정 및 채수장치 개발 방안	한국측량학회 학술대회 자료집	2014	329	331
유량산출 및 수질조사를 위한 무인 채수장치 개발	한국지형공간정보학회 학술대회	2014	233	234
무인 측량선을 활용한 채수 방법에 관한 연구	대한토목학회 학술대회	2014	627	628

2. 기술적 성과

- 자동으로 운항이 가능하며, 실시간 정보를 수집하고 전송할 수 있는 무인 로봇선 개발
- 수직체인을 이용한 수직이동 조절장치 개발과 기계식 공압 벨브를 이용하여 비전기식으로 수중에서 자동개폐가 가능한 기술 개발
- 실시간 수자원정보 획득 및 3차원 시각화 기술 개발
- “채수장치”와 “채수용 무인선박”에 대한 기술적 가치를 인정받아 2건의 특허와 “무인 로봇선의 자동운항 및 모니터링 프로그램” 등 기술개발과정에서 도출된 프로그램 3건에 대한 지식재산권 등록이 완료됨.

표 3.2 특허등록 현황

특허명칭	등록번호	등록일	출원인 (등록권리자)
채수장치	10-1492558	20150205	인천대학교 산학협력단
채수용 무인선박	10-1585049	20160107	인천대학교 산학협력단



특허증

CERTIFICATE OF PATENT



특허

Patent Number

제 10-1492558 호

출원번호

Application Number

제 10-2013-0124315 호

출원일

Filing Date

2013년 10월 18일

등록일

Registration Date

2015년 02월 05일

발명의 명칭 Title of the Invention

채수장치

특허권자 Patentee

인천대학교 산학협력단(120171-0*****)

인천광역시 연수구 아카데미로 119, 11호 12 (송도동)

발명자 Inventor

최병길(610410-1*****)

인천 연수구 아카데미로 119, 내 (송도동, 인천대학교)

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.

This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



2015년 02월 05일

특허청장

COMMISSIONER,

KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

김영민

특허증

CERTIFICATE OF PATENT



특허 제 10-1585049 호
Patent Number

출원번호 제 10-2013-0124316 호
Application Number

출원일 2013년 10월 18일
Filing Date

등록일 2016년 01월 07일
Registration Date

발명의 명칭 Title of the Invention
채수용 무인선박

특허권자 Patentee
인천대학교 산학협력단(120171-0*****)
인천광역시 연수구 아카데미로 119, 11호 12 (송도동)

발명자 Inventor
최병길(610410-1*****)
인천 연수구 아카데미로 119, 내 (송도동, 인천대학교)

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention
has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



2016년 01월 07일

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

최 동 규

표 3.3 소프트웨어 등록 현황

소프트웨어 등록				
등록연도	소프트웨어명	등록인	등록국	등록번호
2014	무인 로봇선의 자동운항 및 모니터링 프로그램	인천대학교 산학협력단	대한민국	C-2013-019959
2014	무인 로봇선을 이용한 현장 계측자료 수집 프로그램	인천대학교 산학협력단	대한민국	C-2013-019960
2014	자동 채수장치용 채수 리프트 제어 프로그램	인천대학교 산학협력단	대한민국	C-2013-019958



제 C-2013-019959 호

사 본

프 로 그 램 등 록 증

1. 프로그램의 제호 (명칭) 무선 로봇선의 자동운항 및 모니터링 프로그램

2. 저작자 성명 (법인명) 인천대학교 산학협력단
인천 연수구 송도동

4. 창작연월일 2013년09월23일

5. 공표연월일 -

6. 등록사항 저작자 : 인천대학교 산학협력단, 창작 : 2013.09.23

7. 등록연월일 2013년10월08일

3. 생년월일 (법인등록번호) 120171-0003404

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2013년 10월 10일

한 국 저 작 권 위 원 회





제 C-2013-019960 호

사 본 프 로 그 램 등 록 증

1. 프로그램의 제호 무인 로봇선을 이용한 현장 계측자료 수집 프로그램
(명칭)
2. 저작자 성명 인천대학교 산학협력단
(법인명) 인천 연수구 송도동
3. 생년월일 120171-0003404
(법인등록번호)
4. 창작연월일 2013년09월23일
5. 공표연월일 -
6. 등록사항 저작자 : 인천대학교 산학협력단, 창작 : 2013.09.23
7. 등록연월일 2013년10월08일

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2013년 10월 10일

한 국 저 작 권 위 원 회





제 C-2013-019958 호

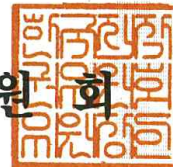
프로그램 등록증

1. 프로그램의 제호 자동 채수장치용 채수 리프트 제어 프로그램
(명칭)
2. 저작자 성명 (법인명) 인천대학교 산학협력단
인천 연수구 송도동
3. 생년월일 (법인등록번호) 120171-0003404
4. 창작연월일 2013년09월23일
5. 공표연월일 -
6. 등록사항 저작자 : 인천대학교 산학협력단, 창작 : 2013.09.23
7. 등록연월일 2013년10월08일

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2013년 10월 10일

한 국 저 작 권 위 원 회



제3절 기술 실시 및 적용사례

- 참여기업에서는 다음과 같은 용역사업을 통하여 기술의 현장적용, 시험시공 등 성능·안전성 검증을 실시하였음.
- 새만금 동서2축도로 건설공사 기본설계 용역, 수심측량, 도화엔지니어링, 2013
 - 성주대교 개축공사 실시설계 용역, 수심측량, 동성엔지니어링, 2013
 - 왕송 레일바이크설치사업 기본 및 실시설계 용역, 수심측량, 신명건설기술공사, 2014
 - 낙동강 창녕 워터플렉스 조성사업 기본 및 실시설계, 측량, 경호엔지니어링종합건축사사무소, 2015

엔지니어링활동업(기술용역) 하도급계약서(전문)

◇ 엔지니어링사업명(하도급명) : 새만금동서2축도로건설공사기본설계용역 052013012

◇ 계약기간 : 2013년 12월 8일부터 2014년 11월 1일까지

◇ 계약금액 : 금삼천육백만원정(₩36,000,000)

- 공급가액 : 금삼천이백칠십이만칠천이백칠십삼원정(₩32,727,273)

- 부가가치세 : 금삼백이십칠만이천칠백이십칠원정(₩3,272,727)

◇ 대금지급 : 계약서(본문) 제8조 및 제9조에 의함

◇ 납품일자(장소) : 2014년 11월 1일((주)도화엔지니어링)

◇ 계약이행보증금율(이행계약보증보험증권) : 10%

◇ 하자이행보증금율(이행하자보증보험증권) : 5%, 하자이행기간 : 하도급 준공후 2년

◇ 지체상금율 : 1일 0.25%, (단, 총 계약금액의 10%를 초과할 수 없음)

상기의 엔지니어링업무에 대하여 원사업자 주식회사 도화엔지니어링과 수급사업자 주식회사 한국케이지티콘설턴트(은) 본 계약문서에 의하여 계약을 체결하고 신의에 따라 성실히 계약상의 의무를 이행할 것을 약속하며, 이 계약의 증거로서 계약서를 작성하여 당사자가 기명날인한 후 각각 1통씩 보관한다.

2013년 12월 8일

원사업자 (갑) 주 소 : 서울특별시 강남구 삼성로 438

전 화 번 호 : 0 2 - 6 3 2 3 - 3 2 0 5

상 호 또 는 명 칭 : 주 식 회 사 도 화 엔 지 니 어 링

주민등록(법인)번호 : 1 1 0 1 1 1 - 0 0 3 7 7 4 0

대 표 자 성 명 : 박 승 우

수급사업자(을) 주 소 : 인천광역시 연수구 송도미래로 30

전 화 번 호 : 0 3 2 - 6 2 3 - 5 2 7 2

상 호 또 는 명 칭 : 주 식 회 사 한국케이지티콘설턴트

주민등록(법인)번호 : 1 2 0 1 1 1 - 0 3 4 6 2 7 2

대 표 자 성 명 : 정 진

첨 부 : 1. 엔지니어링활동업(기술용역) 하도급계약서(본문)
2. 과업내용서

- 1 -

그림 3.7 현장적용 관련 자료 1

문서번호		기술용역계약서		담당	부서장
13	244				
계약명	원도급명	성주대교(구)개축공사 실시설계용역			
	외주내용	측량조사			
계약금액	일금	팔백팔십만원정 (₩8,800,000-)	공급가	₩8,000,000-	
			부가세	₩800,000-	
계약기간		2013.12.09 ~ 2014.10.26			
지체상금율		1000분의 2.5 (매지체일수마다)			
계약보증금		계약금액의 10% (보증보험, 증권 또는 이에 갈음하는 보증각서)			
하자보증금		계약금액의 5% (보증보험, 증권)		계약금액의 5% (하자보증 유보금)	
하자보증특약		하자발생시, "을"은 "갑"에게 일체의 배상을 현금으로 지급할 것을 확약한다.			
대가지급조건		발주처 지급율에 의거 정산			
상기의 기술용역 업무에 대하여 발주자 【갑】 과 계약상대자 【을】 은 상호 대등한 입장에서 불임과 같이 계약을 체결하고, 신의에 따라 성실히 계약상의 의무를 이행할 것을 확약하며, 이 계약의 증거로서 본 계약서를 작성하여 당사자가 기명날인 한 후 각각 1통씩 보관한다. 2013.12.09 불임 : 1. 기술용역계약 일반조건 1부. 2. 과업지시서 3. 각종각서					
【갑】	상 호	(주)동성엔지니어링		대표이사	김 영 중
	주 소	경상북도 경산시 성암로21길 39		전화번호	031-739-5255
【을】	상 호	(주)한국케이지테크놀로지		대표이사	정 진 우
	주 소	인천광역시 연수구 송도미래로 30 B-1016 (송도동, 송도BRC스마트밸리지식산업센터)		전화번호	032-555-7925
계약이행보증각서		※ 【을】 이 계약이행보증 증권·보험을 【갑】 에게 제출 시 중복 적용하지 않는다. 귀사 【갑】 과 상기계약을 체결함에 있어 납부 면제된 계약보증금을 폐사 【을】 이 계약상 의무를 이행치 않아 귀사에 귀속시켜야 할 사유가 발생되어 귀사의 납입요청이 있을 때에는 지체 없이 현금으로 납부할 것을 확약하고, 만약 불이행시 귀사의 어떠한 제재조치도 감수할 것을 주지하며 이에 본 각서를 제출합니다 (주)동성엔지니어링 대표이사 귀하			

그림 3.8 현장적용 관련 자료 2

기술용역업무협정서			계약번호 제 14 - 04호
			사업번호 제 13 - 97 호
계약 당사자	수 급 인	·상호 또는 법인명칭 : (주)신명건설기술공사 ·법인등록번호 : 115211-0026134 ·주 소 : 전남 순천시 가곡길12(가곡동) ·전 화 번 호 : 061)750-8000 ·대 표 자 : 김 장 흥 ·전 송 번 호 : 061)727-4570	
	하수급인	·상호 또는 법인명칭 : (주)한국케이지티콘설턴트 ·법인등록번호 : 120111-0346272 ·주 소 : 인천광역시 연수구 송도미래로30 B-1016 ·전 화 번 호 : 032)555-7925 ·대 표 자 : 정 진 우 ·전 송 번 호 : 032)555-7926	
계약 내용	용역명	왕송 레일바이크설치사업 기본 및 실시설계용역-측량	
	계약금액	일금이천만원정 (₩20,000,000) VAT포함	
	계약기간	2014. 01. 16 ~ 2014. 04. 22	
	계약보증금	계약금액의 10%	
	하자이행보증금	계약금액의 5%	
	선금지급보증금	선금금금액의 100%	
	지체상금	1일 0.25%	
(주)신명건설기술공사(이하 “갑”이라 한다)와 (주)한국케이지티콘설턴트(이하 “을”이라 한다)는 상호 대등한 입장에서 불임의 계약문서에 의하여 위 기술용역에 대한 (하도급)계약을 체결하고 신의에 따라 성실히 계약상의 의무를 이행할 것을 확약하며, 이 계약의 증거로서 계약서를 작성하여 당사자가 기명날인한 후 각각 1통씩 보관한다. 2014년 01월 16일 수 급 인 : 전남 순천시 가곡길12(가곡동) (주)신명건설기술공사 대표이사 김 장 흥 인 하 수 급 인 : 인천광역시 연수구 송도미래로 30 B-1016 (주)한국케이지티콘설턴트 대표이사 정 진 우 인			

그림 3.9 현장적용 관련 자료 3

인력지원협정서

1. 협 정 명 : 낙동강 창녕 워터플렉스 조성사업 기본 및 실시설계 중 측량분야
2. 협 정 금 액 : 일금 일천이십만 원정 (₩10,200,000-) - VAT포함
3. 협 정 기 간 : 2015. 06. 23 ~ 2016. 01. 08

단, 원 도급기간 연장 시 자동적으로 본 계약기간을 별도의 변경없이 연장된 것으로 한다.

위 인력지원에 대하여 (주)경호엔지니어링종합건축사사무소(이하 “갑” 이라함)와 (주)한국케이지티콘설턴트(이하 “을” 이라함)간에 본 협정서를 내용으로 하여 본 협정을 체결하고 그 증거로 협정서 2부를 작성하여 쌍방이 날인하고 각 1부씩 보관한다.

- 붙 임 : 1) 협정보증금지급이행각서 1부.
 2) 보완(하자)책임보증이행각서 1부.
 3) 인력지원협정일반조건 1부.
 4) 과업지시서 1부(별첨).

2015년 6월 23일

갑 : 경기도 구리시 체육관로 74번지길 41
 (수택동 849-7)

(주)경호엔지니어링종합건축사사무소
 대 표 자 조 영
 사업자등록번호 132-81-06125

을 : 인천광역시 연수구 송도미래로 30
 B-922(송도동, 송도BRC스마트밸리지식산업센터)

(주)한 국 케 이 지 티 콘 설 턴 트
 대 표 자 정 진
 사업자등록번호 121-81-67345

(주)경호엔지니어링종합건축사사무소 A4(210×297mm)

그림 3.10 현장적용 관련 자료 4

제4절 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

1. 정부지원정책 현황

본 과제와 관련된 법령으로는 하천법, 하천법 시행령이 있다. 하천법 제17조에서 수문조사를 명시하고 있으며, 제23조에서 20년 단위의 수자원장기종합계획을 수립하도록 하고 있다. 또한 제25조에서 10년 단위로 하천기본계획을 수립하도록 하고 있다. 정책 및 담당기관으로는 국토교통부가 있으며 하위에 지방국토관리청, 4대강 홍수통제소 등이 있다.

국내의 정책 사업으로는 국토교통부의 수자원장기종합계획이 있다. 1966년부터 시작된 이 계획은 현재 4차수자원장기종합계획 제2차수정계획(2011년~2020년)이 진행되고 있는데 수자원기초조사의 확대 및 신뢰도 제고, 홍수방어능력의 고도와 기술 개발, 지속가능한 수자원 확보기술 개발, 물관리 종합시스템 구축기술 개발, 하천 환경 및 복원 기술 개발을 기본 방향으로 하고 있다.

수자원 기초조사의 확대 및 신뢰도 제고를 위해서는 수문관측망 정비 및 관측방법 개선, 유역조사사업의 지속적 추진, 수리권조사 및 정보 실시, 하천구간의 수변조사 실시 등을 수행하고 있다. 또한 물관리 종합시스템 구축기술 개발을 위해서는 용수추정 선진화기술 개발, 물관리 정보화기술 개발 등을 수행하고 있다.

국내 환경산업의 해외진출을 위한 정부지원 정책으로는 환경부의 환경산업 해외진출 촉진 중장기 기본계획이 있다. 환경부의 환경산업 해외진출 촉진 중장기 기본계획 수립(2011, 환경부) 보고서에 의하면 2016년 녹색환경산업 수출 15조원 달성을 목표로 하고 있다. 이를 위해 환경산업체 해외진출 실태조사 결과 분석, 국내 환경산업 해외진출 관련 경쟁력 분석, 금융지원 프로그램 실태 분석, 수주단계 정부지원 프로그램 실태 분석, 판매 및 마케팅 단계 정부지원 분석을 통해 국내 환경산업의 해외진출 전략 방향을 설정하고 수주활동을 직접적으로 지원하는 것, 해외진출 시장을 확장하는 것, 수출유망기업을 육성하는 것, 그리고 해외진출을 위한 협력기반을 강화하는 4가지 전략과제를 도출하였다. 또한 각 과제별로 3가지씩 총 12개의 중점 추진과제를 선정하고 로드맵을 구축함으로써 국내 환경산업의 해외진출을 적극 지원하고 있다.

이상의 내용을 종합하면 본 연구과제의 성과물을 사업화할 경우 적용할 수 있는 대상으로는 국내외의 하천, 저수지 등을 들 수 있다. 우리나라의 하천은 국가하천 62개소와 지방하천 3,771개소 등 3,833개소의 하천이 있으며 저수지는 한국농어촌공사에서 관리하는 저수지만 3,277개소나 되기 때문에 국내 시장은 매우 넓다고 할 수 있다. 국토교통부에서는 수자원 확보와 관리 차원에서 이러한 하천 및 저수지들을 지속적으로 관리하고 있기 때문에 시장의 크기와 지속성은 확보되어 있다고 할 수 있다.

또한 환경부에서는 해외시장 진출을 적극적으로 지원하고 있기 때문에 환경관련 센서를 추가 장착하고 지속적으로 개량할 경우 해외시장 진출의 전망도 상당히 밝은 것으로 예측된다.



2. 관련 분야 시장현황

본 연구를 통해 개발된 무인 로봇선을 이용한 자동 유량 산출 및 채수 시스템을 활용하여 건설분야의 사회기반시설공사의 기본설계 및 실시설계를 위한 수자원 분야의 유량 산출관련 사업과 측량분야의 수심측량 등에 활용 될 수 있으며, 환경시장에서의 물관리 분야의 수질조사사업에 참여할 수 있을 것으로 예상된다.

국내의 유량 관측 현황을 살펴보면, 한국수문조사연보(2013, 국토교통부)에 의하면 2013년 말을 기준으로 국토교통부 소관 189개소, 수자원공사 소관 28개소에서 유량이 측정되고 있으며, 2015 수질측정망 운영계획(2015, 환경부)에 따르면 환경부에서도 155개소에서 유량을 측정하고 있다. 즉, 전국의 약 372개소에서 유량 관측이 이루어지고 있다.

국토해양부는 2007년 개정된 「하천법」 제 17조에 의해 국가차원의 수문조사관련 법적 계획으로 2009년부터 2019년까지의 10년 단위로 수문조사 기본계획을 수립하였으며 수문관측망 구축 및 관리계획을 통해 우량관측소, 수위관측소, 유량측정 및 기타 수문관측(유사량, 증발산량, 증발량, 토양수분 등)에 대한 관측망을 구축하고 관리할 계획을 수립하였다.

하천관리를 위해서 재래식 계측기술을 주로 사용하고 있으며, 최근 들어 외국에서 개발된 음파, 초음파, 전자파 등을 사용하는 첨단장비가 도입되어 일부 사용되고 있으나 하천계측분

야에서 첨단 기술을 거의 활용하지 못하고 있는 상황이다.

「환경기술 및 환경산업 지원법」 제3조에 따라 5년마다 환경기술 및 환경산업 육성계획을 수립하고 연도별 시행계획을 수립하여하는데 “제3차 환경기술 및 환경산업 육성계획”의 2015년도 시행계획을 살펴보면 시장성숙도와 산업경쟁력 기준을 이용하여 물, 폐기물 자원순환, 대기 분야를 3대 강점 환경산업으로 구분하고 있으며, 환경안전 보건, 기후, 환경복원 복구, 환경지식서비스를 4대 유망 환경산업으로 구분하고 있다. 2014년 기준 환경분야의 기술수준은 최고기술국 대비 77.9%로 추격그룹에 해당하며, 최고기술국과의 기술격차는 평균 5년으로 나타나고 있다.

국가에서는 기후변화 대응체계 마련 자원순환 시스템 구축 환경보건 관리 강화로 지속가능한 환경복지 구현 및 새로운 가치 창출 정책을 시행하고 있다. 특히 물환경 관리분야의 정책은 물 재활용 2007년 8.8억톤/년에서 2020년 25.4억톤/년으로 늘리기 위한 물 순환 정책 도입하고 있으며, 녹조 제어 등 먹는 물의 안전관리 강화(천변저류지 조성, 지류총량제 시범시행), 고도정수처리시설 보급 확대 및 급수관망 진단 및 개량 실시 물산업 클러스터 조성 등을 통해 물관리 정책을 시행하고 있다.

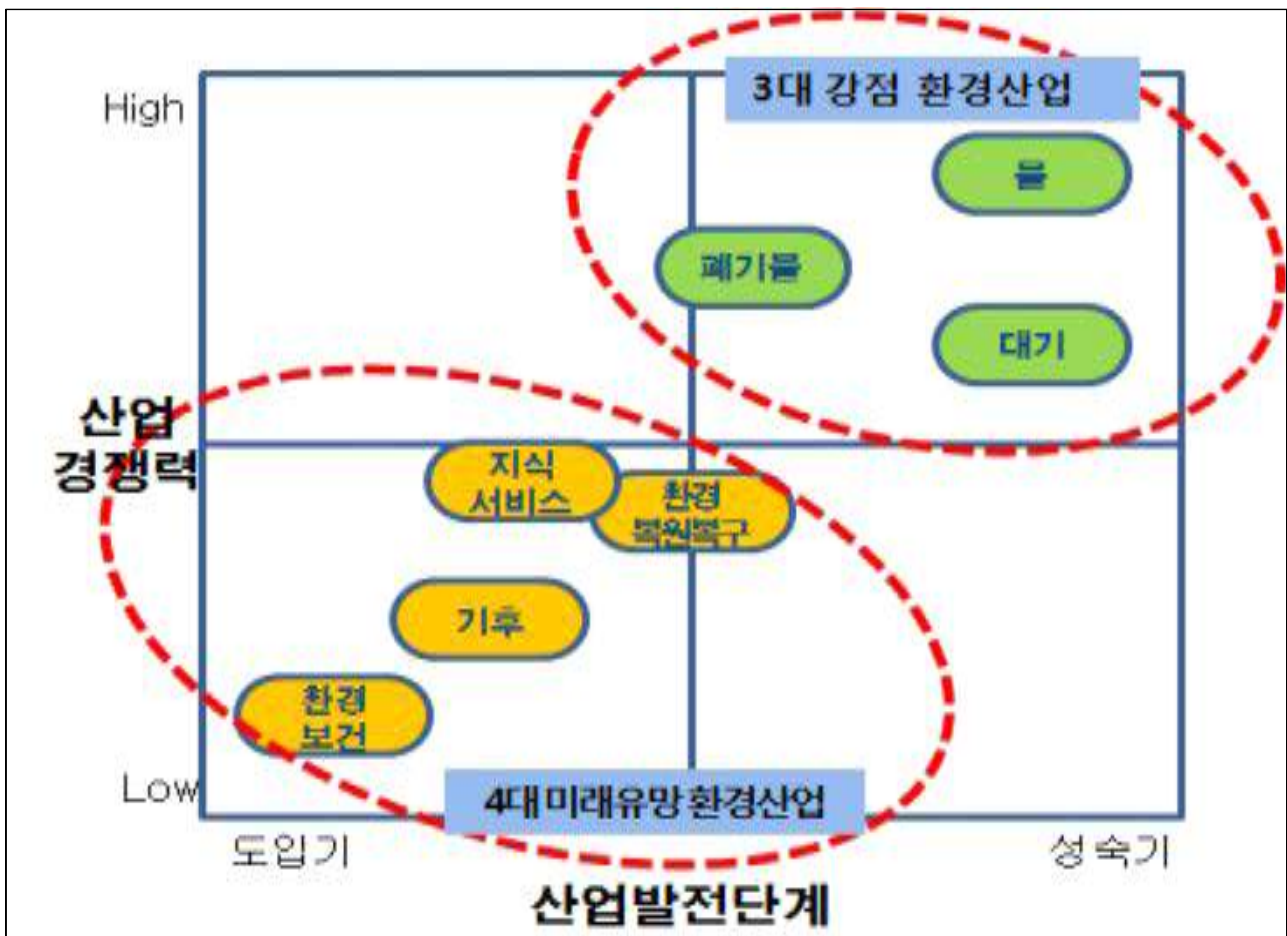


그림 3.11 3대 강점 및 4대 미래유망 환경산업의 구분
(출처 : 제3차 환경기술 및 환경산업 육성계획, 2015,국가과학기술심의회)

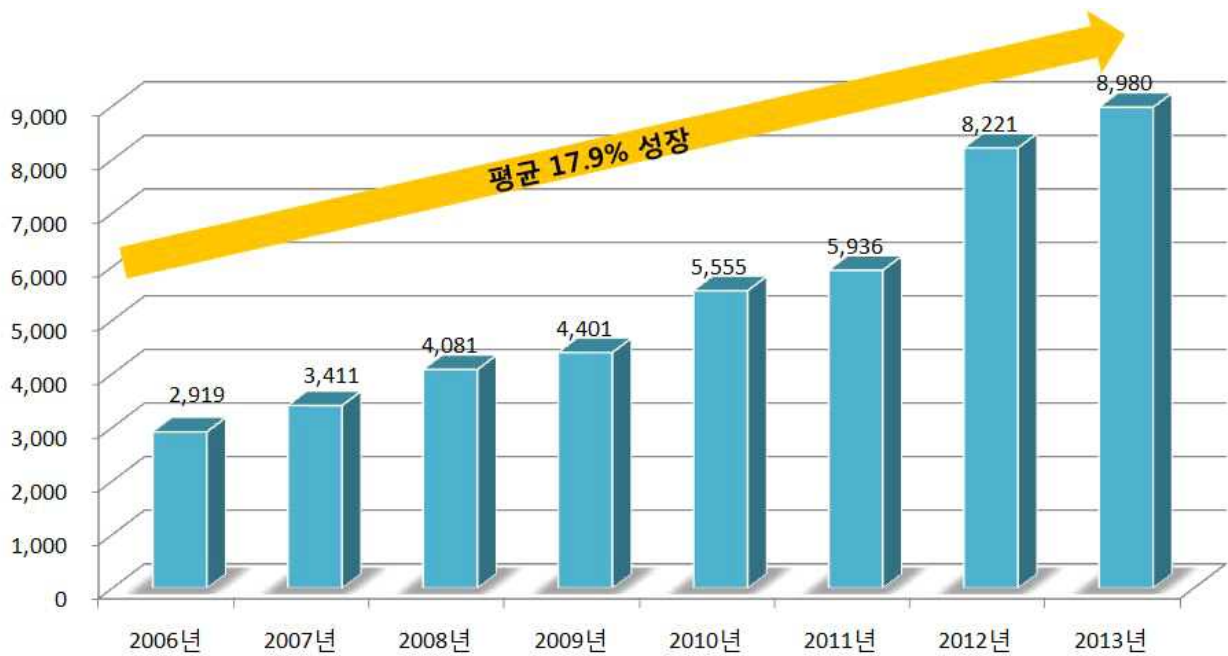


그림 3.12 국내 환경시장 규모 및 성장률

국내외 환경산업 시장을 살펴보면 국내 환경산업의 매출액은 2013년 기준 89.8조원으로 최근 5년간 평균 17.8%의 높은 성장세에 있으며, GPS에서 차지하는 비중이 6.9% 수준이다. 또한 주력 산업인 자원순환, 물, 지속가능 환경 및 자원 산업이 전체 매출의 73.1%를 차지하고 있다. 세계의 환경시장 현황을 살펴보면 2013년 약 9,240억 달러에서 2020년 약 1조161억 달러로 시장규모가 확대될 것으로 전망되고 있다. 이는 2013년 3,178억 달러의 반도체 시장보다 3배 정도 큰 시장으로 특히, 미국, 유럽, 일본 등의 선진국의 환경시장은 연간 2.7%의 성장률을 보이는데 반해, 중동, 중남미, 아프리카 등 신흥국의 환경시장은 연간 약 7%내외로 급성장하고 있는 것으로 조사되고 있다.

제4장 연구목표 달성 및 효과

제1절 연구개발 최종목표 달성도

본 연구는 총 3차년도로 나뉘어 개발되었으며, 다음 표와 같이 연차별 성과목표를 모두 달성하였으며 일부 성과에 대해서는 초과 달성한 것으로 판단된다.

