

남극 대륙 육상 탐사 지원을 위한
크레바스 탐지 연구

A study on crevasses detection technologies
for Antarctic traverses.



2015. 8. 31

한 국 해 양 과 학 기 술 원
부 설 극 지 연 구 소



제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “ 남극 대륙 육상 탐사 지원을 위한 크레바스 탐지 연구”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2015. 8. 31



연구책임자 : 이 주 한

참여연구원 : 김준우, 정지웅, 이원상,
우주선, 강정호, 박하동,
김수환, 신동섭, 김진석,
이춘기, 이종익, 강아름,
신형철, 신민철, 이형근,
최선웅

위탁연구기관명 : 국민대학교

위탁연구책임자 : 강 연 식



보고서 초록

과제관리번호	PE14310	해당단계 연구기간	1년	단계 구분	1/ 1
연구사업명	중 사 업 명				
	세부사업명	연구정책·지원사업			
연구과제명	중 과 제 명				
	세부(단위)과제명	남극 대륙 육상 탐사 지원을 위한 크레바스 탐지 연구			
연구책임자	이 주 한	해당단계 참여연구원수	총 : 17 명 내부 : 14 명 외부 : 3 명	해당단계 연구비	정부: 200,000 천원 기업: 천원 계: 200,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	기술안전지원실		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 : 국민대학교		연구책임자 : 강연식		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자이내)					보고서 면수
- 주파수변조 연속파(FMCW) 레이더를 활용한 크레바스 및 Snow Bridge 탐지 시스템을 개발하여 시제품을 완성하였으며 모델링을 통해 눈의 두께를 확인할 수 있음을 증명 - 배터리와 엔진으로 구동되는 2개의 플랫폼으로 무인 자동주행 크레바스 탐사 로봇을 제작. 두 로봇 모두 매뉴얼과 자동주행이 가능하도록 설계, 제작되었으며 GPS 기반으로 자율주행이 가능하고 전방에 Lidar를 장착하여 물체를 인식하고 회피할 수 있는 기능이 탑재됨 - 두 로봇 모두 지표투과레이더(GPR)를 장착하여 하부의 크레바스를 탐사하도록 하였으며 특히, 배터리형 로봇의 경우 플랫폼에 GPR이 내장되도록 제작 - 장보고 과학기지를 기반으로하는 내륙 탐사 지원을 위해 주 트래버스 지역을 위험도 수준별로 탐사하여 안전을 지원하는 것이 향후 대륙연구에 필요할 것으로 판단됨					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	크레바스, 무인자동주행로봇, 주파수변조연속파, 트래버스, 지표투과레이더			
	영 어	Crevasse, Autonomous Mobile Robot, FMCW, Traverse, GPR			

요 약 문

I. 제 목

남극 대륙 육상 탐사 지원을 위한 크레바스 탐지 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

○ 연구 개발 목적

- 빙하에 존재하는 크레바스를 탐지하기 위한 무인항공기용 레이더 시제품 제작
- 육상 탐사 시 빙하 탐사용 무인자동주행 크레바스 탐사 로봇 개발
- 장보고 과학기지를 거점으로 하는 남극 대륙 육상 탐사 시에 보다 효율적이고 안정적인 안전 및 기술 지원 체계 구축

○ 연구 개발의 필요성

- 2014년 2월 준공된 장보고과학기지를 기반으로 남극 대륙 탐사 진출의 교두보 마련
- 장보고과학기지를 기반으로 남극 대륙으로 진출 시 필요한 기술 및 안전 지원 방안 마련이 시급함
- 대륙 탐사 시 발생할 수 있는 극한 상황을 고려하여 극한환경에서 인력과 장비를 보호하기 위한 자동화된 탐사 방법의 개발이 필요함

III. 연구개발의 내용 및 범위

- FMCW 레이더를 활용한 크레바스 및 Snow Bridge 탐지 가능성 연구
 - 24 GHz 대역 FMCW 레이더 시스템 시제품 개발 및 테스트
 - 모델링과 신호 분석을 통한 Snow bridge 영상화
- 무인 자동주행 크레바스 탐사 로봇 제작
 - GPS 기반의 무인 자동주행로봇 개발
 - 450 MHz 대역의 GPR을 장착하여 크레바스 전용 탐사 시스템 제작
- 대륙 탐사 지원을 위한 안전 및 기술 지원 체계 구축
 - 빙하 및 지구물리 등의 연구 지원을 위한 Ice Radar 개발/확보 방안 수립
 - 대륙횡단 기술 확보(장비 운용 등) 및 안전 지원체계 구축

IV. 연구개발결과

- FMCW 레이더를 활용한 크레바스 및 Snow Bridge 탐지 시스템을 개발하여 시제품을 완성하였으며 모델링을 통해 눈의 두께를 확인할 수 있음을 증명
- 밧데리와 엔진으로 구동되는 2개의 플랫폼으로 무인 자동주행 크레바스 탐사 로봇을 제작. 두 로봇 모두 매뉴얼과 자동주행이 가능하도록 설계, 제작되었으며 GPS 기반으로 자율 주행이 가능하고 전방에 Lidar를 장착하여 물체를 인식하고 회피할 수 있는 기능이 탑재
- 두 로봇 모두 지표투과레이더(GPR)를 장착하여 하부의 크레바스를 탐사하도록 하였으며 특히, 밧데리형 로봇의 경우 플랫폼에 GPR이 내장되도록 제작하여 혹한의 기후에 쉽게 운용될 수 있도록 제작
- 장보고 과학기지를 기반으로하는 내륙 탐사 지원을 위해 주 트래버스 지역을 위험도 수준별로 탐사하여 안전을 지원하는 것이 향후 대륙연구에 필요할 것으로 판단됨

V. 연구개발결과의 활용계획

- 대륙 진출 시 육상루트 확보 및 안전 지원
- 대륙 내에서의 연구 활동 시 효과적이고 안전한 연구지원
- 장보고 기지 주변 무인 탐사를 통한 미국 및 독일, 이태리와의 국제 공동 연구 프로그램 개발
- 다양한 장비와의 결합을 통하여 새로운 남극 연구의 플랫폼 개발

SUMMARY

I. Title

A study on crevasses detection technologies for Antarctic traverses.

II. Purpose and Necessity of R&D

○ Purpose of R&D

- To make a prototype radar for AUV in order to detect crevasses in the glaciers.
- To develop an unmanned and autonomous exploration rover for crevasses detect
- To build more efficient and reliable safety and technical support system for Antarctic land base survey near Jang Bogo station.

○ Necessities of R&D

- Korea has a critical starting point for Antarctic research with Jang Bogo station built in Feb. 2014
- We are urgent to raise necessary technical support and safety when entering the Antarctic inland base on the Jang Bogo Station.
- We need exploration and development of automated methods for protecting personnel and equipment in extreme environments by considering the extreme conditions that can be occurred during researches.

III. Contents and Extent of R&D

○ A study of feasibility on detection of crevasses and snow bridges using FMCW radar

- A prototype 24 GHz band FMCW radar system developement and test
- Snow bridge imaging through modeling and signal analysis

○ A production of unmanned and autonomous exploration rover

- Development of GPS based automatic unmanned robot.
- Produce 450 MHz band GPR robot for crevasses

○ Developement of technical support and safety system for exploration of continent

- Establish development plan for research support including geophysical and glacial research

IV. R&D Results

- We were able to develop the prototype crevasses and snow bridge detection system using FMCW radar through modeling determine the thickness of the snow.
- Unmanned automatic driving crevasses detection system powered by the battery and engine were developed. Two robots can be operated with manual and automatic mode and can be driving with a GPS-based.
- Two robots were all equipped with a ground penetrating radar(GPR) and were designed to be operated in cold climate.
- We need to explore research area with the risk level for safety



CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
1. Purpose of research	1
가. Technical aspects	1
나. Economic and industrial aspects	1
다. Scientific aspects	2
라. Social and cultural aspects	2
Chapter 2 Current R&D status in Korea and Other Nations	3
1. Technology development status in Korea	3
2. Technology development status in other nations	3
가. 국가별 과학 목적의 육상 탐사 사례	4
나. 육상 탐사를 위한 주요 기술 개발 실적	8
Chapter 3 R&D Implementation contents and results	9
Section 1 FMCW Radar	9
1. Introduction	9
2. Development of FMCW radar	9
가. Radar	9
나. Recorder	12
3. Experiment of Radar	12
Section 2 Unmanned autonomous mobile crevasses rover	13
1. Robot powered by batteries	13
가. Control by ROS	13
나. Mobile platform	16
다. Manual	23
라. Navigation	26
2. Robot powered by engine	30
가. Development of platform	30
나. Operation performance verification by RC transmitter	31
다. Steering and speed control verification by PC	34
라. Development of GPS-based unmanned autonomous control technology	36

Section 3 Safety and technical assistance to support the exploration of Antarctica ...	42
1. Nansen Glacier monitoring using remote sensing	42
2. Treillager the main research area	44
Chapter 4 Degree of R&D Goal achievement	46
Chapter 5 Application plan of R&D results	47
1. Application plan of R&D results	47
2. Future plans	47
The report for reviews	48
Appendix	
Engine Robot User's Guide	49



목 차

제 1 장 서론	1
1. 연구개발의 필요성	1
가. 기술적 측면	1
나. 경제, 산업적 측면	1
다. 과학적 측면	2
라. 사회, 문화적 측면	2
제 2 장 국내외 기술개발 현황	3
1. 국내 기술개발 현황	3
2. 국외 기술개발 현황	3
가. 국가별 과학 목적의 육상 탐사 사례	4
나. 육상 탐사를 위한 주요 기술 개발 실적	8
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	9
제 1 절 FMCW 레이더	9
1. 서론	9
2. 주파수 변조 연속파 레이더 제작	9
가. 레이더	9
나. 기록계	12
3. 레이더 실험	12
제 2 절 무인 자동주행 크레바스 탐사 로봇 제작	13
1. 밧데리형 자율주행 로봇	13
가. ROS를 이용한 제어	13
나. 모바일 플랫폼	16
다. 조작방법	23
라. Navigation	26
2. 엔진형 자율주행 로봇	30
가. 차량 플랫폼 개발	30
나. RC 조종기를 통한 조작 성능 검증	31
다. PC를 통한 조향 및 속도제어 성능 검증	34
라. GPS 기반 무인 자율주행 제어기술 개발	36

제 3절 대륙탐사지원을 위한 안전 및 기술지원	42
1. 원격 탐사를 이용한 난센빙하 모니터링	42
2. 주 이동구역의 격자화(안전맵 작성)	44
 제 4장 연구개발 목표 달성도	46
 제 5 장 연구개발의 활용 계획 및 향후 계획	47
1. 연구개발의 활용계획	47
2. 향후계획	47
최종 결과보고서에 평가의견 반영사항	48
 부록	
엔진형 로봇 사용 설명서	49



제 1 장 서론

1. 연구개발의 필요성

2014년 2월 준공된 장보고과학기지를 기반으로 남극 내륙 탐사 진출의 교두보가 마련되어, 극지 연구소 내 내륙 탐사에 대한 소요가 증대되고 있다. 2015년 현재까지는 장보고과학기지 운영에 초점을 맞추어 모든 인프라와 지원이 집중되고 있는 실정이지만 연구 분야의 이러한 소요는 향후 장보고과학기지를 기반으로 남극 내륙으로 진출 시 필요한 기술 및 안전 지원 방안 마련이 시급함을 말해 주고 있다고 볼 수 있다. 따라서 내륙 탐사 시 발생할 수 있는 극한 상황을 고려하여 극한 환경에서 인력과 장비를 보호하기 위한 자동화된 탐사 방법의 개발과 효과 적인 지원의 필요성이 늘어나고 있는 실정이다.

가. 기술적 측면

- 장보고과학기지의 준공으로 세종기지의 지리적 제약성을 벗어나 남극대륙으로 진출하여 연구 역량을 넓힐 수 있는 교두보가 마련되었다.
- 대륙내의 기지나 연구를 위한 각종 캠프 지원 시 항공만을 이용하는 방법보다 육상 이동이 연료 및 안전, 시간의 제약 등에 보다 높은 신뢰성을 제공하기 때문에 남극 대륙에서의 안정적 연구 수행을 위해서는 빙원으로의 육상 루트의 확보가 반드시 필요하다.
- 육상으로의 이동시에 발생할 수 있는 기술적, 안전적 측면을 고려할 때 처음 시도하는 연구로서 많은 준비와 탐사장비에 대한 개발이 필요하다.

나. 경제·산업적 측면

- 무인 로봇 관련 연구는 타 분야에 미치는 기술적 파급효과가 크고 신기술 분야의 산업화를 촉진할 기술들로 이루어져 있다. 향후 극지 탐사기술 뿐 아니라 지능형 무인 건설기계, 우주탐사 및 개척용 로봇 등 다양한 탐사로봇 기술의 발전도 기대할 수 있을 것이다.
- 극지탐사기술의 개발로 인하여 장기적으로 극지에서 반드시 필요한 연구 인력의 수를 저감함으로써 극한환경으로부터 연구 인력을 보호하고 연구개발을 효율적으로 수행할 수 있다.
- 남극대륙이 육상 탐사에서 보다 첨단화되는 국제적 흐름을 볼 때 극지과학과 항공우주공학, 로봇공학 등이 융합하여 미지의 분야에 적용할 수 있는 연구 결과물을 창출하고 경제적, 산업적 시너지 효과를 기대할 수 있다.

다. 과학적 측면

- 육상 탐사는 남극 대륙 내에서 여러 종류의 과학 프로젝트의 지원을 가능케 할 수 있다. 또한 이를 기반으로 얻어지는 과학적 자료는 빙하학과 지질학, 대기과학 등 다양한 연구에 있어 시·공간적으로 항상 접근이 가능하게 될 것이다.
- 로봇과 원격 탐사 장비의 개발 및 활용은 인류의 접근이 불가능하거나 어려운 지역에서 탐사를 가능케하고 그 결과는 극지연구소가 지향하는 3대 핵심가치인 ‘글로벌이슈대응, 실용화, 미래도전’을 실현하는 초석이 될 것이다.

라. 사회·문화적 측면

- 로봇을 통한 원격탐사는 많은 인력과 자원의 투자라는 사회적 부담을 감소시킬 수 있는 요소를 갖고 있으며 남극에서의 새로운 탐사 기술의 패러다임을 정착이 필요하다.
- 최근 이슈가 되고 있는 안전문제에 있어 로봇을 통한 원격탐사의 적용은 안전에 대한 사회적 요구를 충족하고 향후 재해나 극한의 상황에서 활용 가능한 기술을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.



제 2 장 국내외 기술개발 현황

1. 국내 기술개발 현황

- 지구물리 원격 탐사 방법을 무인항공기와 결합한 선행 연구 실시
 - 신진연구원 지원과제, 2012, 무인 항공기의 극지 지구물리탐사 활용을 위한 기획연구.
- 장보고 과학기지를 중심으로 수행할 수 있는 대표적인 8개의 연구 과제를 도출
 - 교육과학기술부, 2012, 기술료 사업: 남극 제2기지 (장보고 과학기지) 활용 기술개발에 관한 기획연구.
- 장보고기지 준공과 더불어 남극내륙에서 수행될 대형 융복합 연구 기획
 - 연구정책사업, 장보고기지 활용 남극연구 선도기지 구축 및 내륙탐사/연구 프로그램 개발 연구
- 남극대륙 탐사 시 기술과 안전을 지원하기 위한 국내 연구는 전무함

2. 국외 기술개발 현황

- 남극 연구의 선진국들은 1950년대부터 보급지원과 과학적 목적으로 육상 탐사를 추진해 오고 있다.
- 특히, 미국과 유럽 등 주요 선진국에서는 무인로봇을 개발하여 극지방에서의 과학 연구를 활발히 수행해 오고 있다.
- 기상관측, 크레바스 연구, 생태계 조사, 암석 및 운석 탐사 등 무인로봇을 이용한 연구 분야가 확대되고 있다.
- 2014/15년 폴란드, 노르웨이 등이 MONICA 프로젝트로 무인항공기를 활용하여 남극에서 지질, 생물 연구를 수행하여 Admiralty Bay의 해안선과 펭귄 생태에 관한 연구를 성공적으로 수행하였으며 다른 선진국도 무인항공기를 활용한 남극 연구에 본격적으로 돌입할 예정이다.

