

효율적인 극지 연구 활동을 위한
소형 육상 로봇 개발 기획 연구

A planning research for development of small ground robot for
efficient Polar research activities



2020. 2. 28

한 국 해 양 과 학 기 술 원
부 설 극 지 연 구 소



제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “ 효율적인 극지 연구 활동 지원을 위한 소형 육상 로봇 개발 기획 연구”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2020. 2. 28



연구 책임자 : 정창현

참 여 연 구 원 : 이주한, 김형권, 윤동진,
신동섭, 김수환, 최형규,
최태진, 박대운, 정지영,
박지수, 한영철, 이종익,
이춘기, 김현철

보고서 초록

과제관리번호	PE19280	해당단계 연구기간	1년	단계 구분	1/ 1	
연구사업명	중 사업명					
	세부사업명	극지연구소 기본연구사업(고유사업)				
연구과제명	중 과 제 명					
	세부(단위)과제명	효율적인 극지 연구 활동 지원을 위한 소형 육상 로봇 개발 기획 연구				
연구책임자	정창현	해당단계 참여연구원수	총 : 15 명 내부 : 15 명 외부 : 명	해당단계 연구비	정부: 50,000 천원 기업: 천원 계: 50,000 천원	
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 부설 극지연구소 기술지원실		참여기업명	해당 없음		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :			
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :			
요약					보고서 면수	65
<ul style="list-style-type: none"> - 로봇기술을 활용한 극지 연구 방안 모색을 주제로 공동 워크숍 주최, 극지 연구자 인터뷰 등을 통하여 극지에서 활용할 수 있는 육상 로봇에 대한 수요조사, 아이디어 도출, 아이디어 구체화 등을 수행 - 극지 연구에 활용 가능한 육상 로봇에 대한 다양한 아이디어를 크기에 따라 분류하고, 각 분류별로 필요한 주요 사양 정립 - 극지연구소의 주요 사업의 추진 계획에 따라 필요성이 예상되는 육상 로봇을 앞서 정리한 분류에 따라 도출하고 기간별 로드맵을 작성 - 도출된 아이디어와 로드맵을 기반으로 구체적인 활용 시나리오를 작성하고 시나리오 구현을 위한 로봇을 구현하기 위한 필요 기술, 사양 등을 정의 - 도출된 세부 기술 중 검증이 필요한 항목들에 대하여 샘플을 제작하여 기술 검증 구현 - 로봇 플랫폼과 빙하 탐사 장비인 GPR(Ground Penetrating Radar)을 연결할 수 있도록 견인 장치를 제작하여 기존 보유하고 있는 육상 로봇을 이용하여 테스트 수행 - 험지용 RC카 플랫폼을 개조한 소형 로봇 플랫폼을 제작하고 근거리 영상 전송 장치, FPV 영상 전송 장치, 설상 기동용 트랙 등편의 장치들을 추가하여 기능 검증 - 다양한 빙설 지형을 극복할 수 있는 구동 모듈에 대한 아이디어를 도출하고 휠과 트랙의 장점을 활용할 수 있는 구동 모듈 샘플을 제작 						
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	소형 로봇, 이동 로봇, 극지 탐사 차량, 험지 주행, 빙설 주행				
	영 어	small robot, mobile robot, polar rover, rough terrain driving, icy driving				

요 약 문

I. 제 목

- 효율적인 극지 연구 활동 지원을 위한 소형 육상 로봇 개발 기획 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

○ 연구 개발 목적

- 극지 연구에 활용할 수 있는 소형 육상 로봇 컨셉 및 운용 시나리오 제안
- 제안한 컨셉과 시나리오를 검증할 수 있는 샘플 제작 및 시험

○ 연구 개발의 필요성

- 지구는 온난화로 극지방 얼음이 녹으면서 해수면이 상승하고, 극지 생태환경이 급격히 변하고 있음. 지구 온난화 문제에 대해 전 지구적으로 관심이 고조되면서 Nature지에 2019년 과학계 10대 관심사 중 첫 번째로 남극의 스웨이츠 빙하(Thwaites Glacier) 붕괴에 대한 연구를 꼽을 정도로 극지에 대한 연구의 중요성이 높아지고 있음
- 극한 환경에서의 연구 활동은 항상 위험을 수반하기 때문에 연구의 무인화, 자동화를 위한 장비 개발을 필요로 함
- 극지연구소의 남극 내륙 진출 계획에 따라 남극의 연구 영역 확대가 예상되며 이에 따라 연구의 효율성을 높이기 위한 기술 도입, 개발이 필요함