연차 (단계)	연차별 성과목표		성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
1차 (1단계)	1-1	무인 로봇선 개발	로봇선의 속도	현장테스트 및 분석	5km/hr 이상	5%	5.85k m/h
			제어명령 반응속도	현장테스트 및 분석	1초 이내	5%	1초 이내
			소나센서 데이터 처리율	현장테스트 및 분석	90% 이상	5%	92%
			로봇선 제어용 보드 및 운용 프로그램	현장테스트 및 분석	1건	5%	1건
			센서 데이터 처리보 드 및 프로그램	실물확인 현장테스트 및 분석	1건	5%	1건
			양방향 통신 전송률	현장테스트 및 분석	90% 이상	5%	100%
			스마트 기기용 원격 제어프로그램	현장테스트 및 분석 프로그램	1건	5%	1건
			자동운항시스템 설계	설계서 확인	1건	5%	1건
	1-2	자동채 수시스 템 개발	자동 채수 컨트롤	현장테스트 및 분석	90%	5%	90%
			밀폐용기	밀폐성 테스트	90%	5%	90%
			자동 개폐장치	현장테스트 및 분석	90%	5%	90%
			카트리지형 채수 컨 테이너	실물확인	1건	5%	1건
			측정 수심에 따른 자 동신축 정확성	현장테스트 및 분석	90%	5%	90%
	1-3	하천정 보 관리시 스템 개발	3차원 시각화 프로그 램 설계	설계서 확인	1건	5%	1건
			횡단면도 자동작성 프로그램 설계	설계서 확인	1건	5%	1건
			유량 자동산출 프로그 램 설계	설계서 확인	1건	5%	1건
			수질분포도 작성 프 로그램 설계	설계서 확인	1건	5%	1건
			퇴적층 분포 시각화 프로그램 설계	설계서 확인	1건	5%	1건
			데이터 교환 프로그 램 설계	설계서 확인	1건	5%	1건
			하상 3차원 시각화 프로그램 개발	프로그램 확인	1건	5%	1건
			사업연계지 표		특허 출원		1건
	S/W 등록건수				3건	50%	3건
	국내외 학술발표회 논문게제				1건	10%	1건
	소 계						100%
2차 (2단계)	1-1	무인 로봇 선 개발	자동 운항 시스템	예정 항로와의 일치율	90%	10%	93%
	1-2	자동	채수컨테이너 및 붐	실물 확인	1건	5%	1건

연차 (단계)	연차별 성과목표		성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
		채수 시스 템 개발	통합				
	1-3	하천 정보 관리 시스 템 개발	횡단면도 작성 프로그램	프로그램 확인	1건	10%	1건
			유량 자동산출 프로그램	프로그램 확인	1건	10%	1건
	1-4	현장 테스 트 및 보완	로봇선 운항	현장테스트 및 시범사업 참여건수	30회상	10%	30회 이상
			소나데이터 처리 모듈	데이터 처리율	95%	10%	95%
			유속/수질 측정	데이터 처리율	90%	10%	90%
			자동채수시스템	자동채수 성공율	90%	15%	90%
	사업연계지 표		특허 출원		1	15%	1
			특허 등록		1	40%	0
			S/W 등록건수		3	20%	3
			국내외 학술지 논문 게재		1	5%	1
			국내외 학술발표회 논문 게재		1	5%	1
			시범사업 참여		1	15%	3
	소 계						100%
3차 (3단계)	1-1	하천 정보 관리 시스 템 개발	데이터 교환 프로그램 개발	데이터 교환 성공율	95%	10%	95%
			수질분포도 작성 프로그램	프로그램 확인	1건	10%	1건
			퇴적층 분포 시각화 프로그램	프로그램 확인	1건	10%	1건
	1-2	현장 테스 트 및 사업 화	자동채수시스템	자동채수 성공율	95%	15%	95%
			시스템 통합	복합기능 수행 성공율	95%	30%	95%
			시범사업 참여 및 사업화	시범사업 참여 및 사업화 건수	2건	45%	3건
	사업화연계 지표		특허 등록		1	20%	2
			신기술 인증		1	20%	
			S/W 등록건수		1	15%	
			국내외 학술지 논문 게재		1	5%	6
			시범사업 참여		1	15%	1
			사업화		1	25%	1
	소 계						100%

제2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석

본 연구를 통해 개발된 무인 로봇선을 활용한 자동 유량 산출 및 채수 시스템은 자동 운항이 가능한 무인 로봇선에 GPS, 음향측정센서, 수질센서, 채수장치 등을 탑재하고, 다양한 환경에서 안전하고 신속하게 수중 공간정보 획득하고 정보화 할 수 있는 자동 유량 산출 시스템과 정확한 위치에서 시료채취가 가능한 자동채수시스템 이다.

기존 기술의 경우 하천 및 호소 등의 수질 및 유량에 대한 면형 정보가 아닌 지점 또는 선형 정보가 수집되고 있으며, 정보 수집과 자료처리 단계가 복잡하여 유량산출 시간이 소요 되는 단점이 있다. 또한 위험지역 및 오염지역에서는 안전사고 위험으로 시료채취가 어려우 며, 하천 및 호소 내의 정확한 지점에서의 채수가 어려웠다.

이에 본 연구에서는 면형의 수중 공간정보 획득이 가능하고, 종횡단면도 작성프로그램 등 을 이용한 자동 유량산출이 가능하며, 자동채수시스템을 활용한 정확한 위치에서의 자동 채수 가 가능한 기술이다.

○ 기술적 효과

- 선체의 자동운항과 실시간 정보수집 가능
- 면형의 수중공간정보 시각화 가능
- 자동화된 프로그램으로 자동 유량산출 가능
- 정확한 위치에서의 채수 가능

본 연구를 통해 개발된 무인 로봇선을 활용한 자동 유량 산출 및 채수 시스템은 점 측정 또는 선형 측정 후 오차보정 이론을 적용하여 기존 유량 산출방법보다 정밀하고 정확하게 유량을 산출 할 수 있다. 자동채수시스템에 의해 채수 속도 및 작업효율성이 기존 방법 대비 30%이상 증대될 것으로 기대된다. 무인 원격측정 방법이므로 작업자의 안전이 확보되고 작업 자원이 절감될 것이며 지상의 3차원 데이터와 연결되어 종합적인 국토관리가 용이할 것이다.

주요 요소기술인 무인 로봇선을 활용한 하천정보관리 시스템과 무인 로봇선을 활용한 자동 채수시스템은 기술 개발 단계, 기술 검증·보완 단계, 실용화 추진 단계, 시장수용 단계 중 에서 연구 시작단계에서는 기술 개발 단계에 있었으나, 연구종료 시점에서는 실험실에서 Proto-Type을 제작하여 기술호환성을 보완한 후 참여기업과 함께 개발기술을 활용·적용한 시스템을 실제 용역사업의 유역현황분석 분야(측량)에 참여하여 함으로써 현장적용 단계를 진행하고 있어 실용화 추진 단계에 이를 것으로 예상되고 있다.

본 연구에서의 기술적 자문 결과 로봇선이 홍수시에 $3m/s$ 힘을 버틸 수 있어야 한다는 의견에 로봇선의 추진체는 소형 잠수정에 사용되는 고출력 엔진(쓰러스터)으로써 최대 850m 에서 최대 추진력이 96kgf (941.76N)로 4knots($2m/s$)로 운항 할 수 있어, 이론상 홍수시 $3m/s$ 의 힘에 견딜 수 있을 것으로 판단되나, 로봇선의 무게나 유체의 성질에 따라 운항 속도가 결정되므로 실험을 통한 검증이 필요할 것으로 판단되었다. 쌍동선 형태의 안정성과 소

형 잠수정에 사용되는 고출력의 쓰러스터를 이용하여 유속이 빠른 홍수시에도 안정적인 수문정보를 취득 할 수 있을 것으로 판단된다.

본 기술개발을 통해 개발된 무인 로봇선과 선체의 자동운항시스템의 경우 미국, 일본 등의 선진국과 비교하여 약 10%의 기술격차를 해소 한 것으로 판단되며, 원격으로 자동 채수가 가능한 채수시스템은 없는 것으로 조사됨에 따라 본 기술개발을 통해 완성된 채수시스템의 기술적 격차는 없는 것으로 판단된다.

제3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석

본 연구를 통해 개발된 무인 로봇선을 활용한 자동 유량 산출 및 채수 시스템은 다음과 같은 경제적 효과가 있을 것으로 예상된다.

- 자동 운항을 통한 하천측량 등의 인력 및 비용 절감효과
- 유량 산출을 위한 현장 조사 시간 단축을 통한 비용 절감효과
- 자동수질측정 및 자동채수를 통한 수질조사시 채수 비용 절감
- 자동 유량 산출 및 수질조사 사업이라는 새로운 시장 형성을 통한 참여기업의 매출 증대

1. 비용 절감 효과

- 하천측량에 대한 표준품셈 적용 결과 분석

가. 진행 기준

종 단 측 량			양안왕복 1일 1km, 10km 당 10일					
횡 단 측 량			횡 단 간 격	10km당 횡 단 본 수	외 업		내 업	
					1일당 본수	10km당 일 수	1일당 본수	10km당 일수
폭 원	1,000m {	제내100m	200m	50본	1.4본	35일	5.0본	10일
		제외800m						
	700m {	제내100m	200m	50본	1.8본	27.7일	6.3본	7.9일
		제외500m						
	400m {	제내 50m	20m	50본	2.5본	20일	9.0본	5.5일
		제외300m						
	200m {	제내 50m	100m	100본	4.0본	25일	14.5본	6.8일
		제외100m						
	100m {	제내 25m	50m	200본	9.0본	22일	15.0본	13.3일
		제외 50m						
	50m {	제내 15m	25m	400본	16.0본	25일	20.0본	20.0일
		제외 20m						

나. 작업별 인원편성

종별	작업량	작업구분	편성 일수	1 반 1 일 당 인 원 수					
				고 급 기술자	중 급 기술자	초 급 기술자	초급기능 사(측량)	인부	선박및 선 부
중단 측량	10km양안 왕복	외업	10	0.2	1	1	1	1	-
		내업	3	0.2	1	1	-	-	-
횡 단 측 량	1,000m	외업	35	0.2	1	2	2	4	0.6
		내업	10	0.1	1	1	2	-	-
	700	외업	28	0.2	1	2	2	4	0.6
		내업	8	0.1	1	1	2	-	-
	400	외업	20	0.2	1	2	2	3	0.6
		내업	5.5	0.1	1	1	2	-	-
	200	외업	25	0.2	1	1	2	3	0.7
		내업	7	0.1	1	1	2	-	-
	100	외업	22	0.2	1	1	2	3	0.5
		내업	13	0.1	1	1	1	-	-
	50	외업	25	0.2	1	1	2	3	-
		내업	20	0.1	1	1	1	-	-

종별	작업량	작업구분	편성 일수	인 원 합 계						비 고
				고 급 기술자	중급 기술자	초급 기술자	초급기능 사 (측량)	인부	선박및 인부	
중단 측량	10km양 안왕복	외업	10	2	10	10	10	10	-	1일양안평균 1km
		내업	3	0.6	3	3	-	-	-	1일양안평균 3.3km
횡 단 측 량	1,000m	외업	35	7	35	70	70	140	21	일평균 1,400m
		내업	10	1	10	10	20	-	-	일평균 5,000m
	700	외업	28	5.6	28	56	56	112	17	일평균 1,250m
		내업	8	0.8	8	8	16	-	-	일평균 4,400m
	400	외업	20	4	20	40	40	60	12	일평균 1,000m
		내업	5.5	0.6	5.5	5.5	11	-	-	일평균 3,600m
	200	외업	25	5	25	25	50	75	18	일평균 800m
		내업	7	0.7	7	7	14	-	-	일평균 2,900m
	100	외업	22	4.4	22	22	44	66	11	일평균 900m
		내업	13	1.3	13	13	13	-	-	일평균 1,500m
	50	외업	25	5	25	25	50	75	-	일평균 800m
		내업	20	2	20	20	20	-	-	일평균 1,000m

○ 기존 품셈에 의한 중단 10km를 측량한 경우

구분 \ 종별	종단측량	횡 단 측 량					
		1,000m	700m	400m	200m	100m	50m
고 급 기 술 자	2(0.6)	7(1)	5.6(0.8)	4(0.6)	5(0.7)	4.4(1.3)	5(2)
중 급 기 술 자	10(3)	35(10)	20(8)	20(5.5)	25(7)	22(13)	25(20)
초 급 기 술 자	10(3)	70(20)	56(8)	40(5.5)	25(7)	22(13)	25(20)
초급기능사(측량)	10	70	56(16)	40(11)	50(14)	44(13)	50(20)
인 부	10	140	112	60	75	66	75
선 부	-	21	17	12	18	11	-

○ 무인 로봇선을 활용한 종단 10km를 측량한 경우

구분 \ 종별	종단측량	횡 단 측 량					
		1,000m	700m	400m	200m	100m	50m
고 급 기 술 자	2(0.4)	5(1)	4.5(0.6)	4.3(0.5)	4(0.5)	3.8(1.0)	3.5(1.5)
중 급 기 술 자	8(2)	30(8)	15(6)	15(4.5)	15(5)	15(10)	20(15)
초 급 기 술 자	8(2)	62(16)	50(6)	30(4.5)	15(5)	15(10)	20(15)
초급기능사(측량)	8	62	50(12)	30(9)	50(10)	30(10)	40(15)
인 부	8	120	100	50	60	60	60
선 부	-	-	-	-	-	-	-

○ 하천 종단측량의 비용 비교

- 외업과 내업이 평균 30%정도 절감될 수 있을 것으로 예상됨.

항목	기존		본 연구		감소량		절감율	
	외업	내업	외업	내업	외업	내업	외업	내업
고급기술자	2	0.6	2	0.4	-	0.20	0%	33%
중급기술자	10	3	8	2	2.00	1.00	20%	33%
초급기술자	10	3	8	2	2.00	1.00	20%	33%
초급기능사	10		8		2.00	-	20%	
인부	10		8		2.00	-	20%	
선부	-					-		

○ 기존 수질 조사 단가(채수 단가)

- 채수지점 : 80개 지점 기준
- 채수횟수 : 월 1회 기준
- 수질시험비용 제외

지출세목	금 액(원)	산 출 근 거	비 고
인건비	360,000	○ 30,000원 × 3명 × 4일 = 360,000원	
교통비	218,880	○ 200km × 1,900원/ℓ × 0.144ℓ/km × 4일 = 218,880원	
식사비	84,000	○ 7,000원 × 3명 × 4일 = 84,000원	
채수통	80,000	○ 1,000원 × 80개 = 80,000원	PE 2L
선박사용료	800,000	○ 200,000원 × 4일 = 800,000원	
소계	1,542,880	○ 월 1회 채수비용	

○ 무인 로봇선을 활용한 수질 조사 단가

지출세목	금 액(원)	산 출 근 거	비 고
인건비	240,000	○ 30,000원 × 2명 × 4일 = 240,000원	
교통비	218,880	○ 200km × 1,900원/ℓ × 0.144ℓ/km × 4일 = 218,880원	
식사비	56,000	○ 7,000원 × 2명 × 4일 = 56,000원	
채수통	80,000	○ 1,000원 × 80개 = 80,000원	PE 2L
장비사용료	400,000	○ 100,000원 × 4일 = 400,000원	
소계	994,880	○ 월 1회 채수비용	

○ 수질조사 비용 비교

- 1,542,880원 - 994,880원 = 548,000원

2. 시장창출 및 고용창출 효과

본 기술개발을 통해 국토교통부에서 관리하는 전국 약 3,800개소의 하천 및 지천, 한국농촌공사에서 관리하는 3,277개소의 저수지 유량측정 및 수질관리 사업에 참여할 수 있을 것으로 기대된다. 이에 1개 소당 사업비용과 시스템의 사업화가 완료된 시점에서 상품화 될 경우의 전체 사업규모를 계산하면 다음과 같다.

항 목	1개소당 비용(천원)	사업량	사업규모(백만원)
유량측정	2,000	7,000	14,000
수질조사	2,000	7,000	14,000
해외사업	10,000	2,000	20,000
시스템판매	80,000	50	4,000
합 계			48,000

또한 본 기술개발을 통해 개발된 무인 로봇선을 활용한 자동 유량 산출 및 채수 시스템을 활용하여 사업화 될 것 경우 시장규모로 볼 때 관련 분야의 기업이 약 50여개 추가적으로 발생할 것으로 예상되며, 기업당 기술개발인력, 측량용역인력, 기타관리인력 등 7인의 고용창출 효과가 있을 것으로 예상되며, 전체 사업체에서 약 350여명의 고용창출이 예상되며, 간접적인 고용창출 효과로 사업량이 증가 할 경우 공공측량성과심사를 위한 성과심사인력의 추가적인 고용이 필요 할 것으로 예상된다.

항 목	업체당 필요 인력	사업체수	고용창출 효과
기술개발인력	2인	50	100
측량용역인력	3인	50	150
기타관리인력	2인	50	100
합 계			350

제4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석

본 연구를 통해 개발된 무인 로봇선을 활용한 자동 유량 산출 및 채수 시스템은 다음과 같은 정책적 효과가 있을 것으로 예상된다.

- 무인의 자동화된 시스템을 활용한 효율적인 수자원 관리를 통해 기후변화에 따른 효율적 물관리와 더불어 국민의 안전과 지속가능한 국토개발이 가능 할 것으로 판단됨.
- 위험지역 및 오염지역에서의 채수 활동과정에서의 안전사고 예방을 통해 안전한 국토개발이 이루어질 것으로 예상됨.
- 횡단면도 제작 프로그램 및 자동 유량 산출 프로그램을 활용한 사회기반시설물의 기본설계 및 실시설계에 활용함으로써 보다 정확하고 신속한 설계가 이루어 질 수 있을 것으로 기대됨.
- 비전기식 개폐장치의 경우 유류탱크와 같은 폭발위험 시설에 적용 할 수 있을 것으로 기대됨.
- 클로로필-a 측정센서를 부착할 경우 하천 및 호소에서의 녹조농도 측정에 활용함으로써 환경오염 모니터링이 가능 할 것으로 기대됨.
- 자동측정 센서를 활용한 수자원정보의 신뢰성 확보를 통한 국토정보에 대한 과학적이고 효율적인 정보 수집과 정보의 활용이 가능 할 것으로 판단됨.
- 자동채수장치를 통해 환경부의 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조에 따라 고시된 “수질오염공정시험기준”중에서 “시료의 채취 및 보존 방법(ES 04130.1a)”의 변경(안)을 제시함으로써 최신 ICT기술을 활용한 환경오염의 모니터링 활동이 가능 할 것으로 판단됨.
- 최근 “수질오염공정시험기준”에는 자동화 측정 기구를 이용한 공정시험기준에 대한 항목이 추가되어 2016년부터 적용이 예정되어 있으나 고정형의 자동측정망에 사용되는 측정센서들과 전산시스템에 관한 내용으로 본 연구에서 개발된 무인 로봇선을 활용할 시스템을 적용할 경우 이동형 자동측정망의 구성이 가능하며, 보다 정확하게 대상지역 전체에 대한 모니터링이 가능 할 것으로 판단됨.
- 국토교통부에서는 3차원 공간정보 구축사업을 진행하고 있으나 건물 및 도로시설물 등 육상에 대한 정보가 대부분으로, 하천, 호수, 해양 등 하상에 대한 3차원 정보의 구축을 통해 통합적인 정보 구축이 이루어진다면 진정한 의미의 입체국토의 구현이 가능 할 것으로 판단됨.
- 점 측정 또는 선형 측정 후 오차보정 이론을 적용하여 기존 유량 산출방법보다 정밀하고 정확하게 유량을 산출할 수 있을 것이며 환경산업, 건설산업 등과 연계하여 환경평가, 수공구조물 설계시의 기초 자료를 제공할 수 있고, 관련 분야에 특성화된 분석 프로그램 개발이 가능하다. 이를 통해 적용 분야를 넓혀나갈 수 있을 것으로 기대됨.
- 자동채수시스템에 의해 채수 속도 및 작업효율성이 기존 방법 대비 30%이상 증대될 것으로 기대되며, 무인 원격측정 방법이므로 작업자의 안전이 확보되고 작업 자원이 절감될 수 있을 것으로 기대됨.

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

제1절 연구성과 향후 활용방안

본 기술개발을 통한 연구 성과의 활용을 극대화하기 위해 다음과 같은 방안을 수립하였다.

- 기술수요기관인 국토교통부, 환경부, 한국수자원공사, 한국농어촌공사 등의 유량측정 및 수질측정사업에 참여
- 전국 약 3,800개소의 하천 및 지천, 한국농촌공사에서 관리하는 3,277개소의 저수지 유량 측정 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.

제2절 추가연구 필요성

쌍둥선 형태의 안정성과 소형 잠수정에 사용되는 고출력의 쓰러스터를 이용하여 유속이 빠른 홍수시에도 안정적인 수문정보를 취득 할 수 있을 것으로 판단되나, 위험을 감수하고 홍수시 장비를 테스트하기에는 많은 어려움이 있다. 따라서 좀 더 안정성을 확보한 이후에 극한 환경에서의 테스트가 필요할 것으로 판단되며 자연하천 등에서의 다양한 적용을 통해 상용화 될 수 있도록 할 필요가 있다.

또한 수심이 얇은 하천경계지역과 수초에 의한 영향으로 로봇선의 자동운항은 쉽지 않은 상황이므로, 장애물회피 센서를 추가적으로 장착하여 보다 정밀한 운항이 필요 할 것으로 판단된다.

채수장치의 경우 수심별 채수가 가능하나 장치를 좀 더 크게 개발하여 향후에는 다지점 수심에서 동시 채수가 가능하도록 개발할 필요가 있다.

로봇선의 채수시스템은 수질 측정을 위한 시험수의 채수를 위해 수중으로 채수 컨테이너를 이동시키는 장치로 수중카메라 등을 이용한 영상정보수집이 필요한 경우 부유물질의 포함 정도를 식별 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 최근 문제가 되고 있는 녹조를 탐지하거나 다양한 환경칩을 장착할 경우 다양한 분야의 연구에 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 1) 국가과학기술심의회, 제3차 환경기술 및 환경산업 육성계획('13~'17), 2015
- 2) 국토교통부, 한국수문조사연보, 국토교통부, 2013.
- 3) 박요섭, 김학일, 이용국, 석봉출, SeaBeam2000 다중빔 음향측심기를 이용한 해저면 맵핑시스템 개발, Journal of the Korean Society of Remote Sensing, Vol.11 No.3, 한국 RS학회, 1995, pp129-145.
- 4) 서정훈, 서동주, 이종출, GPS와 음향측심기 조합에 의한 저수용량 산정, 한국지형공간정보학회지, 제10권 제1호, 한국지형공간정보학회, 2002, pp27-35.
- 5) 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.
- 6) 은진개발(주), 전자계측장치와 GIS를 이용한 준설지점위치결정에 의한 그라브준설작업 관리 System 개발, 건설교통부, 2000.
- 7) 지광훈, 원격탐사와 Spatial Geoscience Data의 정량적 평가에 의한 자원탐사 기술 개발 연구, 한국지질자원연구원, 1995.
- 8) 지규인, GPS/INS/CDMA 통신망 통합 복합 항법시스템, 과학기술부, 2004.
- 9) 정영동, 음향측심기와 위성항법을 이용한 하천의 수심 측량, 한국측량학회지, 제20권 제 4호, 한국측량학회, 2002, pp.375-381.
- 10) 최병길, 무선 인터넷과 DGPS를 이용한 원격측정 로봇선 개발, 건설교통부, 2004.
- 11) 환경부, 2015 수질측정망 운영계획, 2015.
- 12) LG-EDS 시스템아이엔텍팀, 무선인터넷 어플리케이션프로그래밍, 삼양출판사, 2000.
- 13) Atkinson, L.V. and Harley, P.J., An Introduction to Numerical Methods with Pascal, Addison-Wesley publishing company, 1987.
- 14) Bishop, J. and Bishop, N., Pascal Precisely for engineers and scientists, University of Southampton, Addison-wesley publishing company, 1990.
- 15) Caughey, D., A., Seabed classification from acoustic echosounder returns, Ph.D dissertation, University of Victoria, Canada, 1997.
- 16) Comfile Technology, Manual of Servo Motor Controller, 2001, pp1-4
- 17) Comfile Technology, PICBASIC 2000 Data Book, 2000, pp78-79
- 18) Frees, E.W., Data Analysis Using Regression Models, Prentice Hall, 1996.
- 19) Henderson, D.W., Differential Geometry - a Geometric Introduction, Prentice Hall, 1998.
- 20) Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J., Global Positioning System Theory and Practice 4th revised edition, Springer Wein NewYork, 1997.
- 21) 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.
- 22) 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
 - 23) Leick, A., GPS Satellite Surveying, John Wiley & Sons, 1990.
 - 24) Logsdon, T., The Navstar Global Positioning System, Van Nostrand Reinhold, 1992.
 - 25) McLeod, R.J.Y. and Baart, M.L., Geometry and Interpolation of Curves and Surfaces, Cambridge University Press, 1998.
 - 26) Sickie, J.V., GPS for Land Surveyors, Ann Arbor Press Inc., 1996.
 - 27) 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
 - 28) Stephens, R., Visual Basic Graphic Programming, Wiley, 1999.
 - 29) Strang, G. and Borre, K., Linear Algebra, Geodesy, and GPS, Wellesley–Cambridge Press, 1997.
 - 30) Trimble Navigation Limited, Survey Controller Reference Manual, 1998.
 - 31) US Army Corps of Engineers, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, EM 1110–1–1003, 1991, pp4.1–4.5
 - 32) Vanicek, P. and Krakiwsky, E., Geodesy the Concepts, Elsevier Science Publishers Bv., 1986.
 - 33) 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
 - 34) <http://www.cee.hw.uk/~jan/hyper00/curvesurf/Bézier.html>
 - 35) <http://www.cee.nw.ac.uk/~jth/es12/tutorial/steppers/software.htm>
 - 36) <http://www.comfilecom.co.kr>
 - 37) <http://www.kentaurus.com/vmsintro.htm>
 - 38) http://www.lg019.co.kr/lgtel_frame.html/019service/data/wirelessdata/main.html
 - 39) <http://www.worldservo.com/html/arc.htm>
 - 40) <http://www.wamis.go.kr>
 - 1) <http://www.kaist.ac.kr/>
 - 2) <http://robotxangrynerds.blogspot.kr/>

부록 1. 논문, 특허 등 정량적 성과와 정성적 성과

1. 특허등록

No.	요소기술 구분	특허명칭	등록번호	등록일	출원인 (등록권리자)
A-1	1-가	채수용 무인선박	10-1585049	20160105	인천대학교 산학협력단
A-2	1-나	채수장치	10-1492558	20150205	인천대학교 산학협력단

2. 학술지 게재

No.	요소기술 구분	SCI/ 일반	논문명	학술지명	ISBN ISSN	주저자명	Vol. (No)	시작 페이지	끝 페이지	게재 일자
B-1	1-가	일반	무인 측량선을 활용한 수중공간정보 획득에 관한 연구	한국지형공간정 보학회 학술대회	-	오민균	2014	161	162	20141126
B-2	1-가	일반	무인 로봇선을 활용한 수질측정방법 개선에 관한 연구	한국측량학회 학술대회 자료집	-	정진우	2015	389	390	20150428
B-3	1-가	일반	원격 수중탐사체의 운행제어 개선에 관한 연구	대한토목학회 학술대회	-	박훈진	2015	75	76	20151030
B-4	1-가	일반	수질측정방법의 개선을 위한 원격 탐사체의 활용방안	한국지형공간정 보학회 학술대회	-	정진우	2015	125	126	20150528
B-5	1-나	일반	스마트 로봇선을 이용한 수질측정 및 채수장치 개발 방안	한국측량학회 학술대회 자료집	-	정진우	2014	329	331	20130326
B-6	1-나	일반	유량산출 및 수질조사를 위한 무인 채수장치 개발	한국지형공간정 보학회 학술대회	-	정진우	2014	233	234	20140516
B-7	1-나	일반	무인 측량선을 활용한 채수 방법에 관한 연구	대한토목학회 학술대회	-	오민균	2014	627	628	20141030

3. 소프트웨어 등록

No.	요소기술 구분	SW명칭	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명
E-1	1-가	무선 로봇선의 자동운행 및 모니터링 프로그램	20131008	인천대학교 산학협력단	20131008	C-2013-019959	최병길,이태권,나영우
E-2	1-가	무인 로봇선을 이용한 현장 계측자료 수집 프로그램	20131008	인천대학교 산학협력단	20131008	C-2013-019960	최병길,이태권,나영우
E-3	1-나	자동 채수장치용 채수 리프트 제어 프로그램	20131008	인천대학교 산학협력단	20131008	C-2013-019958	최병길,이태권,나영우

4. 신기술 지정

No.	요소기술 구분	명칭	출원일	고시일	보호기간	지정번호
F-1	1-가					
F-2	1-나					

5. 시제품 제작

No.	요소기술 구분	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야
C-1	1-가	무인 로봇선을 활용한 하천정보관리 시스템	20151001	인천대학교 산학협력단	인천대학교	
C-2	1-나	무인 로봇선을 활용한 자동 채수시스템	20151001	인천대학교 산학협력단	인천대학교	

6. 현장시험*

No.	요소기술 구분	현장시험명	시험일	시험장소	주요내용
D-1	1-가	낙동강 창녕	20150731	창녕낙동대교 부근	하천정보수집 시스템 시험
D-2	1-나	낙동강 창녕	20150731	창녕낙동대교 부근	채수시스템 시험

* 현장시험: 개발기술의 보완이나 검증을 위하여 실험현장에 최초로 시험·적용하는 행위

7. 표준/인증

No.	요소기술 구분	인증번호 (규격번호)	인증명	취득일	취득기관	관리기관
K-1	1-가					
K-2	1-나					

8. 정책채택

No.	요소기술 구분	구분	정책명	관련기관 (담당부서)	시행일시	채택내용
L-1	1-가					
L-2	1-나					

9. 법령 반영

No.	요소기술 구분	구분	활용구분 (신규/개선)	명 칭	해당조항	시행일시	관리부처	제정/개선내용
M-1	1-가							
M-2	1-나							

10. 설계기준, 시방서, 지침에 반영

No.	요소기술 구분	구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	설계기준/시방서/지침 명칭	반영일시	반영내용
J-1	1-가					
J-2	1-나					

11. 기술실시계약

No.	요소기술 구분	계약명	실시기업명	계약체결일	기술사용 시작일	기술사용 종료일	징수일자	징수금액 (천원)	계약 유형
G-1	1-가								
G-2	1-나								

12. 사업화/제품화

No.	요소기술 구분	사업화명	사업화내용	업체명	사업자 등록번호	매출액(천원)	매출발생년도	고용실적(명)
H-1	1-가							
H-2	1-나							