가. 국가별 과학목적의 육상 탐사 사례

(1) 미국

연구명	지역	설 명	탐사 자료종류	국가
RIS-5760	Ross Ice Shelf	1957년 10월~1960년 3월, Ross Ice Shelf, 탄성과 반사법 탐사, 3회의 트레버스 실시	Seismic reflection & gravity	미국
WESTANT-5759	Marie Byrd Land and the Ellsworth Mountains	Marie Byrd Land와 Ellsworth Mountains 탄성과 반사법 탐사, 3회의 과학 트레버스, Marie Byrd Land와 Ellsworth Land, Horlick Mountains, 1957년 1월과 1959년 1월.	Seismic reflection & gravity	미국
MARIEBYRD-5960	Marie Byrd Land	Northwest Marie Byrd Land traverse, 1959-60, 빙하두께측정(중력과 탄성과 탐사)	Seismic reflection & gravity	미국
MCMPOLE-6061	Victoria Land, Plateau, South Pole	1960-61, 맥머도기지부터 남극까지 반사법 탄성과 탐사 수행	Seismic reflection & gravity	미국
SPQMLT-6468	Queen Maud Land	3회의 정찰 탐사, South Pole - Queen Maud Land (1964/65, 1965/66, 1967/68). 반사법 탄성과 탐사, 전자기파 탐사 수행	Seismic reflection & gravity	미국
VLT1-5859	Victoria Land	탄성과 탐사, Victoria Land traverse No. 1, Skelton Glacier - 132E.	Seismic reflection	미국
VLT2-5960	Victoria Land	탄성과 탐사, Victoria Land traverse No. 2, Victoria Land plateau.	Seismic reflection	미국
PENINSULA-6162	Ellsworth Land, Antarctic Peninsula	Ellsworth Land, Antarctic Peninsula 반사법 탄성과 탐사와 중력 탐사, 1961-62, 남극 반도 설상 트레버스	Seismic reflection & gravity	미국
SIPLE-97	Siple Coast, Marie Byrd Land	USAP Ice Stream C에서의 60 km 설상 트레버스. 탄성과 발파, GPS를 이용한 표고 측정으로 빙하의 두께 측정	Seismic reflection	미국
SIPLEDOME-9596	Siple Dome, Siple Coast	미국의 설상 RES 트레버스, Siple Dome, 1996/97, 1600회와 10개의 xy waveform 정찰 탐사 수행	Ground-based RES	미국
	Wilkes Land	지구물리 트레버스, 남극단산맥 Taylor Dome의 드릴 사이트 - Wilkes 빙저 분지의 중심	Seismic reflection	미국/NZ
	Marie Byrd Land	Byrd Station - South Pole 트레버스, 1960-61	Glaciology	미국
FILCHNER-5758	Filchner Ice Shelf	탄성과 반사법 탐사, Filchner Ice Shelf, 1957-58(IGY).	Seismic reflection	미국
ELLSBYRD-5859	Ellsworth Land	탄성과 반사법 탐사, Ellsworth - Byrd Stations, 1958-59.	Seismic reflection	미국
130WEST-5859	Marie Byrd Land	탄성과 반사법 탐사, 경도 130W 선을 따라 탐사 수행, 1958-59	Seismic reflection	미국
88WEST-5960	Ellsworth Land	탄성과 반사법 탐사, 경도 88W 선을 따라 탐사 수행, 1959-60	Seismic reflection	미국
RIGGS-7378-1	Ross Ice Shelf	Ross Ice Shelf 지구물리 및 빙하학 탐사, 탄성과 반사법과 전자기파 속도 분석을 이용하여 빙봉의 두께 측정, 1974-1978	Seismic reflection	미국
WALGREEN-6061	Walgreen Coast, Marie Byrd Land	탄성과 반사법 발파, Walgreen 해안선(Marie Byrd Land), 1960-61	Seismic reflection	미국
ELLSWORTH H-6061	Ellsworth Land	탄성과 반사법과 중력 탐사, Ellsworth Highlands, 1960-61	Seismic reflection & gravity	미국
ROOSEVELT-6263	Roosevelt Island, Ross Ice Shelf	탄성과 반사법, Roosevelt 섬, 1962-63	Seismic reflection	미국
WISCONSIN-6364	Whitmore Mountains, Marie Byrd Land	미국 설상 탄성과 반사법 탐사, Horlick 산맥 북쪽, 1963/64	Seismic reflection	미국
PENSACOLA-6566	Pensacola Mountains	탄성과 반사법 탐사, Pensacola Mountains, 1965-66	Seismic reflection	미국
ROOSEVELT-9697	Roosevelt Island, Ross Ice Shelf	육상 기반의 RES 탐사, Roosevelt 섬, Washington 대학교 지구물리학과, 1996/97	Ground-based RES	미국

(2) 일본

연구명	지역	설 명	탐사 자료종류	국가
JARE-6971	West Enderby Land	JARE 10-11차 설상 트레버스 Mizuho Plateau-West Enderby Land, 1969-71 전자기파를 이용하여 빙하의 두께를 측정, 반사법 탄성과 탐사와 중력 자료 취득 총 7개의 루트(A,B,C,S,W,X,Y.)	Ground-based RES	일본
JARE-8283	Queen Maud Land	JARE 23차 설상 트레버스, East Queen Maud Land(Shirase Glacier, Yamamoto Mountains)1982-83. 전자기파를 이용하여 빙하 두께를 측정, (IM, YM,SS,SY,H,Z 루트)	Ground-based RES	일본
JARE-8384	Queen Maud Land	JARE 24차 설상 트레버스 East Queen Maud Land, 1983-84. KR.루트	Ground-based RES	일본
JARE-8586	Queen Maud Land	JARE 26차 설상 트레버스, East Queen Maud Land(plateau와 Sor Rondane Mountains) 1985-86. ID, DF.루트	Ground-based RES	일본
JARE-8687	Queen Maud Land	JARE 27차 설상 트레버스, East Queen Maud Land 1986-87. SZ,NY,YG6,RY,L.루트	Ground-based RES	일본
JARE-9294	Dronning Maud Land	JARE 33(1992-94) Mizuho기지-Dome F구간 설상 트레버스	Ground-based RES	일본
JARE-9597	Queen Maud Land	JARE 37 Dome F 지역에서의 설상 트레버스, Dome에서 남쪽으로 150 km 구간과 Dome지역에서 동쪽으로 130 km 구간	Ground-based RES	일본
	Enderby Land	JARE 12와 13, 1972-1973, 빙하탐사를 위한 트레버스	Glaciology	일본
	Enderby Land	JARE 15 빙하탐사를 위한 트레버스	Glaciology	일본
	Enderby Land, Queen Maud Land	Syowa - South Pole 트레버스, 1968-69	Glaciology	일본

(3) 호주

연구명	지역	설 명	탐사 자료종류	국가
LAMBERT-8995	Lambert Glacier basin	1989/90 ~ 1994/95, ANARE Lambert Glacier Basin traverse. 분지 내부의 질량 변화와 활동성 연구, 트레버스는 Davis와 Mawson 왕복구간에서 이루어짐, 1994/95 트레버스는 총 4,500 km 구간	Ground-based RES	호주
ANARE-5759	Kemp Land	ANARE 반사법 탄성과탐사와 중력 탐사, IGY (1957-59), Mawson기지와 Kemp Land. 빙하 두께 측정	Seismic reflection & gravity	호주
MIRNYDOM EC-7886	Wilkes Land	ANARE 지상 RES 탐사, Wilkes Land, 1978-86. Mirny - Pionerskaya - Dome C 구간	Seismic reflection & gravity	호주
AMERY-6871	Amery Ice Shelf	ANARE Amery Ice Shelf 탐사, 1968, 1970/71	Ground-based RES	호주
WILKES-7886	Wilkes Land	ANARE 육상 RES 탐사, Casey Station의 동쪽 내륙	Ground-based RES	호주
WILKES-6163	Wilkes Land	ANARE 탄성과 반사법 탐사, Wilkes 기지 - Vostok, 1961/62와 1962/63 시즌	Seismic reflection	호주

(4) 벨기에

연구명	지역	설 명	탐사 자료종류	국가
BELGE-5960	Dronning Maud Land	1959-60 벨기에 남극 탄성과 탐사 트레버스, Dronning Maud Land (King Baudouin 기지 - Sor Rondane Mountains)	Seismic reflection	벨기에
BELGEDUTC H-6566	Sor Rondane Mountains, Dronning Maud Land	Sor Rondane Mountains 지역의 주요 빙하 배출지에서 중력 탐사, 1966, Belgian-Dutch expedition. (17회 트레버스, 빙하 두께 138지점 측정)	Gravimetric measurements	벨기에
BELGE-6768	Jutulstraumen, Western Dronning Maud Land	중력탐사(50 km), Jutulstraumen Ice Stream, 1967-68	Gravimetric measurements	벨기에

(5) 영국

연구명	지역	설 명	탐사 자료종류	국가
RONNE-9495	Ronne Ice Shelf	BAS 2300 km 트레버스, Ronne Ice Shelf, 1994-95. 탄성과 반사법, 15 km 간격	Seismic reflection	영국
TAE-5758	Upper Plateau - West Antarctica, South Pole, Victoria Land	반사법 탄성과 탐사, Commonwealth Trans-Antarctic Expedition, 1955-58. Shackleton 기지(Filchner Ice Shelf)	Seismic reflection	영국
GEORGEVI-8485	George VI Ice Shelf, Antarctic Peninsula	반사법 탄성과 탐사 및 RES 탐사, 1984/85	Seismic reflection & RES	영국
SOUTHPOLE-6263	South Pole traverse	탄성과 반사법 탐사 (South Pole - the Horlick Mountains), 1962-63	Seismic reflection	영국
NBS-5152	Queen Maud Land	탄성과 발파, Queen Maud Land, 노르웨이, 영국, 스웨덴 연합탐사(1951-52), Maudheim station	Seismic reflection	영국
LARSEN-90	Larsen Ice Shelf, Antarctic Peninsula	BAS 탄성과 탐사, Larsen Ice Shelf(1990/91), 21.6 km	Seismic reflection	영국
RUTFORD-8586	Ellsworth Land & Ronne Filchner Ice Shelf	BAS 육상 RES 탐사, Rutford Ice Stream, 1985/86	Ground-based RES	영국
SORROND-8692	Sor Rondane Mountains, Dronning Maud Land	중력과 RES를 이용한 Sor Rondane Mountains 중앙부의 빙하 계곡의 횡단 단면 자료 취득, JARE-28과 JARE-32	Ground-based RES & gravimetric	영국
RUTFORD-9193	Rutford Ice Stream, Ellsworth Land	BAS 탄성과 탐사, Rutford Ice Stream, 1991-92와 1992-93 시즌, 3개의 다른 탄성과 소스를 이용한 grounding line 탐사	Seismic reflection	영국
RONNE-8284	Ronne Ice Shelf	BAS 지구물리 탐사, Ronne ice Shelf(1982/83과 1983/84), 총 측선 3500km 구간에서 300회의 탄성과와 84회의 RES를 수행하여 얼음의 두께 측정	Seismic reflection & RES	영국
ELLSW-PEN-8587	Ellsworth Land & James Ross Island	BAS 지구물리 탐사, Ellsworth Land와 James Ross 섬에서 수행, 1985/86과 1986/87. 100회의 탄성과와 85회의 RES를 수행하여 얼음의 두께 측정	Seismic reflection & RES	영국
BERKNER-9899	Ronne Ice Shelf	BAS 탄성과 탐사, Berkner 섬의 남서쪽 가장자리, 1998-99	Seismic reflection	영국

(6) 러시아

연구명	지역	설 명	탐사 자료종류	국가
SAE-5859	Inland Plateau - East Antarctica	Soviet Antarctic Expedition (SAE3) 탄성과 탐사 Mirny - Komsomolskaya와 Vostok 사이 지점 (1958-59). 27회의 탄성과 발파, 2300 km 거리	Seismic reflection	러시아
SAE-5960	Inland Plateau - East Antarctica	SAE4 탄성과 탐사, Komsomolskaya - Vostok, South Pole (1959-60). 12회의 탄성과 발파, 1832 km 거리	Seismic reflection	러시아
SAE-6364	Inland Plateau - East Antarctica	SAE9 탄성과 탐사, Vostok - South Pole, Molodezhnaya (1963-64). 21회의 탄성과 발파 3323 km 거리	Seismic reflection	러시아
SAE-5658	Queen Mary Land	SAE1과 2 탄성과 탐사, Mirny - Pionerskaya (1956-58) 구간	Seismic reflection	러시아
SAE-6061	Queen Mary Land, Wilhelm II Land.	SAE5 탄성과 탐사, Pionerskaya의 100 km 북쪽에서 Komsomolskaya 남동쪽 500 km 구간(1960-61)	Seismic reflection	러시아
SAE-7584	Coats Land, Ronne-Filchner Ice Shelf	SAE21-29 탄성과 반사법 탐사, Coats Land, Ronne-Filchner Ice Shelf, 1974/75, 1983/84, 583,000 km 거리	Seismic reflection	러시아
SAE-7075	Enderby Land	SAE16-20 탄성과 반사법 탐사, Enderby Land, Prince Olaf 해안선을 따라 290회 측정	Seismic reflection	러시아
SAE-7174-2	Lambert Glacier, Amery Ice Shelf	러시아 남극 탄성과 탐사, 동남극(1970/71 - 1983/84)	Seismic reflection	러시아
KGI-9597	King George Island	러시아-브라질 육상 RES 탐사, 1995.12, 1996.12-1997.1, 40 MHz 중심주파수 안테나와 GPS 사용, 레이더 자료는 C1-73 오실로 스코프와 사진기를 이용하여 취득	Ground-based RES	러시아

나. 육상 탐사를 위한 주요 기술개발 실적

국가 (기관)	명칭	적용	비고
미국 (Dartmouth University)	Cool Robots	Crevasse 탐사, 이온층의 변화측정, 지진계 및 기상관측기구 배치	
미국 (Georgia Institute of Technology)	SnoMote	기후모델 검증을 위한 데이터 측정	
미국 (Transantarctic Expedition team)	The Moon-Regan	40일 동안 3,600 miles을 Bio 에너지를 이용하여 남극 횡단	
미국 (Carnegie Mellon Univ.)	Nomad	Elephant Moraine에서 운석 탐사 수행 (2000년), 자율주행기능을 갖춘 탐사로봇	
중국	HoY	Snow-mobile 로봇. 25 km 주행가능. 적재중량 40kg	
미국	Yeti 와 Yeti2	크레바스탐지를 위하여 GPR을 장착하여 운행, 자율주행 기능	
미국	NanoSAR	무인항공기에 장착, 레이더를 이용하여 지형을 매핑하거나 크레바스 탐지에 사용	
영국	M ² AV	무인비행기를 이용하여 대기와 빙하간의 열교환 데이터측정	
일본 (일본 극지연구소)	Ant-Plane	Aeromagnetic Survey	
미국	Aerosonde™	Atmospheric profiling and flux studies, Mapping sea surface temperature (SST) at high resolutions	

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 FMCW 레이더

1. 서론

인류가 직면하고 있는 주요 문제 중 하나는 지구 온난화이다. 과학자들은 극 지역이 지구의 다른 지역과 비교하여 지구 온난화의 영향이 가장 크고 뚜렷하게 나타난다고 제안하고 있다. 극 지역은 극한의 기후이고 따라서 인류의 영향을 상대적으로 적게 받는 곳이기 때문이다. 이런 극 지역을 연구하기 위해서는 빙하와 직간접적으로 접하게 된다. 이런 접촉은 빙하가 그 연구 대상이 되기도 하지만 연구 지역까지의 이동로나 장애물로 여겨질 때도 있다. 빙하에 존재하는 수많은 크레바스는 그 장애물 중에 대표적이며 가장 위험한 곳이기도 하다. 특히 눈 속에 숨겨진 크레바스의 존재의 위험성에 대해서는 두말할 필요도 없이 아주 치명적일 수 있다.

빙하 위로의 이동 시 크레바스를 찾기 위한 노력들은 국제적으로 많은 시도가 이루어져 왔다. 특히 GPR(Ground Penetrating Radar)를 이용한 탐사가 가장 보편적이고 활발히 이루어져 왔다. GPR의 경우 크레바스의 규모와 형태 등을 자세하게 규명할 수 있는 장점이 있지만 GPR 탐사 시 설상차의 선두에 장비를 고정하여 자료를 취득해야 하는 등 자료 취득에는 번거로움이 있다.

FMCW (주파수 변조 연속파 레이더)는 전자기 신호를 연속적으로 송수신 할 수 있는 장비이다. 시간에 따라 변하는 신호의 주파수는 일반적으로 특정 대역폭 안에서 변화하며 생성된다. 송수신 파의 사이에서 주파수의 차이는 두 신호가 혼합되어 새로운 신호를 생성하며 이 신호는 거리와 속도를 측정과 더불어 극지역에서는 해빙위의 눈이나 크레바스를 덮고 있는 눈을 측정 하는데 사용될 수 있다.

2. 주파수 변조 연속파 레이더의 제작

가. 레이더

그림1에 주파수 변조 연속파 레이더의 블록도를 나타내었다. 그림1의 전압 제어 발진기에서 그림1의 왼쪽 그림과 같이 시간에 따라 주파수가 선형적으로 증가하는 송신 신호를 발생시킨다. 주파수 변조된 송신신호는 안테나를 통하여 공간으로 방사되며, 거리 R 만큼 떨어진 위치에서 반사된 신호가 레이더의 안테나로 되돌아오게 된다. 이때, 수신된 신호는 왕복거리 d 는 $d = \Delta t/2$ 가 된다. 특정 시점에서 안테나를 통해 송신되는 신호와 수신되는 신호를 관찰하면 주파수 차이가 발생하게 된다. 현재 송신되는 주파수를 혼합기의 단자에 인가하고, 수신된 신호를 혼합기의 RF 단자에 인가하면, 혼합기의 IF 출력 단 자에는 이 두신호의 차주파수 신호

성분이 나타나게 된다.