III. 연구개발의 내용 및 범위

○ 극지 연구에 활용할 수 있는 소형 육상 로봇 컨셉 및 아이디어 도출

- 극지 연구 활동에 대한 기술 수요 조사, 연구원 면담, 해외 사례조사
- 극지연구 로봇 활용 아이디어 도출 및 구체화

○ 극지 연구 소형 육상 로봇을 활용하는 시나리오 및 목표 개발 사양 제시

- 극지연구 로봇 활용 수요에 따른 로봇 플랫폼 분류 및 사양 도출
- 활용 시나리오 구체화 및 이에 따른 필요기술 및 사양 정리

- 제안한 컨셉과 시나리오를 검증할 수 있는 샘플 제작 및 시험
 - 로봇 컨셉과 운용 시나리오 검증에 필요한 메커니즘 구체화 및 개념 설계
 - 검증용 샘플 제작 및 시험

IV. 연구개발결과

- 로봇 기술을 활용한 극지 연구 방안 모색을 주제로 공동 워크샵 주최, 극지 연구자 인터뷰 등을 통하여 극지에서 활용할 수 있는 육상 로봇에 대한 수요조사, 아이디어 도출, 아이디어 구체화 등을 수행
- 극지 연구에 활용 가능한 육상 로봇에 대한 다양한 아이디어를 크기에 따라 분류하고, 각 분류별로 필요한 주요 사양 정립
- 극지연구소의 주요 사업의 추진 계획에 따라 필요성이 예상되는 육상 로봇을 앞서 정리한 분류에 따라 도출하고 기간별 로드맵을 작성
- 도출된 아이디어와 로드맵을 기반으로 구체적인 활용 시나리오를 작성하고 시나리오 구현을 위한 로봇을 구현하기 위한 필요 기술, 사양 등을 정의
- 도출된 세부 기술 중 검증이 필요한 항목들에 대하여 샘플을 제작하여 기술 검증 구현
- 로봇 플랫폼과 빙하 탐사 장비인 GPR(Ground Penetrating Radar)을 연결할 수 있도록 견인 장치를 제작하여 기존 보유하고 있는 육상 로봇을 이용하여 테스트 수행
- 험지용 RC카 플랫폼을 개조한 소형 로봇 플랫폼을 제작하고 근거리 영상 전송 장치, FPV 영상 전송 장치, 설상 기동용 트랙 등편의 장치들을 추가하여 기능 검증
- 다양한 빙설 지형을 극복할 수 있는 구동 모듈에 대한 아이디어를 도출하고 휠과 트랙의 장점을 활용할 수 있는 구동 모듈 샘플을 제작하여 기능 검증

V. 연구개발결과의 활용계획

- 기존에 운용하고 있는 중형 모바일 로봇에 FPV 영상 전송 장치 및 조작 편의 사양을 적용하여 편의성 향상
- 검증된 기술들을 바탕으로 소형 모바일 로봇 플랫폼을 개발하여 극지 연구에 활용
- 다양한 장비와의 결합을 통하여 새로운 남극 연구의 플랫폼 개발

SUMMARY

I. Title

A planning research for development of small ground robot for efficient Polar research activities

II. Purpose and Necessity of R&D

○ Purpose of R&D

- Proposal of small ground robot concept and operation scenario for polar research
- Sample production and test to verify the proposed concept and scenario

○ Necessities of R&D

- The global warming is melting polar ice and rising sea levels, and the polar ecological environment is rapidly changing. There is growing global interest in the issue of global warming, and research on the polar is growing in importance as Nature points to the study of the collapse of the Antarctic's Thwaites Glacier as the top 10 scientific interests in 2019.
- Research activities in extreme environments always carry risks and require the development of equipment for unmanned and automated research.
- According to Korea Polar Research Institute's plan to secure access rout to Inland Antarctica, it is expected to expand the research area of Antarctica.

III. Contents and Extent of R&D

○ Proposal of small land robot concept and operation scenario for polar research

- Research on technology demand for polar research activities, interview with researchers, overseas case study
- Develop concepts and scenarios that can be implemented through technology review and expected effect analysis

○ Sample production and testing to verify the proposed concept and scenario

- Designation of mechanism and concept design for verification of robot concept and operation scenario
- Sample making and testing for verification

IV. R&D Results

- Conduct joint research workshops and interviews with polar researchers on the subject of research on polar research methods using robot technology.
- Various ideas about land robots that can be used for polar research are classified according to size, and the main specifications required for each classification are established.
- The land robots, which are expected to be necessary according to the Polar Institute's major projects, are drawn up according to the above classification and draw up a roadmap for each period.
- Based on the derived ideas and road maps, create specific usage scenarios and define the necessary technologies and specifications for implementing the robots to implement the scenarios.
- Implement technology verification by producing samples for items that need verification from the detailed technology derived
- Towing device to connect robot platform and GPR (Ground Penetrating Radar) to test, using existing land robot
- Produced a small robot platform that was modified from a rough terrain RC car platform and added functions such as near field video transmission device, FPV video transmission device, and snow maneuvering track.
- Drawing on the idea of a drive module that can overcome various snow and snow topologies, and verifying its function by making a drive module sample that can take advantage of wheels and tracks