13. 현장적용(시공)**

No.	요소기술 구분	발주기관명	시공업체명	적용현장명	공사시작일	공사종료일	공사금액(천원)***
I-1	1-가						
I-2	1-나						

** 현장적용(시공): 사업화주체(기업)가 개발기술을 실제 공사현장(수주)에 적용하여 매출이 발생하는 경우

***공사금액: 당해 기술이 적용된 공사의 총공사금액

부록 2. GPS에 코사운드 측정 데이터 1

항목	time	TMx	TMy	TMz	dist	deltat	velo_kmh
설명	시간	X좌표	Y좌표	Z좌표	지점간거리	지점간시간	운행속도(Km/h)
평균값							5.85

time TMx TMy TMz dist deltat velo_kmh	309.4 167816.37 530097.32 0.90 0.87 0.3 9.51	369.1 167808.12 529999.25 0.60 0.88 0.3 9.61	428.9 167786.00 529962.58 0.10 0.10 0.3 1.13
250.0 167818.19 530012.67 0.30 0.49 0.3 5.34	309.7 167816.52 530096.46 0.80 0.88 0.3 7.42	369.1 167808.06 529999.37 1.00 0.85 0.3 9.53	429.2 167785.37 529962.41 0.40 0.09 0.3 0.92
250.3 167818.19 530012.67 0.30 0.49 0.3 5.34	310.1 167816.11 530095.79 1.10 1.06 0.3 11.59	369.8 167808.02 529997.50 1.40 0.43 0.3 4.70	429.5 167785.96 529962.38 1.20 0.08 0.3 0.91
250.7 167818.19 530012.67 0.30 0.49 0.3 5.11	310.4 167815.98 530094.74 0.40 0.87 0.3 9.50	370.1 167808.01 529997.07 0.30 0.43 0.3 4.67	429.9 167785.98 529962.30 0.40 0.08 0.3 0.90
251.0 167818.16 530129.11 1.10 0.46 0.3 4.97	310.7 167815.91 530093.87 1.00 0.87 0.3 9.49	370.4 167808.02 529996.64 1.10 0.43 0.3 4.64	430.2 167786.02 529962.23 0.10 0.09 0.3 0.95
251.3 167818.12 530129.56 0.40 0.44 0.3 4.80	311.1 167815.86 530093.00 0.80 0.87 0.3 9.47	371.1 167808.04 529996.22 0.60 0.42 0.3 4.62	430.5 167786.08 529962.16 0.80 0.05 0.3 0.54
251.7 167818.08 530129.99 1.00 0.42 0.3 4.92	311.4 167815.83 530092.13 0.40 0.87 0.3 9.46	371.4 167808.07 529995.79 1.10 0.42 0.3 4.61	430.8 167786.12 529962.10 0.60 0.16 0.3 1.80
252.0 167817.96 530130.41 1.10 0.41 0.3 4.45	311.7 167815.87 530091.27 0.70 0.87 0.3 9.45	371.7 167808.13 529995.38 1.30 0.29 0.3 3.22	431.2 167786.27 529962.07 0.20 0.13 0.3 1.45
252.3 167817.94 530130.80 0.40 0.39 0.3 4.90	312.0 167815.94 530090.40 1.50 0.57 0.3 9.44	371.9 167808.19 529995.00 1.00 0.35 0.3 6.03	431.5 167786.40 529962.04 0.90 0.05 0.3 1.64
252.6 167817.69 530131.16 0.90 0.19 0.3 2.10	312.4 167816.01 530089.54 1.40 0.72 0.3 9.41	372.1 167808.25 529994.55 1.20 0.43 0.3 4.66	431.8 167786.55 529962.01 0.70 0.17 0.3 1.83
253.0 167817.60 530131.39 0.50 0.19 0.3 2.08	312.7 167816.11 530088.83 1.00 1.02 0.3 11.10	372.4 167808.46 529994.14 0.30 0.43 0.3 4.70	432.2 167786.71 529961.99 0.50 0.18 0.3 2.00
253.3 167817.50 530131.59 0.30 0.49 0.3 5.34	313.1 167816.16 530088.03 0.60 0.87 0.3 9.46	372.7 167808.60 529993.74 0.30 0.43 0.3 4.73	432.5 167786.86 529961.96 0.80 0.20 0.3 2.16
253.6 167817.39 530131.65 1.40 0.21 0.3 2.31	313.4 167816.47 530086.98 1.20 0.43 0.3 4.71	373.1 167808.76 529993.34 1.10 0.87 0.3 9.53	432.8 167787.09 529961.97 0.30 0.43 0.3 4.73
253.9 167817.30 530131.65 1.40 0.21 0.3 2.31	313.7 167816.51 530086.27 1.40 0.43 0.3 9.19	373.4 167809.11 529992.95 0.50 0.88 0.3 9.36	433.1 167787.53 529961.83 0.70 0.52 0.3 2.78
254.3 167817.34 530131.93 0.80 0.19 0.3 2.09	314.0 167816.61 530085.99 0.30 0.29 0.3 3.21	373.8 167809.45 529991.73 0.80 0.87 0.3 9.51	433.5 167788.00 529961.93 0.70 0.50 0.3 5.44
254.6 167816.99 530132.06 1.20 0.39 0.3 4.28	314.4 167816.64 530085.70 0.10 0.43 0.3 4.70	374.1 167809.57 529991.32 0.70 0.43 0.3 4.72	433.8 167788.50 529961.91 0.70 0.51 0.3 5.59
254.9 167816.08 530132.29 0.30 0.41 0.3 4.54	314.7 167816.65 530085.27 1.40 0.43 0.3 9.40	374.4 167809.94 529990.51 1.20 0.59 0.3 6.44	434.1 167789.01 529961.83 0.70 0.52 0.3 5.68
255.3 167816.03 530132.50 0.60 0.42 0.3 4.60	315.0 167816.69 530084.84 0.70 0.43 0.3 4.71	374.7 167810.07 529989.94 1.40 0.27 0.3 2.94	434.5 167789.52 529961.77 0.50 0.26 0.3 2.80
255.6 167815.96 530132.69 0.30 0.47 0.3 4.55	315.3 167816.72 530084.41 1.50 0.43 0.3 9.46	375.1 167810.39 529989.66 0.40 0.43 0.3 4.68	434.8 167789.99 529961.70 1.00 0.25 0.3 2.78
255.9 167815.57 530132.89 1.10 0.45 0.3 4.87	315.7 167816.67 530083.54 1.40 0.87 0.3 9.49	375.4 167810.20 529989.25 1.40 0.43 0.3 4.68	435.1 167790.01 529961.50 1.50 0.25 0.3 2.75
256.3 167815.16 530133.07 1.20 0.46 0.3 4.96	316.0 167816.62 530082.67 0.20 1.74 0.3 19.00	375.7 167810.25 529988.82 0.20 0.43 0.3 4.70	435.5 167790.25 529961.56 1.20 0.25 0.3 2.72
256.6 167814.75 530133.29 1.10 0.42 0.3 5.09	316.3 167816.53 530081.83 0.60 0.87 0.3 9.46	376.1 167810.31 529988.40 0.60 0.43 0.3 4.74	435.8 167790.36 529961.38 0.80 0.20 0.3 2.16
256.9 167814.33 530133.47 1.00 0.46 0.3 4.96	316.7 167816.50 530080.07 1.50 0.43 0.3 9.41	376.4 167810.29 529987.96 0.30 0.43 0.3 4.74	436.1 167790.74 529961.32 1.00 0.19 0.3 2.11
257.3 167814.00 530133.65 1.10 0.47 0.3 5.11	317.1 167816.54 530079.20 1.40 0.43 0.3 9.46	376.7 167810.27 529987.53 0.40 0.43 0.3 4.74	436.4 167791.10 529961.26 1.00 0.20 0.3 2.11
257.6 167813.43 530134.02 0.70 0.34 0.3 3.73	317.3 167816.53 530078.72 0.20 0.43 0.3 4.70	377.1 167810.26 529986.66 1.00 0.88 0.3 9.57	436.8 167791.10 529961.07 1.00 0.24 0.3 2.67
257.9 167813.16 530134.23 0.40 0.23 0.3 2.51	317.6 167816.56 530078.77 1.20 0.50 0.3 5.41	377.4 167810.19 529985.78 0.20 1.16 0.3 12.61	437.1 167791.28 529960.90 1.40 0.25 0.3 2.68
258.3 167812.98 530134.38 0.50 0.23 0.3 2.46	318.0 167816.61 530078.28 0.70 0.80 0.3 8.72	377.7 167810.07 529984.83 0.80 1.46 0.3 15.89	437.4 167791.45 529960.84 0.70 0.25 0.3 2.68
258.6 167812.83 530134.54 0.60 0.22 0.3 2.38	318.3 167816.67 530077.49 0.60 0.83 0.3 9.08	378.0 167809.92 529983.18 0.90 0.86 0.3 9.38	437.8 167791.61 529960.54 0.70 0.25 0.3 2.69
258.9 167812.69 530134.75 0.30 0.47 0.3 4.56	318.6 167816.68 530077.06 0.10 0.46 0.3 4.70	378.3 167809.86 529982.66 0.40 0.43 0.3 4.68	438.1 167791.75 529960.47 0.70 0.25 0.3 2.70
259.2 167812.59 530134.89 1.10 0.27 0.3 2.34	319.0 167816.96 530076.22 1.00 0.43 0.3 4.70	378.7 167809.86 529981.46 1.50 0.43 0.3 4.71	438.4 167791.88 529960.13 0.70 0.25 0.3 2.70
259.6 167812.48 530135.14 0.90 0.13 0.3 1.43	319.3 167817.01 530075.79 0.50 0.86 0.3 9.40	379.0 167809.87 529981.03 0.40 0.43 0.3 4.74	438.8 167792.00 529959.91 1.10 0.25 0.3 2.70
259.9 167812.46 530135.29 1.30 0.23 0.3 2.77	319.6 167817.04 530075.45 1.20 0.28 0.3 4.83	379.3 167809.94 529980.57 1.50 0.43 0.3 4.80	439.2 167792.14 529959.63 1.20 0.25 0.3 2.80
260.2 167812.44 530135.47 0.50 0.20 0.3 2.21	320.0 167817.07 530075.06 0.80 0.87 0.3 9.46	379.7 167809.94 529980.16 0.30 0.44 0.3 4.83	439.4 167792.20 529959.46 1.40 0.24 0.3 2.67
260.6 167812.46 530135.69 0.20 0.22 0.3 2.30	320.3 167817.07 530074.67 0.30 0.87 0.3 9.46	380.0 167809.97 529979.73 0.30 0.44 0.3 4.80	439.7 167792.34 529959.28 1.40 0.24 0.3 2.67
260.9 167812.50 530135.88 0.10 0.22 0.3 2.37	320.6 167817.01 530073.23 1.20 1.47 0.3 19.34	380.4 167810.07 529979.42 0.10 0.59 0.3 6.46	440.1 167792.35 529959.00 0.60 0.24 0.3 2.61
261.2 167812.57 530136.08 0.20 0.22 0.3 2.45	320.9 167816.99 530072.56 0.50 0.84 0.3 9.16	380.7 167810.08 529979.07 0.40 0.57 0.3 6.03	440.4 167792.41 529958.76 0.70 0.24 0.3 2.57
261.6 167812.57 530136.29 0.20 0.22 0.3 2.45	321.2 167816.83 530069.55 1.50 0.86 0.3 9.43	381.0 167810.08 529978.66 0.20 0.57 0.3 6.03	440.7 167792.41 529958.51 0.70 0.24 0.3 2.57
261.9 167812.78 530136.49 0.50 0.24 0.3 2.61	321.6 167816.83 530068.55 1.50 0.86 0.3 9.43	381.3 167810.78 529978.63 1.30 0.43 0.3 4.74	441.1 167792.48 529958.30 0.50 0.23 0.3 2.45
262.3 167812.78 530136.69 0.50 0.24 0.3 2.61	321.9 167816.83 530067.55 1.50 0.86 0.3 9.43	381.6 167810.78 529978.21 0.40 0.43 0.3 4.74	441.4 167792.54 529958.08 0.50 0.23 0.3 2.45
262.6 167813.07 530136.87 1.50 0.25 0.3 2.71	322.3 167816.87 530067.13 0.40 0.29 0.3 3.20	381.9 167810.78 529977.79 0.70 0.41 0.3 4.45	441.7 167792.59 529957.86 0.80 0.21 0.3 2.31
262.9 167813.24 530137.06 0.60 0.25 0.3 2.73	322.6 167816.96 530066.82 1.30 0.57 0.3 6.20	382.3 167810.96 529975.38 0.50 0.39 0.3 4.30	442.1 167792.48 529957.65 0.10 0.23 0.3 2.23
263.3 167813.24 530137.26 0.60 0.25 0.3 2.73	322.9 167816.96 530066.42 1.30 0.57 0.3 6.20	382.6 167810.96 529974.98 0.28 0.19 0.3 4.30	442.4 167792.48 529957.44 0.10 0.23 0.3 2.23
263.6 167813.61 530137.39 1.00 0.35 0.3 3.86	323.3 167817.11 530065.42 0.40 0.87 0.3 9.46	383.0 167810.93 529974.80 0.70 0.16 0.3 1.72	442.7 167792.42 529957.25 0.10 0.19 0.3 2.05
263.9 167813.90 530137.59 1.00 0.35 0.3 3.86	323.6 167817.11 530065.02 0.40 0.87 0.3 9.46	383.3 167810.93 529974.40 0.70 0.16 0.3 1.72	443.1 167792.42 529957.04 0.10 0.19 0.3 2.05
264.3 167814.02 530137.79 1.00 0.35 0.3 3.86	323.9 167817.14 530063.72 0.70 0.87 0.3 9.45	383.6 167810.86 529974.42 0.40 0.19 0.3 2.06	443.4 167792.33 529956.86 0.80 0.23 0.3 2.50
264.6 167814.23 530137.78 0.80 0.24 0.3 2.63	324.3 167817.14 530062.87 1.50 0.87 0.3 9.45	384.0 167810.80 529973.99 0.40 0.19 0.3 2.06	443.7 167792.23 529956.75 1.40 0.17 0.3 1.82
264.9 167814.45 530137.78 0.80 0.24 0.3 2.63	324.6 167817.14 530062.47 1.50 0.87 0.3 9.45	384.3 167810.86 529973.59 0.40 0.19 0.3 2.06	444.1 167792.14 529956.64 1.40 0.17 0.3 1.82
265.3 167814.67 530137.97 0.20 0.24 0.3 2.57	324.9 167817.19 530061.16 0.40 0.43 0.3 4.69	384.6 167810.46 529973.55 0.10 0.40 0.3 3.35	444.4 167792.03 529956.49 1.00 0.16 0.3 1.77
265.6 167814.89 530138.15 0.20 0.24 0.3 2.57	325.3 167817.19 530060.76 0.40 0.43 0.3 4.69	384.9 167810.46 529973.15 0.22 0.40 0.3 3.35	444.7 167791.93 529956.30 1.00 0.16 0.3 1.77
265.9 167815.12 530138.10 1.20 0.23 0.3 2.56	325.6 167818.03 530060.44 0.30 0.56 0.3 3.12	385.3 167809.98 529972.90 0.40 0.42 0.3 4.63	445.0 167791.79 529956.27 0.80 0.16 0.3 1.80
266.3 167815.35 530138.10 0.80 0.24 0.3 2.57	325.9 167818.06 530059.88 0.90 0.43 0.3 4.69	385.6 167809.70 529972.58 0.50 0.44 0.3 4.74	445.4 167791.65 529956.18 1.10 0.17 0.3 1.84
266.6 167815.58 530138.10 0.80 0.24 0.3 2.57	326.3 167818.06 530059.45 0.90 0.43 0.3 4.69	385.9 167809.70 529972.17 1.50 0.43 0.3 4.80	445.7 167791.51 529956.07 1.20 0.17 0.3 1.84
266.9 167815.82 530138.20 0.20 0.24 0.3 2.59	326.6 167818.06 530059.02 0.20 0.43 0.3 4.70	386.3 167809.07 529971.96 0.40 0.93 0.3 10.11	446.0 167791.34 529955.04 0.80 0.18 0.3 1.95
267.3 167816.05 530138.20 0.20 0.24 0.3 2.59	326.9 167818.06 530058.59 0.20 0.43 0.3 4.70	386.6 167809.39 529971.55 0.40 0.93 0.3 10.11	446.3 167791.20 529954.83 0.80 0.18 0.3 1.95
267.6 167816.29 530138.19 1.20 0.24 0.3 2.63	327.2 167818.01 530058.16 1.70 0.43 0.3 4.72	386.9 167809.39 529971.14 0.40 0.93 0.3 10.11	446.6 167791.06 529954.62 0.80 0.18 0.3 1.95
267.9 167816.53 530138.18 1.10 0.49 0.3 5.03	327.6 167817.96 530057.75 0.80 0.43 0.3 4.73	387.3 167809.32 529970.73 0.40 0.93 0.3 10.11	446.9 167790.92 529954.41 0.80 0.18 0.3 1.95
268.3 167816.76 530138.18 1.10 0.49 0.3 5.03	327.9 167817.96 530057.35 0.80 0.43 0.3 4.73	387.6 167809.32 529970.32 0.40 0.93 0.3 10.11	447.3 167790.78 529954.20 0.80 0.18 0.3 1.95
268.6 167817.00 530138.18 1.10 0.49 0.3 5.03	328.2 167817.84 530056.87 0.40 0.44 0.3 4.70	387.9 167806.78 529969.73 1.30 0.60 0.3 6.57	447.6 167790.64 529954.00 0.80 0.18 0.3 1.95
268.9 167817.98 530138.18 1.10 0.49 0.3 5.03	328.5 167817.84 530056.47 0.40 0.44 0.3 4.70	388.3 167806.46 529969.32 1.30 0.60 0.3 6.57	447.9 167790.50 529953.79 0.80 0.18 0.3 1.95
269.3 167818.15 530137.63 1.50 0.52 0.3 5.61	328.9 167817.64 530056.02 0.80 0.44 0.3 4.85	388.6 167805.84 529968.91 1.20 0.52 0.3 10.05	448.3 167789.50 529953.59 1.40 0.49 0.3 5.36
269.6 167818.92 530137.40 0.50 0.53 0.3 5.73	329.2 167817.53 530055.59 1.40 0.44 0.3 4.81	388.9 167805.30 5299	

488.6	167779.24	529969.38	0.80	0.54	0.3	5.88	555.3	167732.29	530006.75	1.30	0.87	0.3	9.52	621.9	167638.73	530098.42	0.10	0.86	0.3	9.43	688.6	167547.92	530194.48	1.20	0.45	0.3	4.96
488.9	167790.68	529969.70	1.40	0.56	0.3	6.09	555.6	167731.86	530007.53	1.20	0.91	0.3	9.88	622.2	167638.14	530099.06	0.40	0.86	0.3	9.40	688.9	167547.76	530194.90	1.40	0.45	0.3	4.93
489.3	167780.13	529970.03	0.80	0.57	0.3	6.10	555.9	167731.49	530008.11	1.10	0.86	0.3	9.42	622.5	167638.78	530099.69	0.10	0.86	0.3	9.40	689.2	167547.60	530195.32	1.20	0.45	0.3	4.93
489.6	167780.59	529970.37	0.80	0.59	0.3	6.49	556.2	167731.01	530008.73	1.10	0.86	0.3	9.42	622.8	167638.42	530099.32	0.10	0.86	0.3	9.40	689.5	167547.44	530195.68	1.20	0.45	0.3	4.93
489.9	167781.07	529970.71	0.80	0.61	0.3	6.91	556.5	167730.53	530009.34	1.00	0.86	0.3	9.40	623.1	167638.06	530098.95	0.20	0.86	0.3	9.40	689.8	167547.28	530196.04	1.20	0.44	0.3	4.82
490.2	167781.54	529971.05	0.80	0.63	0.3	6.91	556.8	167730.05	530009.95	1.00	0.86	0.3	9.42	623.4	167638.70	530099.58	0.20	0.86	0.3	9.43	690.1	167547.12	530196.40	1.20	0.44	0.3	4.82
490.6	167782.02	529971.49	0.80	0.63	0.3	6.91	557.2	167729.57	530010.59	1.30	0.86	0.3	9.40	623.7	167638.34	530099.21	0.20	0.86	0.3	9.43	690.4	167546.96	530196.76	1.20	0.44	0.3	4.75
490.9	167782.50	529971.93	0.80	0.65	0.3	7.10	557.5	167729.10	530011.23	1.30	0.86	0.3	9.42	624.0	167637.98	530098.84	0.10	0.86	0.3	9.43	690.7	167546.80	530197.12	1.20	0.44	0.3	4.84
491.2	167782.97	529972.37	0.80	0.65	0.3	7.10	557.8	167728.63	530011.84	1.30	0.87	0.3	9.41	624.3	167637.62	530098.47	0.10	0.86	0.3	9.43	691.0	167546.64	530197.48	1.20	0.44	0.3	4.84
491.6	167783.45	529972.81	0.80	0.65	0.3	7.03	558.2	167728.15	530012.45	1.30	0.87	0.3	9.42	624.6	167637.26	530098.10	0.10	0.86	0.3	9.43	691.3	167546.48	530197.84	1.20	0.44	0.3	4.84
491.9	167783.93	529973.25	0.80	0.64	0.3	6.38	558.5	167727.68	530013.06	1.30	0.87	0.3	9.43	624.9	167636.90	530097.73	0.10	0.86	0.3	9.43	691.6	167546.32	530198.20	1.20	0.44	0.3	4.84
492.2	167784.41	529973.69	1.10	0.63	0.3	6.83	558.8	167727.20	530013.67	1.30	0.87	0.3	9.43	625.2	167636.54	530097.36	0.10	0.86	0.3	9.43	691.9	167546.16	530198.56	1.20	0.44	0.3	4.84
492.5	167784.89	529974.13	1.10	0.64	0.3	6.83	559.1	167726.73	530014.28	1.30	0.87	0.3	9.43	625.5	167636.18	530096.99	0.10	0.86	0.3	9.43	692.2	167546.00	530198.92	1.20	0.44	0.3	4.84
492.9	167785.37	529974.57	1.10	0.63	0.3	6.83	559.4	167726.25	530014.89	1.30	0.87	0.3	9.43	625.8	167635.82	530096.62	0.10	0.86	0.3	9.43	692.5	167545.84	530199.28	1.20	0.44	0.3	4.84
493.2	167785.85	529975.01	1.10	0.64	0.3	6.83	559.7	167725.78	530015.50	1.30	0.87	0.3	9.43	626.1	167635.46	530096.25	0.10	0.86	0.3	9.43	692.8	167545.68	530199.64	1.20	0.44	0.3	4.84
493.5	167786.33	529975.45	1.10	0.64	0.3	6.83	559.9	167725.30	530016.11	1.30	0.87	0.3	9.43	626.4	167635.10	530095.88	0.10	0.86	0.3	9.43	693.1	167545.52	530199.99	1.20	0.44	0.3	4.84
493.9	167786.81	529975.89	1.10	0.64	0.3	6.83	560.2	167724.83	530016.72	1.30	0.87	0.3	9.43	626.7	167634.74	530095.51	0.10	0.86	0.3	9.43	693.4	167545.36	530200.35	1.20	0.44	0.3	4.84
494.2	167787.29	529976.33	1.10	0.64	0.3	6.83	560.5	167724.35	530017.33	1.30	0.87	0.3	9.43	627.0	167634.38	530095.14	0.10	0.86	0.3	9.43	693.7	167545.20	530200.71	1.20	0.44	0.3	4.84
494.5	167787.77	529976.77	1.10	0.64	0.3	6.83	560.8	167723.88	530017.94	1.30	0.87	0.3	9.43	627.3	167634.02	530094.77	0.10	0.86	0.3	9.43	694.0	167545.04	530201.07	1.20	0.44	0.3	4.84
494.9	167788.25	529977.21	1.10	0.64	0.3	6.83	561.1	167723.40	530018.55	1.30	0.87	0.3	9.43	627.6	167633.66	530094.40	0.10	0.86	0.3	9.43	694.3	167544.88	530201.43	1.20	0.44	0.3	4.84
495.2	167788.73	529977.65	1.10	0.64	0.3	6.83	561.4	167722.93	530019.16	1.30	0.87	0.3	9.43	627.9	167633.30	530094.03	0.10	0.86	0.3	9.43	694.6	167544.72	530201.79	1.20	0.44	0.3	4.84
495.5	167789.21	529978.09	1.10	0.64	0.3	6.83	561.7	167722.45	530019.77	1.30	0.87	0.3	9.43	628.2	167632.94	530093.66	0.10	0.86	0.3	9.43	694.9	167544.56	530202.15	1.20	0.44	0.3	4.84
495.9	167789.69	529978.53	1.10	0.64	0.3	6.83	562.0	167721.98	530020.38	1.30	0.87	0.3	9.43	628.5	167632.58	530093.29	0.10	0.86	0.3	9.43	695.2	167544.40	530202.51	1.20	0.44	0.3	4.84
496.2	167790.17	529978.97	1.10	0.64	0.3	6.83	562.3	167721.50	530020.99	1.30	0.87	0.3	9.43	628.8	167632.22	530092.92	0.10	0.86	0.3	9.43	695.5	167544.24	530202.87	1.20	0.44	0.3	4.84
496.5	167790.65	529979.41	1.10	0.64	0.3	6.83	562.6	167721.03	530021.60	1.30	0.87	0.3	9.43	629.1	167631.86	530092.55	0.10	0.86	0.3	9.43	695.8	167544.08	530203.23	1.20	0.44	0.3	4.84
496.9	167791.13	529979.85	1.10	0.64	0.3	6.83	562.9	167720.55	530022.21	1.30	0.87	0.3	9.43	629.4	167631.50	530092.18	0.10	0.86	0.3	9.43	696.1	167543.92	530203.59	1.20	0.44	0.3	4.84
497.2	167791.61	529980.29	1.10	0.64	0.3	6.83	563.2	167720.08	530022.82	1.30	0.87	0.3	9.43	629.7	167631.14	530091.81	0.10	0.86	0.3	9.43	696.4	167543.76	530203.95	1.20	0.44	0.3	4.84
497.5	167792.09	529980.73	1.10	0.64	0.3	6.83	563.5	167719.60	530023.43	1.30	0.87	0.3	9.43	630.0	167630.78	530091.44	0.10	0.86	0.3	9.43	696.7	167543.60	530204.31	1.20	0.44	0.3	4.84
497.9	167792.57	529981.17	1.10	0.64	0.3	6.83	563.8	167719.13	530024.04	1.30	0.87	0.3	9.43	630.3	167630.42	530091.07	0.10	0.86	0.3	9.43	697.0	167543.44	530204.67	1.20	0.44	0.3	4.84
498.2	167793.05	529981.61	1.10	0.64	0.3	6.83	564.1	167718.65	530024.65	1.30	0.87	0.3	9.43	630.6	167630.06	530090.70	0.10	0.86	0.3	9.43	697.3	167543.28	530205.03	1.20	0.44	0.3	4.84
498.5	167793.53	529982.05	1.10	0.64	0.3	6.83	564.4	167718.18	530025.26	1.30	0.87	0.3	9.43	630.9	167629.70	530090.33	0.10	0.86	0.3	9.43	697.6	167543.12	530205.39	1.20	0.44	0.3	4.84
498.9	167794.01	529982.49	1.10	0.64	0.3	6.83	564.7	167717.70	530025.87	1.30	0.87	0.3	9.43	631.2	167629.34	530089.96	0.10	0.86	0.3	9.43	697.9	167542.96	530205.75	1.20	0.44	0.3	4.84
499.2	167794.49	529982.93	1.10	0.64	0.3	6.83	565.0	167717.23	530026.48	1.30	0.87	0.3	9.43	631.5	167628.98	530089.59	0.10	0.86	0.3	9.43	698.2	167542.80	530206.11	1.20	0.44	0.3	4.84
499.5	167794.97	529983.37	1.10	0.64	0.3	6.83	565.3	167716.75	530027.09	1.30	0.87	0.3	9.43	631.8	167628.62	530089.22	0.10	0.86	0.3	9.43	698.5	167542.64	530206.47	1.20	0.44	0.3	4.84
499.9	167795.45	529983.81	1.10	0.64	0.3	6.83	565.6	167716.28	530027.70	1.30	0.87	0.3	9.43	632.1	167628.26	530088.85	0.10	0.86	0.3	9.43	698.8	167542.48	530206.83	1.20	0.44	0.3	4.84
500.2	167795.93	529984.25	1.10	0.64	0.3	6.83	565.9	167715.80	530028.31	1.30	0.87	0.3	9.43	632.4	167627.90	530088.48	0.10	0.86	0.3	9.43	699.1	167542.32	530207.19	1.20	0.44	0.3	4.84
500.5	167796.41	529984.69	1.10	0.64	0.3	6.83	566.2	167715.33	530028.92	1.30	0.87	0.3	9.43	632.7	167627.54	530088.11	0.10	0.86	0.3	9.43	699.4	167542.16	530207.55	1.20	0.44	0.3	4.84
500.9	167796.89	529985.13	1.10	0.64	0.3	6.83	566.5	167714.85	530029.53	1.30	0.87	0.3	9.43	633.0	167627.18	530087.74	0.10	0.86	0.3	9.43	699.7	167542.00	530207.91	1.20	0.44	0.3	4.84
501.2	167797.37	529985.57	1.10	0.64	0.3	6.83	566.8	167714.38	530030.14	1.30	0.87	0.3	9.43	633.3	167626.82	530087.37	0.10	0.86	0.3	9.43	700.0	167541.84	530208.27	1.20	0.44	0.3	4.84
501.5	167797.85	529986.01	1.10	0.64	0.3	6.83	567.1	167713.90	530030.75	1.30	0.87	0.3	9.43	633.6	167626.46	530087.00	0.10	0.86	0.3	9.43	700.3	167541.68	530208.63	1.20	0.44	0.3	4.84
501.9	167798.33	529986.45	1.10	0.64	0.3	6.83	567.4	167713.43	530031.36	1.30	0.87	0.3	9.43	633.9	167626.10	530086.63	0.10	0.86	0.3	9.43	700.6	167541.52	530208.99	1.20	0.44	0.3	4.84
502.2	167798.81	529986.89	1.10	0.64	0.3	6.83	567.7	167712.95	530031.97	1.30	0.87	0.3	9.43	634.2	167625.74	5300											