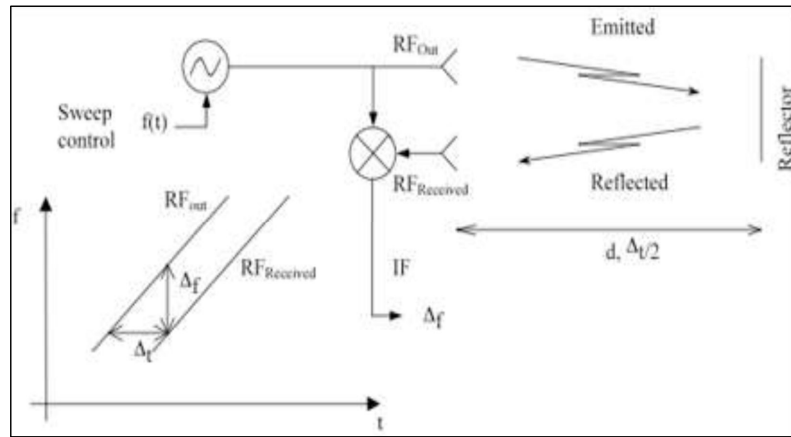


Fig 1. Schematic diagram showing FMCW

주파수와 IF 신호의 관계를 간단히 유도하면 식(1)과 같다.

$$f_{RFOut} = f_{RFO} + k_f * t, 0 \leq t < T \quad \text{식(1)}$$

여기에서 f_{RFO} 는 발생된 주파수이고, T 는 주파수 sweep time, k_f 는 변화된 주파수의 slope이다. 여기에서 sweep rate는

$$k_f = \frac{BW}{T} \quad \text{식(2)}$$

가 되고 BW 는 주파수 sweep bandwidth가 된다. 전파의 왕복운동으로 지연된 시간은 다음과 같다.

$$\Delta t = 2 \frac{d}{c} \quad \text{식(3)}$$

d 는 레이더 안테나와 반사체와의 거리가 되고, c 는 빛의 속도가 된다. 지연으로 인해 방사된 신호와 수신된 신호의 주파수를 비교해보면

$$f_{RFReceived} = f_{RFO} + k_f * (t - \Delta t), \Delta t \leq t < T + \Delta t \quad \text{식(4)}$$

가 된다. 이때 두 주파수의 차이인 Δf (beat frequency, f_{beat})는 다음과 같다.

$$\Delta f = k_f * (-\Delta t) \quad \text{식(5)}$$

이 식은 최종 결과물로 얻는 신호가 될 것이다. 괄호의 음수는 생각이 가능하다. 따라서 최종적으로 거리와 입력 신호의 관계는 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$\Delta f = \frac{BW}{T} * 2 \frac{d}{c} \quad \text{식(6)}$$

식 (6)에 의하면 f_{beat} 는 목표물까지의 거리와 비례하게 되어 식(6)을 이용하여 목표물까지의 거리를 알 수 있다. 즉, 송신 신호를 혼합기의 LO 단자에, 수신 신호를 혼합기의 RF 단자에 인가하여 혼합기의 IF 단에서 나오는 신호의 스펙트럼을 고속 푸리에 변환 (Fast Fourier Transform ; FFT)을 하면 f_{beat} 를 얻을 수 있다. 이것을 통해 식 (6)에 의해 거리를 판별하게 된다. 이러한 FFT는 신호처리부에서 수행하게 된다. 본 보고서에서는 분해능과 전압제어 발진기의 주파수 특성을 고려하여 주파수 대역폭을 24 GHz로 결정하여 FMCW 레이더의 주파수 스위프(sweep)을 25.4 ~ 25.5 GHz 로 선택하였다. 스위프 주기는 전압제어 발진기의 스위프 능력과 분해능을 고려하여 0.5e6 s 으로 실험하였다. 전압제어 수, 발진기로는 Sivers IMA사의 RS3400 Sensor module(그림2와 3)을 사용하였다. 주파수 성분을 추출하기 위한 신호처리부로는 Sivers IMA사에서 제공되는 소프트웨어를 사용하여 실험을 실시하였다.



Fig 2. The image of RS3400K/00 which is a synthesized, K-band, FMCW radar.



Fig 3. FMCW radar

나. 기록계

FMCW에 사용될 기록계는 드론에 장착해야하기 때문에 소형으로 제작되어야하며 현장에서 원활한 활용을 위해서는 키보드의 사용이 제한될 것이다. 따라서 기록계로 사용될 소형 pc의 경우는 리눅스 기반의 라즈베리파이2 B+(그림4)를 사용하였다. 입력을 위해서 2.8인치 터치스크린(그림5)을 활용하였다. 기록계는 보드와 터치 스크린을 넣을 수 있는 박스를 설계하여 3D 프린터를 이용하여 최종적으로 그림6와 같이 완성하였다.



Fig 4. RaspberryPI 2 image. The size of board is similar to the name card.



Fig 5. Touch screen for Raspberry PI 2



Fig. 6. An image of recorder.

3. 레이더 실험

제작된 레이더를 이용하여 3가지 상황을 고려하여 레이더 성능을 시험하였다. RF 송수신을 위한 안테나는 동작주파수 범위가 24 ~ 25.5 GHz 이며, 약 12 dBi 의 이득을 갖는 혼 (Horn)안테나를 사용하였다. 실험은 FMCW 레이더의 동작특성을 파악하고자 실험실내에서 측정하였으며 제작한 FMCW 레이더를 지상에서 1m와 2m되는 높이에 설치하고 RCS가 0.8m²인 반사판을 안테나로부터 거리를 늘려가면서 측정하였다. 그림 7은 얻어진 파형이다.

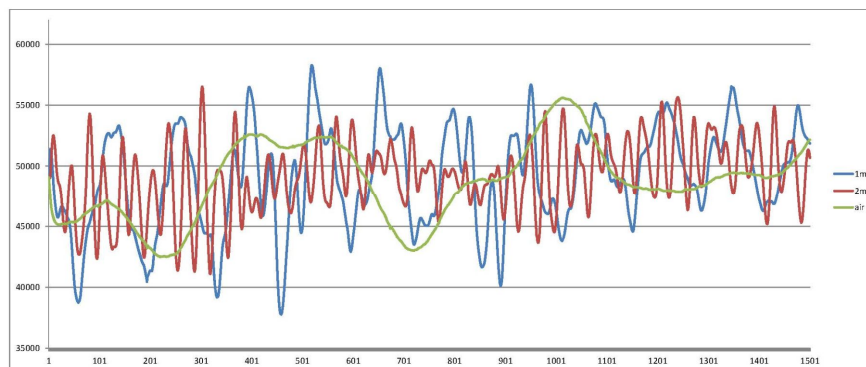


Fig. 7. Plot of returned signal corresponding to a very close echo and possible reflections in the measurement equipment.

눈에서 얻어지는 실험이 연구기간내에 불가하여 간단한 모델을 통한 입증실험을 실시하였다. 모델은 약 1 m 상공에서 50 cm 두께의 눈을 탐사하는 것을 모사(그림 8)하여 실험하였다

(Krishnan, 2000). 실험결과는 그림9와 같이 눈과 얼음의 경계를 명확히 구분할 수 있는 것으로 판단되며 2016/17년 현장에서 운용되는 드론에 장착하여 현장 테스트를 실시할 예정이다.

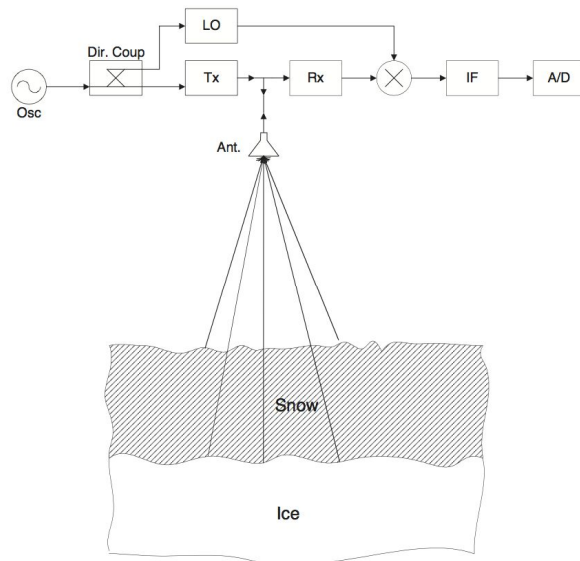


Fig. 8 Simulation model

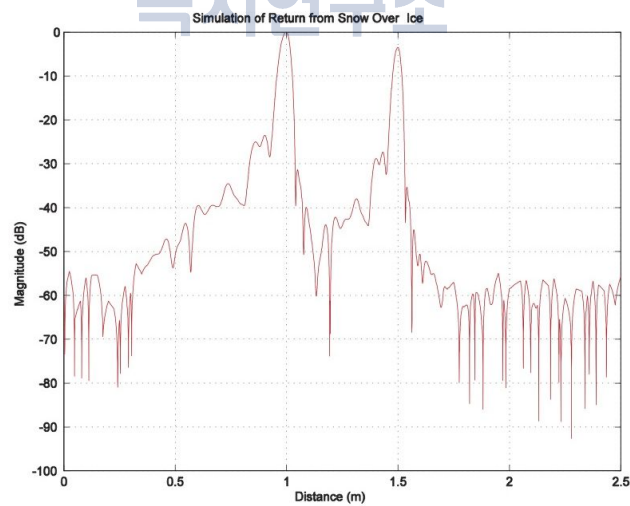


Fig. 9 Simulation result

제 2 절 무인 자동주행 크레바스 탐사 로봇 제작

1. 밧데리형 자율주행 로봇

가. ROS를 이용한 제어

밧데리형 자율주행 로봇은 linux 운영 시스템을 기반으로 하여 ROS (Robot Operating System)라는 메타 운영체제를 이용하여 제어된다. ROS는 OSRF (Open Source Robotics Foundation)에 의해 개발된 로봇 응용 프로그램 개발용 소프트웨어 플랫폼이며, 로봇의 제어를 위해 Ubuntu 14.04 Trusty Tahr 와 ROS Indigo Igloo 버전의 조합을 사용하였다.

ROS는 목적에 따라 세분화된 최소 단위 실행 프로그램인 노드간의 메시지 통신들로 구성된다. 메시지 통신에는 단방향으로 연속적인 메시지를 송수신하는 토픽 메시지 통신과 요청-응답 방식인 양방향 서비스 메시지 통신이 있다. 노드간의 메시지 통신은 노드명, 토픽 및 서비스명, URI 주소와 포트, 매개변수 등의 네임서버 역할을 하는 마스터에 의해 관리된다. 본 탐사로봇의 개발에서는 로봇에 탑재되어 있는 미니 PC를(이후 “미니 PC”) 마스터로 설정하였으며, 미니 PC와 원격 접속 PC(이후 “원격 PC”)에서 실행되는 노드의 정보를 다른 노드에게 전달한다. 그 후, 노드와 노드는 직접 접속하여 메시지 통신을 수행한다 (그림 2-1 참조).

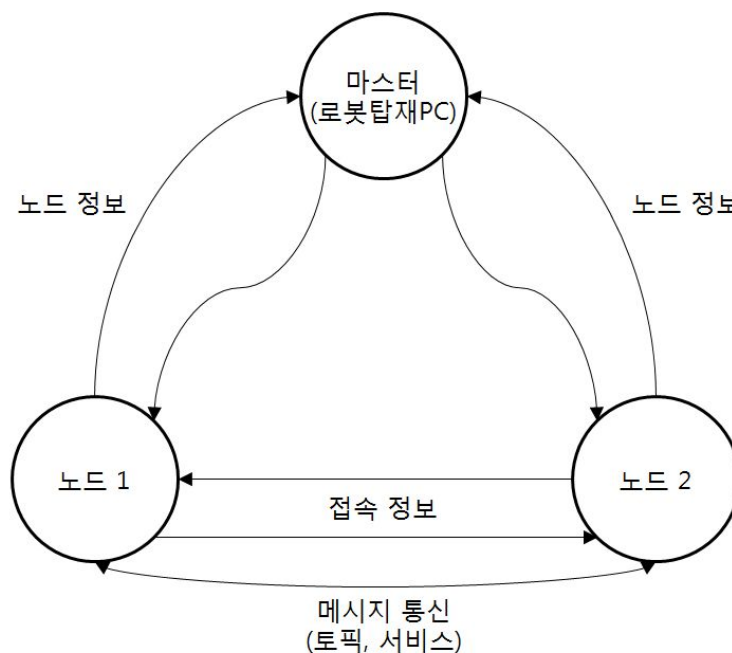


그림 2-1. 메시지 통신 개념도

나. 모바일 플랫폼

로봇의 모바일 플랫폼의 하드웨어는 차체에 해당되는 구동부, 주변 환경을 감지하여 모바일 로봇의 위치 정보를 인식하는 센서부, 구동부와 센서부의 자료 교환 및 계산과정을 수행하는 제어부로 구성되어 있다.

(1) 구동부

로봇 모바일 플랫폼 구동부의 외형은 그림 2-2와 같으며 제원은 표 2-1과 같다.



그림 2-2. 로봇 모바일 플랫폼 구동부 외형

항목	정보
크기	990×670×390mm
무게	50kg
가반 하중	모든 지형 : 20kg, 최대 : 75kg
최대 속도	1.0m/s
구동 시간	3hrs (최대 8hrs)
구동력	최대 1000W, 연속 400W
배터리	24V, 10Ah 리튬이온팩 4개로 구성
활용 가능 전력	5V, 12V, 24V 이용 가능. 각각은 5A 퓨즈 연결
통신	RS-232, 115200 BAUD
엔코더	200,000 pulse/m Quadrature
제공 정보	배터리 정보, 오도메트리
제어 모드	속도 모드, 토크 모드

표 2-1. 모바일 플랫폼 구동부 제원

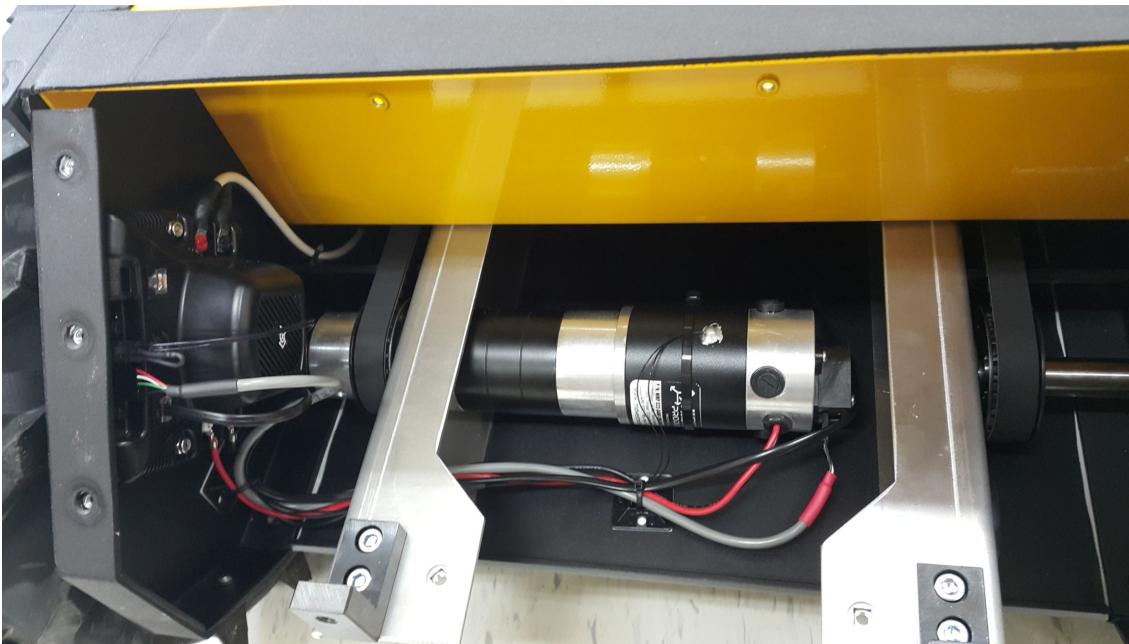


그림 2-2. 모바일 플랫폼 구동부

항목	정보
기어비	78.71 : 1
기어헤드 출력 속도	57rpm(max)
기어 출력단 연속 토크	19.44Nm
기어 출력단 피크 토크	50.06Nm
기어헤드 백래시	48 Arc minutes
기어헤드 효율	70%
총 무게	1.82kg
정규 전압	24 DC volts
정규 전류	7.94 A

표 2-2. DC 기어 모터 제원

모바일 플랫폼의 구동부는 두 개의 엔코더 부착 DC 모터와 모터 드라이버로 구성된다. 그림 2-2는 로봇의 앞바퀴 부분에 장착되어 있는 모터와 모터 드라이버를 보여주고 있으며, 두 개의 모터는 좌-우측의 바퀴를 각각 구동한다. 좌-우측 바퀴가 독립적으로 구동되는 반면, 전-후 바퀴는 그림 2-2와 같이 벨트-풀리 방식으로 연동되어 있는 차동 구동형 모바일 로봇

(differential drive mobile robot)의 구조를 채택하였다. 구동기는 Midwest motion products 사의 DC 기어 모터를 사용하였으며, 제원은 표 2-2와 같다.

구동부 전원은 그림 2-3과 같이 네 개의 24V 10Ah 리튬 이온 팩으로 구성되어 있다. 각각의 팩은 과충전 방지를 위한 BMS (Battery management system)를 가지고 있으므로 독립적으로 충전이 되어야 한다. 따라서 충전기는 그림 2-3과 같이 4개의 독립적인 충전기로 구성되어 있고 각각은 하나의 배터리 팩을 담당한다.