V. Application Plans of R&D Results

- Improved convenience by applying FPV image transmission device and operation convenience specification to existing medium sized mobile robot
- Develop a small mobile robot platform based on proven technologies and use it in polar research
- Development of new Antarctic research platform by combining with various equipment

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
Section 1 Overview	1
1. Background and Necessity	1
2. Research Objectives	3
Section 2 Research Contents and Strategies	3
1. Research Contents	3
2. Strategies	4
Chapter 2 Current R&D Status in Korea and Other Nations	6
Section 1 Domestic Technology Development Status	6
Section 2 Overseas Technology Development status	7
Section 3 Patent Trends	10
Chapter 3 Developing Research Topics Using Small Ground Robots	11
Section 1 Workshop Progress	11
Section 2 Small Ground Robot Application Ideas	19
Section 3 Application Scenarios	19
Chapter 4 Establishing Technology Strategy and Technology Roadmap	22
Section 1 Polar Research Ground Robot Platform Classification	22
Section 2 Establishing Roadmap by Period	23
Section 3 Required Technology Analysis	24
1. Major Mobile Robot Technolgies	24
2. Technical Reference Models	25
3. Target Specifications	26

Chapter 5 Sample Fabrication and Verification	28
Section 1 Radar Traction System	29
Section 2 Small Robot Platform	32
1. RC Car Frame Modification	32
2. Image Observation and Control	33
3. Testing the Small Robot Platform	35
Section 3 Snow Driven Module	36
1. Idea	36
2. Design Specifications	37
3. Drive Unit Design	39
4. Control Unit Design	40
5. Fabrication	42
6. Driving Test	42
7. Video Transmission Test	43
Chapter 6 Degree of R&D Goal Achievement	46
Chapter 7 Application Plan of R&D Results	47
Chapter 8 References	48

목 차

제 1 장 서론	1
제 1 절 과제 개요	1
1. 배경 및 필요성	1
2. 연구목표	3
제 2 절 연구내용 및 추진 체계	3
1. 연구내용	3
2. 추진체계	4
제 2 장 국내외 기술개발 현황	6
제 1 절 국내 기술개발 현황	6
제 2 절 국외 기술개발 현황	7
제 3 절 특허 동향	10
제 3 장 소형 육상 로봇 활용 연구 주제 개발	11
제 1 절 워크샵 진행	11
제 2 절 소형 육상 로봇 활용 아이디어	19
제 3 절 활용시나리오 도출	19
제 4장 기술전략 및 기술로드맵 수립	22
제 1 절 극지 연구용 육상 로봇 플랫폼 분류	22
제 2 절 기간별 로드맵 수립	23
제 3 절 필요기술 분석	24
1. 극지이동로봇 주요기술	24
2. 기술 참조 모델	25
3. 목표 사양 설정	26

제 5 장 샘플 제작 검증	28
제 1 절 레이더 견인 장치	29
제 2 절 소형 로봇 플랫폼	32
1. RC카 프레임 개조	32
2. 영상 관측 및 조종 기능	33
3. 소형 로봇 플랫폼 테스트	35
제 3 절 설상 구동 모듈	36
1. 아이디어	36
2. 기구 설계 사양	37
3. 구동부 설계	39
4. 제어부 설계	40
5. 제작	42
6. 구동 시험	42
7. 영상 전송 시험	43
제 6 장 연구개발목표 달성도	46
제 7 장 연구개발결과 활용 계획	47
제 8 장 참고문헌	48

그림 목 차

그림 1 스웨이트츠 빙하 위치	1
그림 2 남극 내륙 탐사 도중 크레바스에 빠진 설상차(2018-2019 남극 하계 시즌)	1
그림 3 좌측부터 Nomad(1998), SnoMote(2010), Cool Robot(2003), Yeti(2008)	2
그림 4 Polar Research Equipment社 Frosty Boy	2
그림 5 KIST와 KOPRI의 연구 강점 분야	5
그림 6 KIST-KOPRI 협력 체계	5
그림 7 K-루트사업단의 GPR 탐사 및 크레바스 지대 파악	12
그림 8 북극해빙예측사업단 초분광정보 수집 활동	12
그림 9 정밀 지형 정보 습득을 위한 GPS data 수집 활동	13
그림 10 한국형 달탐사 Rover Development Model	14
그림 11 기술별 목표	16
그림 12 Cryobot 이미지	18
그림 13 워크샵 행사	18
그림 14 Ground penetrating radar를 끌고 있는Yeti Rover	20
그림 15 프랑스 스트라스부르 대학 연구팀에서 수행한 테스트. 소형 로버에 펭귄 모형의 변장이 없을 때 황제 펭귄은 로버를 부리로 공격하고 근처로 다가올 수 없도록 했지만, 변장을 한 로버는 무리의 가까이 접근할 수 있었음	21
그림 16 극지 이동 로봇의 주요 기술	25
그림 17 기술참조모델	26
그림 18 시나리오 구현을 위한 세부기술 도출	26
그림 19 기술 검증을 위한 샘플 제작 대상 선정	28
그림 20 Towing 구조의 GPR 연결 장치 모델링	30
그림 21 Pushing 구조의 GPR 연결 장치 모델링	30
그림 22 견인 장치를 이용한 GPR 탐사(2010년 11월 남극 장보고 기지 인근 브라우닝 패스)	31
그림 23 탐사 구간에서의 모터 전류 소모량(후륜에 있는 모터의 전류 소모가 큼)	31
그림 24 상용 RC카의 프레임 개조	33