7552	167548.64	530194.54	1.50	0.61	0.3	6.61
7556	167548.31	530195.04	0.20	0.62	0.3	6.72
7559	167547.97	530195.54	0.10	0.64	0.3	6.74
7562	167547.25	530196.57	0.20	0.62	0.3	6.74
7565	167546.89	530197.07	0.30	0.61	0.3	6.64
7568	167546.52	530197.58	0.30	0.61	0.3	6.64
7572	167546.15	530198.03	0.70	0.58	0.3	6.29
7575	167545.78	530198.54	0.70	0.58	0.3	6.29
7579	167545.43	530198.89	1.50	0.53	0.3	5.73
7582	167545.08	530199.28	0.90	0.49	0.3	5.38
7585	167544.74	530199.64	0.70	0.46	0.3	5.03
7589	167544.41	530199.96	0.70	0.21	0.3	2.33
7592	167544.08	530200.10	0.60	0.20	0.3	2.09
7595	167543.74	530200.23	1.20	0.19	0.3	2.09
7599	167543.44	530200.35	0.90	0.18	0.3	1.97
7602	167543.10	530200.45	0.90	0.18	0.3	1.97
7605	167542.76	530200.55	0.70	0.16	0.3	1.72
7608	167542.42	530200.65	0.70	0.16	0.3	1.72
7612	167543.39	530200.69	1.20	0.13	0.3	1.46
7615	167543.27	530200.74	1.30	0.12	0.3	1.33
7618	167543.15	530200.78	1.50	0.11	0.3	1.33
7622	167543.04	530200.80	0.60	0.10	0.3	1.14
7625	167542.92	530200.84	0.70	0.10	0.3	1.14
7628	167542.84	530200.79	1.10	0.09	0.3	1.03
7631	167542.75	530200.71	1.10	0.09	0.3	1.03
7635	167542.67	530200.71	1.00	0.10	0.3	1.08
7638	167542.59	530200.65	0.30	0.13	0.3	1.39
7641	167542.57	530200.55	0.40	0.13	0.3	1.39
7645	167542.47	530200.46	0.40	0.13	0.3	1.44
7648	167542.38	530200.33	0.30	0.15	0.3	1.55
7651	167542.38	530200.19	1.50	0.12	0.3	1.67
7655	167542.35	530200.04	1.30	0.17	0.3	1.90
7658	167542.33	530199.88	0.20	0.20	0.3	2.17
7661	167542.30	530199.48	1.50	0.21	0.3	2.17
7665	167542.30	530199.48	1.50	0.21	0.3	2.17
7668	167542.27	530199.40	0.40	0.43	0.3	4.25
7671	167542.29	530198.82	1.50	0.48	0.3	5.25
7674	167542.31	530198.30	0.40	0.43	0.3	4.25
7678	167542.34	530197.84	1.50	0.52	0.3	5.64
7681	167542.39	530197.32	1.50	0.53	0.3	5.64
7684	167542.49	530196.90	0.20	0.43	0.3	4.25
7688	167542.52	530196.40	0.60	0.72	0.3	7.84
7691	167542.60	530195.90	0.40	0.72	0.3	7.84
7694	167542.65	530195.47	0.90	0.44	0.3	4.85
7698	167542.70	530195.19	0.90	0.43	0.3	4.73
7701	167542.77	530194.90	0.40	0.43	0.3	4.73
7704	167542.84	530193.58	1.30	0.41	0.3	4.50
7707	167542.92	530193.05	1.40	0.40	0.3	4.48
7711	167543.01	530192.78	1.10	0.40	0.3	4.41
7714	167543.12	530192.50	1.20	0.28	0.3	3.05
7717	167543.21	530192.19	0.30	0.34	0.3	3.48
7721	167543.40	530191.63	1.10	0.41	0.3	4.49
7724	167543.49	530191.30	1.10	0.41	0.3	4.49
7727	167543.75	530190.88	1.30	0.42	0.3	4.58
7730	167543.95	530190.51	0.40	0.42	0.3	4.63
7734	167544.16	530190.15	0.40	0.43	0.3	4.73
7737	167544.40	530189.79	1.50	0.43	0.3	4.73
7740	167544.64	530189.43	1.50	0.43	0.3	4.73
7744	167544.90	530189.08	1.00	0.44	0.3	4.80
7747	167545.18	530188.73	1.50	0.44	0.3	4.84
7750	167545.46	530188.38	0.60	0.45	0.3	4.90
7754	167545.76	530188.06	0.60	0.45	0.3	4.90
7757	167546.07	530187.71	0.40	0.46	0.3	5.00
7760	167546.71	530187.10	0.80	0.91	0.3	9.91
7764	167547.38	530186.49	0.40	0.91	0.3	9.92
7767	167548.08	530185.91	0.40	1.19	0.3	12.54
7770	167549.01	530185.21	0.10	0.64	0.3	7.01
7773	167549.34	530184.79	0.40	0.64	0.3	7.01
7777	167550.28	530184.36	0.60	0.80	0.3	9.50
7780	167551.03	530183.90	1.00	0.87	0.3	9.50
7783	167551.79	530183.42	0.80	0.87	0.3	9.50
7787	167552.55	530183.04	0.20	0.86	0.3	9.44
7790	167553.31	530182.66	0.20	0.86	0.3	9.44
7793	167554.83	530181.83	1.20	1.71	0.3	18.65
7796	167556.34	530181.31	0.50	0.85	0.3	9.30
7800	167557.81	530180.17	0.70	0.74	0.3	8.11
7803	167558.44	530179.70	1.10	0.66	0.3	7.43
7807	167559.24	530179.23	0.50	0.86	0.3	9.36
7810	167559.94	530178.75	0.50	0.86	0.3	9.36
7813	167560.62	530178.27	0.20	0.85	0.3	9.32
7816	167561.28	530177.80	0.20	0.85	0.3	9.32
7819	167561.96	530177.32	0.40	0.87	0.3	9.45
7822	167562.62	530176.84	0.40	0.87	0.3	9.45
7825	167563.28	530176.36	0.10	0.87	0.3	9.45
7828	167563.94	530175.88	0.10	0.87	0.3	9.45
7831	167564.60	530175.40	0.20	0.87	0.3	9.45
7834	167565.26	530174.92	0.20	0.87	0.3	9.45
7837	167565.92	530174.44	0.20	0.87	0.3	9.45
7840	167566.58	530173.96	0.10	0.87	0.3	9.45
7843	167567.24	530173.48	0.10	0.87	0.3	9.45
7846	167567.90	530173.00	0.10	0.87	0.3	9.45
7849	167568.56	530172.52	0.10	0.87	0.3	9.45
7852	167569.22	530172.04	0.10	0.87	0.3	9.45
7855	167569.88	530171.56	0.10	0.87	0.3	9.45
7858	167570.54	530171.08	0.10	0.87	0.3	9.45
7861	167571.20	530170.60	0.10	0.87	0.3	9.45
7864	167571.86	530170.12	0.10	0.87	0.3	9.45
7867	167572.52	530169.64	0.10	0.87	0.3	9.45
7870	167573.18	530169.16	0.10	0.87	0.3	9.45
7873	167573.84	530168.68	0.10	0.87	0.3	9.45
7876	167574.50	530168.20	0.10	0.87	0.3	9.45
7879	167575.16	530167.72	0.10	0.87	0.3	9.45
7882	167575.82	530167.24	0.10	0.87	0.3	9.45
7885	167576.48	530166.76	0.10	0.87	0.3	9.45
7888	167577.14	530166.28	0.10	0.87	0.3	9.45
7891	167577.80	530165.80	0.10	0.87	0.3	9.45
7894	167578.46	530165.32	0.10	0.87	0.3	9.45
7897	167579.12	530164.84	0.10	0.87	0.3	9.45
7900	167579.78	530164.36	0.10	0.87	0.3	9.45
7903	167580.44	530163.88	0.10	0.87	0.3	9.45
7906	167581.10	530163.40	0.10	0.87	0.3	9.45
7909	167581.76	530162.92	0.10	0.87	0.3	9.45
7912	167582.42	530162.44	0.10	0.87	0.3	9.45
7915	167583.08	530161.96	0.10	0.87	0.3	9.45
7918	167583.74	530161.48	0.10	0.87	0.3	9.45
7921	167584.40	530161.00	0.10	0.87	0.3	9.45
7924	167585.06	530160.52	0.10	0.87	0.3	9.45
7927	167585.72	530160.04	0.10	0.87	0.3	9.45
7930	167586.38	530159.56	0.10	0.87	0.3	9.45
7933	167587.04	530159.08	0.10	0.87	0.3	9.45
7936	167587.70	530158.60	0.10	0.87	0.3	9.45
7939	167588.36	530158.12	0.10	0.87	0.3	9.45
7942	167589.02	530157.64	0.10	0.87	0.3	9.45
7945	167589.68	530157.16	0.10	0.87	0.3	9.45
7948	167590.34	530156.68	0.10	0.87	0.3	9.45
7951	167591.00	530156.20	0.10	0.87	0.3	9.45
7954	167591.66	530155.72	0.10	0.87	0.3	9.45
7957	167592.32	530155.24	0.10	0.87	0.3	9.45
7960	167592.98	530154.76	0.10	0.87	0.3	9.45
7963	167593.64	530154.28	0.10	0.87	0.3	9.45
7966	167594.30	530153.80	0.10	0.87	0.3	9.45
7969	167594.96	530153.32	0.10	0.87	0.3	9.45
7972	167595.62	530152.84	0.10	0.87	0.3	9.45
7975	167596.28	530152.36	0.10	0.87	0.3	9.45
7978	167596.94	530151.88	0.10	0.87	0.3	9.45
7981	167597.60	530151.40	0.10	0.87	0.3	9.45
7984	167598.26	530150.92	0.10	0.87	0.3	9.45
7987	167598.92	530150.44	0.10	0.87	0.3	9.45
7990	167599.58	530149.96	0.10	0.87	0.3	9.45
7993	167600.24	530149.48	0.10	0.87	0.3	9.45
7996	167600.90	530149.00	0.10	0.87	0.3	9.45
7999	167601.56	530148.52	0.10	0.87	0.3	9.45
8002	167602.22	530148.04	0.10	0.87	0.3	9.45
8005	167602.88	530147.56	0.10	0.87	0.3	9.45
8008	167603.54	530147.08	0.10	0.87	0.3	9.45
8011	167604.20	530146.60	0.10	0.87	0.3	9.45
8014	167604.86	530146.12	0.10	0.87	0.3	9.45
8017	167605.52	530145.64	0.10	0.87	0.3	9.45
8020	167606.18	530145.16	0.10	0.87	0.3	9.45
8023	167606.84	530144.68	0.10	0.87	0.3	9.45
8026	167607.50	530144.20	0.10	0.87	0.3	9.45
8029	167608.16	530143.72	0.10	0.87	0.3	9.45
8032	167608.82	530143.24	0.10	0.87	0.3	9.45
8035	167609.48	530142.76	0.10	0.87	0.3	9.45
8038	167610.14	530142.28	0.10	0.87	0.3	9.45
8041	167610.80	530141.80	0.10	0.87	0.3	9.45
8044	167611.46	530141.32	0.10	0.87	0.3	9.45
8047	167612.12	530140.84	0.10	0.87	0.3	9.45
8050	167612.78	530140.36	0.10	0.87	0.3	9.45
8053	167613.44	530139.88	0.10	0.87	0.3	9.45
8056	167614.10	530139				

52881. 167745.59 530007.14 0.90 0.40 0.3 4.38
52882. 167745.59 530006.74 0.50 0.32 0.3 3.45
52883. 167745.59 530006.74 0.50 0.32 0.3 3.45
52891. 167745.52 530006.11 1.50 0.65 0.3 7.04
52894. 167745.54 530005.46 0.90 0.65 0.3 7.13
52895. 167745.54 530005.46 0.90 0.65 0.3 7.13
52901. 167745.64 530004.15 1.00 0.66 0.3 4.19
52903. 167745.69 530004.15 1.00 0.66 0.3 4.19
52904. 167745.71 530004.84 0.80 0.33 0.3 3.55
52911. 167745.70 530002.52 0.80 0.32 0.3 3.54
52914. 167745.69 530002.19 0.32 0.32 0.3 3.54
52917. 167745.66 530001.87 0.70 0.34 0.3 4.72
52921. 167745.64 530001.44 0.20 0.31 0.3 4.72
52924. 167745.55 530001.23 1.20 0.32 0.3 4.72
52927. 167745.47 530001.92 0.60 0.33 0.3 4.72
52931. 167745.38 530001.61 0.60 0.33 0.3 4.72
52934. 167745.25 530001.41 0.70 0.33 0.3 3.58
52937. 167745.01 530001.01 1.50 0.33 0.3 3.58
52941. 167744.96 529999.72 0.20 0.33 0.3 3.62
52944. 167744.79 529999.43 0.40 0.33 0.3 3.62
52947. 167744.61 529999.15 1.30 0.34 0.3 3.62
52950. 167744.42 529998.87 0.70 0.34 0.3 3.68
52953. 167744.24 529998.61 0.60 0.34 0.3 3.68
52956. 167744.06 529998.35 1.40 0.34 0.3 3.70
52959. 167743.88 529998.08 1.00 0.34 0.3 3.72
52962. 167743.70 529997.82 1.10 0.34 0.3 3.72
52965. 167743.52 529997.56 1.10 0.34 0.3 3.72
52968. 167743.34 529997.30 1.10 0.34 0.3 3.72
52971. 167743.16 529997.04 1.40 0.34 0.3 3.72
52974. 167742.98 529996.78 1.40 0.34 0.3 3.72
52977. 167742.80 529996.52 1.40 0.34 0.3 3.72
52980. 167742.62 529996.26 1.40 0.34 0.3 3.72
52983. 167742.44 529996.00 1.40 0.34 0.3 3.72
52986. 167742.26 529995.74 1.40 0.34 0.3 3.72
52989. 167742.08 529995.48 1.40 0.34 0.3 3.72
52992. 167741.90 529995.22 1.40 0.34 0.3 3.72
52995. 167741.72 529994.96 1.40 0.34 0.3 3.72
52998. 167741.54 529994.70 1.40 0.34 0.3 3.72
53001. 167741.36 529994.44 1.40 0.34 0.3 3.72
53004. 167741.18 529994.18 1.40 0.34 0.3 3.72
53007. 167741.00 529993.92 1.40 0.34 0.3 3.72
53010. 167740.82 529993.66 1.40 0.34 0.3 3.72
53013. 167740.64 529993.40 1.40 0.34 0.3 3.72
53016. 167740.46 529993.14 1.40 0.34 0.3 3.72
53019. 167740.28 529992.88 1.40 0.34 0.3 3.72
53022. 167740.10 529992.62 1.40 0.34 0.3 3.72
53025. 167739.92 529992.36 1.40 0.34 0.3 3.72
53028. 167739.74 529992.10 1.40 0.34 0.3 3.72
53031. 167739.56 529991.84 1.40 0.34 0.3 3.72
53034. 167739.38 529991.58 1.40 0.34 0.3 3.72
53037. 167739.20 529991.32 1.40 0.34 0.3 3.72
53040. 167739.02 529991.06 1.40 0.34 0.3 3.72
53043. 167738.84 529990.80 1.40 0.34 0.3 3.72
53046. 167738.66 529990.54 1.40 0.34 0.3 3.72
53049. 167738.48 529990.28 1.40 0.34 0.3 3.72
53052. 167738.30 529990.02 1.40 0.34 0.3 3.72
53055. 167738.12 529989.76 1.40 0.34 0.3 3.72
53058. 167737.94 529989.50 1.40 0.34 0.3 3.72
53061. 167737.76 529989.24 1.40 0.34 0.3 3.72
53064. 167737.58 529988.98 1.40 0.34 0.3 3.72
53067. 167737.40 529988.72 1.40 0.34 0.3 3.72
53070. 167737.22 529988.46 1.40 0.34 0.3 3.72
53073. 167737.04 529988.20 1.40 0.34 0.3 3.72
53076. 167736.86 529987.94 1.40 0.34 0.3 3.72
53079. 167736.68 529987.68 1.40 0.34 0.3 3.72
53082. 167736.50 529987.42 1.40 0.34 0.3 3.72
53085. 167736.32 529987.16 1.40 0.34 0.3 3.72
53088. 167736.14 529986.90 1.40 0.34 0.3 3.72
53091. 167735.96 529986.64 1.40 0.34 0.3 3.72
53094. 167735.78 529986.38 1.40 0.34 0.3 3.72
53097. 167735.60 529986.12 1.40 0.34 0.3 3.72
53100. 167735.42 529985.86 1.40 0.34 0.3 3.72
53103. 167735.24 529985.60 1.40 0.34 0.3 3.72
53106. 167735.06 529985.34 1.40 0.34 0.3 3.72
53109. 167734.88 529985.08 1.40 0.34 0.3 3.72
53112. 167734.70 529984.82 1.40 0.34 0.3 3.72
53115. 167734.52 529984.56 1.40 0.34 0.3 3.72
53118. 167734.34 529984.30 1.40 0.34 0.3 3.72
53121. 167734.16 529984.04 1.40 0.34 0.3 3.72
53124. 167733.98 529983.78 1.40 0.34 0.3 3.72
53127. 167733.80 529983.52 1.40 0.34 0.3 3.72
53130. 167733.62 529983.26 1.40 0.34 0.3 3.72
53133. 167733.44 529983.00 1.40 0.34 0.3 3.72
53136. 167733.26 529982.74 1.40 0.34 0.3 3.72
53139. 167733.08 529982.48 1.40 0.34 0.3 3.72
53142. 167732.90 529982.22 1.40 0.34 0.3 3.72
53145. 167732.72 529981.96 1.40 0.34 0.3 3.72
53148. 167732.54 529981.70 1.40 0.34 0.3 3.72
53151. 167732.36 529981.44 1.40 0.34 0.3 3.72
53154. 167732.18 529981.18 1.40 0.34 0.3 3.72
53157. 167732.00 529980.92 1.40 0.34 0.3 3.72
53160. 167731.82 529980.66 1.40 0.34 0.3 3.72
53163. 167731.64 529980.40 1.40 0.34 0.3 3.72
53166. 167731.46 529980.14 1.40 0.34 0.3 3.72
53169. 167731.28 529979.88 1.40 0.34 0.3 3.72
53172. 167731.10 529979.62 1.40 0.34 0.3 3.72
53175. 167730.92 529979.36 1.40 0.34 0.3 3.72
53178. 167730.74 529979.10 1.40 0.34 0.3 3.72
53181. 167730.56 529978.84 1.40 0.34 0.3 3.72
53184. 167730.38 529978.58 1.40 0.34 0.3 3.72
53187. 167730.20 529978.32 1.40 0.34 0.3 3.72
53190. 167730.02 529978.06 1.40 0.34 0.3 3.72
53193. 167729.84 529977.80 1.40 0.34 0.3 3.72
53196. 167729.66 529977.54 1.40 0.34 0.3 3.72
53199. 167729.48 529977.28 1.40 0.34 0.3 3.72
53202. 167729.30 529977.02 1.40 0.34 0.3 3.72
53205. 167729.12 529976.76 1.40 0.34 0.3 3.72
53208. 167728.94 529976.50 1.40 0.34 0.3 3.72
53211. 167728.76 529976.24 1.40 0.34 0.3 3.72
53214. 167728.58 529975.98 1.40 0.34 0.3 3.72
53217. 167728.40 529975.72 1.40 0.34 0.3 3.72
53220. 167728.22 529975.46 1.40 0.34 0.3 3.72
53223. 167728.04 529975.20 1.40 0.34 0.3 3.72
53226. 167727.86 529974.94 1.40 0.34 0.3 3.72
53229. 167727.68 529974.68 1.40 0.34 0.3 3.72
53232. 167727.50 529974.42 1.40 0.34 0.3 3.72
53235. 167727.32 529974.16 1.40 0.34 0.3 3.72
53238. 167727.14 529973.90 1.40 0.34 0.3 3.72
53241. 167726.96 529973.64 1.40 0.34 0.3 3.72
53244. 167726.78 529973.38 1.40 0.34 0.3 3.72
53247. 167726.60 529973.12 1.40 0.34 0.3 3.72
53250. 167726.42 529972.86 1.40 0.34 0.3 3.72
53253. 167726.24 529972.60 1.40 0.34 0.3 3.72
53256. 167726.06 529972.34 1.40 0.34 0.3 3.72
53259. 167725.88 529972.08 1.40 0.34 0.3 3.72
53262. 167725.70 529971.82 1.40 0.34 0.3 3.72
53265. 167725.52 529971.56 1.40 0.34 0.3 3.72
53268. 167725.34 529971.30 1.40 0.34 0.3 3.72
53271. 167725.16 529971.04 1.40 0.34 0.3 3.72
53274. 167724.98 529970.78 1.40 0.34 0.3 3.72
53277. 167724.80 529970.52 1.40 0.34 0.3 3.72
53280. 167724.62 529970.26 1.40 0.34 0.3 3.72
53283. 167724.44 529970.00 1.40 0.34 0.3 3.72
53286. 167724.26 529969.74 1.40 0.34 0.3 3.72
53289. 167724.08 529969.48 1.40 0.34 0.3 3.72
53292. 167723.90 529969.22 1.40 0.34 0.3 3.72
53295. 167723.72 529968.96 1.40 0.34 0.3 3.72
53298. 167723.54 529968.70 1.40 0.34 0.3 3.72
53301. 167723.36 529968.44 1.40 0.34 0.3 3.72
53304. 167723.18 529968.18 1.40 0.34 0.3 3.72
53307. 167723.00 529967.92 1.40 0.34 0.3 3.72
53310. 167722.82 529967.66 1.40 0.34 0.3 3.72
53313. 167722.64 529967.40 1.40 0.34 0.3 3.72
53316. 167722.46 529967.14 1.40 0.34 0.3 3.72
53319. 167722.28 529966.88 1.40 0.34 0.3 3.72
53322. 167722.10 529966.62 1.40 0.34 0.3 3.72
53325. 167721.92 529966.36 1.40 0.34 0.3 3.72
53328. 167721.74 529966.10 1.40 0.34 0.3 3.72
53331. 167721.56 529965.84 1.40 0.34 0.3 3.72
53334. 167721.38 529965.58 1.40 0.34 0.3 3.72
53337. 167721.20 529965.32 1.40 0.34 0.3 3.72
53340. 167721.02 529965.06 1.40 0.34 0.3 3.72
53343. 167720.84 529964.80 1.40 0.34 0.3 3.72
53346. 167720.66 529964.54 1.40 0.34 0.3 3.72
53349. 167720.48 529964.28 1.40 0.34 0.3 3.72
53352. 167720.30 529964.02 1.40 0.34 0.3 3.72
53355. 167720.12 529963.76 1.40 0.34 0.3 3.72
53358. 167719.94 529963.50 1.40 0.34 0.3 3.72
53361. 167719.76 529963.24 1.40 0.34 0.3 3.72
53364. 167719.58 529962.98 1.40 0.34 0.3 3.72
53367. 167719.40 529962.72 1.40 0.34 0.3 3.72
53370. 167719.22 529962.46 1.40 0.34 0.3 3.72
53373. 167719.04 529962.20 1.40 0.34 0.3 3.72
53376. 167718.86 529961.94 1.40 0.34 0.3 3.72
53379. 167718.68 529961.68 1.40 0.34 0.3 3.72
53382. 167718.50 529961.42 1.40 0.34 0.3 3.72
53385. 167718.32 529961.16 1.40 0.34 0.3 3.72
53388. 167718.14 529960.90 1.40 0.34 0.3 3.72
53391. 167717.96 529960.64 1.40 0.34 0.3 3.72
53394. 167717.78 529960.38 1.40 0.34 0.3 3.72
53397. 167717.60 529960.12 1.40 0.34 0.3 3.72
53400. 167717.42 529959.86 1.40 0.34 0.3 3.72
53403. 167717.24 529959.60 1.40 0.34 0.3 3.72
53406. 167717.06 529959.34 1.40 0.34 0.3 3.72
53409. 167716.88 529959.08 1.40 0.34 0.3 3.72
53412. 167716.70 529958.82 1.40 0.34 0.3 3.72
53415. 167716.52 529958.56 1.40 0.34 0.3 3.72
53418. 167716.34 529958.30 1.40 0.34 0.3 3.72
53421. 167716.16 529958.04 1.40 0.34 0.3 3.72
53424. 167715.98 529957.78 1.40 0.34 0.3 3.72
53427. 167715.80 529957.52 1.40 0.34 0.3 3.72
53430. 167715.62 529957.26 1.40 0.34 0.3 3.72
53433. 167715.44 529957.00 1.40 0.34 0.3 3.72
53436. 167715.26 529956.74 1.40 0.34 0.3 3.72
53439. 167715.08 529956.48 1.40 0.34 0.3 3.72
53442. 167714.90 529956.22 1.40 0.34 0.3 3.72
53445. 167714.72 529955.96 1.40 0.34 0.3 3.72
53448. 167714.54 529955.70 1.40 0.34 0.3 3.72
53451. 167714.36 529955.44 1.40 0.34 0.3 3.72
53454. 167714.18 529955.18 1.40 0.34 0.3 3.72
53457. 167714.00 529954.92 1.40 0.34 0.3 3.72
53460. 167713.82 529954.66 1.40 0.34 0.3 3.72
53463. 167713.64 529954.40 1.40 0.34 0.3 3.72
53466. 167713.46 529954.14 1.40 0.34 0.3 3.72
53469. 167713.28 529953.88 1.40 0.34 0.3 3.72
53472. 167713.10 529953.62 1.40 0.34 0.3 3.72
53475. 167712.92 529953.36 1.40 0.34 0.3 3.72
53478. 167712.74 529953.10 1.40 0.34 0.3 3.72
53481. 167712.56 529952.84 1.40 0.34 0.3 3.72
53484. 167712.38 529952.58 1.40 0.34 0.3 3.72
53487. 167712.20 529952.32 1.40 0.34 0.3 3.72
53490. 167712.02 529952.06 1.40 0.34 0.3 3.72
53493. 167711.84 529951.80 1.40 0.34 0.3 3.72
53496. 167711.66 529951.54 1.40 0.34 0.3 3.72
53499. 167711.48 529951.28 1.40 0.34 0.3 3.72
53502. 167711.30 529951.02 1.40 0.34 0.3 3.72
53505. 167711.12 529950.76 1.40 0.34 0.3 3.72
53508. 167710.94 529950.50 1.40 0.34 0.3 3.72
53511. 167710.76 529950.24 1.40 0.34 0.3 3.72
53514. 167710.58 529950.00 1.40 0.34 0.3 3.72
53517. 167710.40 529949.74 1.40 0.34 0.3 3.72
53520. 167710.22 529949.50 1.40 0.34 0.3 3.72
53523. 167710.04 529949.24 1.40 0.34 0.3 3.72
53526. 167709.86 529949.00 1.40 0.34 0.3 3.72
53529. 167709.68 529948.74 1.40 0.34 0.3 3.72
53532. 167709.50 529948.50 1.40 0.34 0.3 3.72
53535. 167709.32 529948.24 1.40 0.34 0.3 3.72
53538. 167709.14 529948.00 1.40 0.34 0.3 3.72
53541. 167708.96 529947.74 1.40 0.34 0.3 3.72
53544. 167708.78 529947.50 1.40 0.34 0.3 3.72
53547. 167708.60 529947.24 1.40 0.34 0.3 3.72
53550. 167708.42 529947.00 1.40 0.34 0.3 3.72
53553. 167708.24 529946.74 1.40 0.34 0.3 3.72
53556. 167708.06 529946.50 1.40 0.34 0.3 3.72
53559. 167707.88 529946.24 1.40 0.34 0.3 3.72
53562. 167707.70 529946.00 1.40 0.34 0.3 3.72
53565. 167707.52 529945.74 1.40 0.34 0.3 3.72
53568. 167707.34 529945.50 1.40 0.34 0.3 3.72
53571. 167707.16 529945.24 1.40 0.34 0.3 3.72
53574. 167706.98 529945.00 1.40 0.34 0.3 3.72
53577. 167706.80 529944.74 1.40 0.34 0.3 3.72
53580. 167706.62 529944.50 1.40 0.34 0.3 3.72
53583. 167706.44 529944.24 1.40 0.34 0.3 3.72
53586. 167706.26 529944.00 1.40 0.34 0.3 3.72
53589. 167706.08 529943.74 1.40 0.34 0.3 3.72
53592. 167705.90 529943.50 1.40 0.34 0.3 3.72
53595. 167705.72 529943.24 1.40 0.34 0.3 3.72
53598. 167705.54 529943.00 1.40 0.34 0.3 3.72
53601. 167705.36 529942.74 1.40 0.34 0.3 3.72
53604. 167705.18 529942.50 1.40 0.34 0.3 3.72
53607. 167705.00 529942.24 1.40 0.34 0.3 3.72
53610. 167704.82 529942.00 1.40 0.34 0.3 3.72
53613. 167704.64 529941.74 1.40 0.34 0.3 3.72
53616. 167704.46 529941.50 1.40 0.34 0.3 3.72
53619. 167704.28 529941.24 1.40 0.34 0.3 3.72
53622. 167704.10 529941.00 1.40 0.34 0.3 3.72
53625. 167703.92 529940.74 1.40 0.34 0.3 3.72
53628. 167703.74 529940.50 1.40 0.34 0.3 3.72
53631. 167703.56 529940.24 1.40 0.34 0.3 3.72
53634. 167703.38 529940.00 1.40 0.34 0.3 3.72
53637. 167703.20 529939.74 1.40 0.34 0.3 3.72
53640. 167703.02 529939.50 1.40 0.34 0.3 3.72
53643. 167702.84 529939.24 1.40 0.34 0.3 3.72
53646. 167702.66 529939.00 1.40 0.34 0.3 3.72
53649. 167702.48 529938.74 1.40 0.34 0.3 3.72
53652. 167702.30 529938.50 1.40 0.34 0.3 3.72
53655. 167702.12 529938.24 1.40 0.34 0.3 3.72
53658. 167701.94 529938.00 1.40 0.34 0.3 3.72
53661. 167701.76 529937.74 1.40 0.34 0.3 3.72
53664. 167701.58 529937.50 1.40 0.34 0.3 3.72
53667. 167701.40 529937.24 1.40 0.34 0.3 3.72
53670. 167701.22 529937.00 1.40 0.34 0.3 3.72
53673. 167701.04 529936.74 1.40 0.34 0.3 3.