그림 2-3. 리튬 이온 팩 및 충전장치

배터리 잔량 체크는 lead-acid 배터리를 위한 검사인 전압 측정 방식을 사용한다. 배터리 잔량은 그림 2-4와 같이 로봇 후면의 indicator에서 확인할 수 있다. 후면의 indicator 각각의 항목이 나타내는 의미는 표2-3과 같다.



그림 2-4. 로봇 후면 indicator

아이콘	정보
	배터리 상태 4개의 LED가 대략적인 배터리 잔량을 나타낸다.
	통신 상태 녹색 : 로봇이 정상적인 구동 명령을 받고 있는 경우 및 주행 준비가 되어 있는 경우. 노란색 : 명령을 받고 있지만 응급 정지 상태이거나 다른 에러가 발생하여 주행할 수 없는 경우. 붉은색 : 직렬 통신이 연결되지 않은 경우.
	일반 에러 상태 로봇에 에러(응급 정지 상태, 배터리 파워 부족, 불특정 소프트웨어 에러 포함)가 발생해서 주행할 수 없는 경우 붉은색으로 나타난다.
	응급 정지 상태 응급 정지가 활성화 되어 로봇이 주행할 수 없을 때 붉은색으로 나타난다.
	충전 표시자 로봇의 user power가 외부에서 공급되고 있을 때, 붉은색으로 나타난다.

표 2-3. 로봇 상태 패널 아이콘

구동부를 구성하는 요소인 바퀴는 그림과 같이 14인치 타이어를 사용한다. 그림과 같이 극지에서의 설상 주행을 위한 고무 트랙을 추가 제작하였으며 필요시 변경이 가능하다.



그림 2-5. 기본 14인치 타이어 및 설상 주행용 트랙

(2) 센서부

로봇의 센서부는 주행기록계 센서인 엔코더, IMU, 라이다, GPS, GPR을 탑재하고 있다. 엔코더는 1m에 78,000 tick을 갖는다. IMU는 500Hz로 자이로 속도, 가속도, 자세를 측정하는 CHRobotics의 UM6를 사용하였다. UM6는 로봇의 중심에 장착하였으며, 로봇의 미니 PC와 RS-232를 통해 직접 연결하였다. 라이다는 SICK sensor intelligence사의 LMS151을 사용하였다. LMS 151은 최대 50m의 거리를 탐지할 수 있으며, 최소 25Hz 최대 50 Hz의 스캐닝 주파수를 갖는다. IP67의 방수 등급을 갖는다. GPS는 Trimble 사의 SPS351 Receiver와 GA530 안테나를 이용한다.



그림 2-6. (a) 미니 PC (b) 원격 PC

(3) 제어부

제어부는 그림과 같은 원격 PC와 로봇에 탑재되어 있는 미니 PC로 구성된다. 데이터 및 제어 흐름은 그림 2-7에서 보이는 바와 같다. 그림 2-7에서 화살표는 제어 신호나 데이터가 전송되는 방향을 나타낸다. 원격 PC와 미니 PC 간에는 양방향 통신이 이루어진다. 원격 PC에서 주어지는 명령이 무선 네트워크를 통해 전달되고, 해당 정보를 메시지 통신 방식으로 미니 PC에서 원격 PC로 데이터가 전달된다. 미니 PC에는 GPR을 제외한 센서(GPS, 엔코더, IMU, 라이다)와 모터드라이버가 직접 연결되어 있으며, 이들로부터 필요한 신호를 받거나 제어 신호를 전달하는 역할을 수행한다. GPR은 원격 PC 혹은 추가 원격 PC와 무선 연결되어 레이더 자료

를 표출해 준다. 제어부의 원격 PC는 주로 제어 명령의 입력 및 구동 정보의 출력을 담당하며, 미니 PC는 제어 작업 자체를 수행한다. 그림 2-7에서 화살표는 데이터 흐름 방향을 나타낸다. GPR을 제외한 센서들은 미니 PC와 데이터를 주고 받으며 주행 제어에 사용되며, GPR은 원격 PC와 데이터를 주고 받는다.



그림 2-7. 데이터 및 제어 흐름도

극지연구소

(4) 기타

로봇은 극지에서의 활용을 목표로 하므로 일정 강도의 강수에 대한 대책이 필요하다. 따라서 하우징 및 커넥터 부분에 다음과 같은 방수 처리 작업을 수행하였다.

- 모든 외부 플랜지에 개스킷 설치
- 차축에 개스킷 설치
- 차체 판보다 큰 상판 설치 (우산 효과)
- 상판 고정시 외부 플랜지 사용
- 방수 커넥터 : EN3C4FX (Switchcraft), 17-200121, 17-10001 (Conec)
- 외부 볼트에 해양 장비용 실링 와셔 : 93786A100 (McMaster-Carr)
- 6Nm로 상판 볼트 조립

이러한 방수 대책을 통해 IP54의 방수 등급을 만족한다. 이는 일반적인 생활 방수 등급이며 약한 강수나 주행 시 물이 튀는 것으로부터 내부를 보호할 수 있다.



다. 조작 방법

로봇은 두 가지 방법으로 조작이 가능하다. 하나는 조작자에 의해 조작되는 직접 조작 방식이며, 다른 하나는 원하는 경로 설정을 통한 자율 주행 방식이다.

(1) 직접 조작 방식

직접 조작 방식은 입력장치에 주어지는 신호 그대로 구동 명령이 미니 PC에 전달되는 방식으로, 조이스틱과 키보드를 이용한 조작이 가능하다. 직접 조작을 통한 제어 명령은 자율 주행을 위한 제어 명령보다 우선적으로 실행되며, 이러한 우선 순위에 의해 위급 상황시에 즉각적인 대응이 가능하다. 본 과제에서는 추가적인 직접 조작 방식을 도입하였다. 극지에서 이동하며 조이스틱이나 키보드를 조작하는 불편함을 해소하기 위해, 그림과 같은 키맵핑 방식의 데이터 글러브를 이용하여 간단한 손가락 조작만으로도 로봇을 직접 조작이 가능하도록 하였다.



그림 2-8. 직접 조작에 이용되는 데이터 글러브 및 조이스틱

(2) 자율 주행 방식

자율 주행을 위해서는 먼저 로봇 스스로 위치를 계측/추정 가능해야 한다. 일반적으로 로봇은 자신의 이동 거리를 바퀴 회전축의 회전량을 통해 측정하게 된다.

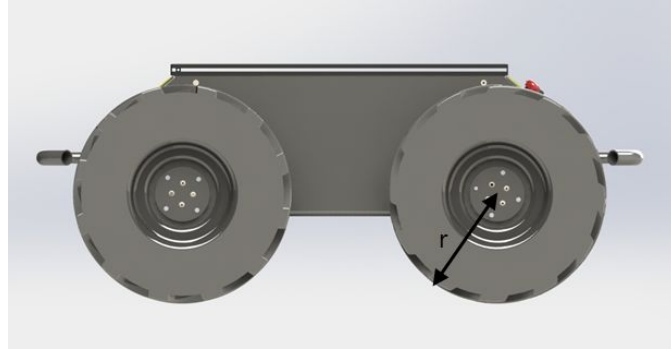
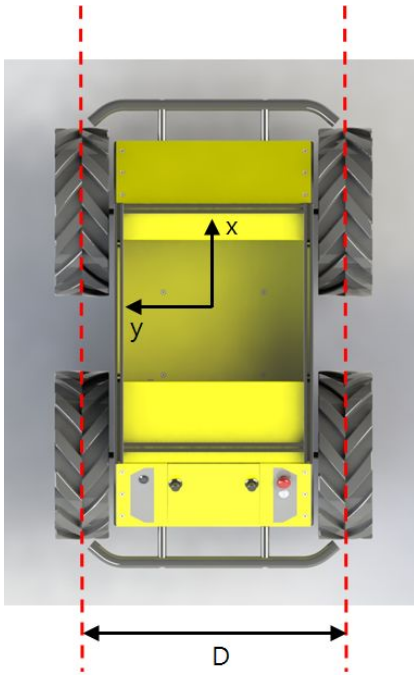


그림 2-9. 추측 항법에 필요한 정보 (중심 위치, 바퀴간 거리, 바퀴 반지름)

그림 2-9와 같이 바퀴간의 거리를 D , 바퀴의 반지름을 r 이라 하자. 센서부의 좌/우측 모터 엔코더 값을 이용하여 로봇의 선속도 v 와 각속도 w 는 각각 다음과 같이 구할 수 있다.

$$v = \frac{(w_r + w_l)r}{2},$$

$$w = \frac{(w_r - w_l)r}{D},$$

여기서 w_r 과 w_l 은 각각 우측과 좌측 바퀴의 각속도를 나타낸다. Husky의 경우 D 는 555mm, r 은 177.8mm이다. 이 로봇의 선속도와 각속도로부터 최종적으로 Runge-Kutta 공식을 이용하여 t_k 에서 t_{k+1} 시간동안 이동한 위치와 각도의 근사값을 다음식과 같이 구할 수 있다.

$$x_{k+1} = x_k + v_k T_s \cos(\theta_k + \frac{w_k T_s}{2})$$

$$y_{k+1} = y_k + v_k T_s \sin(\theta_k + \frac{w_k T_s}{2})$$

$$\theta_{k+1} = \theta_k + w_k T_s$$

여기서 $T_s = t_{k+1} - t_k$

일반적으로 이러한 추측 항법은 바퀴와 지면과의 미끄러짐 같은 비선형적 요인으로 인해 큰 오차가 발생한다. 이러한 오차를 줄이기 위해 IMU 센서로 관성 정보를 취득하거나 GPS를 이

용하여 위치 보상을 수행하는 방법이 많이 사용된다. (목적에 따라서는 엔코더 없이 IMU 센서만으로 위치를 추정하기도 한다.) 이러한 위치 추정은 센서 관측정보가 불확실하다는 점과 실시간성을 확보해야 한다는 점 등 많은 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법론으로는 칼만 필터 (Kalman filter), 마르코프 위치추정 (Markov localization), 파티클 필터 (Particle filter)를 이용한 몬테카를로 (Monte Carlo localization) 등이 있다.

칼만 필터 (Kalman filter)

칼만 필터는 노이즈가 포함되어 있는 선형 시스템에서 대상체의 상태를 추적하는 재귀 필터를 말한다. 이 방법에서는 모델을 상정하고 이 모델을 이용하여 이전 상태에서부터 현재 시점의 상태를 예측한다. 그 후 앞 단계의 예측 값과 외부 계측기로 얻은 실제 측정 값 사이의 오차를 통해 더 정확한 상태의 상태 값을 추정하는 보정 과정을 거친다. 이러한 과정을 지속적으로 반복하여 정확도를 높인다. 칼만 필터는 선형 시스템에만 해당, 적용된다. 일반적인 로봇 및 센서는 비선형 시스템인 경우가 많으며 이를 위해 확장 칼만 필터 EKF (Extended Kalman filter)가 널리 이용된다.

파티클 필터 (Particle filter)

파티클 필터는 물체 추적에 있어서 최근 가장 많이 사용되고 있는 알고리즘이다. 대표적으로는 파티클 필터를 이용한 몬테카를로 위치추정 (Monte Carlo Localization)이 있다. 칼만 필터의 경우 선형 시스템과 가우시안 잡음이 있는 시스템의 경우에는 그 정확도가 보장되지만, 그렇지 못한 경우 정확도가 보장되지 못한다는 문제가 있다. 파티클 필터는 다른 위치 추정 알고리즘과 마찬가지로 연속적으로 들어오는 정보 중에 오차가 포함되어 있다고 가정하고 대상의 위치를 추정하게 된다. 파티클 필터 방법에서는 위치 불확실성을 샘플이라 불리우는 파티클의 무리로 묘사한다. 각 파티클에 가중치를 주면서 점점 정확한 위치로 잡음을 줄이며 추정해 나가는 과정을 거치게 된다. 이러한 과정은 다음 다섯 개의 순서로 이루어지는데, 1번 초기화를 제외한 2~5의 과정을 반복적으로 수행하며 로봇 위치를 추정하게 된다.

- 초기화 : 처음에는 로봇 위치 및 방향을 알 수 없으므로 N개의 입자를 임의로 뿌린다.
- 예측 : 로봇 움직임을 기술한 시스템 모델에 기반하여 로봇의 이동량에 노이즈를 포함하여 각 파티클을 이동시킨다.
- 보정 : 계측된 센서 정보를 기반으로 각 파티클이 존재할 확률을 계산하고, 이를 통해 각 파티클의 가중치를 갱신한다.

- 위치 추정 : N개의 파티클의 위치와 가중치를 곱하여 로봇의 추정 위치를 계산한다.
- 재추출 : 가중치가 작은 파티클을 없애고 가중치가 높은 파티클을 중심으로 새로운 파티클을 생성한다.

라. Navigation

네비게이션은 주어진 환경에서 현재 로봇의 위치로부터 지정한 목적지까지 이동하는 과정을 의미한다. 이를 위해 주어진 환경의 기하학적인 정보가 담긴 지도가 필요하며, 네비게이션을 통해 로봇의 엔코더, IMU, Lidar등을 이용하여 현재 위치로부터 지도상의 지정된 목적지까지 이동하게 된다.

(1) 위치 추정 (Localization)

엔코더로부터의 바퀴 회전량, IMU의 관성 정보, 거리 센서로부터 얻은 장애물과의 거리 정보 등을 기반으로 기존에 작성해둔 지도상에 현재 로봇이 어디에 있는지 위치 추정을 하게 된다.

기본적으로 로봇의 3D 포즈를 추정하기 위해 휠 오도메트리, IMU로부터 측정한 정보를 이용하는 Robot Pose EKF 패키지를 사용한다. EKF 노드의 기본적인 실행 파일은 다음과 같은 파라미터들을 포함하고 있다.

- freq : 필터 업데이트 및 발행 주파수.
- sensor_timeout : 센서가 필터에 정보를 보내는 것을 멈추었을 때, 필터의 대기 시간
- odom_used, imu_used, vo_used : 활용될 센서 종류 설정

robot_pose_ekf에 의해 구독되는 토픽은 다음과 같다.

- odom (nav_msgs/Odometry) : 지면에 대한 로봇의 위치 및 자세 정보. 2D pose 및 이에 대한 covariance.
- imu_data (sensor_msgs/Imu) : 고정 좌표계에 대한 롤, 피치, 요 각도에 대한 3D orientation 정보. 이 토픽에 메시지를 받을 때까지 robot pose ekf가 시작 되지 않는다.
- vo : 3D pose.

robot_pose_ekf 노드는 항상 세 개의 센서 정보를 동시에 구독하는 것은 아니다. 각각의 센서원은 서로 다른 빈도수로 정보를 제공한다.

robot_pose_ekf에 의해 발행되는 토픽은 다음과 같다.

- robot_pose_ekf/odom_combined

(geometry_msgs/PoseWithCovarianceStamped) : 필터를 거친 자료가 추정되는 3D robot pose 를 발행되며, 이로부터 odom_combined와 base_footprint 사이의 tf 변환이 제공된다.

robot pose filter가 t_0 에 업데이트 된다고 가정할 때, 적어도 하나 이상의 센서 정보가 t_0 이후에 들어오기 전까지 robot pose filter는 업데이트 되지 않는다. 예를 들어 $t_1 > t_0$ 에 odom 토픽이 주어지고, $t_2 > t_1 > t_0$ 에 imu_data 토픽이 주어지면 필터는 모든 센서가 사용가능한 시간 (이 경우는 t_1)에 대해서 업데이트 된다. t_1 에서의 odom pose가 직접 주어지고, t_1 에서의 imu_data 값이 내삽에 의해 주어지게 된다.

본 로봇의 경우 위치 추정의 정확도를 높이기 위해 GPS를 robot pose ekf 필터에 추가하여 사용한다. GPS와 같이 사용자에게 의해 추가되는 센서 정보를 이용하고자 할 때는, 센서 정보를 /odom, /imu_data, 또는 /vo 토픽으로 바꿔주는 과정이 필요하다. gps_common 패키지 안의 utm_odometry_node가 GPS 측정을 sensor_msgs/NavSatFix에서 sensor_msgs/Odometry로 변환하는데 사용된다. GPS 센서는 gps_meas 라는 이름의 토픽으로 측정값을 보낸다. 그러나 Robot Pose EKF 노드는 odom이라는 이름의 토픽에 Odometry 타입의 메시지가 들어오기를 기다린다. 따라서 GPS 센서가 필터 노드와 연결되기 위해서는 토픽 이름을 노드가 기다리는 형태로 remap하는 과정이 포함 되어야 한다.

(2) 모션 계획 (motion planning)

이동 경로 계획 (path planning)이라고도 불리우며, 현재 위치에서 지정 받은 목표 지점까지의 이동 궤적을 지도 상에 생성한다. 지도 전체의 전역 이동 경로 계획 (global path planning)과 로봇 중심으로 일정 지역을 대상으로 하는 국부 이동 경로 계획 (local path planning)으로 나누어 로봇의 이동 경로를 만든다. 로봇의 장애물 회피 알고리즘은 Dynamic Window Approach (DWA)를 기반으로 한 move_base 이동 경로 계획 패키지를 이용한다. move_base 패키지의 move_base 노드는 전역 네비게이션 작업을 수행하기 위해 전역 플래너와 국부 플래너를 연결해 준다. 이 노드의 개념도는 그림 2-10과 같다.