그림 25	모니터링용 영상 장비(4K 카메라+Gimbal Controller+Field Monitor)	33
그림 26	Remote Controller용 영상 장비(FPV Camera+HDO Goggles)	34
그림 27	기구부 개조와 영상 장치가 탑재된 소형 로봇 플랫폼	34
그림 28	기본 구동 테스트	35
그림 29	경사로 구간 및 장애물 극복 테스트	35
그림 30	4K 카메라를 이용한 관측(좌) FPV 카메라와 고글을 이용한 조종(우)	36
그림 31	Track과 Wheel 단차 설계	37
그림 32	설상 구동 모듈 기구부 구성	38
그림 33	Track과 Wheel 끝단의 선속도	39
그림 34	제어부 블록 다이어그램	40
그림 35	제어부 구성	41
그림 36	Herelink 조종기	41
그림 37	제작 완료된 설상 구동 모듈	42
그림 38	전후진 동작시 좌우 모터의 RPM과 소모전류	42
그림 39	제자리 회전 동작시 좌우 모터의 RPM과 소모전류	43
그림 40	Herelink 통신 테스트 계획	44

KOPRI
극지연구소

표 목 차

표 1 국내 안전 로봇 시장 규모(단위: 억 원)	6
표 2 해외 극한환경 로봇 현황	8
표 3 국외 탐사 로봇 및 이동차량 spec	9
표 4 극지 연구 로봇 활용 수요에 따른 로봇 플랫폼 분류	23
표 5 KOPRI 주요 사업에 따른 육상 로봇 개발 로드맵	24
표 6 목표 사양	27
표 7 기존 크레바스 탐사 방식과 무인 육상 차량을 이용한 탐사 방식 비교	29
표 8 몬스터 크라울러 서밋 4WD 주요 제원	32
표 7 Wheel과 Track 비교	37
표 10 설계 파라미터	38
표 11 구동부 사양	40
표 12 Herelink Controller 사양	44
표 13	46
표 14	50

제 1 장 서론

제 1 절 과제 개요

1. 배경 및 필요성

- 지구는 온난화로 극지방 얼음이 녹으면서 해수면이 상승하고, 극지 생태환경이 급격히 변하고 있음. 지구 온난화 문제에 대해 전 지구적으로 관심이 고조되면서 Nature지에서 2019년 과학계 10대 관심사 중 첫 번째로 남극의 스웨이츠 빙하(Thwaites Glacier) 붕괴에 대한 연구를 꼽을 정도로 극지에 대한 연구의 중요성이 높아지고 있음

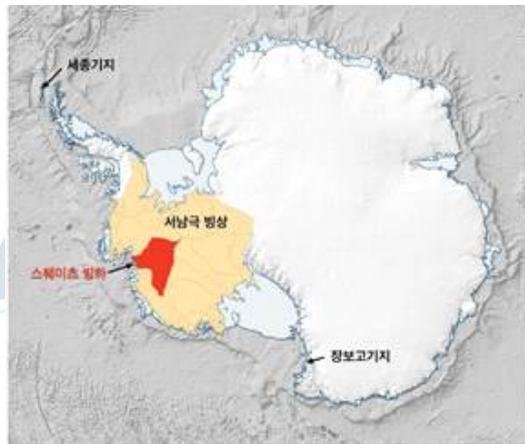


그림 1 스웨이츠 빙하 위치

- 극한 환경에서의 연구 활동은 혹한, 바람, 크레바스(Crevasse), 고립 등과 같은 위험을 항상 수반하기 때문에 연구의 무인화, 자동화를 위한 장비 개발을 필요로 함



그림 2 남극 내륙 탐사 도중 크레바스에 빠진 설상차(2018-2019 남극 하계 시즌)