부록 3. GPS에코사운드 측정 데이터 2

항목	time	TMx	TMy	TMz	dist	deltat	velo_kmh
설명	시간	X좌표	Y좌표	Z좌표	지점간거리	지점간시간	운행속도(Km/h)
평균값							4.72

time TMx TMy TMz dist deltat velo_kmh	309.4 167816.37 530097.32 0.90 0.87 0.3 9.51	369.1 167808.12 529999.25 0.60 0.88 0.3 9.61	428.9 167786.00 529962.58 0.10 0.10 0.3 1.13
250.0 167818.19 530127.67 0.30 0.48 0.3 5.34	309.7 167816.52 530096.46 0.80 0.88 0.3 7.42	369.1 167808.06 529999.37 1.00 0.83 0.3 9.53	429.2 167785.37 529962.41 0.40 0.09 0.3 0.92
250.1 167818.19 530128.16 0.30 0.48 0.3 5.24	310.1 167816.11 530095.79 1.10 1.06 0.3 11.59	369.8 167808.02 529997.50 1.40 0.43 0.3 4.70	429.5 167785.96 529962.38 1.20 0.08 0.3 0.01
250.7 167818.19 530128.04 0.70 0.47 0.3 5.11	310.4 167815.98 530094.74 0.40 0.87 0.3 9.50	370.1 167808.01 529997.07 0.30 0.43 0.3 4.67	429.9 167785.98 529962.30 0.40 0.08 0.3 0.90
251.0 167818.16 530129.11 1.10 0.46 0.3 4.97	310.7 167815.91 530093.87 1.00 0.87 0.3 9.49	370.4 167808.02 529996.64 1.10 0.43 0.3 4.64	430.2 167786.02 529962.23 0.10 0.09 0.3 0.95
251.3 167818.12 530129.56 0.40 0.44 0.3 4.80	311.1 167815.86 530093.00 0.80 0.87 0.3 9.47	371.1 167808.04 529996.22 0.60 0.42 0.3 4.62	430.5 167786.08 529962.16 0.80 0.05 0.3 0.54
251.7 167818.08 530129.99 1.00 0.42 0.3 4.62	311.4 167815.83 530092.13 0.40 0.87 0.3 9.46	371.4 167808.07 529995.79 1.10 0.42 0.3 4.61	430.8 167786.12 529962.10 0.60 0.16 0.3 1.80
252.0 167817.96 530130.41 1.10 0.41 0.3 4.45	311.7 167815.87 530091.27 0.70 0.87 0.3 9.45	371.7 167808.13 529995.38 1.30 0.29 0.3 3.22	431.2 167786.27 529962.07 0.20 0.13 0.3 1.45
252.3 167817.91 530130.80 0.39 0.43 0.3 4.50	312.0 167815.94 530090.40 1.50 0.87 0.3 9.44	371.9 167808.19 529995.00 1.00 0.35 0.3 6.03	431.5 167786.40 529962.04 0.90 0.03 0.3 1.64
252.6 167817.69 530131.16 0.90 0.19 0.3 2.10	312.4 167816.01 530089.54 1.40 0.72 0.3 9.41	372.1 167808.25 529994.55 1.20 0.43 0.3 4.66	431.8 167786.55 529962.01 0.70 0.17 0.3 1.83
253.0 167817.60 530131.39 0.50 0.19 0.3 2.08	312.7 167816.11 530088.83 0.10 1.02 0.3 11.10	372.4 167808.46 529994.14 0.30 0.43 0.3 4.70	432.2 167786.71 529961.99 0.50 0.18 0.3 2.00
253.3 167817.50 530131.49 0.70 0.14 0.3 2.17	313.0 167816.38 530088.03 0.60 0.87 0.3 9.45	372.7 167808.60 529993.74 0.30 0.43 0.3 4.73	432.5 167786.86 529961.96 0.80 0.20 0.3 2.16
253.6 167817.39 530131.65 1.40 0.21 0.3 2.31	313.4 167816.47 530086.98 1.20 0.43 0.3 4.71	373.1 167808.76 529993.34 1.10 0.87 0.3 9.53	432.8 167787.09 529961.97 0.30 0.43 0.3 4.73
254.0 167817.31 530131.81 0.30 0.41 0.3 4.54	314.3 167816.65 530085.27 1.40 0.83 0.3 9.70	373.4 167809.01 529992.95 0.30 0.88 0.3 9.36	433.1 167787.53 529961.83 0.70 0.52 0.3 2.78
254.3 167817.34 530131.93 0.80 0.19 0.3 2.09	314.0 167816.61 530085.99 0.30 0.29 0.3 3.21	373.8 167809.45 529991.73 0.80 0.87 0.3 9.51	433.5 167788.00 529961.93 0.70 0.50 0.3 5.44
254.6 167816.99 530132.06 1.20 0.39 0.3 4.28	314.4 167816.64 530085.70 0.10 0.43 0.3 4.72	374.1 167809.77 529991.32 0.70 0.43 0.3 4.72	433.8 167788.06 529961.91 0.70 0.51 0.3 5.59
254.9 167816.68 530132.29 0.30 0.41 0.3 4.55	314.7 167816.65 530085.27 1.40 0.83 0.3 9.70	374.4 167809.94 529990.93 1.20 0.59 0.3 6.44	434.1 167788.01 529961.83 0.70 0.52 0.3 4.73
255.3 167816.33 530132.50 0.60 0.42 0.3 4.60	315.0 167816.69 530084.84 0.70 0.43 0.3 4.71	374.7 167810.07 529989.94 1.40 0.27 0.3 2.94	434.5 167788.52 529961.77 0.50 0.26 0.3 2.80
255.6 167815.96 530132.79 0.30 0.47 0.3 4.54	315.3 167816.72 530084.41 0.10 0.46 0.3 9.46	375.1 167810.26 529989.66 0.40 0.43 0.3 4.68	434.8 167788.57 529961.75 1.00 0.25 0.3 2.78
255.9 167815.57 530132.89 1.10 0.45 0.3 4.87	315.7 167816.67 530083.54 1.40 0.87 0.3 9.49	375.4 167810.20 529989.25 1.40 0.43 0.3 4.68	435.1 167790.01 529961.56 1.50 0.25 0.3 2.75
256.3 167815.16 530133.07 1.20 0.46 0.3 4.96	316.0 167816.62 530082.67 0.20 1.74 0.3 19.00	375.7 167810.25 529988.82 0.20 0.43 0.3 4.70	435.5 167790.25 529961.56 1.20 0.25 0.3 2.72
256.6 167814.75 530133.39 1.10 0.42 0.3 4.50	316.3 167816.53 530081.83 0.60 0.87 0.3 9.46	376.1 167810.31 529988.40 0.60 0.43 0.3 4.74	435.8 167790.36 529961.56 1.20 0.30 0.3 2.69
256.9 167814.33 530133.47 1.00 0.46 0.3 4.06	316.7 167816.50 530080.07 1.50 0.43 0.3 4.71	376.4 167810.29 529987.96 0.30 0.43 0.3 4.74	436.1 167790.74 529961.32 1.00 0.19 0.3 2.11
257.3 167814.16 530133.69 0.30 0.43 0.3 4.47	317.0 167816.54 530079.64 1.40 0.87 0.3 9.49	376.7 167810.37 529987.54 0.70 0.43 0.3 4.74	436.4 167791.09 529961.32 1.00 0.30 0.3 2.67
257.6 167813.43 530134.02 0.70 0.34 0.3 3.73	317.3 167816.55 530079.20 0.10 0.43 0.3 4.70	377.1 167810.26 529986.66 1.30 0.88 0.3 9.57	436.8 167791.10 529961.07 1.00 0.24 0.3 2.67
257.9 167813.16 530134.22 0.70 0.23 0.3 3.73	317.6 167816.56 530078.77 1.20 0.50 0.3 5.41	377.4 167810.19 529985.78 0.20 1.16 0.3 12.61	437.1 167791.28 529960.90 1.40 0.25 0.3 2.68
258.3 167812.98 530134.38 0.50 0.23 0.3 2.46	318.0 167816.61 530078.28 0.70 0.80 0.3 8.72	377.7 167810.07 529984.83 0.80 1.46 0.3 15.89	437.4 167791.45 529960.88 0.70 0.25 0.3 2.68
258.6 167812.83 530134.54 0.60 0.22 0.3 2.38	318.3 167816.75 530077.49 0.60 0.83 0.3 9.08	378.0 167809.92 529983.18 0.90 0.86 0.3 9.38	437.8 167791.61 529960.54 0.70 0.25 0.3 2.69
258.9 167812.69 530134.79 0.30 0.47 0.3 4.56	318.6 167816.84 530076.98 0.10 0.46 0.3 9.46	378.3 167809.96 529982.81 0.40 0.43 0.3 4.69	438.1 167791.75 529960.54 0.70 0.25 0.3 2.69
259.2 167812.59 530134.89 1.10 0.27 0.3 2.34	319.0 167816.96 530076.22 1.00 0.43 0.3 4.70	378.7 167809.87 529982.46 1.50 0.43 0.3 4.71	438.4 167791.88 529960.13 0.70 0.25 0.3 2.70
259.6 167812.48 530135.14 0.30 0.13 0.3 1.43	319.3 167817.01 530075.79 0.50 0.86 0.3 9.46	379.0 167809.87 529981.03 0.40 0.43 0.3 4.74	438.8 167792.00 529959.91 1.10 0.25 0.3 2.70
259.9 167812.46 530135.39 1.40 0.23 0.3 2.17	319.6 167817.04 530075.45 1.20 0.88 0.3 9.43	379.3 167809.94 529980.60 0.30 0.43 0.3 4.83	439.2 167792.14 529959.68 0.70 0.25 0.3 2.69
260.2 167812.44 530135.65 0.50 0.20 0.3 2.21	320.0 167817.07 530074.06 0.80 0.87 0.3 9.40	379.7 167809.94 529980.16 0.30 0.43 0.3 4.83	439.4 167792.20 529959.46 1.40 0.24 0.3 2.67
260.6 167812.46 530135.86 0.30 0.23 0.3 2.46	320.3 167817.07 530073.64 1.40 0.87 0.3 9.49	379.9 167810.07 529979.73 0.70 0.43 0.3 4.74	439.7 167792.35 529959.23 0.70 0.25 0.3 2.67
260.9 167812.50 530135.88 0.10 0.22 0.3 2.37	320.6 167817.01 530072.33 1.20 1.07 0.3 19.34	380.4 167810.07 529979.42 0.10 0.59 0.3 6.46	440.1 167792.35 529959.00 0.60 0.24 0.3 2.61
261.2 167812.57 530135.98 0.22 0.23 0.3 2.45	320.9 167816.99 530071.56 0.50 0.84 0.3 9.16	380.7 167810.20 529978.84 1.30 1.84 0.3 20.05	440.4 167792.41 529958.76 0.70 0.24 0.3 2.67
261.6 167812.69 530136.29 0.10 0.23 0.3 2.45	321.3 167816.88 530069.42 0.40 0.87 0.3 9.43	381.0 167810.08 529977.40 0.37 0.19 0.3 4.37	440.7 167792.41 529958.56 1.20 0.19 0.3 2.67
261.9 167812.78 530136.49 0.50 0.24 0.3 2.61	321.6 167816.83 530068.55 1.50 0.86 0.3 9.43	381.3 167810.78 529976.63 1.30 0.43 0.3 4.74	441.1 167792.48 529958.30 0.50 0.23 0.3 2.45
262.3 167812.90 530136.69 0.30 0.23 0.3 2.46	321.9 167816.88 530067.68 0.10 0.87 0.3 9.46	381.6 167810.95 529975.81 0.20 0.43 0.3 4.74	441.4 167792.53 529958.07 0.70 0.25 0.3 2.67
262.6 167813.07 530136.87 1.50 0.25 0.3 2.31	322.3 167816.87 530067.13 0.40 0.29 0.3 3.20	381.9 167810.93 529975.39 0.70 0.41 0.3 4.45	441.7 167792.49 529957.86 0.80 0.21 0.3 2.31
262.9 167813.24 530137.06 0.60 0.25 0.3 2.73	322.6 167816.96 530066.82 1.30 0.57 0.3 6.20	382.2 167810.96 529975.38 0.90 0.39 0.3 4.30	442.1 167792.48 529957.65 0.10 0.23 0.3 2.23
263.3 167813.42 530137.29 0.30 0.23 0.3 2.46	322.9 167816.99 530066.49 1.40 0.87 0.3 9.49	382.5 167810.95 529974.98 1.28 0.19 0.3 4.30	442.4 167792.53 529957.42 0.70 0.25 0.3 2.67
263.6 167813.61 530137.39 1.00 0.35 0.3 3.86	323.3 167817.11 530065.42 0.40 0.87 0.3 9.46	383.0 167810.93 529974.80 0.70 0.16 0.3 1.72	442.7 167792.42 529957.25 0.10 0.19 0.3 2.05
263.9 167813.90 530137.59 0.30 0.23 0.3 2.46	323.6 167817.14 530064.99 0.30 0.29 0.3 3.20	383.3 167810.96 529974.46 0.70 0.16 0.3 1.72	443.1 167792.48 529957.03 0.70 0.25 0.3 2.67
264.2 167814.02 530137.67 1.50 0.24 0.3 2.63	323.9 167817.48 530063.72 0.70 0.87 0.3 9.45	383.6 167810.86 529974.42 0.40 0.19 0.3 2.06	443.4 167792.33 529956.96 0.80 0.23 0.3 2.50
264.5 167814.23 530137.78 0.80 0.24 0.3 2.63	324.3 167817.54 530062.87 1.50 0.87 0.3 9.45	384.0 167810.80 529973.99 0.40 0.48 0.3 4.15	443.7 167792.23 529956.75 1.40 0.17 0.3 1.82
264.9 167814.45 530137.99 0.30 0.23 0.3 2.46	324.6 167817.58 530062.44 0.30 0.29 0.3 3.20	384.3 167810.65 529973.89 0.60 0.43 0.3 4.69	444.1 167792.14 529956.56 0.70 0.25 0.3 2.67
265.3 167814.67 530137.97 0.20 0.24 0.3 2.57	324.9 167817.99 530061.16 0.40 0.43 0.3 4.69	384.6 167810.46 529973.55 0.10 0.40 0.3 3.35	444.4 167792.03 529956.49 1.00 0.16 0.3 1.77
265.6 167814.89 530138.15 0.30 0.23 0.3 2.46	325.3 167818.04 530060.44 0.30 0.29 0.3 3.20	384.9 167810.24 529973.22 0.20 0.43 0.3 4.69	444.7 167791.93 529956.26 0.70 0.25 0.3 2.67
265.9 167815.12 530138.10 1.20 0.23 0.3 2.56	325.6 167818.03 530060.44 0.30 0.56 0.3 6.12	385.2 167809.98 529972.90 0.40 0.42 0.3 4.63	445.0 167791.79 529956.27 0.80 0.16 0.3 1.80
266.3 167815.35 530138.15 0.80 0.24 0.3 2.57	325.9 167818.06 530059.88 0.90 0.43 0.3 4.69	385.5 167809.70 529972.58 0.50 0.44 0.3 4.74	445.4 167791.65 529956.18 0.10 0.17 0.3 1.84
266.6 167815.38 530138.19 0.30 0.23 0.3 2.46	326.3 167818.04 530059.45 1.20 0.88 0.3 9.43	385.9 167809.74 529972.37 1.50 0.43 0.3 4.80	445.7 167791.58 529956.07 0.70 0.25 0.3 2.67
266.9 167815.62 530138.20 0.20 0.24 0.3 2.59	326.6 167818.02 530059.02 0.20 0.43 0.3 4.73	386.3 167809.07 529971.96 0.40 0.93 0.3 10.11	446.0 167791.34 529956.04 0.80 0.18 0.3 1.95
267.2 167816.05 530138.39 0.30 0.23 0.3 2.46	326.9 167818.04 530058.59 0.30 0.29 0.3 3.20	386.6 167808.99 529971.59 1.20 0.43 0.3 4.71	446.3 167791.25 529955.83 0.70 0.25 0.3 2.67
267.5 167816.29 530138.19 1.20 0.24 0.3 2.63	327.2 167818.01 530058.16 0.70 0.43 0.3 4.72	386.9 167809.10 529971.28 0.20 0.43 0.3 4.74	446.6 167791.19 529955.64 0.70 0.25 0.3 2.67
267.8 167816.53 530138.11 1.10 0.49 0.3 9.63	327.6 167817.96 530057.75 0.80 0.43 0.3 4.73	387.3 167809.12 529970.89 0.40 0.43 0.3 4.74	446.9 167791.10 529955.43 0.70 0.25 0.3 2.67
268.1 167816.77 530138.19 0.30 0.23 0.3 2.46	327.9 167817.99 530057.30 0.20 0.43 0.3 4.73	387.6 167809.12 529970.48 0.40 0.43 0.3 4.74	447.3 167791.03 529955.22 0.70 0.25 0.3 2.67
268.4 167816.99 530138.19 0.20 0.23 0.3 2.46	328.2 167817.84 530056.87 0.40 0.44 0.3 4.76	387.9 167806.78 529969.73 1.30 0.60 0.3 6.57	447.6 167790.40 529955.86 1.40 0.44 0.3 4.75
268.8 167817.98 530138.39 0.30 0.23 0.3 2.46	328.5 167817.87 530056.44 0.30 0.29 0.3 3.20	388.2 167806.46 529969.40 0.60 0.43 0.3 4.69	447.9 167790.33 529955.65 0.70 0.25 0.3 2.67
269.1 167818.45 530137.63 1.50 0.52 0.3 9.51	328.9 167817.64 530056.02 0.80 0.44 0.3 4.80	388.6 167805.84 529969.50 1.20 0.92 0.3 10.05	448.3 167789.50 529955.89 1.40 0.49 0

488.9	167779.24	529969.38	0.80	0.54	5.88	555.3	167732.29	530006.75	1.20	0.87	0.32	621.9	167638.73	530098.42	0.10	0.86	0.33	688.6	167474.76	530194.48	1.20	0.45	0.33	4.96
489.0	167780.13	529969.70	1.40	0.56	6.33	555.6	167731.88	530007.53	1.20	0.91	0.33	622.2	167638.14	530099.06	0.40	0.86	0.33	688.9	167474.61	530195.33	0.80	0.45	0.33	4.96
489.1	167781.02	529970.03	0.90	0.58	6.28	555.9	167731.53	530008.32	1.10	0.83	0.33	622.5	167637.55	530099.69	1.20	0.86	0.33	689.2	167474.46	530196.18	0.80	0.45	0.33	4.96
489.2	167781.91	529970.35	0.50	0.61	6.31	556.2	167731.18	530009.11	0.80	0.86	0.33	622.8	167636.96	530100.37	0.70	0.86	0.33	689.5	167474.31	530197.03	1.40	0.44	0.33	4.86
490.0	167782.80	529970.68	0.10	0.63	6.36	556.5	167730.83	530010.00	0.40	0.89	0.33	623.1	167636.37	530101.06	0.70	0.86	0.33	689.8	167474.16	530197.88	0.40	0.44	0.33	4.86
490.1	167783.69	529971.01	0.90	0.63	6.36	556.8	167730.48	530010.89	0.30	0.86	0.33	623.4	167635.78	530101.75	0.20	0.86	0.33	690.1	167474.01	530198.73	0.70	0.44	0.33	4.75
491.2	167784.58	529971.34	0.50	0.63	6.31	557.1	167730.13	530011.78	0.20	0.87	0.33	623.7	167635.19	530102.44	0.10	0.86	0.33	690.4	167473.86	530199.58	0.40	0.44	0.33	4.75
491.3	167785.47	529971.67	0.10	0.63	6.31	557.4	167729.78	530012.67	0.10	0.87	0.33	624.0	167634.60	530103.13	0.20	0.86	0.33	690.7	167473.71	530200.43	0.70	0.44	0.33	4.75
491.4	167786.36	529971.99	0.60	0.63	6.31	557.7	167729.43	530013.56	0.10	0.87	0.33	624.3	167634.01	530103.82	0.10	0.86	0.33	691.0	167473.56	530201.28	0.40	0.44	0.33	4.75
492.2	167787.25	529972.32	0.10	0.63	6.33	558.0	167729.08	530014.45	0.10	0.87	0.33	624.6	167633.42	530104.51	0.20	0.86	0.33	691.3	167473.41	530202.13	0.70	0.44	0.33	4.75
492.3	167788.14	529972.65	0.20	0.58	6.30	558.3	167728.73	530015.34	0.10	0.87	0.33	624.9	167632.83	530105.20	0.10	0.86	0.33	691.6	167473.26	530202.98	0.40	0.44	0.33	4.75
492.4	167789.03	529972.98	0.30	0.54	5.91	558.6	167728.38	530016.23	0.10	0.89	0.33	625.2	167632.24	530105.89	0.20	0.86	0.33	691.9	167473.11	530203.83	0.70	0.44	0.33	4.75
493.9	167789.92	529973.31	0.10	0.24	2.66	558.9	167728.03	530017.12	0.10	0.89	0.33	625.5	167631.65	530106.58	0.10	0.86	0.33	692.2	167472.96	530204.68	0.40	0.44	0.33	4.66
494.5	167790.81	529973.64	0.60	0.22	2.39	559.2	167727.68	530018.01	0.10	0.89	0.33	625.8	167631.06	530107.27	0.20	0.86	0.33	692.5	167472.81	530205.53	0.70	0.44	0.33	4.66
494.9	167791.70	529973.97	0.10	0.20	2.23	559.5	167727.33	530018.90	0.10	0.89	0.33	626.1	167630.47	530107.96	0.10	0.86	0.33	692.8	167472.66	530206.38	0.40	0.44	0.33	4.66

7552 167548.64 530194.54 1.50 0.61 0.3 6.61
7556 167548.31 530195.04 0.20 0.62 0.3 6.72
7559 167547.97 530195.44 0.14 0.64 0.3 6.74
7562 167547.25 530196.57 0.10 0.62 0.3 6.74
7565 167546.89 530197.07 0.30 0.61 0.3 6.64
7568 167546.52 530197.38 0.10 0.61 0.3 6.64
7572 167546.15 530198.03 0.70 0.58 0.3 6.29
7575 167545.78 530198.33 0.70 0.58 0.3 6.29
7579 167545.43 530198.89 1.50 0.53 0.3 5.73
7582 167545.08 530199.28 0.90 0.49 0.3 5.78
7585 167544.74 530199.46 0.70 0.46 0.3 5.78
7589 167544.41 530199.96 0.70 0.21 0.3 2.33
7592 167544.08 530200.16 0.50 0.20 0.3 2.09
7595 167543.74 530200.23 1.20 0.19 0.3 2.09
7599 167543.44 530200.55 0.90 0.18 0.3 1.97
7602 167543.10 530200.45 0.50 0.15 0.3 1.97
7605 167543.66 530200.55 0.70 0.16 0.3 1.97
7608 167543.30 530200.45 0.50 0.15 0.3 1.97
7612 167543.39 530200.69 1.20 0.13 0.3 1.46
7615 167543.27 530200.74 0.90 0.12 0.3 1.33
7618 167543.15 530200.78 1.50 0.11 0.3 1.33
7622 167543.04 530200.80 0.60 0.10 0.3 1.14
7625 167542.92 530200.80 0.60 0.10 0.3 1.14
7628 167542.84 530200.79 1.10 0.09 0.3 1.03
7631 167542.75 530200.71 1.10 0.09 0.3 1.03
7634 167542.67 530200.71 1.00 0.10 0.3 1.08
7638 167542.59 530200.65 0.30 0.13 0.3 1.39
7641 167542.57 530200.55 0.40 0.10 0.3 1.38
7645 167542.47 530200.46 0.40 0.13 0.3 1.44
7648 167542.42 530200.33 0.30 0.15 0.3 1.55
7651 167542.38 530200.19 1.50 0.12 0.3 1.67
7655 167542.35 530200.04 1.30 0.17 0.3 1.90
7658 167542.33 530199.87 0.20 0.20 0.3 2.10
7661 167542.30 530199.48 1.50 0.21 0.3 2.17
7665 167542.30 530199.48 1.50 0.21 0.3 2.17
7668 167542.27 530199.48 1.50 0.21 0.3 2.17
7671 167542.29 530198.82 1.50 0.48 0.3 5.25
7674 167542.31 530199.35 0.40 0.10 0.3 1.38
7678 167542.34 530197.84 1.50 0.52 0.3 6.64
7681 167542.34 530198.32 1.50 0.53 0.3 6.64
7684 167542.49 530198.49 0.20 0.43 0.3 4.68
7688 167542.52 530196.04 0.60 0.72 0.8 7.84
7691 167542.60 530196.04 0.60 0.72 0.8 7.84
7694 167542.65 530196.47 0.90 0.44 0.3 4.85
7698 167542.70 530198.79 0.90 0.43 0.3 4.77
7701 167542.77 530194.00 0.40 0.13 0.3 1.44
7704 167542.84 530193.58 1.30 0.41 0.3 4.50
7707 167542.97 530193.55 0.40 0.10 0.3 1.38
7711 167543.01 530192.78 1.10 0.40 0.3 4.41
7714 167543.12 530192.70 1.20 0.28 0.3 3.05
7717 167543.21 530192.70 1.20 0.28 0.3 3.05
7721 167543.40 530191.63 1.10 0.41 0.3 4.49
7724 167543.49 530191.63 1.10 0.41 0.3 4.49
7727 167543.75 530190.88 1.30 0.42 0.3 4.58
7730 167543.95 530190.51 0.40 0.42 0.3 4.63
7734 167544.16 530190.15 0.40 0.43 0.3 4.72
7737 167544.40 530189.79 1.50 0.43 0.3 4.72
7740 167544.64 530189.43 1.50 0.43 0.3 4.72
7744 167544.90 530189.08 1.00 0.44 0.40 4.80
7747 167545.18 530188.73 1.50 0.44 0.3 4.84
7750 167545.46 530188.38 1.50 0.44 0.3 4.84
7754 167545.76 530188.06 0.50 0.45 0.40 4.90
7757 167546.07 530187.71 0.50 0.45 0.40 4.90
7760 167546.71 530187.10 0.80 0.91 0.3 9.91
7764 167547.38 530186.59 0.40 0.91 0.3 9.92
7767 167548.08 530185.91 0.40 1.19 0.3 0.3 12.64
7770 167549.01 530185.21 0.10 0.64 0.3 7.01
7773 167549.34 530184.86 0.10 0.64 0.3 7.01
7777 167550.28 530184.36 0.60 0.88 0.3 9.50
7780 167551.03 530183.90 1.00 0.87 0.3 9.50
7783 167551.79 530183.54 1.00 0.87 0.3 9.50
7787 167552.55 530183.04 0.20 0.86 0.3 9.44
7790 167553.31 530182.68 0.20 0.86 0.3 9.44
7793 167554.83 530181.83 1.20 0.71 0.3 18.65
7796 167555.84 530181.19 1.50 0.85 0.3 9.91
7800 167556.81 530180.17 0.70 0.74 0.3 8.11
7803 167557.44 530179.79 1.10 0.66 0.3 7.01
7806 167558.44 530179.23 0.50 0.86 0.3 9.36
7810 167559.24 530179.23 0.50 0.86 0.3 9.36
7813 167559.96 530178.78 1.00 0.87 0.3 9.42
7816 167560.62 530178.21 0.60 0.91 0.3 9.42
7820 167561.29 530177.67 1.40 0.87 0.3 9.45
7823 167561.96 530177.67 1.40 0.87 0.3 9.45
7826 167562.62 530176.54 1.00 0.87 0.3 9.45
7830 167563.30 530175.96 0.70 2.72 0.3 22.03
7833 167564.00 530175.36 0.70 2.72 0.3 22.03
7836 167564.75 530174.96 0.70 2.72 0.3 22.03
7839 167565.05 530174.36 0.90 1.74 0.3 18.94
7843 167565.57 530173.98 1.50 0.86 0.3 9.43
7846 167566.29 530173.64 0.30 0.86 0.3 9.43
7849 167567.01 530173.64 0.30 0.86 0.3 9.43
7853 167567.54 530173.62 0.50 0.86 0.3 9.42
7856 167568.22 530173.62 0.50 0.86 0.3 9.42
7859 167569.19 530173.23 0.50 0.87 0.3 9.45
7863 167570.24 530172.66 0.40 0.88 0.3 9.61
7866 167571.34 530172.06 0.40 0.88 0.3 9.61
7869 167572.09 530171.50 0.40 0.88 0.3 9.61
7873 167573.09 530170.88 0.40 0.88 0.3 9.61
7876 167573.64 530170.45 0.50 0.89 0.3 9.71
7879 167574.43 530169.88 0.40 0.89 0.3 9.71
7882 167575.84 530169.17 0.80 0.38 0.3 9.01
7886 167576.81 530168.68 0.90 0.89 0.3 9.96
7889 167578.29 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7892 167579.08 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7895 167579.81 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7898 167580.61 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7902 167581.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7905 167582.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7908 167582.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7912 167583.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7915 167584.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7918 167585.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7922 167586.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7925 167586.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7928 167587.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7932 167588.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7935 167589.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7938 167590.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7942 167590.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7945 167591.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7948 167592.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7952 167593.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7955 167594.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7958 167594.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7962 167595.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7965 167596.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7968 167597.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7972 167598.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7975 167598.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7978 167599.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7982 167600.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7985 167601.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7988 167602.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7992 167602.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7995 167603.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
7998 167604.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8002 167605.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8005 167606.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8008 167606.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8012 167607.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8015 167608.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8018 167609.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8022 167610.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8025 167610.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8028 167611.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8032 167612.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8035 167613.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8038 167614.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8042 167614.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8045 167615.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8048 167616.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8052 167617.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8055 167618.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8058 167618.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8062 167619.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8065 167620.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8068 167621.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8072 167622.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8075 167622.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8078 167623.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8082 167624.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8085 167625.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8088 167626.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8092 167626.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8095 167627.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8098 167628.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8102 167629.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8105 167630.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8108 167630.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8112 167631.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8115 167632.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8118 167633.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8122 167634.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8125 167634.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8128 167635.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8132 167636.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8135 167637.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8138 167638.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8142 167638.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8145 167639.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8148 167640.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8152 167641.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8155 167642.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8158 167642.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8162 167643.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8165 167644.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8168 167645.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8172 167646.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8175 167646.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8178 167647.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8182 167648.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8185 167649.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8188 167650.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8192 167650.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8195 167651.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8198 167652.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8202 167653.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8205 167654.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8208 167654.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8212 167655.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8215 167656.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8218 167657.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8222 167658.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8225 167658.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8228 167659.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8232 167660.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8235 167661.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8238 167662.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8242 167662.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8245 167663.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8248 167664.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8252 167665.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8255 167666.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8258 167666.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8262 167667.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8265 167668.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8268 167669.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8272 167670.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8275 167670.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8278 167671.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8282 167672.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8285 167673.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8288 167674.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8292 167674.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8295 167675.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8298 167676.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8302 167677.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8305 167678.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8308 167678.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8312 167679.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8315 167680.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8318 167681.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8322 167682.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8325 167682.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8328 167683.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8332 167684.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8335 167685.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8338 167686.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8342 167686.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8345 167687.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8348 167688.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8352 167689.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8355 167690.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8358 167690.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8362 167691.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8365 167692.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8368 167693.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8372 167694.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8375 167694.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8378 167695.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8382 167696.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8385 167697.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8388 167698.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8392 167698.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8395 167699.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8398 167700.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8402 167701.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8405 167702.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8408 167702.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8412 167703.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8415 167704.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8418 167705.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8422 167706.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8425 167706.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8428 167707.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8432 167708.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8435 167709.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8438 167710.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8442 167710.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8445 167711.74 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8448 167712.54 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8452 167713.34 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8455 167714.14 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8458 167714.94 530168.19 0.80 0.89 0.3 9.96
8462 167715.74