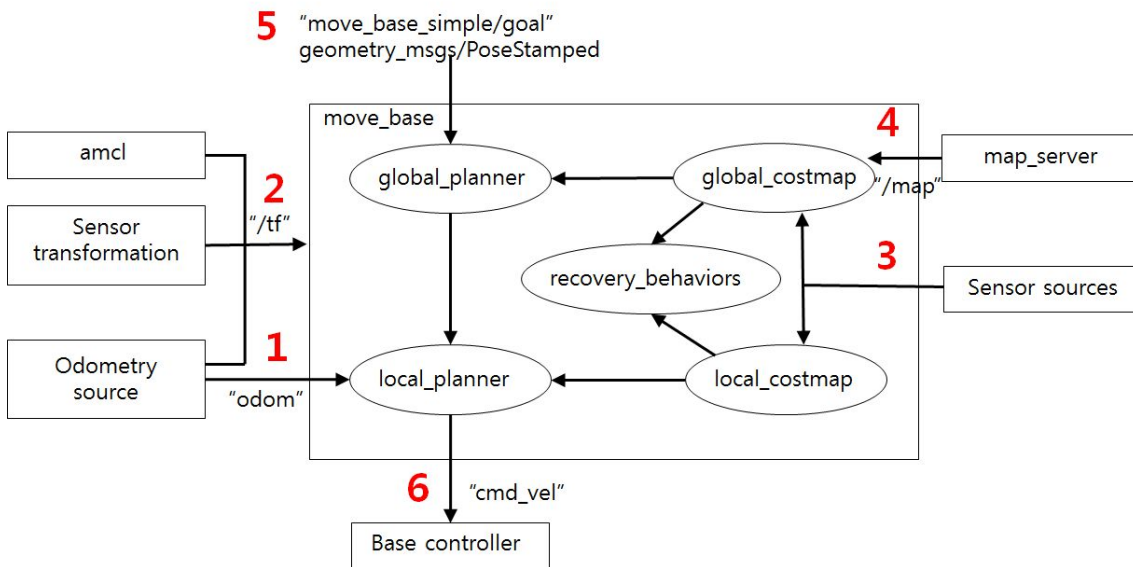
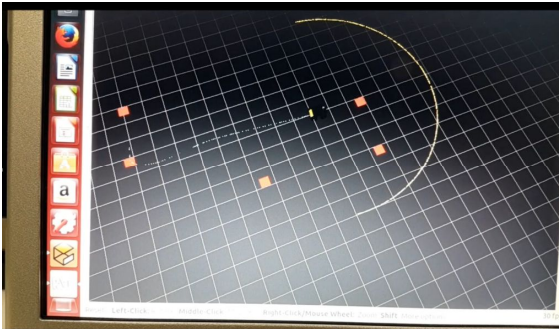


그림 2-10. 네비게이션 스택 설정에 관한 각 필수 노드 관계도

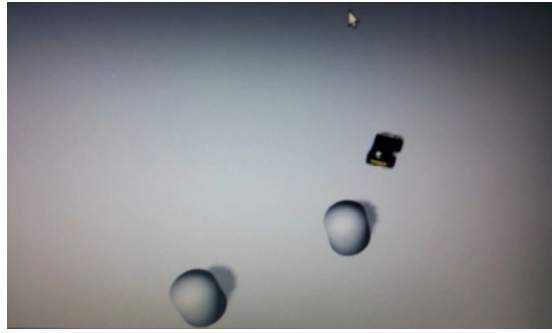
그림 2-10의 1에 해당하는 오도메트리 정보는 로봇의 현재 속도 정보를 받아서 국부 이동 경로 계획을 세우는데 사용된다. 상대위치 변환 정보는 `odom` → `footprint` → `base_link` → `base_scan`의 변환을 거쳐 토픽으로 발행된다. 이 토픽을 `move_base` 노드에서 받아 로봇의 위치와 센서의 위치 관계를 바탕으로 이동 경로 계획을 수립한다. 그림 2-10의 3에 해당하는 센서 토픽은 센서에서 측정된 거리 값을 의미한다. Husky의 경우 LRF를 사용하였으며, “scan” 토픽을 발행한다. 목표 좌표는 운영자가 직접 명령하게 되며, 2차원 상에 x, y, θ 로 구성되어 있다. 최종적으로 작성된 계획에 따라 로봇에 속도 명령이 “cmd_vel”로 주어진다.

(3) 자율 주행 예제

그림 2-11은 로봇의 자율 주행 예제를 나타낸다. 그림 2-11에서 빨간색 사각 표시는 지정된 waypoint를 나타내고, 노란색 반원으로 표시된 것은 라이다의 스캔 범위를 나타낸다. 원하는 waypoint를 지정하면 그 궤적을 따라서 자율 주행을 수행하고, waypoint 사이의 이동시 장애물이 나타나면 회피 주행을 통해 다음 지점으로 이동한다. 그림 2-11(a)는 waypoint만 주어진 경우의 주행 자취를 보여주며, 그림 2-11(c)는 2-11(b)와 같은 장애물이 있을 때 자율 주행하는 모습이다. 그림에서 장애물이 라이다 스캔 영역 안에 표출되는 것을 확인할 수 있다. 그림 2-11(d)는 목표지점 및 자세를 직접 화면상에 입력하여 자율 주행하도록 하는 그림을 보여준다.



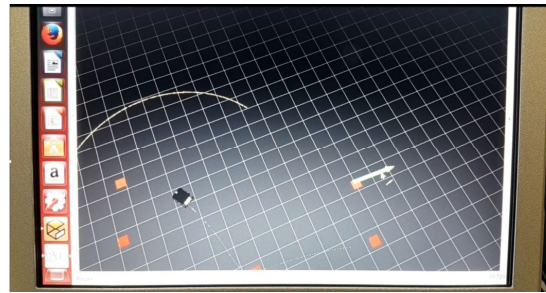
(a)



(b)



(c)



(d)



그림 2-11. 자율주행 예제

2. 엔진형 자율주행 로봇

가. 차량 플랫폼 개발

남극에서 사용되는 플랫폼의 경우 그 성능 입증에 오랜 시간이 걸리기 때문에 상용화된 플랫폼을 사용하여 성능입증에 걸리는 시간을 절약하고자 하였다. 본 연구에 사용된 무인 자율주행로봇의 플랫폼은 김코의 4륜 바이크(그림 3-1)이며 제원은 표 3-1과 같다.



그림 3-1. 무인 자율주행로봇의 플랫폼 (김코 MXU-500)

주요 제원			
김코 MXU500 주요 제원	제원	단위	Dimension
	배기량	cc	498.5
	전고	mm	1234
	전폭	mm	1223
	전장	mm	2200
	건조중량	kg	306.0
	최대출력	ps /rpm	24.0 /5500
	최대토크	kg/m /rpm	2.75 /4000

표 3-1. 무인 자율주행 로봇의 제원

차량 제어 노드는 사람이 구동을 위하여 조작하는 부분을 기반으로 설계되었으며 크게 4

가지로 나누어서 제작하였다.

스로틀을 행하는 모터와 변속을 행하는 모터, 브레이크를 행하는 모터, 조향을 행하는 모터로 총 4가지 기구부를 설치하여 사람이 조작하는 방식을 구현하였다(그림 3-2~7).

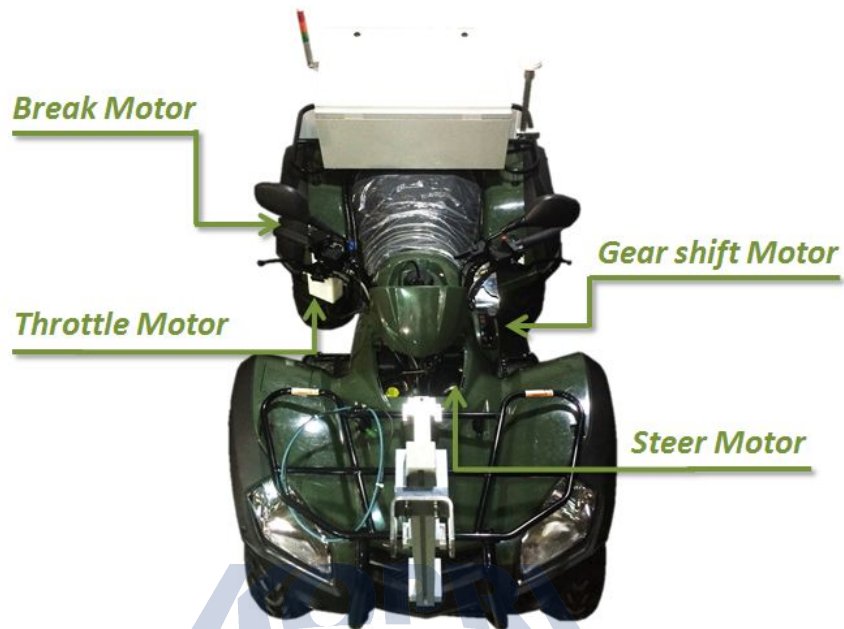


그림 3-2. ATV에 장착된 기구부



그림 3-3. 데이터연산용 제어기



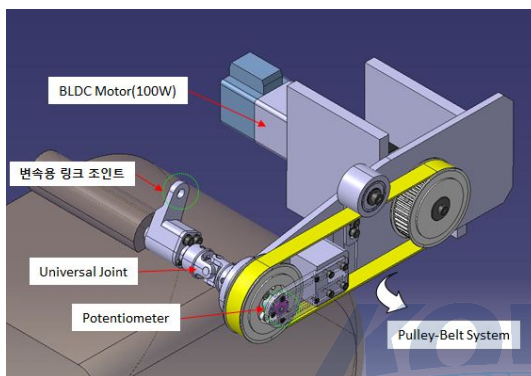
그림 3-4. 플랫폼에 설치된 제어기 박스



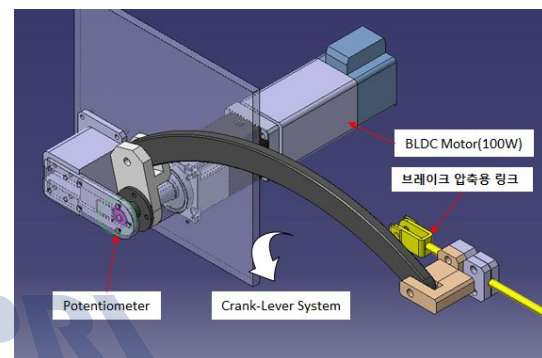
그림 3-5. SICK사의 레이저 스캐너



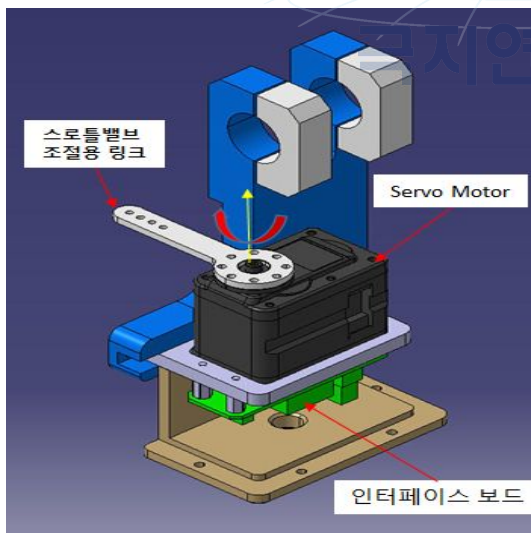
그림 3-6. 위치 인식 센서



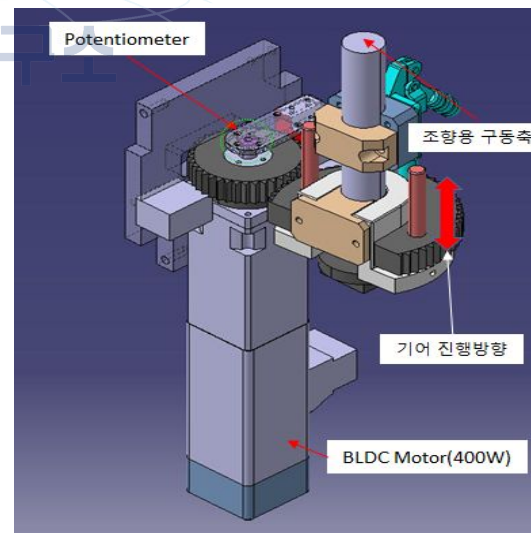
Gear shift Motor



Break Motor



Throttle Motor



Steer Motor

그림 3-7. 4가지 기구부 구동을 위한 모터의 설계

스로틀 레버에 모터를 달아 제어가 가능하게 하였고, 기어 샤프트 부분에 모터와 엔코더를 설치하여 변속이 가능하도록 설계하였다. 조향 축과 풋 브레이크의 링크에 모터를 장착하여

제어가 가능하도록 설비하였으며 전방의 장애물에 대응하기 위해 사물 감지가 가능한 레이저 스캐너를 사용하였다. 위치 인식을 위해서는 GPS와 차량 홀센서를 사용용하여 자율 주행이 가능하도록 설계하였다.

나. RC 조종기를 통한 조작성능 검증

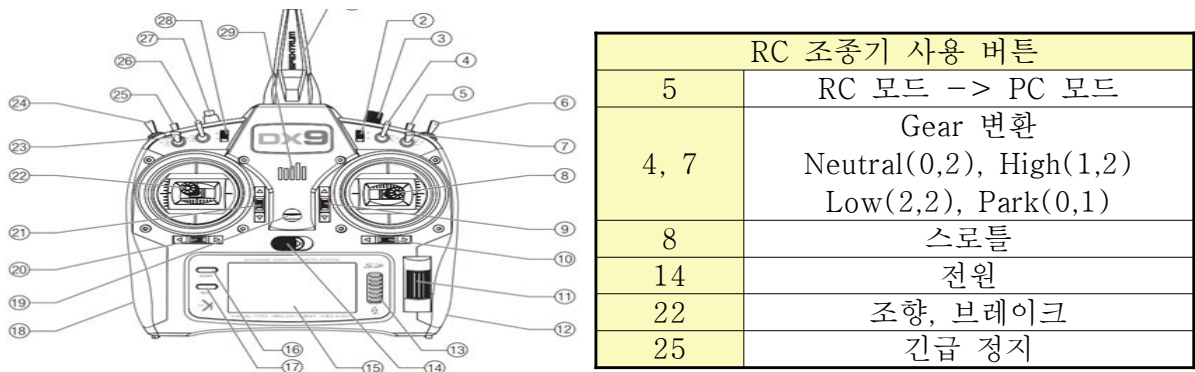


그림 3-8. RC 조종기

- (1) 조작권을 RC 모드로 설정하고 스로틀, 조향, 브레이크, 기어를 모터로 조종할 수 있음
- (2) 수동주행은 RC -> 하위 제어기 -> 모터 드라이버 -> 모터를 통해 조종됨
- (3) 수동주행 시 에러가 발생하면 뒷부분 건광봉에서 붉은 불이 들어옴
- (4) 제어기 모니터링 프로그램을 이용해서 현재 모터와 모터 드라이버의 상태 확인 가능

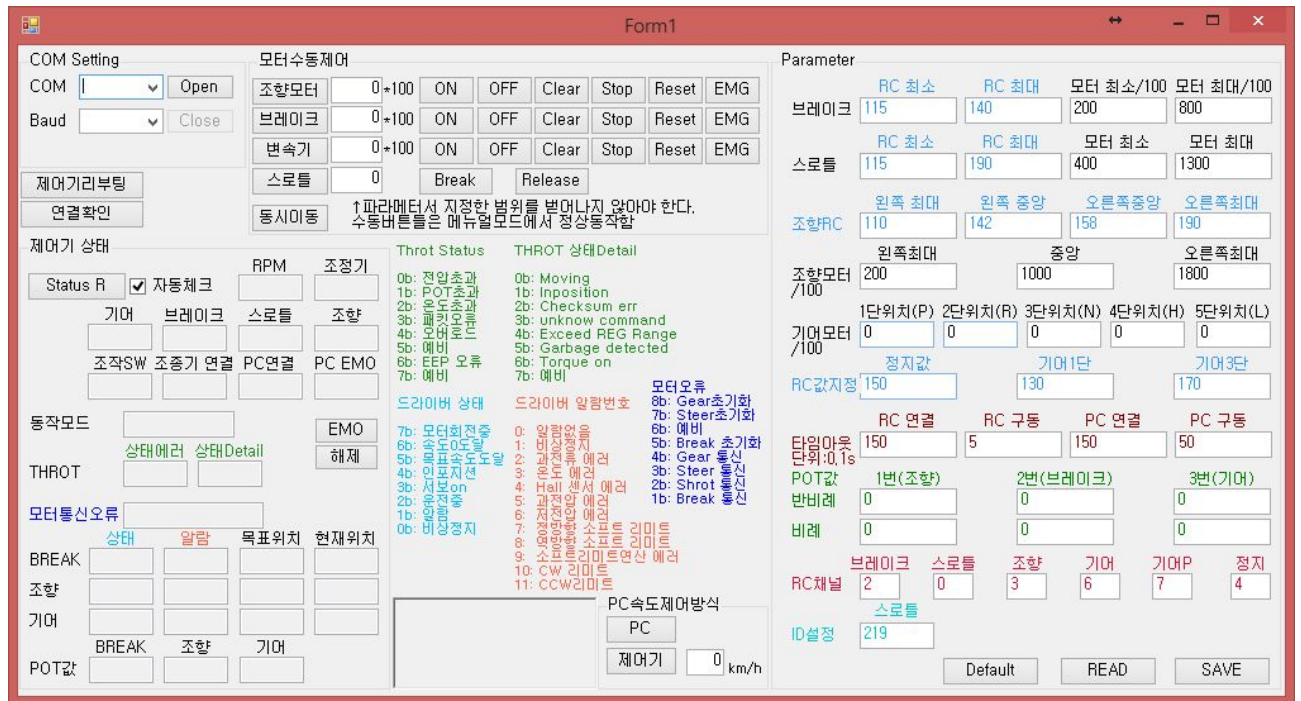


그림 3-9. 하위 제어기 모니터링 프로그램

다. PC를 통한 조향 및 속도제어성능 검증

(1) 조향각 제어

- 조향각은 400w BLDC 모터를 통해 제어된다. $30^\circ \sim 30^\circ$ 범위 내에서 조종 가능하며 수동 조작을 원할 시 조향 모터부의 클러치용 레버를 해제하고 사용 가하도록 설계되어 있다. 하위 제어기에게 조향각에 맞는 값을 전달하면 모터 드라이버 내부에서 목표 위치까지 제어를 실시한다.