- 극지연구소의 남극 내륙 진출 계획에 따라 남극의 연구 영역 확대가 예상되며 이에 따라 연구의 효율성을 높이기 위한 기술 도입, 개발이 필요함
- 미국은 이미 오래 전부터 Nomad, SnoMote, Cool Robot, Yeti와 같은 육상 로봇 플랫폼을 개발하여 기후 데이터 수집, 운석 탐사, 크레바스 탐지와 같은 극지 연구 활동에 활용하고 있음

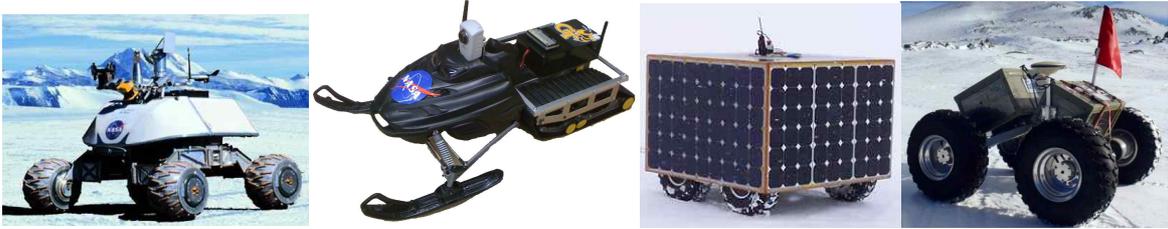


그림 3 좌측부터 Nomad(1998), SnoMote(2010), Cool Robot(2003), Yeti(2008)

- Polar Research Equipment社는 미국 Dartmouth 대학에서 개발한 Cool Robot, Yeti와 자체 개발한 Frosty Boy라는 육상 모바일 로봇을 활용하여 고객 맞춤형 극지 데이터 수집 서비스를 제공하는 사업을 하고 있음



그림 4 Polar Research Equipment社 Frosty Boy

- 중국은 심양 자동화 연구소에서 개발한 육상 모바일 로봇을 이용하여 남극 빙설지역에서 안전한 루트를 개척하는데 사용하고 있음
- 프랑스 스트라스부르 대학 연구팀은 털로 덮인 아기 펭귄 로봇을 제작하여 극도로 겁이 많은 황제펭귄 무리에 투입하는데 성공하여 펭귄의 심장박동 등 여러 생체 정보를 전송하는데 성공
- 국내의 로봇 기술을 극한 환경에서 실증하는 계기를 마련함으로써 우주 탐사 로봇과 같은 타 분야의 기술 검증에 활용할 수 있을 뿐만 아니라 홍보효과도 얻을 수 있음

2. 연구 목표

- 극지 연구에 활용할 수 있는 로봇 기술 조사
 - 높은 로봇 기술을 보유하고 있는 한국과학기술연구원(이하 KIST)과 공동으로 기획 과제를 수행함으로써 향후 극지 연구에 필요한 기술 도입 계획 수립에 유용
- 극지 연구에 활용할 수 있는 로봇 컨셉 및 운용 시나리오 제안
 - 단순 기술 개발에 그치는 것이 아니라 극지 연구 활동에 실질적으로 활용할 수 있는 로봇을 개발하기 위하여 구체적인 로봇 컨셉 및 운용 시나리오 제안
- 기술 구현 가능성을 검증할 수 있는 POC(Proof of Concept) 샘플 제작 및 시험
 - 샘플 제작을 통하여 핵심 아이디어를 검증함으로써 후속 과제 구체화

제 2 절 연구 내용 및 추진 체계

1. 연구 내용

- 한국과학기술연구원(KIST)의 기존 연구 성과 활용이 용이하고, 극지 연구에 활용성이 높은 로봇을 개발하기 위하여 아래와 같은 범위 내에서 극지 연구용 로봇 컨셉과 운용 시나리오를 제안하고 검증용 샘플 제작을 목표로 함
 - 운용 환경 : 육상(방진방수)
 - 로봇 사이즈 : 휴대형(10kg 이하) 또는 1~2인 운용 가능한 소형
- (수요조사) KIST와 KOPRI 양 기관이 공동으로 극지 연구 활동에 대한 기술 수요 조사, 연구원 면담, 해외 사례 조사 등을 통하여 KIST가 기 보유한 기술을 활용하여 극지 연구 효율성을 향상시킬 수 있는 분야 탐색 및 아이디어 도출
 - 해외 극지 연구 육상 모바일 로봇 활용 사례 : 크레바스 탐사, 기상환경 데이터 수집, 계측기 배치, 운석 탐사 및 수집, 지형 탐사, 스파이 로봇을 이용한 생태계 관찰 등
 - KIST 로봇 기술 활용 예시 : 투척형 로봇을 이용한 위험 지역 탐사 및 작업(데이터 수집, 샘플 채취 등), 험지에서의 근거리 물자 또는 환자 운송, 사람이 접근하기 힘든 협소 지형 또는 위험 구역 탐사 및 작업, 사람이 활동하기 힘든 극저온 환경에서 로봇 활용 등
- (아이디어 구체화) 도출된 아이디어 중 KIST의 로봇 기술 도입이 용이하고 다른 연구 분야에 파급 효과가 큰 아이디어를 선정하여 운용 시나리오와 로봇 메커니즘 구체화 및 개념 설계 수행