– 169 –

부록 4. 예정항로 일치 여부 분석 결과

No	관측점			인접분석			
	X 좌표	Y 좌표	Z 좌표	인접거리	인접점의 X좌표	인접점의 Y좌표	각도(deg)
1	167,685.87	530,050.36	0.30	2.61	167,687.44	530,052.44	52.93
2	167,685.67	530,054.39	0.30	0.48	167,685.38	530,054.00	-127.07
3	167,725.03	530,073.65	1.00	1.71	167,723.66	530,074.68	142.93
4	167,720.38	530,103.51	0.50	0.00	167,720.38	530,103.52	142.93
5	167,744.55	530,131.61	0.50	2.35	167,742.68	530,133.02	142.93
6	167,775.24	530,138.13	1.50	2.90	167,772.93	530,139.88	142.93
7	167,754.81	530,150.08	0.20	0.60	167,755.29	530,149.72	-37.07
8	167,766.17	530,163.33	0.50	0.47	167,765.79	530,163.61	142.93
9	167,715.61	530,030.72	0.80	0.36	167,715.76	530,031.05	64.95
10	167,715.84	530,031.11	1.40	0.02	167,715.82	530,031.13	142.93
11	167,716.07	530,031.46	0.60	0.00	167,716.07	530,031.46	-37.07
12	167,716.35	530,031.85	0.90	0.01	167,716.36	530,031.85	-37.07
13	167,716.63	530,032.19	0.80	0.01	167,716.63	530,032.20	142.93
14	167,716.93	530,032.52	1.50	0.04	167,716.89	530,032.55	142.93
15	167,717.23	530,032.84	0.90	0.10	167,717.15	530,032.89	142.93
16	167,717.55	530,033.14	0.10	0.17	167,717.41	530,033.24	142.93
17	167,717.87	530,033.43	0.20	0.25	167,717.67	530,033.58	142.93
18	167,718.54	530,033.98	1.40	0.45	167,718.18	530,034.25	142.93
19	167,719.24	530,034.50	0.30	0.69	167,718.68	530,034.92	142.93
20	167,720.66	530,035.50	0.30	1.23	167,719.68	530,036.24	142.93
21	167,721.37	530,036.00	0.80	1.49	167,720.18	530,036.90	142.93
22	167,722.06	530,036.51	1.10	1.74	167,720.68	530,037.55	142.93
23	167,722.73	530,037.04	1.10	1.95	167,721.18	530,038.22	142.93
24	167,723.11	530,037.37	1.00	2.05	167,721.47	530,038.61	142.93
25	167,723.37	530,037.61	1.10	2.11	167,721.68	530,038.88	142.93
26	167,723.97	530,038.21	0.40	2.23	167,722.19	530,039.56	142.93
27	167,724.54	530,038.85	0.30	2.30	167,722.70	530,040.24	142.93
28	167,725.09	530,039.51	1.30	2.34	167,723.22	530,040.92	142.93
29	167,725.62	530,040.19	0.90	2.36	167,723.74	530,041.61	142.93
30	167,726.68	530,041.57	0.20	2.37	167,724.79	530,043.00	142.93
31	167,727.22	530,042.26	0.80	2.38	167,725.32	530,043.70	142.93
32	167,727.77	530,042.94	0.60	2.41	167,725.85	530,044.40	142.93
33	167,728.28	530,043.53	1.40	2.46	167,726.31	530,045.02	142.93
34	167,728.94	530,044.25	0.70	2.56	167,726.90	530,045.79	142.93
35	167,729.55	530,044.89	1.20	2.66	167,727.43	530,046.49	142.93
36	167,730.14	530,045.53	0.40	2.74	167,727.95	530,047.18	142.93
37	167,730.43	530,045.85	1.50	2.78	167,728.21	530,047.53	142.93
38	167,730.70	530,046.19	0.30	2.79	167,728.47	530,047.87	142.93
39	167,730.96	530,046.52	0.50	2.80	167,728.73	530,048.21	142.93
40	167,731.21	530,046.87	0.80	2.79	167,728.99	530,048.55	142.93
41	167,731.44	530,047.23	1.50	2.75	167,729.24	530,048.89	142.93
42	167,731.55	530,047.44	0.80	2.72	167,729.38	530,049.08	142.93
43	167,731.83	530,047.98	0.10	2.61	167,729.75	530,049.56	142.93
44	167,732.00	530,048.38	0.80	2.51	167,730.00	530,049.89	142.93
45	167,732.16	530,048.78	0.40	2.40	167,730.25	530,050.22	142.93
46	167,732.30	530,049.19	1.00	2.26	167,730.50	530,050.55	142.93
47	167,732.57	530,050.02	0.30	1.97	167,730.99	530,051.21	142.93
48	167,732.82	530,050.86	0.30	1.67	167,731.49	530,051.86	142.93
49	167,733.08	530,051.69	0.10	1.38	167,731.98	530,052.52	142.93
50	167,733.22	530,052.10	0.50	1.24	167,732.23	530,052.85	142.93
51	167,733.38	530,052.50	1.40	1.12	167,732.48	530,053.18	142.93
52	167,733.54	530,052.88	0.30	1.02	167,732.72	530,053.50	142.93
53	167,733.73	530,053.28	0.50	0.93	167,732.98	530,053.85	142.93
54	167,733.93	530,053.66	0.50	0.87	167,733.24	530,054.18	142.93
55	167,734.15	530,054.03	0.70	0.82	167,733.49	530,054.52	142.93
56	167,734.38	530,054.39	0.60	0.78	167,733.75	530,054.86	142.93
57	167,734.62	530,054.74	0.20	0.76	167,734.01	530,055.20	142.93
58	167,734.87	530,055.08	0.10	0.76	167,734.27	530,055.54	142.93
59	167,735.14	530,055.42	0.60	0.77	167,734.53	530,055.89	142.93
60	167,735.70	530,056.08	1.40	0.82	167,735.05	530,056.58	142.93
61	167,736.29	530,056.73	0.90	0.90	167,735.57	530,057.27	142.93
62	167,736.91	530,057.35	0.80	1.01	167,736.10	530,057.96	142.93
63	167,738.96	530,059.35	1.30	1.45	167,737.81	530,060.22	142.93
64	167,740.05	530,060.44	1.40	1.66	167,738.73	530,061.45	142.93
65	167,740.66	530,061.08	0.70	1.76	167,739.25	530,062.14	142.93
66	167,741.25	530,061.72	0.20	1.85	167,739.77	530,062.83	142.93
67	167,741.82	530,062.36	1.50	1.91	167,740.29	530,063.52	142.93
68	167,742.38	530,063.02	0.40	1.96	167,740.81	530,064.21	142.93
69	167,742.93	530,063.69	0.50	2.00	167,741.33	530,064.89	142.93
70	167,743.45	530,064.37	1.40	2.01	167,741.85	530,065.58	142.93
71	167,743.97	530,065.06	1.50	2.00	167,742.37	530,066.27	142.93
72	167,744.46	530,065.77	0.80	1.97	167,742.89	530,066.95	142.93
73	167,744.88	530,066.39	0.20	1.92	167,743.34	530,067.55	142.93
74	167,745.39	530,067.22	0.50	1.84	167,743.92	530,068.32	142.93
75	167,745.83	530,067.96	0.20	1.74	167,744.44	530,069.01	142.93

No	관측점			인접분석			
	X 좌표	Y 좌표	Z 좌표	인접거리	인접점의 X좌표	인접점의 Y좌표	각도(deg)
76	167,746.69	530,069.46	0.80	1.52	167,745.48	530,070.38	142.93
77	167,747.61	530,071.12	0.20	1.25	167,746.61	530,071.88	142.93
78	167,748.38	530,072.49	0.40	1.04	167,747.55	530,073.12	142.93
79	167,749.25	530,073.98	1.10	0.83	167,748.58	530,074.49	142.93
80	167,752.77	530,079.93	1.10	0.05	167,752.72	530,079.97	142.93
81	167,753.63	530,081.43	0.60	0.16	167,753.76	530,081.34	-37.07
82	167,754.49	530,082.94	0.40	0.38	167,754.79	530,082.71	-37.07
83	167,755.54	530,084.86	0.50	0.70	167,756.10	530,084.43	-37.07
84	167,756.13	530,085.99	0.60	0.91	167,756.86	530,085.44	-37.07
85	167,756.95	530,087.52	0.80	1.18	167,757.89	530,086.81	-37.07
86	167,757.38	530,088.27	1.20	1.29	167,758.41	530,087.50	-37.07
87	167,757.83	530,089.01	0.20	1.38	167,758.93	530,088.18	-37.07
88	167,758.30	530,089.73	0.70	1.44	167,759.45	530,088.87	-37.07
89	167,758.60	530,090.16	0.50	1.46	167,759.76	530,089.29	-37.07
90	167,759.33	530,091.11	1.50	1.45	167,760.48	530,090.24	-37.07
91	167,759.88	530,091.78	0.20	1.41	167,761.00	530,090.93	-37.07
92	167,761.02	530,093.08	0.20	1.29	167,762.05	530,092.31	-37.07
93	167,761.59	530,093.74	1.20	1.23	167,762.57	530,093.00	-37.07
94	167,761.99	530,094.21	0.60	1.19	167,762.94	530,093.49	-37.07
95	167,763.24	530,095.75	0.20	1.12	167,764.14	530,095.07	-37.07
96	167,763.78	530,096.43	1.40	1.10	167,764.66	530,095.77	-37.07
97	167,764.34	530,097.09	0.20	1.06	167,765.18	530,096.45	-37.07
98	167,764.91	530,097.74	1.40	0.99	167,765.70	530,097.14	-37.07
99	167,765.31	530,098.16	0.90	0.93	167,766.05	530,097.60	-37.07
100	167,766.13	530,098.95	1.30	0.75	167,766.72	530,098.50	-37.07
101	167,766.77	530,099.52	0.20	0.58	167,767.23	530,099.17	-37.07
102	167,767.44	530,100.07	0.60	0.38	167,767.74	530,099.84	-37.07
103	167,768.11	530,100.61	0.60	0.16	167,768.25	530,100.51	-37.07
104	167,769.48	530,101.68	0.80	0.29	167,769.26	530,101.85	142.93
105	167,770.16	530,102.22	0.20	0.50	167,769.76	530,102.52	142.93
106	167,770.84	530,102.77	1.30	0.71	167,770.27	530,103.19	142.93
107	167,771.72	530,103.54	0.60	0.95	167,770.97	530,104.11	142.93
108	167,772.13	530,103.92	1.30	1.04	167,771.30	530,104.55	142.93
109	167,772.74	530,104.54	0.60	1.16	167,771.82	530,105.24	142.93
110	167,773.33	530,105.17	1.50	1.25	167,772.34	530,105.93	142.93
111	167,773.90	530,105.83	1.10	1.30	167,772.86	530,106.62	142.93
112	167,774.44	530,106.51	0.30	1.32	167,773.38	530,107.31	142.93
113	167,774.96	530,107.21	0.10	1.32	167,773.90	530,108.00	142.93
114	167,775.63	530,108.20	0.40	1.26	167,774.63	530,108.96	142.93
115	167,775.91	530,108.65	1.20	1.21	167,774.95	530,109.38	142.93
116	167,776.36	530,109.39	0.10	1.12	167,775.46	530,110.06	142.93
117	167,776.78	530,110.14	1.20	1.00	167,775.98	530,110.75	142.93
118	167,777.10	530,110.74	1.50	0.90	167,776.39	530,111.28	142.93
119	167,777.98	530,112.45	1.20	0.57	167,777.53	530,112.80	142.93
120	167,778.38	530,113.23	1.50	0.42	167,778.05	530,113.48	142.93
121	167,778.80	530,113.99	0.60	0.30	167,778.56	530,114.17	142.93
122	167,779.24	530,114.73	1.10	0.20	167,779.08	530,114.85	142.93
123	167,779.71	530,115.45	0.90	0.14	167,779.60	530,115.54	142.93
124	167,779.96	530,115.81	0.70	0.12	167,779.86	530,115.88	142.93
125	167,780.23	530,116.17	1.20	0.12	167,780.13	530,116.24	142.93
126	167,780.77	530,116.82	0.70	0.16	167,780.64	530,116.91	142.93
127	167,781.91	530,118.11	0.20	0.29	167,781.68	530,118.29	142.93
128	167,782.47	530,118.78	1.00	0.33	167,782.20	530,118.98	142.93
129	167,782.83	530,119.26	0.20	0.33	167,782.56	530,119.46	142.93
130	167,782.98	530,119.48	0.80	0.32	167,782.72	530,119.67	142.93
131	167,783.21	530,119.84	1.00	0.29	167,782.98	530,120.01	142.93
132	167,783.43	530,120.22	0.80	0.24	167,783.24	530,120.36	142.93
133	167,783.64	530,120.60	0.70	0.17	167,783.50	530,120.70	142.93
134	167,783.93	530,121.18	0.80	0.06	167,783.89	530,121.21	142.93
135	167,784.20	530,121.76	0.70	0.08	167,784.27	530,121.71	-37.07
136	167,784.54	530,122.55	0.60	0.29	167,784.77	530,122.38	-37.07
137	167,784.84	530,123.35	1.50	0.52	167,785.26	530,123.03	-37.07
138	167,785.13	530,124.15	1.10	0.78	167,785.75	530,123.68	-37.07
139	167,785.67	530,125.78	0.30	1.34	167,786.73	530,124.98	-37.07
140	167,786.19	530,127.43	0.20	1.91	167,787.71	530,126.28	-37.07
141	167,786.47	530,128.25	1.00	2.19	167,788.21	530,126.93	-37.07
142	167,786.76	530,129.08	0.40	2.45	167,788.71	530,127.60	-37.07
143	167,787.07	530,129.90	1.50	2.70	167,789.23	530,128.28	-37.07
144	167,787.37	530,130.62	1.00	2.89	167,789.68	530,128.88	-37.07
145	167,787.60	530,131.13	1.40	3.02	167,790.01	530,129.31	-37.07
146	167,787.80	530,131.52	1.00	3.09	167,790.27	530,129.66	-37.07
147	167,788.03	530,131.89	1.20	3.14	167,790.53	530,130.00	-37.07
148	167,788.15	530,132.07	0.20	3.15	167,790.66	530,130.17	-37.07
149	167,788.28	530,132.23	1.40	3.14	167,790.78	530,130.34	-37.07
150	167,788.35	530,132.32	0.50	3.13	167,790.85	530,130.43	-37.07
151	167,788.56	530,132.53	0.90	3.09	167,791.03	530,130.66	-37.07
152	167,788.71	530,132.66	0.10	3.05	167,791.15	530,130.82	-37.07
153	167,788.87	530,132.78	0.50	3.00	167,791.26	530,130.97	-37.07
154	167,789.21	530,132.99	0.70	2.85	167,791.49	530,131.27	-37.07
155	167,789.58	530,133.17	0.80	2.66	167,791.71	530,131.56	-37.07

부록 5. 유속 및 수질 센서 측정 데이터

측정항목	유속(m/s)	수온(℃)	pH	ORP(mV)	DO(mg/L)	COND(mS/cm)	SAL(ppt)
설명			수소이온지수	산화환원 전위	용존산소량	전기전도도	염도
평균값	3.78	29.531	5.636	-102.995	0.138	86.684	0.219

측정일자	시간	유속	수온	pH	ORP(mV)	DO(mg/L)	COND(mS/cm)	SAL(ppt)	Battery(%)
2014-11-24	12:52:59	26.6000000000	5.4800000000	-76.4000000000	0.0700000000	38.7800000000	0.2000000000	44.0000000000	1
2014-11-24	14:39:55	29.4000000000	5.6600000000	-98.5000000000	0.0000000000	52.8200000000	0.2000000000	9.0000000000	1
2014-11-24	14:41:20	29.4000000000	5.6600000000	-100.0000000000	0.0000000000	52.8200000000	0.2000000000	8.0000000000	1
2014-11-24	14:42:37	29.4000000000	5.6600000000	-114.0000000000	0.0000000000	31.0100000000	0.2000000000	9.0000000000	1
2014-11-24	14:43:42	29.4000000000	5.6600000000	-102.4000000000	0.0000000000	31.0100000000	0.2000000000	9.0000000000	1
2014-11-24	14:44:30	29.5000000000	5.6600000000	-103.3000000000	0.0000000000	34.3800000000	0.2000000000	9.0000000000	1
2014-11-24	14:45:08	29.7000000000	5.6600000000	-114.2000000000	0.0000000000	33.6500000000	0.2000000000	9.0000000000	1
2014-11-24	14:45:47	29.8000000000	5.6600000000	-104.9000000000	0.0000000000	33.4800000000	0.2000000000	9.0000000000	1
2014-11-24	14:46:25	29.8000000000	5.6500000000	-105.7000000000	0.0000000000	31.9800000000	0.2000000000	10.0000000000	1
2014-11-24	14:47:04	29.8000000000	5.6700000000	-128.3000000000	0.0000000000	71.9300000000	0.2000000000	8.0000000000	1
2014-11-24	14:47:42	29.8000000000	5.6500000000	-107.6000000000	0.0000000000	98.3400000000	0.2000000000	7.0000000000	1
2014-11-24	14:48:21	29.8000000000	5.6400000000	-107.2000000000	0.0000000000	196.6900000000	0.3000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:49:00	29.8000000000	5.6700000000	-107.4000000000	0.0000000000	78.6800000000	0.2000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:49:38	30.3000000000	5.6100000000	-101.2000000000	0.0000000000	153.9300000000	0.3000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:50:17	30.6000000000	5.5900000000	-127.0000000000	0.0000000000	77.5800000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:55	30.6000000000	5.6000000000	-106.5000000000	0.0000000000	70.5200000000	0.2000000000	4.0000000000	1
2014-11-24	14:51:34	30.6000000000	5.6000000000	-107.2000000000	0.0000000000	104.8300000000	0.2000000000	4.0000000000	1
2014-11-24	14:52:12	30.4000000000	5.6800000000	-161.3000000000	0.3000000000	58.4300000000	0.2000000000	2.0000000000	1
2014-11-24	14:49:39	30.4000000000	5.6100000000	-102.4000000000	0.0000000000	416.5300000000	0.4000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:49:40	30.5000000000	5.6200000000	-102.5000000000	0.0000000000	508.0900000000	0.4000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:49:41	30.5000000000	5.6300000000	-102.8000000000	0.0000000000	514.6200000000	0.5000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:49:42	30.5000000000	5.6300000000	-103.1000000000	0.0000000000	528.2800000000	0.5000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:49:43	30.5000000000	5.6300000000	-103.2000000000	0.0000000000	487.7500000000	0.4000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:49:44	30.3000000000	5.6300000000	-103.1000000000	0.0000000000	486.1400000000	0.4000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:49:45	30.1000000000	5.6300000000	-103.0000000000	0.0000000000	512.4800000000	0.5000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:49:46	30.2000000000	5.6300000000	-103.1000000000	0.0000000000	530.7000000000	0.5000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:49:47	30.5000000000	5.6300000000	-103.3000000000	0.0000000000	530.5800000000	0.5000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:49:48	30.5000000000	5.6400000000	-103.6000000000	0.0000000000	531.3900000000	0.5000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:49:49	30.5000000000	5.6400000000	-104.0000000000	0.0000000000	532.9400000000	0.5000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:49:50	30.6000000000	5.6400000000	-104.2000000000	0.0000000000	533.7500000000	0.5000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:49:51	30.6000000000	5.6500000000	-104.4000000000	0.0000000000	533.7500000000	0.5000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:49:52	30.6000000000	5.6500000000	-104.6000000000	0.0000000000	534.9300000000	0.5000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:49:53	30.6000000000	5.6500000000	-104.8000000000	0.0000000000	534.9300000000	0.5000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:49:54	30.6000000000	5.6500000000	-104.9000000000	0.0000000000	355.1900000000	0.4000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:49:55	30.6000000000	5.6400000000	-107.4000000000	0.0000000000	195.6200000000	0.3000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:49:56	30.6000000000	5.6400000000	-107.6000000000	0.0000000000	61.3200000000	0.2000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:49:57	30.6000000000	5.6200000000	-107.6000000000	0.0000000000	70.5300000000	0.2000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:49:58	30.6000000000	5.6000000000	-107.7000000000	0.0000000000	67.8800000000	0.2000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:49:59	30.6000000000	5.6000000000	-112.3000000000	0.0000000000	73.0100000000	0.2000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:50:00	30.6000000000	5.5900000000	-115.9000000000	0.0000000000	78.4500000000	0.2000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:50:02	30.6000000000	5.5900000000	-117.1000000000	0.0000000000	68.7800000000	0.2000000000	6.0000000000	1
2014-11-24	14:50:02	30.6000000000	5.6000000000	-116.7000000000	0.0000000000	42.4800000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:04	30.6000000000	5.6200000000	-116.5000000000	0.0000000000	35.6900000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:04	30.6000000000	5.6300000000	-118.3000000000	0.0000000000	45.1000000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:06	30.6000000000	5.6400000000	-119.9000000000	0.0000000000	71.1700000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:07	30.6000000000	5.6400000000	-118.5000000000	0.0000000000	78.3600000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:08	30.6000000000	5.6500000000	-113.8000000000	0.0000000000	90.2000000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:09	30.6000000000	5.6500000000	-112.2000000000	0.0000000000	104.8300000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:10	30.6000000000	5.6300000000	-115.2000000000	0.0000000000	110.8200000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:11	30.6000000000	5.6200000000	-126.1000000000	0.0000000000	107.7400000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:12	30.6000000000	5.6200000000	-136.9000000000	0.0000000000	89.5200000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:13	30.6000000000	5.5900000000	-138.2000000000	0.0000000000	83.1200000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:14	30.6000000000	5.5900000000	-133.6000000000	0.0000000000	88.1500000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:15	30.6000000000	5.5900000000	-130.3000000000	0.0000000000	86.2000000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:16	30.6000000000	5.5900000000	-128.5000000000	0.0000000000	86.2000000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:18	30.6000000000	5.6000000000	-125.0000000000	0.0000000000	77.5800000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:19	30.6000000000	5.5900000000	-122.9000000000	0.0000000000	68.9600000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:20	30.6000000000	5.5900000000	-120.9000000000	0.0000000000	77.5800000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:21	30.6000000000	5.5900000000	-119.1000000000	0.0000000000	77.5800000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:22	30.6000000000	5.5900000000	-117.5000000000	0.0000000000	86.2000000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:23	30.6000000000	5.5900000000	-116.2000000000	0.0000000000	86.2000000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:24	30.6000000000	5.5900000000	-115.0000000000	0.0000000000	86.2000000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:25	30.6000000000	5.6100000000	-112.9000000000	0.0000000000	90.2000000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:26	30.6000000000	5.6300000000	-111.5000000000	0.0000000000	96.9700000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:27	30.6000000000	5.6500000000	-113.5000000000	0.0000000000	104.8300000000	0.2000000000	5.0000000000	1
2014-11-24	14:50:28								

[illegible]

부록 6. 수질 센서 측정 데이터

DATE	TIME	cord_x	cord_y	depth	Temp	pH	HDO	SpCond	HDO(%)	ORP	Salinity
2015-10-28	13:52:58	167818.185	530127.667	0.90	9.61	7.65	13.67	7210	123.1	199	3.98
2015-10-28	13:52:59	167818.189	530128.157	1.30	9.62	7.64	13.67	7208	123.1	199	3.97
2015-10-28	13:53:00	167818.181	530128.637	0.70	9.59	7.64	13.68	7210	123.1	199	3.98
2015-10-28	13:53:01	167818.159	530129.106	1.10	9.72	7.67	13.76	7187	124.2	199	3.96
2015-10-28	13:53:02	167818.118	530129.559	0.40	9.81	7.67	13.73	7171	124.2	199	3.95
2015-10-28	13:53:03	167818.094	530129.994	0.70	9.78	7.67	13.74	7177	124.2	199	3.96
2015-10-28	13:53:04	167817.964	530130.408	1.10	9.76	7.70	13.65	7180	125.2	199	3.96
2015-10-28	13:53:05	167817.845	530130.798	0.50	9.80	7.70	13.85	7174	125.2	199	3.95
2015-10-28	13:53:06	167817.691	530131.161	0.90	9.85	7.69	13.83	7166	125.2	199	3.95
2015-10-28	13:53:07	167817.601	530131.331	0.50	9.89	7.72	13.92	7157	126.2	199	3.95
2015-10-28	13:53:08	167817.501	530131.493	0.90	9.90	7.72	13.92	7152	126.2	199	3.94
2015-10-28	13:53:09	167817.390	530131.647	1.40	9.89	7.72	13.93	7155	126.2	199	3.94
2015-10-28	13:53:10	167817.253	530131.809	1.00	9.83	7.74	14.04	7167	127.1	199	3.95
2015-10-28	13:53:11	167817.136	530131.929	0.80	9.75	7.74	14.07	7183	127.1	199	3.96
2015-10-28	13:53:12	167816.993	530132.057	1.20	9.68	7.75	14.09	7194	127.1	199	3.97
2015-10-28	13:53:13	167816.679	530132.292	0.90	9.63	7.76	14.20	7207	127.9	199	3.97
2015-10-28	13:53:14	167816.332	530132.504	0.60	9.60	7.76	14.21	7211	127.9	199	3.98
2015-10-28	13:53:15	167815.958	530132.700	0.90	9.58	7.77	14.30	7218	128.7	199	3.98
2015-10-28	13:53:16	167815.566	530132.888	1.10	9.56	7.77	14.31	7219	128.7	199	3.98
2015-10-28	13:53:17	167815.160	530133.074	1.20	9.55	7.78	14.31	7226	128.7	199	3.98
2015-10-28	13:53:18	167814.747	530133.266	0.10	9.54	7.79	14.39	7240	129.4	199	3.99
2015-10-28	13:53:19	167814.334	530133.470	1.00	9.55	7.79	14.39	7244	129.4	199	4.00
2015-10-28	13:53:20	167813.927	530133.694	0.40	9.54	7.80	14.40	7245	129.4	199	4.00
2015-10-28	13:53:21	167813.430	530134.011	0.70	9.50	7.80	14.48	7250	130.1	199	4.00
2015-10-28	13:53:22	167813.160	530134.227	1.40	9.47	7.81	14.49	7258	130.1	199	4.00
2015-10-28	13:53:23	167812.988	530134.382	0.50	9.46	7.81	14.50	7261	130.1	199	4.00
2015-10-28	13:53:24	167812.833	530134.545	0.60	9.46	7.82	14.57	7260	130.8	199	4.00
2015-10-28	13:53:25	167812.698	530134.715	0.80	9.47	7.82	14.57	7258	130.8	199	4.00
2015-10-28	13:53:26	167812.587	530134.893	1.10	9.48	7.83	14.57	7257	130.8	199	4.00
2015-10-28	13:53:27	167812.485	530135.143	0.90	9.49	7.83	14.63	7253	131.4	199	4.00
2015-10-28	13:53:28	167812.456	530135.271	0.80	9.51	7.84	14.63	7248	131.4	199	4.00
2015-10-28	13:53:29	167812.440	530135.469	0.50	9.52	7.84	14.62	7241	131.4	199	3.99
2015-10-28	13:53:30	167812.456	530135.672	0.30	9.54	7.84	14.69	7237	132.0	199	3.99
2015-10-28	13:53:31	167812.499	530135.876	0.10	9.53	7.85	14.69	7233	132.0	199	3.99
2015-10-28	13:53:32	167812.570	530136.081	0.50	9.53	7.86	14.69	7231	132.0	200	3.99
2015-10-28	13:53:33	167812.664	530136.286	1.0	9.53	7.86	14.75	7230	132.6	200	3.99
2015-10-28	13:53:34	167812.781	530136.487	0.50	9.56	7.87	14.74	7234	132.6	200	3.99
2015-10-28	13:53:35	167812.917	530136.683	1.20	9.59	7.87	14.73	7223	132.6	200	3.98
2015-10-28	13:53:36	167813.070	530136.873	1.50	9.61	7.88	14.79	7233	133.2	200	3.99
2015-10-28	13:53:37	167813.239	530137.055	0.60	9.61	7.88	14.79	7233	133.2	200	3.99
2015-10-28	13:53:38	167813.420	530137.228	1.50	9.60	7.89	14.80	7237	133.2	200	3.99
2015-10-28	13:53:39	167813.612	530137.388	1.00	9.60	7.89	14.82	7236	133.7	200	3.99
2015-10-28	13:53:40	167813.899	530137.594	0.20	9.62	7.89	14.85	7233	133.7	200	3.99
2015-10-28	13:53:41	167814.019	530137.668	1.50	9.65	7.90	14.84	7231	133.7	200	3.99
2015-10-28	13:53:42	167814.230	530137.785	0.80	9.66	7.93	14.84	7225	134.2	200	3.98
2015-10-28	13:53:43	167814.446	530137.886	1.00	9.67	7.91	14.88	7226	134.2	200	3.98
2015-10-28	13:53:44	167814.666	530137.973	0.20	9.67	7.91	14.88	7225	134.2	200	3.98
2015-10-28	13:53:45	167814.890	530138.046	0.40	9.66	7.91	14.94	7225	134.7	200	3.98
2015-10-28	13:53:46	167815.118	530138.104	1.20	9.64	7.91	14.95	7226	134.7	200	3.98
2015-10-28	13:53:47	167815.348	530138.148	0.80	9.61	7.92	14.96	7232	134.7	200	3.99
2015-10-28	13:53:48	167815.581	530138.179	1.20	9.57	7.92	15.03	7240	135.2	200	3.99
2015-10-28	13:53:49	167815.817	530138.197	0.20	9.53	7.92	15.04	7246	135.2	200	4.00
2015-10-28	13:53:50	167816.054	530138.202	1.20	9.49	7.93	15.06	7255	135.2	200	4.00
2015-10-28	13:53:51	167816.293	530138.194	1.20	9.45	7.93	15.13	7259	135.7	200	4.00
2015-10-28	13:53:52	167816.533	530138.173	1.10	9.42	7.93	15.14	7257	135.7	200	4.01
2015-10-28	13:53:53	167817.015	530138.102	1.40	9.38	7.93	15.15	7271	135.7	200	4.01
2015-10-28	13:53:54	167817.498	530137.985	1.20	9.36	7.93	15.21	7277	136.1	200	4.01
2015-10-28	13:53:55	167817.977	530137.826	0.10	9.33	7.93	15.22	7283	136.1	200	4.02
2015-10-28	13:53:56	167818.451	530137.630	1.50	9.31	7.94	15.22	7284	136.1	200	4.02
2015-10-28	13:53:57	167818.917	530137.398	0.50	9.30	7.94	15.28	7284	136.6	200	4.02
2015-10-28	13:53:58	167819.370	530137.134	0.30	9.30	7.94	15.28	7288	136.6	200	4.02
2015-10-28	13:53:59	167819.809	530136.840	0.50	9.29	7.94	15.28	7287	136.6	200	4.02
2015-10-28	13:54:00	167820.231	530136.519	0.50	9.29	7.94	15.33	7289	137.0	200	4.02
2015-10-28	13:54:01	167820.631	530136.174	0.30	9.28	7.94	15.33	7289	137.0	200	4.02
2015-10-28	13:54:02	167821.009	530135.808	0.30	9.27	7.95	15.37	7297	137.0	200	4.02
2015-10-28	13:54:03	167821.359	530135.424	0.30	9.25	7.95	15.39	7298	137.4	200	4.03
2015-10-28	13:54:04	167821.680	530135.024	1.10	9.24	7.95	15.39	7297	137.4	200	4.02
2015-10-28	13:54:05	167821.968	530134.611	0.80	9.22	7.95	15.40	7300	137.4	200	4.03
2015-10-28	13:54:06	167822.221	530134.189	1.30	9.22	7.95	15.44	7301	137.8	200	4.03
2015-10-28	13:54:07	167822.435	530133.759	1.30	9.21	7.95	15.44	7305	137.8	200	4.03
2015-10-28	13:54:08	167822.608	530133.325	1.00	9.22	7.96	15.44	7303	137.8	201	4.03
2015-10-28	13:54:09	167822.736	530132.890	0.30	9.23	7.96	15.49	7302	138.2	201	4.03
2015-10-28	13:54:10	167822.783	530132.673	0.90	9.24	7.96	15.48	7303	138.2	201	4.03
2015-10-28	13:54:11	167822.818	530132.445	1.20	9.24	7.96	15.48	7303	138.2	201	4.03
2015-10-28	13:54:12	167822.838	530132.241	0.30	9.24	7.96	15.53	7300	138.7	201	4.03
2015-10-28	13:54:13	167822.846	530132.026	0.70	9.23	7.96	15.53	7304	138.7	201	4.03
2015-10-28	13:54:14	167822.839	530131.812	1.30	9.22	7.96	15.54	7307	138.7	201	4.03
2015-10-28	13:54:15	167822.815	530131.599	1.30	9.22	7.97	15.58	7309	139.1	201	4.03
2015-10-28	13:54:16	167822.774	530131.387	1.30	9.21	7.97	15.59	7311	139.1	201	4.03
2015-10-28	13:54:17	167822.714	530131.175	0.40	9.19	7.97	15.59	7298	139.1	201	4.03
2015-10-28	13:54:18	167822.634	530130.964	0.40	9.19	7.97	15.63	7311	139.4	201	4.03
2015-10-28	13:54:19	167822.513	530130.715	0.50	9.19	7.97	15.64	7317	139.4	201	4.04
2015-10-28	13:54:20	167822.410	530130.542	1.10	9.18	7.98	15.64	7320	139.4	201	4.04
2015-10-28	13:54:21	167822.266	530130.346	1.50	9.19	7.98	15.68	7320	139.8	201	4.04
2015-10-28	13:54:22	167822.103	530130.180	0.40	9.19	7.98	15.68	7322	139.8	201	4.04
2015-10-28	13:54:23	167822.015	530130.113	0.80	9.19	7.98	15.68	7322	139.8	201	4.04
2015-10-28	13:54:24	167821.923	530130.059	1.20	9.19	7.98	15.73	7324	140.3	201	4.04
2015-10-28	13:54:25	167821.827	530130.021	0.40	9.19	7.98	15.73	7321	140.3	201	4.04
2015-10-28	13:54:26	167821.727	530130.001	0.70	9.19	7.98	15.73	7318	140.3	201	4.04
2015-10-28	13:54:27	167821.659	530129.998	1.10	9.20	7.99	15.77	7318	140.7		