하위 제어기 모니터링 프로그램을 사용하여 조향각도 실험이 가능하다.

$$\text{steering_input} = (\text{Param.,max} / \text{max_steering_angle}) * \text{Desired_Steering_Angle}$$

$$\text{Param.max} = 2000 / \text{max_steering_angle} = 30^\circ$$

하위 제어기에서 에러 발생 시 모니터링 프로그램의 제어기 상태 창을 통해서 원인 파악이 가능하다.

(2) 속도 제어

스로틀의 경우 밸브를 개조하지 않고 서보 모터를 ATV 우측의 스로틀에 장착하여 실제 사람이 밀어내는 효과를 발생하도록 설계하였다. 이는 사람이 직접 운행할 때도 별다른 기구부의 변경없이 사용할 수 있도록 하기 위함이다. 서보 모터의 입력 값에 따른 주행 속도를 측정하였고 결과 데이터를 기준으로 하위 제어기에서 피드백 제어를 실시하였다.

throttle motor input	590	591	594	597	601	603	605
Velocity(m/s)	0	2.4	2.6775	4.1055	4.641	4.7302	5.1765
brake distance(m)	0	6.1918	6.7452	7.2628	12.6892	12.3322	15.0454
Pulse count	0	27	30	46	52	53	58
Rising time(sec)		12.2	11.4	16.6	15	14.2	14.6

표 3-2. ATV 스로틀 서보 모터 입력 값에 따른 직진 속도



그림 3-10. MXU500 Speed sensor

휠의 직경과 Speed sensor의 출력인 pwm 신호를 계산하여 차량의 속도를 계산한다. 실제 직선도로 구간인 87m와 79m를 고속과 저속 직진 주행하였고 이를 speed sensor의 pulse 개수로 추정된 이동거리인 86m와 78.87m을 비교하여 거리오차 1.11%와 0.16%으로 speed sensor의 속도 추정 값이 타당하다는 것을 증명하였다.

라. GPS기반 무인자율주행 제어기술 개발

(1) GPS 기반 위치 추정

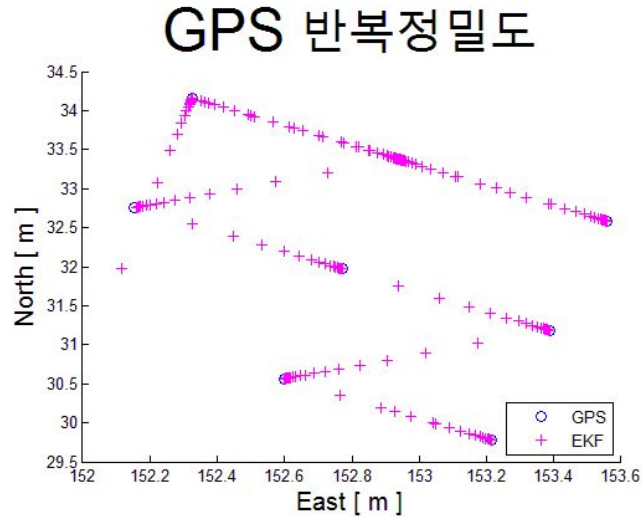


그림 3-11. GPS반복정밀도 측정

GPS 데이터 처리 중 신뢰할 수 없다고 판단되는 (좌측 사진) 값 혹은 0 값이 입력으로 들어오는 경우 EKF 전처리 과정에서 제거한다. 무인자율주행 로봇의 위치추정 알고리즘 중 하나인 확장칼만필터에 GPS 오류 데이터 처리과정을 삽입하여 장시간 고정 반복정밀도를 측정하였고 worst case에서 4m 정도의 고정 오차를 갖는 것을 확인하였다.

원격 PC로부터 입력받은 지도 정보로부터 관련 없는 위치 데이터라고 판단되면 GPS센서 오류라 판단하고 신뢰성 있는 데이터가 들어올 때까지 위치 추정을 실시하지 않거나 기존의 위치점을 사용하였다.

(가) GPS 기반 경로 추종

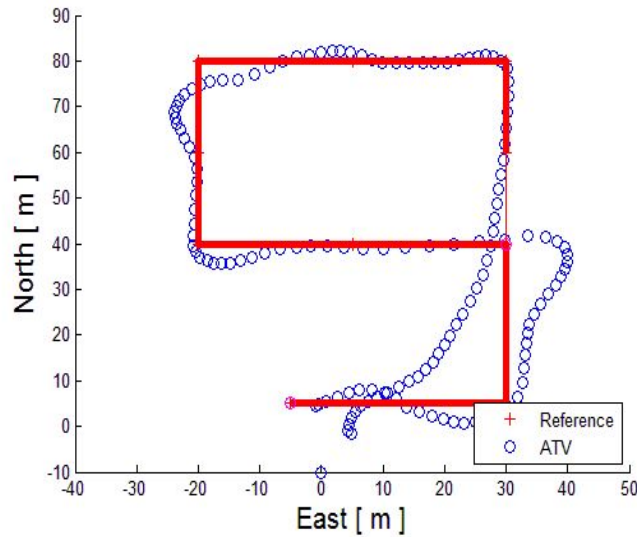


그림 3-12. 송도 야지에서 GPS기반 경로 추종 실험 결과

GPS 기반 경로 추종은 극지 환경과 유사한 평탄한 야지에서 주행 실험을 실시하였다. 급격한 방향전환이 있는 경로추종에 있어서도 기존의 실험을 통해 구한 제동거리와 홀 센서로부터 추종한 속도 정보를 통해 브레이크 제어를 실시하였다.

모니터링 PC에서 직관적인 단위(m)를 통해 상태를 쉽게 알 수 있도록 WGS84 지구 타원체, NMEA 규격, TM 규격간의 관계에 근거하여 변환 공식을 적용하였으며 자율주행 중 레이저 스캐너를 통해 차량의 진행 방향 10m * 4m 간격에 장애물을 탐지하여 긴급 정지를 적용하여 테스트 하였다.

극지 자율주행 중 원하지 않는 지형으로 이동시 RC조종기를 통해 긴급정지 및 제어권을 RC로 넘겨받을 수 있도록 설계하여 비상시나 유지 관리에 유리하도록 하였다.

목표점 방향 변환에 따른 속도 제어

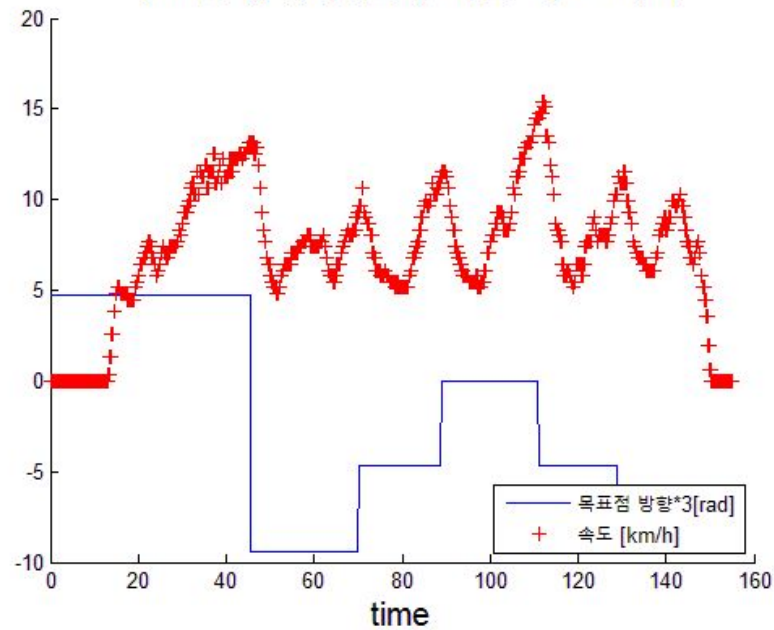


그림 3-13. 경로점 방향 전환에 따른 속도 제어

그림 3-13에서와 같이 경로점의 방향이 급격하게 변화하는 43초 부근에서는 로봇이 경로를 이탈하지 않도록 로봇의 브레이크를 작동시켜 경로점을 잘 추종할 수 있도록 제어하였다.

GPS 경로 추종 위치 오차

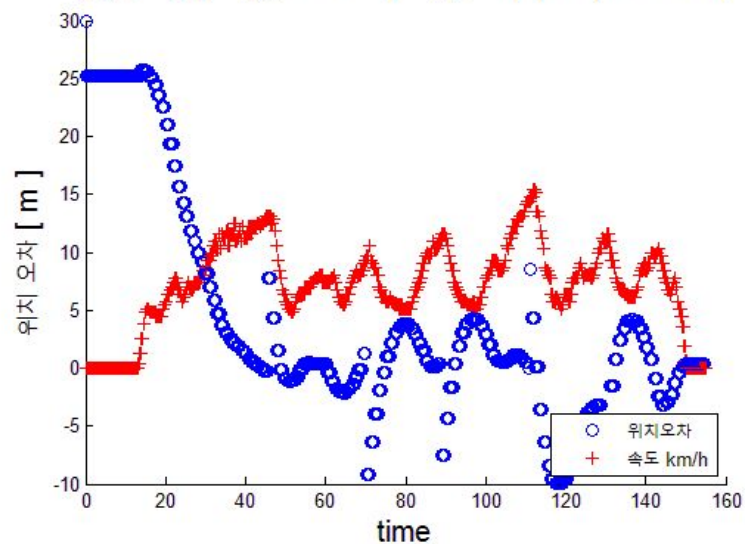


그림 3-14. GPS경로 추종 위치 오차

100 ~ 120초 구간에서는 50m 직진 구간을 주행하며 경로점과의 방향 차이가 없어 로봇의 속도가 계속 상승하는 것을 볼 수 있으며 주행 시나리오 중 로봇의 최대 속도인 120초 부근에서 새로운 경로점과의 방향전환이 90°로 설정되었고 16km/h 로봇의 제동거리인 12m와 유사한 최대 10m 위치오차를 가지며 다음 경로점을 추종하도록 하였다. 마지막 경로점 추종 시 새로운 명령을 받을 때까지 초기 상태로 자동 변환 되도록 설계하였다.

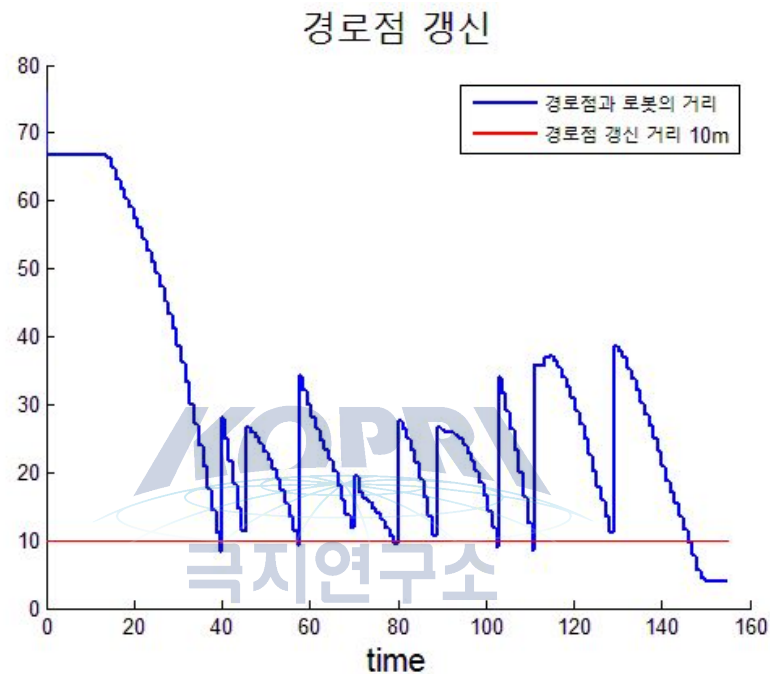


그림 3-15. GPS경로 추종 위치 오차

로봇의 회전반경을 고려하여 목표 경로점 10m 이내에 진입 시 다음 경로점을 추종하도록 제어기가 설계되었으며 경로점 갱신 거리인 10m에 접근할 때마다 새로운 경로점을 갱신하도록 구성하였고 다음 경로점이 없다면 로봇은 미션을 완료했다고 판단하고 정지한다.

라. 통합운용 시스템 개발

(1) 로봇상태에 대한 모니터링



그림 3-16. 송도에서 자율주행 지령 후 원격 제어 PC 화면

로봇과 원격 PC 통신 범위(약 150m)내에서 실시간으로 로봇 상태 모니터링 가능하다. 그림 3-16의 녹색 선의 목표 경로와 현재 로봇의 위치를 붉은 점을 인터페이스 좌측에 구글 위성 지도 이미지를 통해 확인 가능하다. 로봇의 위도, 경도, TM 좌표계 위치, 방향, 속도, 제어권 상태를 확인 가능하다.

(2) 사용자 경로 입력 및 저장 (프로그램 사용 방법)

- (가) 프로그램 사용 전 지도의 이미지파일(BMP파일)과 지도의 위치정보파일(text파일)이 같은 폴더에 같은 이름으로 존재해야 함
- (나) 위치정보파일의 내용은 위와 같은 형식(위도, 경도, 고도 순서)의 4개의 좌표로 이루어져 있으며 그 순서는 지도의 좌측하단, 우측하단, 좌측상단, 우측상단 꼭짓점의 GPS좌표여야 함
- (다) 프로그램이 작동을 시작할 때 자동으로 ATV제어 프로그램과의 접속을 시도, 만일 연결에 실패할 경우 또는 주위 환경에 의해 연결이 끊어졌을 경우 ‘연결/연결종료’ 버튼을 눌러 접속 가능

- (라) 연결이 완료되었다면 ‘맵 불러오기’ 버튼을 눌러 원하는 맵을 불러오도록 하여 ATV 제어프로그램에 맵에 대한 정보(맵 기준점, 맵 기울어짐 각도, 크기)가 전송됨
- (마) ‘좌표전송’ 버튼을 통해 ATV제어 프로그램에 경로 정보 전송하고 경로정보는 TM좌표 형식으로 전송함
- (바) ‘시작’ 버튼을 통해 전송한 경로 정보에 따라 주행을 시작하도록 하며, 주행 중 ‘정지’ 버튼을 통해 주행을 중지할 수 있음
- (사) 주행도중 ‘정지’ 버튼을 눌러 주행을 멈췄다면, ‘RETURN 경로생성’ 버튼을 통해 되돌아오는 경로를 쉽게 생성하여 다시 주행시킬 수 있음



제 3 절 대륙 탐사 지원을 위한 안전 및 기술 지원

장보고기지는 로스해 연안에 위치해 있어 지질, 운석, 지구물리 빙하 연구에 적합하다. 주변 이태리, 미국 뉴질랜드, 프랑스와 국제협력을 통한 탐사도 가능하여 연구분야 확장 및 보다 심도 있는 남극 연구가 가능해 졌다. 남극 대륙 연구에 있어 로지스틱스는 연구의 성패를 좌우하는 가장 중요한 요소라 해도 과언이 아니다. 지난 수세기 동안 남극에서 수행되었던 수 많은 연구의 기본은 육상을 통한 로지스틱스라고 볼 수 있다. 항공기술과 능력이 발달하고 있지만 연구를 위한 대단위의 물자 이동은 역시 육상을 통해서만 이루어졌다. 장보고기지의 경우 그림 4-1과 2에서 보는바와 같이 내륙 어느 곳으로의 이동에도 반드시 난센빙하를 거쳐야 하는 난제를 갖고 있다. 따라서 이 보고서를 통하여 안전하게 난센 빙하를 횡단하는 방법을 고민해 보고자 한다.