- (모바일 로봇 개념 설계 및 제작 검증) KIST는 기보유하고 있는 협지 모바일 로봇, 달 탐사 로버 제작 기술을 적용하여 극지 연구에 활용할 수 있는 휴대형 또는 소형 모바일 로봇 개념 설계 및 개념 검증용 샘플 제작
- (임무형 모듈 개념 설계 및 제작 검증) KOPRI는 극지에서 수행하고 있는 연구 활동들을 조사 분석하여 모바일 로봇을 이용하여 무인화, 자동화 할 수 있는 분야를 도출하여 로봇 운용 시나리오를 작성하고 이 때 필요한 모바일 로봇 탑재 장비와 로봇 인터페이스 부분 개념 설계 및 개념 검증용 샘플 제작
- (최종 보고) 검증된 컨셉을 기반으로 시제품 개발을 위한 후속 과제 도출

2. 추진 체계

- KIST의 연구 강점 분야와 KOPRI의 연구 강점 분야를 융합하여 시너지 효과 창출
 - KIST의 강점 분야
 - : 위험 작업 이동 로봇 개발 실적 보유
 - : 극한 환경 이동 로봇 개발 실적 보유
 - : 상용화 가능 수준의 로봇 시스템 개발 역량 보유
 - KOPRI의 강점 분야
 - : 극지 환경에서의 연구 및 장비 운영 등 풍부한 현장 경험
 - : 남·북극 기지와 쇄빙선 아라온 호 등 극지 연구 인프라 운영
 - : 선진국과 함께 극지 연구 네트워크에 참여하여 극지 연구 방향 선도
 - : 실제 극지 환경에서 활용 중인 연구 지원 장비 개발 실적 보유