2015-10-28 13:55:05	167819.032	530130.867	0.20	9.47	7.81	14.49	7258	130.1	199	4.00
2015-10-28 13:55:06	167818.920	530130.650	0.10	9.46	7.81	14.50	7261	130.1	199	4.00
2015-10-28 13:55:07	167818.838	530130.435	0.60	9.46	7.82	14.57	7260	130.8	199	4.00
2015-10-28 13:55:08	167818.785	530130.220	1.20	9.47	7.82	14.57	7258	130.8	199	4.00
2015-10-28 13:55:09	167818.757	530130.005	1.50	9.48	7.83	14.57	7257	130.8	199	4.00
2015-10-28 13:55:10	167818.753	530129.791	1.30	9.49	7.83	14.63	7253	131.4	199	4.00
2015-10-28 13:55:11	167818.771	530129.577	1.30	9.51	7.84	14.63	7248	131.4	199	4.00
2015-10-28 13:55:12	167818.808	530129.364	0.10	9.52	7.84	14.62	7241	131.4	199	3.99
2015-10-28 13:55:13	167818.861	530129.151	0.80	9.54	7.84	14.69	7237	132.0	199	3.99
2015-10-28 13:55:14	167818.930	530128.938	0.90	9.53	7.85	14.69	7233	132.0	199	3.99
2015-10-28 13:55:15	167818.902	530128.514	0.40	9.53	7.85	14.69	7231	132.0	200	3.99
2015-10-28 13:55:16	167819.307	530128.091	0.10	9.53	7.86	14.75	7230	132.6	200	3.99
2015-10-28 13:55:17	167819.741	530127.246	0.30	9.56	7.87	14.74	7234	132.6	200	3.99
2015-10-28 13:55:18	167820.011	530126.636	1.00	9.59	7.87	14.73	7223	132.6	200	3.98
2015-10-28 13:55:19	167820.092	530126.402	0.70	9.61	7.88	14.79	7233	133.2	200	3.99
2015-10-28 13:55:20	167820.204	530125.980	0.90	9.61	7.88	14.79	7233	133.2	200	3.99
2015-10-28 13:55:21	167820.273	530125.557	1.30	9.60	7.89	14.80	7237	133.2	200	3.99
2015-10-28 13:55:22	167820.305	530125.134	1.50	9.60	7.89	14.85	7236	133.7	200	3.99
2015-10-28 13:55:23	167820.303	530124.711	1.00	9.62	7.89	14.85	7233	133.7	200	3.99
2015-10-28 13:55:24	167820.270	530124.287	1.00	9.65	7.90	14.84	7231	133.7	200	3.99
2015-10-28 13:55:25	167820.209	530123.863	1.00	9.66	7.90	14.88	7225	134.2	200	3.98
2015-10-28 13:55:26	167820.124	530123.438	0.70	9.67	7.91	14.88	7226	134.2	200	3.98
2015-10-28 13:55:27	167820.019	530123.013	0.40	9.67	7.91	14.88	7225	134.2	200	3.98
2015-10-28 13:55:28	167819.898	530122.588	0.20	9.66	7.91	14.94	7225	134.7	200	3.98
2015-10-28 13:55:29	167819.763	530122.162	0.70	9.64	7.91	14.95	7226	134.7	200	3.98
2015-10-28 13:55:30	167819.467	530121.309	1.50	9.61	7.92	14.96	7232	134.7	200	3.99
2015-10-28 13:55:31	167819.160	530120.453	1.20	9.57	7.92	15.03	7240	135.2	200	3.99
2015-10-28 13:55:32	167818.871	530119.596	1.20	9.53	7.92	15.04	7246	135.2	200	4.00
2015-10-28 13:55:33	167818.742	530119.166	0.40	9.49	7.93	15.06	7255	135.2	200	4.00
2015-10-28 13:55:34	167818.592	530118.586	1.20	9.45	7.93	15.13	7259	135.7	200	4.02
2015-10-28 13:55:35	167818.531	530118.305	0.70	9.42	7.93	15.14	7265	135.7	200	4.01
2015-10-28 13:55:36	167818.454	530117.874	1.10	9.38	7.93	15.15	7271	135.7	200	4.01
2015-10-28 13:55:37	167818.393	530117.442	1.40	9.36	7.93	15.21	7277	136.1	200	4.01
2015-10-28 13:55:38	167818.349	530117.009	0.90	9.33	7.93	15.22	7283	136.1	200	4.02
2015-10-28 13:55:39	167818.319	530116.577	0.50	9.31	7.94	15.22	7284	136.1	200	4.02
2015-10-28 13:55:40	167818.301	530116.143	1.30	9.30	7.94	15.28	7284	136.6	200	4.02
2015-10-28 13:55:41	167818.299	530115.277	1.20	9.30	7.94	15.28	7288	136.6	200	4.02
2015-10-28 13:55:42	167818.331	530114.409	0.50	9.29	7.94	15.28	7287	136.6	200	4.02
2015-10-28 13:55:43	167818.385	530113.542	1.00	9.25	7.94	15.33	7289	137.0	200	4.02
2015-10-28 13:55:44	167818.514	530111.811	0.90	9.28	7.94	15.48	7290	137.0	200	4.03
2015-10-28 13:55:45	167818.564	530110.947	1.00	9.27	7.95	15.34	7297	137.0	200	4.02
2015-10-28 13:55:46	167818.592	530109.840	1.00	9.25	7.95	15.39	7298	137.4	200	4.03
2015-10-28 13:55:47	167818.581	530109.228	0.20	9.24	7.95	15.39	7297	137.4	200	4.02
2015-10-28 13:55:48	167818.535	530108.372	1.10	9.22	7.95	15.40	7300	137.4	200	4.03
2015-10-28 13:55:49	167818.456	530107.519	0.20	9.22	7.95	15.44	7301	137.8	200	4.03
2015-10-28 13:55:50	167818.348	530106.668	0.30	9.21	7.95	15.44	7305	137.8	200	4.03
2015-10-28 13:55:51	167818.215	530066.937	0.90	9.22	7.96	15.44	7303	137.8	201	4.03
2015-10-28 13:55:52	167818.061	530104.971	0.60	9.23	7.96	15.49	7302	138.2	201	4.03
2015-10-28 13:55:53	167817.890	530104.123	0.50	9.24	7.96	15.48	7303	138.2	201	4.03
2015-10-28 13:55:54	167817.705	530103.276	0.50	9.24	7.96	15.48	7303	138.2	201	4.03
2015-10-28 13:55:55	167817.311	530101.581	0.30	9.24	7.96	15.53	7300	138.7	201	4.03
2015-10-28 13:55:56	167816.911	530099.883	0.10	9.23	7.96	15.53	7304	138.7	201	4.03
2015-10-28 13:55:57	167816.536	530098.178	0.30	9.22	7.96	15.54	7307	138.7	201	4.03
2015-10-28 13:55:58	167816.367	530097.322	0.90	9.22	7.97	15.58	7309	139.1	201	4.03
2015-10-28 13:55:59	167816.217	530096.464	0.80	9.21	7.97	15.59	7311	139.1	201	4.03
2015-10-28 13:56:00	167816.115	530095.791	1.10	9.19	7.97	15.59	7298	139.1	201	4.03
2015-10-28 13:56:01	167815.985	530094.736	0.40	9.19	7.97	15.63	7311	139.4	201	4.03
2015-10-28 13:56:02	167815.909	530093.869	1.00	9.19	7.97	15.64	7317	139.4	201	4.04
2015-10-28 13:56:03	167815.862	530093.001	0.80	9.19	7.98	15.64	7320	139.4	201	4.04
2015-10-28 13:56:04	167815.847	530092.133	0.60	9.19	7.98	15.68	7320	139.8	201	4.04
2015-10-28 13:56:05	167815.865	530091.266	0.70	9.19	7.98	15.68	7322	139.8	201	4.04
2015-10-28 13:56:06	167815.919	530090.401	1.50	9.19	7.98	15.68	7322	139.8	201	4.04
2015-10-28 13:56:07	167816.010	530089.540	1.40	9.19	7.98	15.73	7324	140.3	201	4.04
2015-10-28 13:56:08	167816.115	530088.832	0.10	9.19	7.98	15.73	7321	140.3	201	4.04
2015-10-28 13:56:09	167816.302	530087.832	0.60	9.19	7.98	15.73	7318	140.3	201	4.04
2015-10-28 13:56:10	167816.466	530086.982	1.20	9.20	7.99	15.77	7318	140.7	201	4.04
2015-10-28 13:56:11	167816.539	530086.556	0.80	9.20	7.99	15.77	7316	140.7	201	4.04
2015-10-28 13:56:12	167816.615	530085.994	0.30	9.23	7.99	15.76	7309	140.7	201	4.03
2015-10-28 13:56:13	167816.643	530085.701	0.10	9.25	7.99	15.81	7307	141.1	201	4.03
2015-10-28 13:56:14	167816.672	530085.272	1.40	9.23	7.99	15.81	7305	141.1	201	4.03
2015-10-28 13:56:15	167816.686	530084.841	0.70	9.24	7.99	15.80	7300	141.1	201	4.03
2015-10-28 13:56:16	167816.689	530084.409	1.30	9.25	7.99	15.85	7296	141.5	202	4.02
2015-10-28 13:56:17	167816.665	530083.542	1.40	9.25	7.99	15.85	7297	141.5	202	4.02
2015-10-28 13:56:18	167816.619	530082.673	0.20	9.26	7.99	15.84	7283	141.5	202	4.02
2015-10-28 13:56:19	167816.520	530080.934	1.40	9.26	7.99	15.89	7305	141.9	202	4.03
2015-10-28 13:56:20	167816.501	530080.067	1.50	9.28	8.00	15.88	7284	141.9	202	4.02
2015-10-28 13:56:21	167816.507	530079.635	1.30	9.31	8.00	15.87	7267	141.9	202	4.01
2015-10-28 13:56:22	167816.525	530079.204	0.10	9.33	8.01	15.91	7262	142.3	202	4.00
2015-10-28 13:56:23	167816.557	530078.774	1.20	9.35	8.01	15.90	7265	142.3	202	4.01
2015-10-28 13:56:24	167816.615	530078.282	0.70	9.61	7.65	13.67	7210	123.1	199	3.98
2015-10-28 13:56:25	167816.750	530077.494	0.60	9.62	7.64	13.67	7208	123.1	199	3.97
2015-10-28 13:56:26	167816.898	530076.675	0.60	9.59	7.64	13.68	7210	123.1	199	3.98
2015-10-28 13:56:27	167816.962	530076.215	1.00	9.72	7.67	13.76	7187	124.2	199	3.96
2015-10-28 13:56:28	167817.007	530075.787	0.50	9.81	7.67	13.73	7171	124.2	199	3.95
2015-10-28 13:56:29	167817.060	530074.926	0.80	9.78	7.67	13.74	7177	124.2	199	3.96
2015-10-28 13:56:30	167817.071	530074.062	0.80	9.76	7.70	13.86	7180	125.2	199	3.96
2015-10-28 13:56:31	167817.051	530073.196	0.30	9.80	7.70	13.85	7174	125.2	199	3.95
2015-10-28 13:56:32	167817.009	530072.327	1.20	9.85	7.69	13.83	7166	125.2	199	3.95
2015-10-28 13:56:33	167816.998	530071.558	0.70	9.89	7.72	13.92	7157	126.2	199	3.96
2015-10-28 13:56:34	167816.854	530069.719	0.40	9.90	7.72	13.92	7152	126.2	199	3.94
2015-10-28 13:56:35	167816.826	530068.852	1.50	9.89	7.72	13.93	7155	126.2	199	3.94
2015-10-28 13:56:36	167816.829	530067.987	0.60	9.83	7.74	14.04	7167	127.1	199	3.95
2015-10-28 13:56:37	167816.872	530067.126	0.40	9.75	7.74	14.07	7183	127.1	199	3.96
2015-10-28 13:56:38	167816.898	530066.834	1.30	9.68	7					

2015-10-28 13:57:19	167815.533	530044.083	0.40	9.38	7.93	15.15	7271	135.7	200	4.01
2015-10-28 13:57:20	167815.641	530043.523	0.30	9.36	7.93	15.21	7277	136.1	200	4.01
2015-10-28 13:57:21	167815.773	530042.646	0.50	9.33	7.93	15.22	7283	136.1	200	4.02
2015-10-28 13:57:22	167815.863	530041.766	0.80	9.31	7.94	15.22	7284	136.1	200	4.02
2015-10-28 13:57:23	167815.914	530040.885	1.50	9.30	7.94	15.28	7284	136.6	200	4.02
2015-10-28 13:57:24	167815.933	530040.006	1.10	9.30	7.94	15.28	7288	136.6	200	4.02
2015-10-28 13:57:25	167815.921	530039.129	1.50	9.29	7.94	15.28	7287	136.6	200	4.02
2015-10-28 13:57:26	167815.884	530038.258	0.70	9.29	7.94	15.33	7289	137.0	200	4.02
2015-10-28 13:57:27	167815.826	530037.394	1.10	9.28	7.94	15.33	7289	137.0	200	4.02
2015-10-28 13:57:28	167815.750	530036.540	1.20	9.27	7.95	15.34	7297	137.0	200	4.02
2015-10-28 13:57:29	167815.661	530035.691	1.00	9.25	7.96	15.39	7298	137.4	200	4.03
2015-10-28 13:57:30	167815.533	530034.633	0.40	9.24	7.95	15.39	7297	137.4	200	4.02
2015-10-28 13:57:31	167815.348	530033.246	1.40	9.22	7.95	15.40	7300	137.4	200	4.03
2015-10-28 13:57:32	167815.228	530032.439	0.20	9.22	7.95	15.44	7301	137.8	200	4.03
2015-10-28 13:57:33	167815.094	530031.621	0.60	9.21	7.95	15.44	7305	137.8	200	4.03
2015-10-28 13:57:34	167814.945	530030.783	0.90	9.22	7.96	15.44	7303	137.8	201	4.03
2015-10-28 13:57:35	167814.776	530029.915	1.40	11.96	2.01	13.58	6928	128.9	188	3.82
2015-10-28 13:57:36	167814.683	530029.466	0.60	12.01	2.03	13.56	6923	128.9	188	3.81
2015-10-28 13:57:37	167814.584	530029.007	0.40	12.01	2.02	13.68	6918	130.0	188	3.81
2015-10-28 13:57:38	167814.479	530028.534	0.10	12.02	2.05	13.67	6917	130.0	188	3.81
2015-10-28 13:57:39	167814.390	530028.151	0.50	12.01	2.06	13.68	6920	130.0	189	3.81
2015-10-28 13:57:40	167814.245	530027.551	0.90	12.01	2.05	13.78	6916	131.1	189	3.81
2015-10-28 13:57:41	167814.112	530027.053	0.40	12.01	2.09	13.78	6914	131.1	189	3.81
2015-10-28 13:57:42	167813.963	530026.566	1.00	12.00	2.10	13.79	6921	131.1	189	3.81
2015-10-28 13:57:43	167813.793	530026.102	1.20	12.01	2.09	13.89	6921	132.1	189	3.81
2015-10-28 13:57:44	167813.699	530025.882	1.00	12.00	2.13	13.89	6925	132.1	189	3.82
2015-10-28 13:57:45	167813.599	530025.672	0.50	11.99	2.14	13.90	6924	132.1	189	3.81
2015-10-28 13:57:46	167813.492	530025.473	1.30	11.99	2.13	14.00	6921	133.0	189	3.81
2015-10-28 13:57:47	167813.376	530025.288	1.00	11.98	2.16	14.00	6922	133.0	189	3.81
2015-10-28 13:57:48	167813.253	530025.116	0.30	11.98	2.17	14.00	6927	133.0	189	3.82
2015-10-28 13:57:49	167813.121	530024.961	1.10	11.97	2.16	14.09	6932	133.8	189	3.82
2015-10-28 13:57:50	167812.980	530024.823	1.00	11.97	2.20	14.09	6929	133.8	189	3.82
2015-10-28 13:57:51	167812.829	530024.704	0.70	11.94	2.21	14.10	6935	133.8	189	3.82
2015-10-28 13:57:52	167812.668	530024.605	1.10	11.91	2.20	14.18	6936	134.6	189	3.82
2015-10-28 13:57:53	167812.497	530024.527	1.30	11.91	2.23	14.18	6954	134.6	189	3.83
2015-10-28 13:57:54	167812.261	530024.462	0.70	11.92	2.24	14.18	6946	134.6	189	3.83
2015-10-28 13:57:55	167812.120	530024.443	0.10	11.94	2.23	14.23	6943	135.1	189	3.83
2015-10-28 13:57:56	167811.915	530024.436	0.90	11.92	2.26	14.23	6940	135.1	189	3.82
2015-10-28 13:57:57	167811.701	530024.448	1.20	11.91	2.28	14.24	6945	135.1	189	3.83
2015-10-28 13:57:58	167811.481	530024.477	1.00	11.91	2.27	14.29	6947	135.5	189	3.82
2015-10-28 13:57:59	167811.257	530024.519	1.10	11.91	2.30	14.29	6942	135.5	189	3.83
2015-10-28 13:58:00	167810.802	530024.630	0.40	11.92	2.31	14.29	6948	135.5	189	3.83
2015-10-28 13:58:01	167810.352	530024.756	1.00	11.96	2.30	14.32	6934	136.0	189	3.82
2015-10-28 13:58:02	167809.922	530024.871	0.20	11.97	2.33	14.32	6936	136.0	189	3.82
2015-10-28 13:58:03	167809.720	530024.917	1.20	11.98	2.34	14.31	6942	136.0	189	3.83
2015-10-28 13:58:04	167809.529	530024.951	1.10	11.98	2.33	14.36	6935	136.5	189	3.82
2015-10-28 13:58:05	167809.399	530024.967	1.10	11.96	2.36	14.37	6936	136.5	189	3.82
2015-10-28 13:58:06	167809.186	530024.972	0.30	11.94	2.37	14.38	6935	136.5	189	3.82
2015-10-28 13:58:07	167809.036	530024.957	0.50	11.94	2.36	14.43	6942	136.9	189	3.83
2015-10-28 13:58:08	167808.898	530024.926	0.10	11.95	2.39	14.42	6938	136.9	189	3.82
2015-10-28 13:58:09	167808.774	530024.878	0.40	11.94	2.40	14.43	6941	136.9	189	3.82
2015-10-28 13:58:10	167808.662	530024.816	0.20	11.94	2.39	14.47	6940	137.4	189	3.82
2015-10-28 13:58:11	167808.562	530024.738	0.80	11.95	2.42	14.47	6940	137.4	189	3.82
2015-10-28 13:58:12	167808.474	530024.646	1.40	11.96	2.43	14.47	6937	137.4	189	3.82
2015-10-28 13:58:13	167808.397	530024.540	0.60	11.96	2.42	14.51	6935	137.8	189	3.82
2015-10-28 13:58:14	167808.331	530024.421	1.00	11.97	2.45	14.51	6935	137.8	189	3.82
2015-10-28 13:58:15	167808.274	530024.289	0.60	11.98	2.46	14.51	6934	137.8	189	3.82
2015-10-28 13:58:16	167808.228	530024.144	1.30	11.99	2.45	14.55	6932	138.2	189	3.82
2015-10-28 13:58:17	167808.191	530023.988	0.10	11.99	2.48	14.55	6931	138.2	189	3.82
2015-10-28 13:58:18	167808.163	530023.819	1.00	11.99	2.49	14.55	6919	138.2	189	3.81
2015-10-28 13:58:19	167808.144	530023.640	0.90	11.97	2.48	14.60	6913	138.6	189	3.81
2015-10-28 13:58:20	167808.132	530023.451	0.10	12.00	2.51	14.59	6900	138.6	189	3.80
2015-10-28 13:58:21	167808.128	530023.251	0.50	11.98	2.52	14.59	6903	138.6	189	3.80
2015-10-28 13:58:22	167808.132	530023.042	0.70	11.99	2.50	14.64	6902	139.1	189	3.80
2015-10-28 13:58:23	167808.158	530022.597	0.40	11.99	2.53	14.63	6897	139.1	189	3.80
2015-10-28 13:58:24	167808.208	530022.119	1.00	12.00	2.54	14.63	6899	139.1	189	3.80
2015-10-28 13:58:25	167808.278	530021.614	1.10	12.00	2.53	14.67	6897	139.5	189	3.80
2015-10-28 13:58:26	167808.364	530021.084	0.30	12.01	2.56	14.67	6900	139.5	189	3.82
2015-10-28 13:58:27	167808.464	530020.533	1.30	12.01	2.57	14.67	6900	139.5	189	3.80
2015-10-28 13:58:28	167808.572	530019.963	0.90	12.00	2.56	14.71	6901	139.8	189	3.80
2015-10-28 13:58:29	167808.687	530019.385	1.50	12.01	2.59	14.71	6903	139.8	189	3.80
2015-10-28 13:58:30	167808.920	530018.202	1.40	12.00	2.60	14.71	6901	139.8	189	3.80
2015-10-28 13:58:31	167809.135	530017.014	0.40	12.00	2.59	14.75	6908	140.2	189	3.81
2015-10-28 13:58:32	167809.227	530016.429	0.50	12.00	2.62	14.75	6908	140.2	189	3.81
2015-10-28 13:58:33	167809.304	530015.854	0.90	12.00	2.63	14.75	6913	140.2	189	3.81
2015-10-28 13:58:34	167809.362	530015.293	0.50	12.00	2.61	14.78	6912	140.5	189	3.81
2015-10-28 13:58:35	167809.399	530014.711	1.50	11.99	2.64	14.78	6911	140.5	189	3.81
2015-10-28 13:58:36	167809.408	530014.230	0.20	11.99	2.65	14.78	6925	140.5	189	3.82
2015-10-28 13:58:37	167809.396	530013.730	0.30	11.99	2.64	14.81	6927	140.7	189	3.81
2015-10-28 13:58:38	167809.363	530013.250	1.10	11.99	2.67	14.81	6927	140.7	189	3.82
2015-10-28 13:58:39	167809.311	530012.786	0.60	11.99	2.68	14.81	6926	140.7	189	3.82
2015-10-28 13:58:40	167809.243	530012.339	1.30	11.99	2.67	14.84	6927	141.0	189	3.82
2015-10-28 13:58:41	167809.163	530011.905	1.20	11.99	2.70	14.84	6926	141.0	189	3.82
2015-10-28 13:58:42	167809.071	530011.483	1.10	11.99	2.71	14.84	6924	141.0	189	3.81
2015-10-28 13:58:43	167808.972	530011.071	0.80	11.98	2.70	14.87	6924	141.3	189	3.81
2015-10-28 13:58:44	167808.760	530010.270	0.70	11.98	2.72	14.87	6929	141.3	189	3.82
2015-10-28 13:58:45	167808.547	530009.488	0.50	11.98	2.73	14.87	6913	141.3	189	3.81
2015-10-28 13:58:46	167808.354	530008.711	0.50	11.98	2.73	14.90	6916	141.5	189	3.81
2015-10-28 13:58:47	167808.271	530008.320	1.00	11.98	2.75	14.90	6918	141.5	189	3.81
2015-10-28 13:58:48	167808.191	530007.858	0.50	11.98	2.76	14.90	6920	141.5	189	3.81
2015-10-28 13:58:49	167808.146	530007.523	0.50	11.98	2.75	14.92	6915	141.8	189	3.81
2015-10-28 13:58:50	167808.105	530007.115	0.40	11.98	2.77	14.93	6912	141.8	189	3.81
2015-10-28 13:58:51	167808.078	530006.702	1.40	11.98	2.78	14.92	6919	141.8	189	3.81