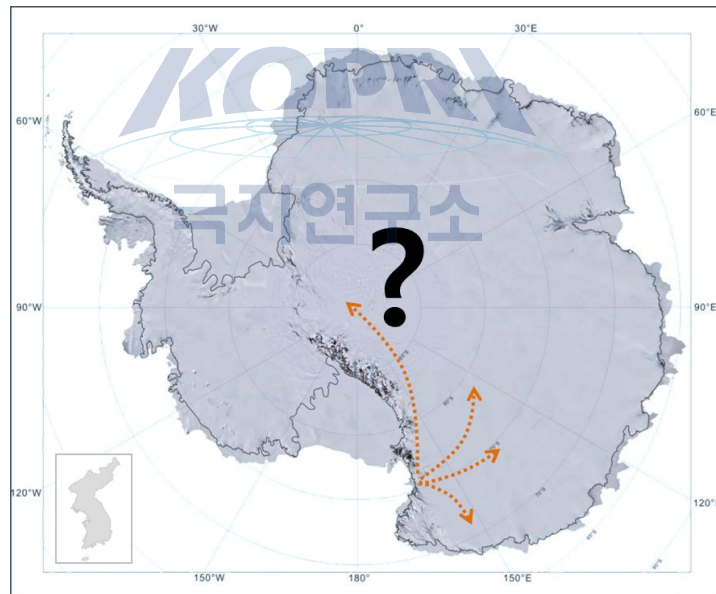


그림 4-1 남극 장보고과학기지에서 내륙으로의 이동을 보여주는 지도

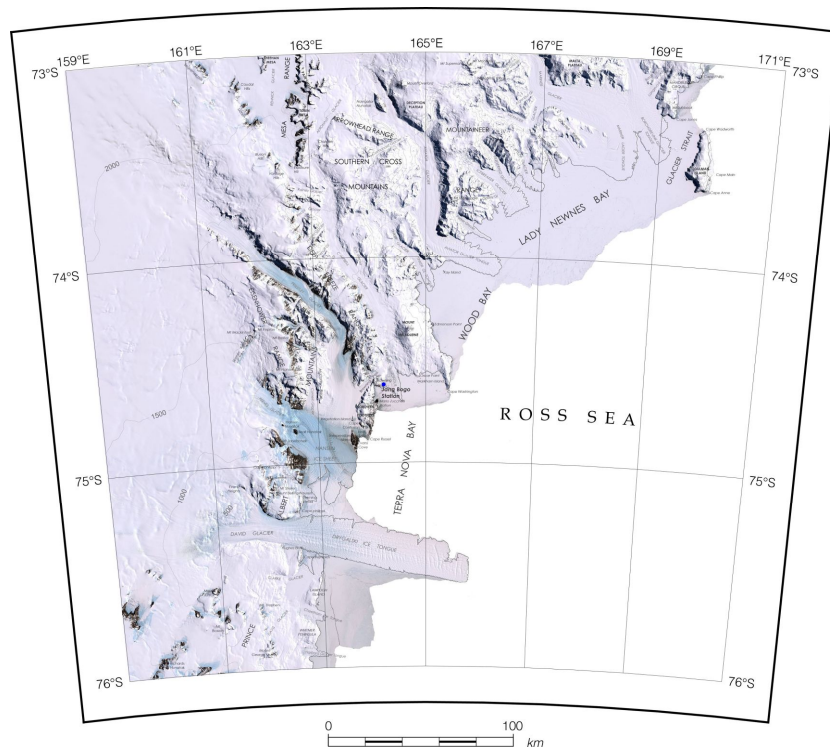


그림 4-2. 대륙으로 이동하기 위해서 반드시 통과해야 할 기지 남서쪽에 위치한 난센빙하

1. 원격 탐사를 이용한 난센빙하 모니터링

난센빙하를 원격으로 관찰할 수 있는 유일한 방법인 인공위성을 이용하여 빙하의 흐름 속도 (그림 4-3)와 영상을 매년 모니터링함으로써 빙하 속에 크레바스가 발달할 수 있는 지역에 대한 가능성을 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 해당 지역은 지난해 얻은 안전도(다음 단락 참조)와 비교하여 탐사의 집중 여부 등 레이더 탐사 계획에 크게 기여할 것으로 본다.

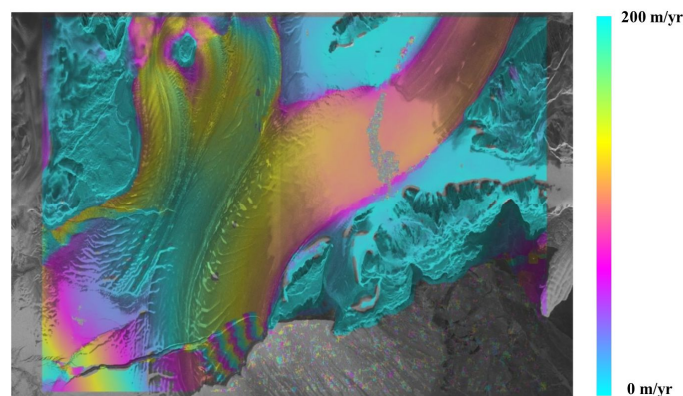


그림 4-3. 위성을 활용한 빙하 탐사. Specke tracking 방법을 이용하여 빙하의 속도를 추정 할 수 있다

2. 주 이동구역의 격자화(안전맵 작성)

난센빙하의 이동구간의 기준은 기존 이태리가 이동했던 구간(그림 4-4)을 기본으로 하여 각 구간을 1 km x 1 km의 격자로 나누어 각 구역의 안전도를 3~5 단계로 표현하여 향후 이동구간에 대한 신뢰성을 부여한다. 이때 안전도는 3차원 항공 GPR 탐사를 통하여 그림 4-5와 같이 크레바스가 존재하는 지역을 깊이별로 이미지화 할 수 있으며 각 격자 구간내에서 위험한 곳을 찾아 표시할 수 있다(그림 4-6). 항공 GPR 탐사 방법은 이 보고서에서 구체적으로 기술하지 않지만 Lee 등(2010)과 Kim 등(2010)을 참조하기 바란다.

주요 탐사 시기는 시즌이 시작하는 11월이 가장 적합할 것으로 판단된다. 얼음이 녹으면서 레이더 신호의 간섭이 발생하게 되면 질 높은 자료를 취득하기 어렵기 때문에 하계시즌이 시작하는 시기를 시점으로 약 2~3주간의 탐사 시간이 필요할 것으로 판단된다.

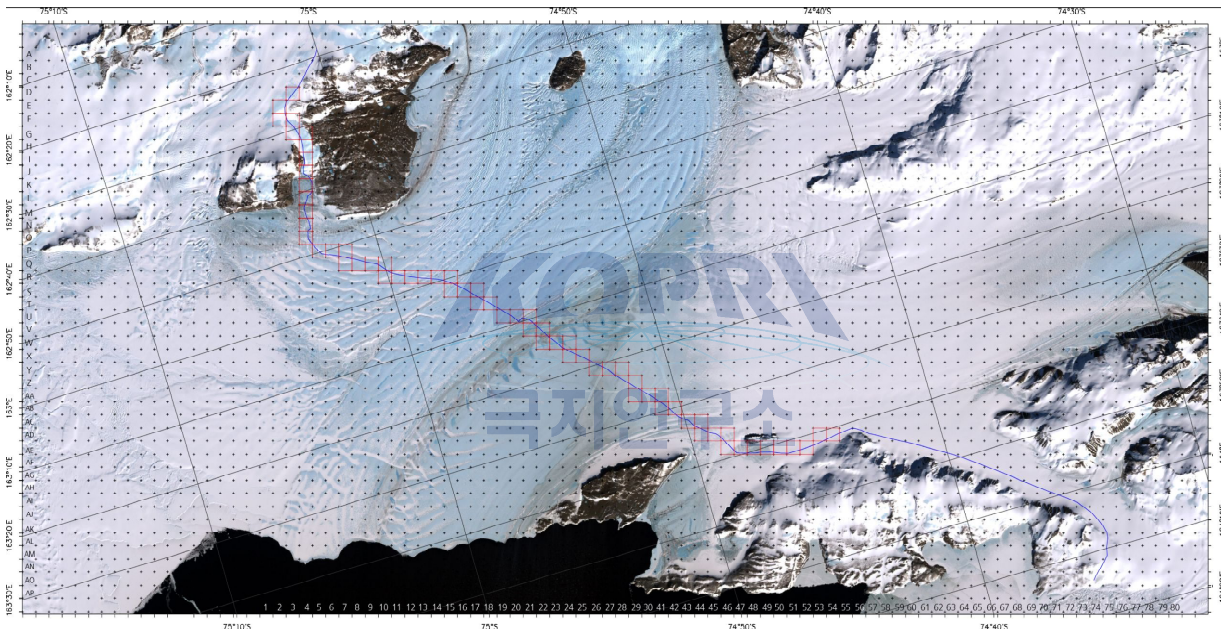


그림 4-4. 난센 횡단 루트(파란색선)와 각 지역을 1 km x 1 km의 격자로 구분한 지도. 주 루트 주변의 붉은색 격자는 항공 레이더 탐사를 통하여 안전도를 3~5 단계로 표시

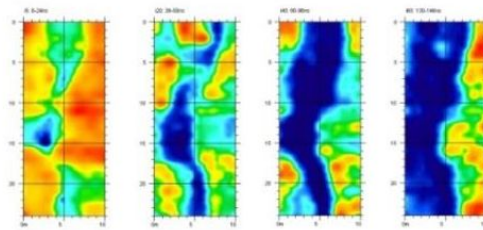


그림 4-5. 헬기를 이용한 GPR 탐사(상), 깊이별
반사파의 강도를 표시한 그림(하)

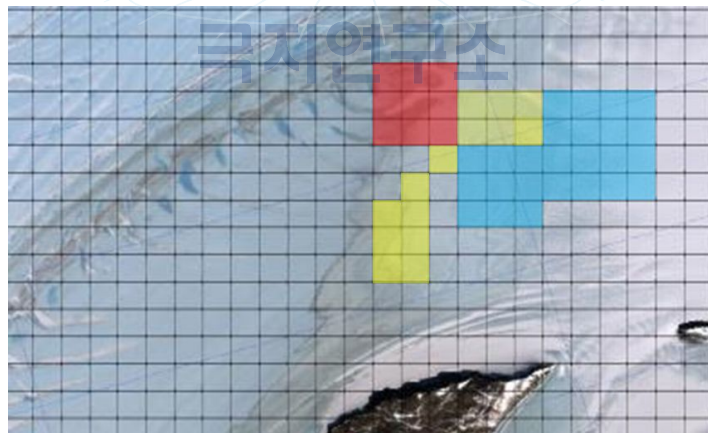


그림 4-6. GPR 탐사 결과로 얻은 위험도 순위를 색으로
표현한 지도(예)

제 4 장 연구개발 목표 달성도

연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위	목표달성도	비고
○ FMCW 레이더를 활용한 크레바스 및 Snow Bridge 탐지 가능성 연구	- 2.4 GHz 대역 FMCW 레이더 시스템 시제품 개발 및 테스트 - 모델링과 신호 분석을 통한 Snow bridge 영상화	100 %	
○ 무인 자동주행 크레바스 탐사 로봇 제작	- GPS 기반의 무인 자동주행로봇 개발 - 450 MHz 대역의 GPR을 장착하여 크레바스 전용 탐사 시스템 제작 - 극한의 기후에서 센서 및 장비의 접합성 시험	95%	- 극한 기후에서 센서 장비의 적합성 시험이 충분이 이루어지지 않았음
○ 대륙 탐사 지원을 위한 안전 및 기술 지원 체계 구축	- 빙하 및 지구물리 등의 연구 지원을 위한 Ice Radar 개발/확보 방안 수립 - 대륙횡단 기술 확보 및 안전 지원체계 구축	100 %	

제 5 장 연구개발의 활용 계획 및 향후 계획

1. 연구개발의 활용 계획

- 무인자율주행로봇을 활용한 극지 원격탐사기술을 통하여 극한환경으로부터 연구인력을 보호하고 연구개발을 효율적으로 수행할 수 있도록 지원
- 운송용 로봇, 소방 로봇, 구난로봇 등을 중심으로 민간분야 및 군수분야에서 야지 운용이 가능한 무인 차량 로봇에 대한 수요가 꾸준히 증대할 것으로 전망되므로 향후 관련 분야에 획득된 기술을 활용
- 무인자율주행로봇에 카메라, 적외선 카메라, 레이더 등 다양한 센서를 장착하여 탐사지역에 대한 활동 범위를 넓히고 효율적인 탐사가 가능하여 기지주변 무인 탐사의 기틀을 만들 것으로 기대
- 향후 극지, 해양, 우주 탐사와 개발에 대한 탐사용 로봇의 기반기술 확보에 있어서 무인 주행이 가능한 로봇개발에 중요한 역할을 할 것으로 예상
- 다양한 장비와의 결합을 통한 새로운 남극 연구 플랫폼 개발

2. 향후 계획

가. 극지 특화형 플랫폼으로 업그레이드

- 극지 지형에 적합한 구동부 개발
- 구동 시간 증대 (전력원 추가 및 교체)
- 연구 활용성 증대 방안 모색

나. 소프트웨어

- 사용자 친화적 인터페이스 개발
- 극지형 주행 알고리즘 개발(크레바스 자동회피, 역트래킹)

최종 결과보고서에 평가의견 반영사항

창의연구사업 구분		연구정책·지원과제	
과제명	남극 대륙 육상 탐사 지원을 위한 크레바스 탐지연구(계정번호:PE14310)	연구기간	2015. 09.01. ~ 2016. 08. 31
연구책임자	이주한	연구비(직접비)	200,000 천원
과제개요, 연구성과 및 최종 결과보고서 평가의견 반영 사항			
(1) 과제목적 ○ 빙하에 존재하는 크레바스를 탐지하기 위한 무인항공기용 레이더 시제품 제작 ○ 육상 탐사 시 빙하 탐사용 무인자동주행 크레바스 탐사 로봇 개발 ○ 장보고 과학기지를 거점으로 하는 남극 대륙 육상 탐사 시에 보다 효율적이고 안정적인 안전 및 기술 지원 체계 구축 (2) 최종성과 ○ 주파수변조 연속파(FMCW) 레이더를 활용한 크레바스 및 Snow Bridge 탐지 시스템을 개발하여 시제품을 완성하였으며 모델링을 통해 눈의 두께를 확인할 수 있음을 증명 ○ 배터리와 엔진으로 구동되는 2개의 플랫폼으로 무인 자동주행 크레바스 탐사 로봇을 제작. 두 로봇 모두 매뉴얼과 자동주행이 가능하도록 설계, 제작되었으며 GPS 기반으로 자율 주행이 가능하고 전방에 Lidar를 장착하여 물체를 인식하고 회피할 수 있는 기능이 탑재됨 ○ 두 로봇 모두 지표투과레이더(GPR)를 장착하여 하부의 크레바스를 탐사하도록 하였으며 특히, 배터리형 로봇의 경우 플랫폼에 GPR이 내장되도록 제작 ○ 장보고 과학기지를 기반으로하는 내륙 탐사 지원을 위해 주 트래버스 지역을 위험도 수준별로 탐사하여 안전을 지원하는 것이 향후 대륙연구에 필요할 것으로 판단됨 (3) 성과의 향후 연구소 활용방안 또는 기대효과 ○ 대륙 진출 시 육상루트 확보 및 안전 지원 ○ 대륙 내에서의 연구 활동 시 효과적이고 안전한 연구지원 ○ 다양한 장비와의 결합을 통하여 새로운 남극 연구의 플랫폼 개발 (4) 최종 결과보고서에 평가의견 반영 사항			
평가의견		반영사항	비고
○ 실제 현장 시연 계획 수립 필요		○ 1차적으로 빙하에서 완벽하게 운행할 수 있도록 방수 문제를 보강 ○ 2016/17년에는 실제 트레바스에 투입되어 운영될 예정이므로 트레바스 시 운영으로 시연을 대체할 수 있을 것으로 판단됨	
○ 장비 고장 등이 발생할 때, 백업할 수 있는 방안 모색 필요		○ 장비를 2 종류로 기획 제작한 이유 중 하나는 장비 고장 등으로 발생할 수 있는 백업을 위함 ○ 예산이 주어진다면 추가 제작은 가능하며 초기 연구비보다 적게 소요	