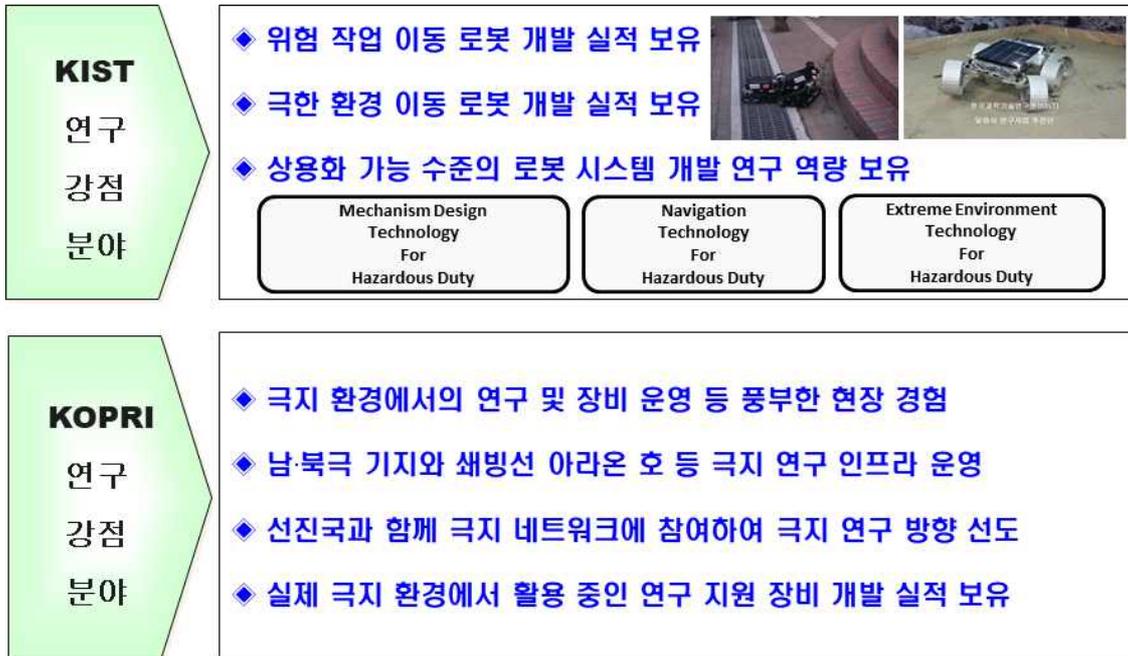


그림 5 KIST와 KOPRI의 연구 강점 분야



그림 6 KIST-KOPRI 협력 체계

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

- 국내에는 동토를 포함한 극한지를 대상(-50℃ ~ +20℃)으로 이동 가능한 이동 플랫폼 기술과 경험이 전무
 - 극한지 동토의 특성상 비정형 환경의 험지주행/장애물 극복 기능이 필요
 - 얼음과 동토가 녹아 생기는 장애물(협곡, 빙하 조각 등)이 있는 상황에서 신속한 이동이 어렵기 때문에 실시간으로 크롤러 형상을 변형하여 험지/장애물 환경에서도 극복이 가능한 다자유도 현수 장치를 보유한 컴팩트한 구조의 극한지 전용 이동 시스템 개발이 필요
- 국내 안전/극한환경 로봇 시장은 최근 급성장 추세
 - (안전 로봇) 시장은 82억 원('08년)에서 1,041.8억 원('15년)으로 연평균 44% 급성장 추세이며, 증장기 유망시장으로 주목받고 있음
 - : 안전로봇과 관련한 다양한 정책 및 사회적인 필요성 증대에 따라 관련시장이 블루오션으로 부상 중
 - ※ 최근 10년간 국내에서 발생한 재해로 인한 피해액의 평균은 5,477억원에 달하며, 이를 복구하는 비용은 평균 1조 835억원이 들었음. (2015년 재해연보(국민안전처))

표 1 국내 안전 로봇 시장 규모(단위: 억 원)

구 분	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	CAGR
안전로봇	45	52	120	120	119	105	110	727	44%

※ 출처 : 로봇산업실태조사 2012~2016(한국로봇산업진흥원)

- (극한환경 로봇) 안전로봇과 관련한 다양한 정책 및 사회적인 필요성 증대에 따라 관련시장이 블루오션으로 부상 중
 - : 도시화·산업화 및 기후변화에 따른 신종 재난·안전 위협과 국가 기반시설 노후화 진전에 따른 시설물 위험 증가로 인한 대형사고 위험이 증가

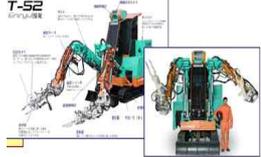
※ 최근 10년간('01~'10) 자연재해로 인한 인명피해가 연평균 78명, 재산피해 1조 7,718억 원, 인적/사회적 재난으로 인한 인명피해 375,725명, 재산피해 4,889억 원(2013년 재난·재해 R&D투자전략, 2012.07)

※ 국가기반시설 중 30년 이상 노후시설 비중 : '14년 9.6% → '24년 21.5%(산업연구원)

제 2 절 국외 기술개발 현황

- 극한지 혹은 환경을 대상으로 영상 및 환경 센서를 탑재한 무인 이동체를 개발하여 지형 및 환경 변화가 심한 극한지 탐사를 진행 중
 - 미국과 중국을 비롯한 극한지 강국들은 육상과 해양의 상호작용으로 인해 지형변화가 심하고 균열이 빈번한 남북극 빙하 지형 관측을 위해 무인 이동체 기반 지형정보화 및 과학 탐사 기술을 개발
 - 미국 NASA와 카네기-멜론 대학교는 카메라와 레이저를 탑재한 탐사로봇을 개발하여 극한지의 지형정보화 및 자율주행 기술을 개발하고 남극 운석 탐지 및 채집에 활용
 - 중국 선양자동차 연구소는 레이더(RADAR)와 카메라를 탑재한 빙봉 탐사 로봇을 개발하여 안개, 눈보라, 우박 등의 환경에서도 빙봉의 지형학적 분포를 능동적으로 탐지하고 남극 환경정보를 구축
- 공공부문 주도의 재난·안전기술 연구
 - 공공부문 주도의 극한환경 기술 개발이 진행 중이며, 국방/건설/원전 등 既 개발 로봇 기술의 재난 분야에 응용 및 활용이 많음
 - 세계적으로 감시 경계 로봇, 재난 대응 로봇, 소방 로봇 등 다양한 기술 개발이 추진되고 있으나 아직 완성도 높은 로봇 개발 사례 부족
 - 美·日은 연구센터 중심의 재난복구 상황의 로봇 활용을 꾸준히 하고 있으며, 특히 일본은 WRS 대회를 통해 안전로봇 기술 선도를 꾀함
 - ※ (美)CRASAR : 미국 내 재난대응로봇 출동으로 가장 많은 경험을 가지고 있는 연구센터, 911테러, 후쿠시마 원전 등 대형재난 현장에 다양한 로봇을 투입, 인명탐지 및 복구 작업을 수행
 - ※ (日)WRS(World Robot Summit) : 일본 정부 주도의 세계 로봇 전시회 및 경진대회, 재난대응 대회는 재난·재해 환경에 활용 될 수 있는 최고의 로봇 선정이 목표, 2020년 Final 대회 예정