2015-10-28 13:59:33	167810.065	529979.416	0.10	11.95	3.10	15.11	6914	143.4	190	3.81
2015-10-28 13:59:34	167810.196	529978.839	1.30	11.95	3.09	15.12	6914	143.5	190	3.81
2015-10-28 13:59:35	167810.679	529977.065	0.80	11.94	3.11	15.12	6917	143.5	190	3.81
2015-10-28 13:59:36	167810.784	529976.632	1.30	11.94	3.12	15.12	6915	143.5	190	3.81
2015-10-28 13:59:37	167810.871	529976.205	1.20	11.94	3.11	15.12	6918	143.5	190	3.81
2015-10-28 13:59:38	167810.932	529975.788	0.70	11.94	3.13	15.12	6915	143.5	190	3.81
2015-10-28 13:59:39	167810.962	529975.382	0.90	11.94	3.14	15.12	6915	143.5	190	3.81
2015-10-28 13:59:40	167810.954	529974.988	1.20	11.94	3.14	15.13	6912	143.6	190	3.81
2015-10-28 13:59:41	167810.933	529974.796	0.70	11.94	3.15	15.13	6914	143.6	190	3.81
2015-10-28 13:59:42	167810.907	529974.641	0.70	11.96	2.01	13.58	6924	138.9	188	3.82
2015-10-28 13:59:43	167810.856	529974.424	0.40	12.01	2.03	13.58	6923	138.9	188	3.81
2015-10-28 13:59:44	167810.799	529974.244	1.40	12.01	2.02	13.68	6918	130.0	188	3.81
2015-10-28 13:59:45	167810.652	529973.893	0.20	12.02	2.05	13.67	6917	130.0	188	3.81
2015-10-28 13:59:46	167810.464	529973.553	0.10	12.02	2.06	13.68	6920	130.0	189	3.81
2015-10-28 13:59:47	167810.241	529973.223	1.40	12.01	2.05	13.78	6916	131.1	189	3.81
2015-10-28 13:59:48	167809.985	529972.901	0.40	12.01	2.09	13.78	6914	131.1	189	3.81
2015-10-28 13:59:49	167809.703	529972.584	0.50	12.00	2.10	13.79	6921	131.1	189	3.81
2015-10-28 13:59:50	167809.398	529972.270	0.90	12.01	2.09	13.89	6921	132.1	189	3.81
2015-10-28 13:59:51	167809.075	529971.957	0.40	12.00	2.13	13.89	6925	132.1	189	3.82
2015-10-28 13:59:52	167808.395	529971.328	0.90	11.99	2.14	14.00	6924	132.1	189	3.81
2015-10-28 13:59:53	167807.698	529970.679	1.20	11.99	2.13	14.00	6921	133.0	189	3.81
2015-10-28 13:59:54	167807.356	529970.343	1.50	11.98	2.16	14.00	6922	133.0	189	3.81
2015-10-28 13:59:55	167807.023	529969.995	0.90	11.98	2.17	14.00	6927	133.0	189	3.82
2015-10-28 13:59:56	167806.784	529969.727	1.30	11.97	2.16	14.09	6932	133.8	189	3.82
2015-10-28 13:59:57	167806.403	529969.261	0.30	11.97	2.20	14.09	6929	133.8	189	3.82
2015-10-28 13:59:58	167805.838	529968.496	1.20	11.94	2.21	14.10	6935	133.8	189	3.82
2015-10-28 13:59:59	167805.305	529967.745	0.30	11.91	2.20	14.18	6936	134.6	189	3.82
2015-10-28 14:00:00	167805.043	529967.388	1.40	11.91	2.23	14.18	6954	134.6	189	3.83
2015-10-28 14:00:01	167804.780	529967.051	0.20	11.92	2.24	14.18	6946	134.6	189	3.83
2015-10-28 14:00:02	167804.512	529966.738	0.90	11.94	2.26	14.23	6943	135.1	189	3.83
2015-10-28 14:00:03	167804.257	529966.457	1.00	11.92	2.26	14.23	6940	135.1	189	3.82
2015-10-28 14:00:04	167803.952	529966.211	0.80	11.91	2.28	14.24	6945	135.1	189	3.83
2015-10-28 14:00:05	167803.672	529966.018	0.70	11.91	2.27	14.29	6934	135.5	189	3.82
2015-10-28 14:00:06	167803.499	529965.923	1.00	11.91	2.30	14.29	6942	135.5	189	3.83
2015-10-28 14:00:07	167803.340	529965.849	0.20	11.92	2.31	14.29	6948	135.5	189	3.83
2015-10-28 14:00:08	167803.009	529965.735	0.10	11.96	2.30	14.32	6934	136.0	189	3.82
2015-10-28 14:00:09	167802.662	529965.663	0.10	11.97	2.33	14.32	6936	136.0	189	3.82
2015-10-28 14:00:10	167802.299	529965.630	1.20	11.98	2.34	14.31	6942	136.0	189	3.83
2015-10-28 14:00:11	167801.920	529965.635	0.80	11.98	2.33	14.36	6935	136.5	189	3.82
2015-10-28 14:00:12	167801.524	529965.675	0.20	11.96	2.36	14.51	6936	136.5	189	3.82
2015-10-28 14:00:13	167801.111	529965.747	0.40	11.94	2.37	14.38	6935	136.5	189	3.82
2015-10-28 14:00:14	167800.681	529965.850	1.40	11.94	2.36	14.43	6942	136.9	189	3.83
2015-10-28 14:00:15	167800.235	529965.981	0.40	11.95	2.39	14.42	6938	136.9	189	3.82
2015-10-28 14:00:16	167799.773	529966.138	0.30	11.94	2.40	14.43	6941	136.9	189	3.82
2015-10-28 14:00:17	167799.293	529966.318	0.40	11.94	2.39	14.47	6940	137.4	189	3.82
2015-10-28 14:00:18	167798.797	529966.518	1.20	11.95	2.42	14.47	6940	137.4	189	3.82
2015-10-28 14:00:19	167798.283	529966.738	0.80	11.96	2.43	14.47	6937	137.4	189	3.82
2015-10-28 14:00:20	167797.753	529966.974	1.50	11.96	2.42	14.51	6935	137.8	189	3.82
2015-10-28 14:00:21	167797.439	529967.117	1.20	11.97	2.45	14.51	6935	137.8	189	3.82
2015-10-28 14:00:22	167796.642	529967.487	1.30	11.98	2.46	14.51	6934	137.8	189	3.82
2015-10-28 14:00:23	167796.066	529967.559	1.10	11.99	2.45	14.55	6932	138.2	189	3.82
2015-10-28 14:00:24	167795.481	529968.041	0.40	11.99	2.48	14.55	6931	138.2	189	3.82
2015-10-28 14:00:25	167794.294	529968.624	0.90	11.99	2.49	14.55	6919	138.2	189	3.81
2015-10-28 14:00:26	167793.105	529969.224	1.10	11.97	2.48	14.60	6913	138.6	189	3.81
2015-10-28 14:00:27	167791.941	529969.826	1.40	12.00	2.51	14.59	6900	138.6	189	3.80
2015-10-28 14:00:28	167791.375	529970.125	1.30	11.98	2.52	14.59	6903	138.6	189	3.80
2015-10-28 14:00:29	167790.825	529970.419	0.70	11.99	2.50	14.64	6902	139.1	189	3.80
2015-10-28 14:00:30	167790.292	529970.708	1.20	11.99	2.53	14.63	6897	139.1	189	3.80
2015-10-28 14:00:31	167789.782	529970.990	0.20	12.00	2.54	14.63	6899	139.1	189	3.80
2015-10-28 14:00:32	167789.283	529971.263	0.90	12.01	2.56	14.67	6897	139.5	189	3.80
2015-10-28 14:00:33	167788.837	529971.526	0.10	12.01	2.56	14.67	6900	139.5	189	3.80
2015-10-28 14:00:34	167788.409	529971.776	0.40	12.01	2.57	14.67	6900	139.5	189	3.80
2015-10-28 14:00:35	167788.014	529972.013	1.00	12.00	2.56	14.71	6901	139.8	189	3.80
2015-10-28 14:00:36	167787.657	529972.235	0.50	12.01	2.59	14.71	6903	139.8	189	3.80
2015-10-28 14:00:37	167787.340	529972.440	0.70	12.00	2.60	14.71	6901	139.8	189	3.80
2015-10-28 14:00:38	167787.197	529973.174	1.30	12.00	2.59	14.75	6908	140.2	189	3.81
2015-10-28 14:00:39	167787.066	529972.626	1.20	12.00	2.62	14.75	6908	140.2	189	3.81
2015-10-28 14:00:40	167786.946	529972.712	0.80	12.00	2.63	14.75	6913	140.2	189	3.81
2015-10-28 14:00:41	167786.838	529972.793	1.10	12.00	2.61	14.78	6912	140.5	189	3.81
2015-10-28 14:00:42	167786.742	529972.868	1.30	11.99	2.64	14.73	6911	140.5	189	3.81
2015-10-28 14:00:43	167786.659	529972.938	0.70	11.99	2.65	14.78	6925	140.5	189	3.82
2015-10-28 14:00:44	167786.589	529973.001	1.00	11.99	2.64	14.81	6922	140.7	189	3.81
2015-10-28 14:00:45	167786.533	529973.059	1.30	11.99	2.67	14.81	6927	140.7	189	3.82
2015-10-28 14:00:46	167786.490	529973.111	0.10	11.99	2.68	14.81	6926	140.7	189	3.82
2015-10-28 14:00:47	167786.462	529973.156	1.30	11.99	2.67	14.84	6927	141.0	189	3.82
2015-10-28 14:00:48	167786.449	529973.194	0.10	11.99	2.70	14.84	6926	141.0	189	3.82
2015-10-28 14:00:49	167786.450	529973.226	0.80	11.99	2.71	14.84	6924	141.0	189	3.81
2015-10-28 14:00:50	167786.467	529973.251	0.10	11.98	2.70	14.87	6924	141.3	189	3.81
2015-10-28 14:00:51	167786.490	529973.268	1.10	11.98	2.72	14.87	6929	141.3	189	3.82
2015-10-28 14:00:52	167786.548	529973.278	0.80	11.98	2.73	14.87	6913	141.3	189	3.81
2015-10-28 14:00:53	167786.614	529973.281	0.40	11.98	2.73	14.90	6916	141.5	189	3.81
2015-10-28 14:00:54	167786.696	529973.275	0.70	11.98	2.75	14.90	6918	141.5	189	3.81
2015-10-28 14:00:55	167786.795	529973.262	1.30	11.98	2.76	14.90	6920	141.5	189	3.81
2015-10-28 14:00:56	167786.913	529973.240	1.40	11.98	2.75	14.92	6915	141.8	189	3.81
2015-10-28 14:00:57	167787.047	529973.211	0.80	11.98	2.77	14.93	6912	141.8	189	3.81
2015-10-28 14:00:58	167787.197	529972.536	0.70	11.98	2.78	14.92	6919	141.8	189	3.81
2015-10-28 14:00:59	167787.362	529973.129	1.30	11.98	2.78	14.94	6917	142.0	189	3.81
2015-10-28 14:01:00	167787.540	529973.078	1.50	11.98	2.80	14.95	6916	142.0	189	3.81
2015-10-28 14:01:01	167787.732	529973.019	0.70	11.98	2.81	14.97	6917	142.0	189	3.81
2015-10-28 14:01:02	167787.935	529972.954	0.40	11.98	2.80	14.96	6915	142.2	189	3.81
2015-10-28 14:01:03	167788.149	529972.883	0.90	11.98	2.82	14.96	6914	142.2	189	3.81
2015-10-28 14:01:04	167788.605	529972.723	1.30	11.98	2.83	14.97	6911	142.2	189	3.81
2015-10-28 14:01:05	167789.094	529972.541	1.10	11.97	2.83	14.99	6913	142.3	18	

2015-10-28 14:01:47	167788.519	529964.933	0.10	11.94	3.14	15.13	6912	143.6	190	3.81
2015-10-28 14:01:48	167788.041	529964.598	1.30	11.94	3.15	15.13	6914	143.6	190	3.81
2015-10-28 14:01:49	167787.597	529964.265	1.50	11.96	2.01	13.58	6928	128.9	188	3.82
2015-10-28 14:01:50	167787.193	529963.941	1.00	12.01	2.03	13.56	6923	128.9	188	3.81
2015-10-28 14:01:51	167787.008	529963.782	0.50	12.01	2.02	13.68	6918	130.0	188	3.81
2015-10-28 14:01:52	167786.836	529963.628	1.20	12.02	2.05	13.67	6917	130.0	188	3.81
2015-10-28 14:01:53	167786.676	529963.477	0.70	12.01	2.06	13.68	6920	130.0	189	3.81
2015-10-28 14:01:54	167786.531	529963.330	0.20	12.01	2.05	13.78	6916	131.1	189	3.81
2015-10-28 14:01:55	167786.400	529963.189	0.90	12.01	2.09	13.78	6914	131.1	189	3.81
2015-10-28 14:01:56	167786.285	529963.053	0.60	12.00	2.10	13.79	6921	131.1	189	3.81
2015-10-28 14:01:57	167786.186	529962.923	0.10	12.01	2.09	13.89	6921	132.1	189	3.81
2015-10-28 14:01:58	167786.104	529962.800	1.50	12.00	2.13	13.89	6925	132.1	189	3.82
2015-10-28 14:01:59	167786.041	529962.684	1.10	11.99	2.14	13.90	6924	132.1	189	3.81
2015-10-28 14:02:00	167785.996	529962.575	0.10	11.99	2.13	14.00	6921	133.0	189	3.81
2015-10-28 14:02:01	167785.970	529962.475	0.40	11.98	2.16	14.00	6922	133.0	189	3.81
2015-10-28 14:02:02	167785.965	529962.383	1.20	11.98	2.17	14.00	6927	133.0	189	3.82
2015-10-28 14:02:03	167785.981	529962.300	0.40	11.97	2.16	14.09	6932	133.8	189	3.82
2015-10-28 14:02:04	167786.019	529962.226	0.10	11.97	2.20	14.09	6929	133.8	189	3.82
2015-10-28 14:02:05	167786.079	529962.163	0.80	11.94	2.21	14.10	6935	133.8	189	3.82
2015-10-28 14:02:06	167786.120	529962.135	0.60	11.91	2.20	14.18	6936	134.6	189	3.82
2015-10-28 14:02:07	167786.271	529962.069	0.20	11.91	2.23	14.18	6954	134.6	189	3.83
2015-10-28 14:02:08	167786.399	529962.036	0.90	11.92	2.24	14.18	6946	134.6	189	3.83
2015-10-28 14:02:09	167786.547	529962.010	0.70	11.94	2.23	14.23	6943	135.1	189	3.83
2015-10-28 14:02:10	167786.714	529961.991	0.50	11.92	2.26	14.23	6940	135.1	189	3.82
2015-10-28 14:02:11	167786.897	529961.976	0.80	11.91	2.28	14.24	6945	135.1	189	3.83
2015-10-28 14:02:12	167787.094	529961.966	0.30	11.91	2.27	14.29	6934	135.5	189	3.82
2015-10-28 14:02:13	167787.527	529961.950	0.90	11.91	2.30	14.29	6942	135.5	189	3.83
2015-10-28 14:02:14	167787.999	529961.934	0.70	11.92	2.31	14.29	6948	135.5	189	3.83
2015-10-28 14:02:15	167788.497	529961.905	0.70	11.96	2.30	14.32	6934	136.0	189	3.82
2015-10-28 14:02:16	167789.006	529961.854	0.70	11.96	2.33	14.32	6936	136.0	189	3.82
2015-10-28 14:02:17	167789.515	529961.770	0.50	11.98	2.34	14.31	6942	136.0	189	3.83
2015-10-28 14:02:18	167789.765	529961.713	1.00	11.98	2.33	14.36	6935	136.5	189	3.82
2015-10-28 14:02:19	167790.010	529961.643	1.50	11.96	2.36	14.37	6936	136.5	189	3.82
2015-10-28 14:02:20	167790.247	529961.560	1.20	11.94	2.37	14.38	6935	136.5	189	3.82
2015-10-28 14:02:21	167790.476	529961.461	0.20	11.94	2.36	14.43	6942	136.9	189	3.83
2015-10-28 14:02:22	167790.740	529961.320	1.00	11.95	2.39	14.42	6938	136.9	189	3.82
2015-10-28 14:02:23	167790.902	529961.215	1.40	11.94	2.40	14.43	6941	136.9	189	3.82
2015-10-28 14:02:24	167791.097	529961.067	1.00	11.94	2.39	14.47	6940	137.4	189	3.82
2015-10-28 14:02:25	167791.279	529960.903	1.40	11.95	2.42	14.47	6940	137.4	189	3.82
2015-10-28 14:02:26	167791.448	529960.725	0.70	11.96	2.42	14.51	6937	137.8	189	3.82
2015-10-28 14:02:27	167791.606	529960.537	0.70	11.96	2.42	14.51	6935	137.8	189	3.82
2015-10-28 14:02:28	167791.750	529960.337	0.60	11.97	2.45	14.51	6935	137.8	189	3.82
2015-10-28 14:02:29	167791.882	530100.682	1.30	9.23	7.96	15.49	7302	138.2	201	4.03
2015-10-28 14:02:30	167792.002	529959.911	1.10	11.98	2.46	14.51	6934	137.8	189	3.82
2015-10-28 14:02:31	167792.108	529959.688	1.00	11.99	2.45	14.55	6932	138.2	189	3.82
2015-10-28 14:02:32	167792.202	529959.460	1.10	11.99	2.48	14.55	6931	138.2	189	3.82
2015-10-28 14:02:33	167792.283	529959.229	1.00	11.99	2.48	14.55	6919	138.2	189	3.81
2015-10-28 14:02:34	167792.351	529958.997	0.60	11.97	2.48	14.60	6913	138.6	189	3.81
2015-10-28 14:02:35	167792.405	529958.764	0.70	12.00	2.51	14.59	6900	138.6	189	3.80
2015-10-28 14:02:36	167792.447	529958.533	1.20	11.98	2.52	14.59	6903	138.6	189	3.80
2015-10-28 14:02:37	167792.476	529958.304	0.50	11.99	2.50	14.64	6902	139.1	189	3.80
2015-10-28 14:02:38	167792.491	529958.080	0.40	11.99	2.53	14.63	6897	139.1	189	3.80
2015-10-28 14:02:39	167792.494	529957.861	0.80	12.00	2.54	14.63	6899	139.1	189	3.80
2015-10-28 14:02:40	167792.483	529957.650	0.10	12.00	2.53	14.67	6897	139.5	189	3.80
2015-10-28 14:02:41	167792.458	529957.447	0.50	12.01	2.56	14.67	6900	139.5	189	3.80
2015-10-28 14:02:42	167792.421	529957.255	0.10	12.01	2.57	14.67	6900	139.5	189	3.80
2015-10-28 14:02:43	167792.370	529957.074	0.40	12.00	2.56	14.71	6901	139.8	189	3.80
2015-10-28 14:02:44	167792.327	529956.959	0.80	12.01	2.59	14.71	6903	139.8	189	3.80
2015-10-28 14:02:45	167792.227	529956.753	1.40	12.00	2.60	14.71	6901	139.8	189	3.80
2015-10-28 14:02:46	167792.135	529956.613	0.90	12.00	2.59	14.75	6908	140.2	189	3.81
2015-10-28 14:02:47	167792.032	529956.487	1.00	12.00	2.62	14.75	6908	140.2	189	3.81
2015-10-28 14:02:48	167791.916	529956.373	1.50	12.00	2.63	14.75	6913	140.2	189	3.81
2015-10-28 14:02:49	167791.788	529956.272	0.80	12.00	2.61	14.78	6912	140.5	189	3.81
2015-10-28 14:02:50	167791.649	529956.183	0.10	11.99	2.64	14.78	6911	140.5	189	3.81
2015-10-28 14:02:51	167791.500	529956.106	1.20	11.99	2.65	14.78	6925	140.5	189	3.82
2015-10-28 14:02:52	167791.339	529956.040	0.80	11.99	2.64	14.81	6922	140.7	189	3.81
2015-10-28 14:02:53	167791.169	529955.985	0.60	11.99	2.67	14.81	6927	140.7	189	3.82
2015-10-28 14:02:54	167790.989	529955.940	0.60	11.99	2.68	14.81	6926	140.7	189	3.82
2015-10-28 14:02:55	167790.800	529955.906	0.30	11.99	2.67	14.84	6927	141.0	189	3.82
2015-10-28 14:02:56	167790.602	529955.810	0.70	11.99	2.70	14.84	6926	141.0	189	3.82
2015-10-28 14:02:57	167790.396	529955.865	1.40	11.99	2.71	14.84	6924	141.0	189	3.81
2015-10-28 14:02:58	167789.961	529955.860	1.00	11.98	2.70	14.87	6924	141.3	189	3.81
2015-10-28 14:02:59	167789.497	529955.887	1.40	11.98	2.72	14.87	6929	141.3	189	3.82
2015-10-28 14:03:00	167789.009	529955.943	1.00	11.98	2.73	14.87	6913	141.3	189	3.81
2015-10-28 14:03:01	167788.499	529956.026	0.90	11.98	2.73	14.90	6916	141.5	189	3.81
2015-10-28 14:03:02	167787.971	529956.130	0.50	11.98	2.75	14.90	6918	141.5	189	3.81
2015-10-28 14:03:03	167787.429	529956.254	1.40	11.98	2.76	14.90	6920	141.5	189	3.81
2015-10-28 14:03:04	167786.876	529956.394	0.60	11.98	2.75	14.92	6915	141.8	189	3.81
2015-10-28 14:03:05	167786.315	529956.547	0.30	11.98	2.77	14.93	6912	141.8	189	3.81
2015-10-28 14:03:06	167784.921	529956.959	1.20	11.98	2.78	14.92	6919	141.8	189	3.81
2015-10-28 14:03:07	167784.061	529957.226	0.60	11.98	2.78	14.94	6917	142.0	189	3.81
2015-10-28 14:03:08	167782.967	529957.586	0.60	11.98	2.80	14.95	6916	142.0	189	3.81
2015-10-28 14:03:09	167782.436	529957.773	0.10	11.98	2.81	14.94	6917	142.0	189	3.81
2015-10-28 14:03:10	167781.918	529957.966	0.60	11.98	2.80	14.96	6915	142.2	189	3.81
2015-10-28 14:03:11	167781.415	529958.166	1.40	11.98	2.82	14.96	6914	142.2	189	3.81
2015-10-28 14:03:12	167780.929	529958.373	0.70	11.98	2.83	14.97	6911	142.2	189	3.81
2015-10-28 14:03:13	167780.462	529958.589	0.70	11.97	2.83	14.99	6913	142.3	189	3.81
2015-10-28 14:03:14	167780.017	529958.815	1.50	11.97	2.85	14.99	6912	142.3	189	3.81
2015-10-28 14:03:15	167779.594	529959.051	0.40	11.97	2.85	15.00	6911	142.5	189	3.81
2015-10-28 14:03:16	167779.196	529959.298	1.50	11.97	2.85	15.00	6914	142.5	189	3.81
2015-10-28 14:03:17	167778.825	529959.558	0.60	11.98	2.87	15.00	6910	142.5	189	3.81
2015-10-28 14:03:18	167778.483	529959.831	0.20	11.98	2.88	15.00	6912	142.5	189	3.81
2015-10-28 14:03:19	167778.172	529960.118	0.60	11.98	2.87	15.02	6910	142.6	189	

2015-10-28 14:04:01	167781.988	529966.183	1.40	12.01	2.06	13.68	6920	130.0	189	3.81
2015-10-28 14:04:02	167782.119	529965.947	0.20	12.01	2.05	13.78	6916	131.1	189	3.81
2015-10-28 14:04:03	167782.242	529965.702	0.70	12.01	2.09	13.78	6914	131.1	189	3.81
2015-10-28 14:04:04	167782.463	529965.189	0.90	12.00	2.10	13.79	6921	131.1	189	3.81
2015-10-28 14:04:05	167782.649	529964.659	1.00	12.01	2.09	13.89	6921	132.1	189	3.81
2015-10-28 14:04:06	167782.794	529964.125	0.80	12.00	2.13	13.89	6925	132.1	189	3.82
2015-10-28 14:04:07	167782.850	529963.862	0.70	11.99	2.14	13.90	6924	132.1	189	3.81
2015-10-28 14:04:08	167782.895	529963.603	1.00	11.99	2.13	14.00	6921	133.0	189	3.81
2015-10-28 14:04:09	167782.928	529963.351	0.90	11.98	2.16	14.00	6922	133.0	189	3.81
2015-10-28 14:04:10	167782.948	529963.107	1.30	11.98	2.17	14.00	6927	133.0	189	3.82
2015-10-28 14:04:11	167782.954	529962.873	1.30	11.98	2.18	14.09	6932	133.8	189	3.82
2015-10-28 14:04:12	167782.947	529962.651	1.00	11.97	2.20	14.09	6929	133.8	189	3.82
2015-10-28 14:04:13	167782.926	529962.443	1.10	11.94	2.21	14.10	6935	133.8	189	3.82
2015-10-28 14:04:14	167782.890	529962.250	0.60	11.91	2.20	14.18	6936	134.6	189	3.82
2015-10-28 14:04:15	167782.838	529962.074	1.50	11.91	2.23	14.18	6954	134.6	189	3.83
2015-10-28 14:04:16	167782.771	529961.918	0.70	11.92	2.24	14.18	6946	134.6	189	3.83
2015-10-28 14:04:17	167782.641	529961.725	1.20	11.94	2.23	14.23	6943	135.1	189	3.83
2015-10-28 14:04:18	167782.587	529961.669	1.10	11.92	2.26	14.23	6940	135.1	189	3.82
2015-10-28 14:04:19	167782.469	529961.579	0.30	11.91	2.28	14.24	6945	135.1	189	3.83
2015-10-28 14:04:20	167782.337	529961.512	1.10	11.91	2.27	14.29	6934	135.5	189	3.82
2015-10-28 14:04:21	167782.190	529961.465	0.60	11.91	2.30	14.29	6942	135.5	189	3.83
2015-10-28 14:04:22	167782.030	529961.439	1.30	11.92	2.31	14.29	6948	135.5	189	3.83
2015-10-28 14:04:23	167781.858	529961.433	1.50	11.96	2.30	14.32	6934	136.0	189	3.82
2015-10-28 14:04:24	167781.674	529961.445	0.30	11.97	2.33	14.32	6936	136.0	189	3.82
2015-10-28 14:04:25	167781.481	529961.475	0.10	11.98	2.34	14.31	6942	136.0	189	3.83
2015-10-28 14:04:26	167781.279	529961.521	0.30	11.98	2.33	14.36	6935	136.5	189	3.82
2015-10-28 14:04:27	167781.070	529961.584	0.40	11.96	2.36	14.37	6936	136.5	189	3.82
2015-10-28 14:04:28	167780.854	529961.662	1.00	11.94	2.37	14.38	6935	136.5	189	3.82
2015-10-28 14:04:29	167780.632	529961.753	0.30	11.94	2.36	14.43	6942	136.9	189	3.83
2015-10-28 14:04:30	167780.407	529961.858	1.50	11.95	2.49	14.42	6938	136.9	189	3.82
2015-10-28 14:04:31	167779.947	529962.104	1.00	11.94	2.40	14.43	6941	136.9	189	3.82
2015-10-28 14:04:32	167779.483	529962.393	1.50	11.94	2.39	14.47	6940	137.4	189	3.82
2015-10-28 14:04:33	167779.024	529962.716	1.00	11.95	2.42	14.47	6940	137.4	189	3.82
2015-10-28 14:04:34	167778.580	529963.066	0.70	11.96	2.43	14.47	6937	137.4	189	3.82
2015-10-28 14:04:35	167778.159	529963.438	1.00	11.96	2.42	14.51	6935	137.8	189	3.82
2015-10-28 14:04:36	167777.769	529963.823	0.50	11.97	2.45	14.51	6935	137.8	189	3.82
2015-10-28 14:04:37	167777.421	529964.214	0.10	11.98	2.46	14.51	6934	137.8	189	3.82
2015-10-28 14:04:38	167777.265	529964.409	0.70	11.99	2.45	14.55	6932	138.2	189	3.82
2015-10-28 14:04:39	167777.122	529964.603	0.50	11.99	2.48	14.55	6931	138.2	189	3.82
2015-10-28 14:04:40	167776.995	529964.796	1.20	11.99	2.49	14.60	6901	138.2	189	3.81
2015-10-28 14:04:41	167776.833	529965.078	1.20	11.97	2.48	14.60	6913	138.6	189	3.81
2015-10-28 14:04:42	167776.788	529965.171	0.20	12.00	2.51	14.59	6900	138.6	189	3.80
2015-10-28 14:04:43	167776.710	529965.352	0.60	11.98	2.52	14.59	6903	138.6	189	3.80
2015-10-28 14:04:44	167776.649	529965.530	0.90	11.99	2.50	14.64	6902	139.1	189	3.80
2015-10-28 14:04:45	167776.604	529965.704	1.40	11.99	2.53	14.63	6897	139.1	189	3.80
2015-10-28 14:04:46	167776.575	529965.874	1.20	12.00	2.54	14.63	6899	139.1	189	3.80
2015-10-28 14:04:47	167776.562	529966.041	1.50	12.00	2.53	14.67	6897	139.5	189	3.80
2015-10-28 14:04:48	167776.563	529966.205	0.80	12.01	2.56	14.67	6900	139.5	189	3.80
2015-10-28 14:04:49	167776.579	529966.367	1.10	12.01	2.57	14.67	6900	139.5	189	3.80
2015-10-28 14:04:50	167776.610	529966.526	0.30	12.00	2.59	14.71	6901	139.8	189	3.80
2015-10-28 14:04:51	167776.653	529966.682	1.20	12.01	2.59	14.71	6903	139.8	189	3.80
2015-10-28 14:04:52	167776.710	529966.837	1.20	12.00	2.60	14.71	6901	139.8	189	3.80
2015-10-28 14:04:53	167776.780	529966.989	1.30	12.00	2.59	14.75	6908	140.2	189	3.81
2015-10-28 14:04:54	167776.955	529967.290	0.10	12.00	2.62	14.75	6908	140.2	189	3.81
2015-10-28 14:04:55	167777.176	529967.587	0.60	12.00	2.63	14.75	6913	140.2	189	3.81
2015-10-28 14:04:56	167777.438	529967.881	0.40	12.00	2.61	14.78	6912	140.5	189	3.81
2015-10-28 14:04:57	167777.738	529968.175	0.30	11.99	2.64	14.78	6911	140.5	189	3.81
2015-10-28 14:04:58	167778.072	529968.469	0.20	11.99	2.65	14.78	6925	140.5	189	3.82
2015-10-28 14:04:59	167778.438	529968.767	0.89	11.99	2.64	14.81	6922	140.7	189	3.81
2015-10-28 14:05:00	167778.830	529969.070	0.90	11.99	2.67	14.81	6927	140.7	189	3.82
2015-10-28 14:05:01	167779.245	529969.380	0.80	11.99	2.68	14.81	6926	140.7	189	3.82
2015-10-28 14:05:02	167779.680	529969.699	1.40	11.99	2.67	14.84	6927	141.0	189	3.82
2015-10-28 14:05:03	167780.131	529970.028	0.90	11.99	2.70	14.84	6926	141.0	189	3.82
2015-10-28 14:05:04	167780.594	529970.370	0.80	11.99	2.71	14.84	6924	141.0	189	3.81
2015-10-28 14:05:05	167781.067	529970.726	0.50	11.98	2.70	14.87	6924	141.3	189	3.81
2015-10-28 14:05:06	167781.544	529971.099	0.50	11.98	2.72	14.87	6929	141.3	189	3.82
2015-10-28 14:05:07	167782.022	529971.490	0.90	11.98	2.73	14.87	6913	141.3	189	3.81
2015-10-28 14:05:08	167782.499	529971.901	0.50	11.98	2.73	14.90	6916	141.5	189	3.81
2015-10-28 14:05:09	167782.750	529972.129	0.98	11.98	2.76	14.90	6918	141.5	189	3.81
2015-10-28 14:05:10	167783.431	529972.786	0.10	11.98	2.75	14.90	6920	141.5	189	3.81
2015-10-28 14:05:11	167783.882	529973.249	0.90	11.98	2.75	14.92	6915	141.8	189	3.81
2015-10-28 14:05:12	167784.320	529973.715	1.10	11.98	2.77	14.93	6912	141.8	189	3.81
2015-10-28 14:05:13	167784.745	529974.175	1.10	11.98	2.78	14.92	6919	141.8	189	3.81
2015-10-28 14:05:14	167785.153	529974.623	0.20	11.98	2.78	14.94	6917	142.0	189	3.81
2015-10-28 14:05:15	167785.543	529975.048	0.30	11.98	2.80	14.95	6916	142.0	189	3.81
2015-10-28 14:05:16	167785.913	529975.445	0.90	11.98	2.81	14.94	6917	142.0	189	3.81
2015-10-28 14:05:17	167786.090	529975.629	0.10	11.98	2.80	14.96	6915	142.2	189	3.81
2015-10-28 14:05:18	167786.261	529975.803	0.90	11.98	2.82	14.96	6914	142.2	189	3.81
2015-10-28 14:05:19	167786.427	529975.965	0.80	11.98	2.83	14.97	6913	142.3	189	3.81
2015-10-28 14:05:20	167786.586	529976.115	0.60	11.97	2.83	14.99	6913	142.3	189	3.81
2015-10-28 14:05:21	167786.739	529976.251	1.50	11.97	2.85	14.99	6912	142.3	189	3.81
2015-10-28 14:05:22	167786.885	529976.373	0.70	11.97	2.85	14.99	6911	142.3	189	3.81
2015-10-28 14:05:23	167787.025	529976.479	1.00	11.97	2.85	15.00	6914	142.5	189	3.81
2015-10-28 14:05:24	167787.157	529976.569	0.90	11.98	2.87	15.00	6910	142.5	189	3.81
2015-10-28 14:05:25	167787.282	529976.641	1.10	11.98	2.88	15.00	6912	142.5	189	3.81
2015-10-28 14:05:26	167787.400	529976.694	0.10	11.98	2.87	15.02	6910	142.6	189	3.81
2015-10-28 14:05:27	167787.510	529976.728	1.00	11.98	2.89	15.02	6909	142.6	189	3.81
2015-10-28 14:05:28	167787.612	529976.741	1.40	11.98	2.90	15.02	6912	142.6	189	3.81
2015-10-28 14:05:29	167787.705	529976.732	1.30	11.97	2.92	15.03	6913	142.7	189	3.81
2015-10-28 14:05:30	167787.790	529976.701	0.70	11.97	2.92	15.03	6913	142.7	189	3.81
2015-10-28 14:05:31	167787.867	529976.645	1.30	11.97	2.92	15.03	6908	142.7	189	3.81
2015-10-28 14:05:32	167787.934	529976.565	1.50	11.97	2.92	15.04	6912	142.8	189	3.81
2015-10-28 14:05:33	167787.969	529976.508	0.70	11.97	2.94	15.04	6911	142.8	18	

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 건설교통기술 촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.