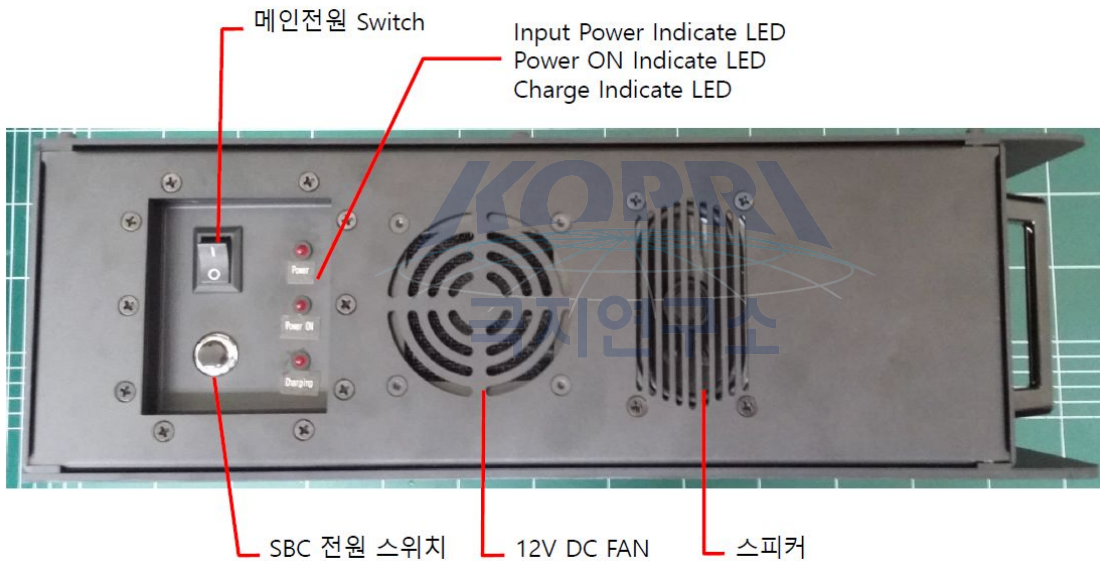
부록

엔진형 로봇 사용 설명서

1. 장치 접속 방법

장치	IP주소 / 시리얼 포트	전원 소스 [v]
AP (TP - LINK)	192.168.51.1	12
SBC (제어기 PC)	192.168.51.100	24
Remote PC (모니터링 PC)	192.168.51.101	
SICK (Laser Scanner)	192.168.51.246	24
하위 컨트롤러	1	5
GPS(Ascen)	3	5

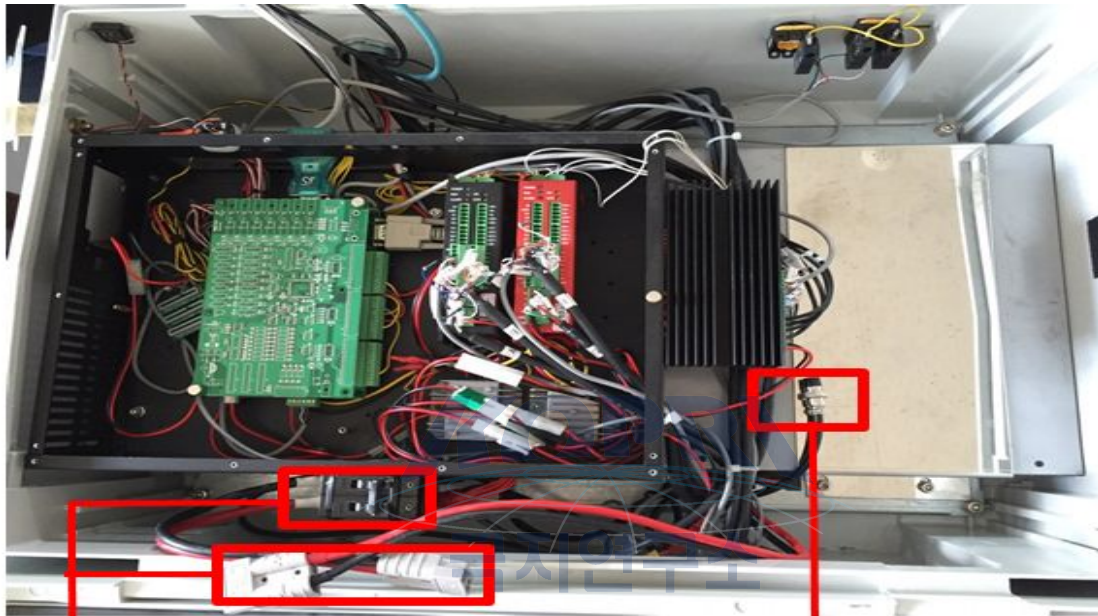
1-1) SBC 접근 방법



< SBC 측면 전원부 >

- SBC 전원을 on
- 외부 PC를 원격 AP에 접속 (ID : ATV / PW : kookmin_atv)
- 외부 PC의 내장 프로그램인 원격 데스크톱 연결 실행 및 접속 (ID : ATV / PW : atv 혹은 ID : 192.168.51.100 / PW : atv)
- 프로그램 실행 및 저장 데이터 복사 (로그 파일은 프로그램 실행 날짜와 시간으로 저장됨)
- 내부 S/W는 자율주행을 위한 Kookmin_Autonomous와 하위 제어기의 상태 모니터링용 ATV_SET 프로그램이 존재함

1-2) 전원 공급 방법



전력차단기

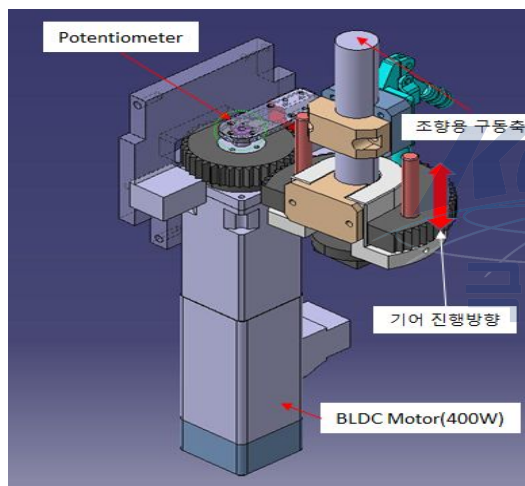
배터리 충전 선

< 제어 박스 내부 실사 >

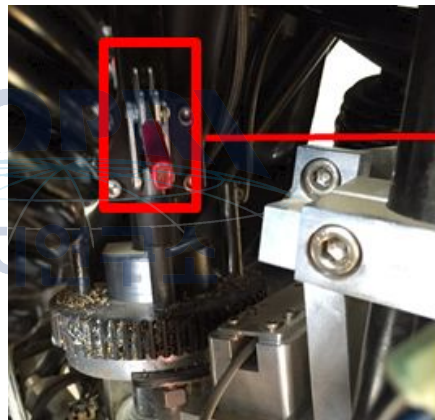
- 전력 차단기 off
- 충전 버튼 on
- 3 ~ 4 시간 사용 시 충전 권장
- GPS와 AP의 전원은 SBC로부터, SICK와 하위 컨트롤러와 SBC는 배터리(24v)로부터 전력을 공급 받음

2. Manual 모드 제어

- 조향부의 Potentialmeter와 기어를 빨간색 레버를 통해 맞물림을 해제



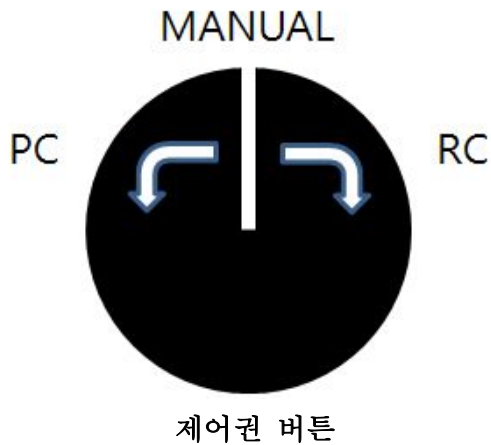
Steering Motor



레버

조향부 실사

- 제어기 박스의 전력 차단기 off (모터의 역기전력으로 인해 필수 조건)
- 제어기 박스의 제어권 상태를 Manual 상태로 전환



제어권 버튼 실사

3. RC 모드 제어

- RC 조종기의 버튼 초기 상태(변속기(N), 쓰로틀(0), 긴급 정지(on))에서 모든 기구부의 초기화가 이루어져야만 제어가능, 초기화가 진행되지 않으면 경광봉에서 error 상태를 알려줌



Error 상태



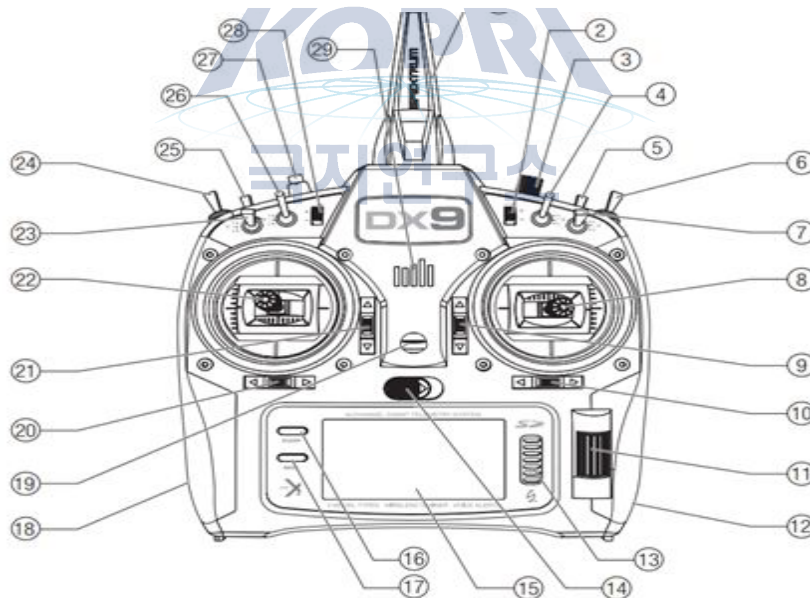
RC & PC 제어 상태

- 조향은 $-30^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 범위 내에서 조종 가능
- 조종 중 긴급 정지를 원할 경우 25번 버튼 off $\rightarrow$ on

- 경광봉을 통한 RC 제어 에러 발생 시 25번 버튼 off -> on -> off 로 조종 가능
- 조종기 초기화를 통한 error가 해결되지 않는다면 SBC의 내부 프로그램인 ATV_SET S/W를 실행시켜 정확한 에러 발생 원인 파악이 필요함
- 프로그램의 화면에 설명된 error 메시지에 따라 포테넛측에 문의 바람

RC 조종기 사용 버튼	
5	↑ : RC 모드 -> PC 모드 ↓ : PC 모드 -> RC 모드
4, 7	Gear 변환 Neutral(↑, ↓), High(·, ↓) Low(↓, ↓), Park(↑, ·)
8	스로틀(↑)
14	전원
22	조향(↔), 브레이크(↓)
25	↓ : 긴급 정지 ↑ : 제어권 활성화

< RC 조종기 버튼 설명서 >



< RC 조종기 >

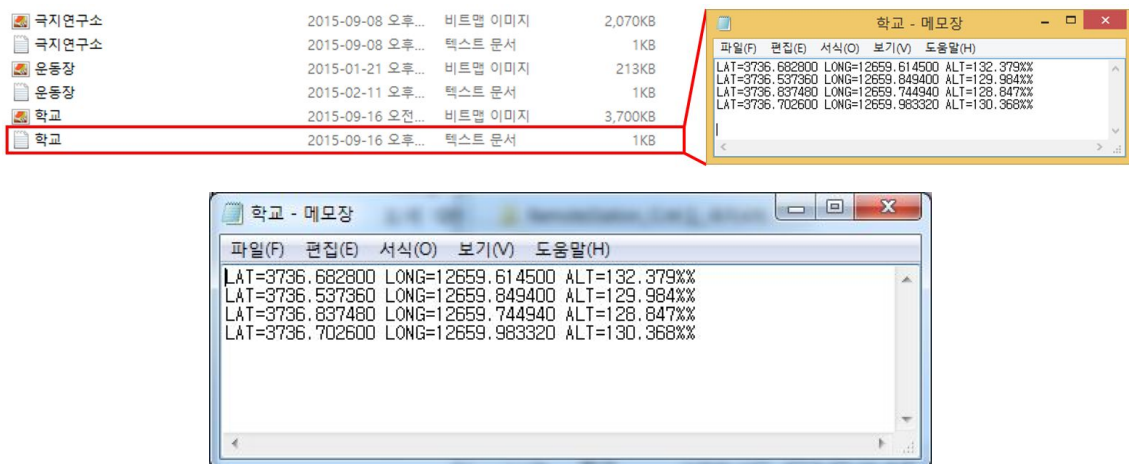
4. 자율주행 모드

4.1) 자율주행 모드 동작 순서

- 배터리 선을 연결하고 전력 차단기 on, 내부 제어 PC 전원 on, GPS 전원 on
- 제어권 버튼을 PC방향으로 조정
- 원격 제어 S/W인 Remote Station 실행



- ‘연결/연결종료’ 버튼을 통해 ATV 내부 제어 PC와 연결(연결 실패 시, 내부 제어 PC에 직접 접근하여 Kookmin_Autonomous S/W를 켜줄 것)
- ‘맵 불러오기’ 버튼을 통해 원하는 지도를 불러옴(지도의 이미지 파일 형식은 비트맵파일, 지도에 대한 정보를 포함한 텍스트 파일이 같은 폴더에 존재해야 함, 4-2 참조)



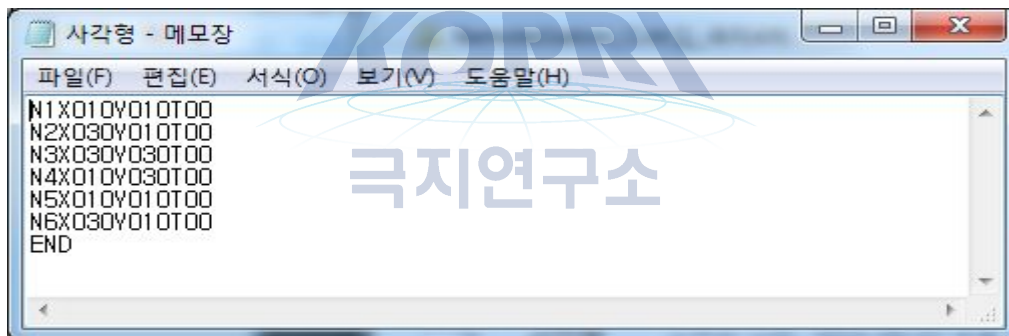
< 맵 불러오기 버튼 클릭 후 비트맵파일과 지도정보를 갖는 텍스트 파일 >

- ‘GPS ON’ 버튼 클릭을 통해 GPS로부터 입력 지도상의 현재 위치, 위경도 정보를 표시함



< GPS ON 버튼 클릭 후 ATV의 위경도 위치와 지도상의 위치를 매칭한 모습 >

- ‘경로생성 모드’ 버튼 클릭 후 경로 생성 ON 상태로 전환 (경로생성 OFF에서만 현재 위치를 계속 업데이트 할 수 있음)
- ‘경로생성’ 버튼 클릭 후 지도 상의 원하는 영역을 클릭하여 주행 경로를 생성) ‘CLEAR’, ‘UNDO’ 버튼을 이용하여 입력 경로 삭제와 이전 단계로 돌아갈 수 있음)
- ‘좌표불러오기’ 버튼 클릭을 통해 마우스 클릭이 아닌 텍스트 파일을 선택하여 경로를 설정할 수 있음



< 좌표불러오기 버튼을 통한 지도정보 텍스트파일 포맷 >

- ‘경로생성’과 ‘좌표전송’ 버튼을 이용하여 ATV 제어 프로그램에 정보 전송 (경로 정보는 TM좌표계 형식으로 전송 됨)
- ‘주행시작’ 버튼을 통해 전송한 경로 정보에 따라 주행을 시작하며, ‘정지’ 버튼을 통해 주행을 중지할 수 있음
- ‘REBOOT’ 버튼을 통해 주행 중 ATV 하위 제어기를 초기화 하여 ERROR 발생을 제거할 수 있음(주로 모터 초기화 단계, 과전류 에러에서 발생)



주행 중 ERROR 발생



REBOOT을 통한 ERROR 극복 후 주행

4.2) 지도 비트맵 파일과 지도 정보 생성 방법

- 구글, 네이버, 다음등 위성이미지 지도를 제공하는 곳에서 이미지 캡처 후 사용 편의에 맞게 이미지를 회전, 비트맵 형식으로 저장



< 원하는 장소의 위성 이미지 캡처 후 회전 >

- 비엠피 파일과 같은 이름의 지도정보를 가지고 있는 텍스트 파일을 작성



학교 - 메모장				
파일(F)	편집(E)	서식(O)	보기(V)	도움말(H)
LAT=3736.682800	LONG=12659.614500	ALT=132.379%	①	
LAT=3736.537360	LONG=12659.849400	ALT=129.984%	②	
LAT=3736.837480	LONG=12659.744940	ALT=128.847%	③	
LAT=3736.702600	LONG=12659.983320	ALT=130.368%	④	

< 지도정보 텍스트 파일 작성 방법 >

- 위도, 경도를 순서에 맞게 채워 넣고 고도 부분은 임의의 값을 넣어줌
- 원하는 위치의 위도와 경도를 직접 구하기 힘들다면 '구글맵스'에서 원하는 지점에서 마우스를 우클릭한 후, '이곳이 궁금한가요?'를 클릭하면 알 수 있음
- WGS84 지구 타원체, GPS좌표와 TM좌표간의 관계에 근거하여 GPS좌표계와 TM좌표계간의 변환 공식이 필요함(위도가 37.363329인 경우 소수점 아랫부분 0.363329*60을 해준 후 앞의 두 자리를 올려주면 됨, $0.363329 \times 60 = 21.79974 \rightarrow 3721.79974$, 경도도 같음)
- 텍스트파일 작성 후 동일한 이름의 비트맵 파일과 같이 존재해야 하며 텍스트파일에는 지도 이미지의 꼭지점 GPS 좌표가 존재해야 함

주 의

1. 이 보고서는 극지연구소에서 수행한 기본연구사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 수행한 기본연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.