표 2 해외 극한환경 로봇 현황

위험지 및 협소공간 이동정찰	소방 로봇	작업지원
 <p>Snake-arm robot(영국)</p>  <p>Genbu(일본)</p>	 <p>Rainbow5(일본)</p>  <p>LUF 60(독일)</p>	 <p>Genbu(일본)</p>  <p>Brokk(스웨덴)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - 협소공간 정찰을 위한 뱀형 로봇 - 유연한 움직임이 가능 하도록 효율적인 다관절 제어가 핵심 기술 	<ul style="list-style-type: none"> - 원격 조종을 통해 사람 대신 방수 작업을 해 주는 것이 주요 기능 - 고열을 극복 가능한 내환경 기술 및 험지 이동이 가능한 크롤러 기술이 핵심 기술 	<ul style="list-style-type: none"> - 무인 파쇄, 운반 등 중장비의 작업을 수행 하는 것이 주요 기능 - 정밀한 원격조종 기술 및 내충격 기술이 핵심 기술

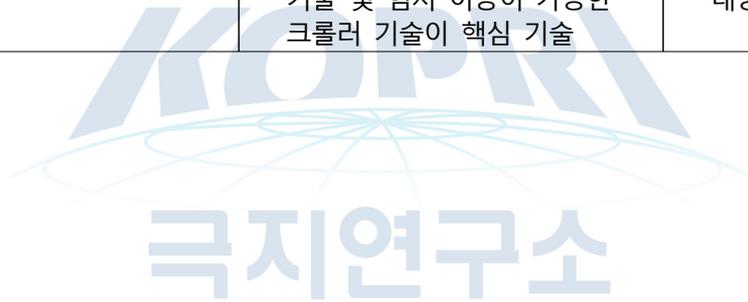


표 3 국외 탐사 로봇 및 이동차량 spec

이름	국가	개발	자원				기술
			높이	중량	속도	기타	
그로버 (GROVER)	미국	미항공우주국(NASA)	1.8m	360Kg	2Km/h	시험거리700m 레이더침투거리 20m	자율주행시스템 임무수행정보실시간전송 빙상신호방출식레이더
극지만유자 (極地漫遊者)	중국	진위가 (秦爲稼) 국가해양국	1.2m	300Kg	-	길이1.8m 넓이1.6m	풍력에너지구동방식 높이50cm이상장애물극복가능 센서활용네비게이션기능 위성을통한원격제어 향후,대기센서,빙설채집기및지리·지질분석계기를비롯한50kg의계기탑재예정
노매드로버 (NomadRover)	미국	미항공우주국(NASA) &카네기멜론대학	-	725Kg	1.5Km/h	극지운석탐사용 45일간215Km자율주행	스테레오카메라 레이저거리측정기 GPS,고해상도카메라(2차식별) 분광기및금속탐지기 라디오위성기반포지셔닝
쿨로봇 (theCoolRobot)	미국	다트머스대학 데이어공과대학원	-	59Kg	3Km/h	상판치수47x47 측판치수32x47 극지관찰지역할 지진계,기상관측 기구배치역할 이온층변화측정	태양에너지구동 (최대3W생산태양광패널) 장애물극복기능 GPS,지하탐사레이더
CIVle (얼음자동차)	영국	로터스 (Lotus) 사	-	-	-	세계의스키장착 프로펠러방식	바이오연료사용 위험요소감지레이더장착
스노우켓 렐리카	일본	켄 블락 (Ken Block)	-	-	-	최대출력400마력 최대토크55.3Kg 4륜구동	6.2L8기통터보차저엔진 캐터필러드라이브시스템 렐리스포츠용서스펜션레카로(Recaro)사의버킷시트와 4점식안전벨트장착운전자이탈방지
에코모빌	일본 한국	야마하제조 박영석대장 원정대개조	1.34m	-	최고 200Km/h	길이3.15m 넓이1.21m 2스트로커엔진(250~700cc)	태양광충전식배터리 (9시간충전/3시간운행) 가변배기밸브(YPVS) 알루미늄모노콕타입프레임 리어서스펜션 트랙벨트추진장치
지젤(Ziesel)	오스트리아	마트로모빌리티레볼루션 (MattroMobilityRevolutions)	1.54m	250~300Kg	최고 35Km/h	길이1.32m 넓이1.2m 캐터필러바퀴(높은견인력)	리튬이온배터리 자동히팅시스템(과열방지) 4점식안전벨트

제 3 절 특허동향

- 극한지용 장비/로봇에 대하여 연도별 특허 출원 동향을 살펴보면 최초 출원은 1970년대 부터 출원되었으며, 2000년대 후반부터 출원이 활발해지고 있는 것으로 확인됨
- 미국이 가장 많은 출원 건수를 보이고 있으며, 후발 주자로는 한국, 일본이 있음
- 국내에서의 극한지 관련 특허 출원은 1980년대 처음 진행되었으며, 이후 1990년대 후반부터 차츰 출원 건수가 증가하고 있으며, 특히 2009년 이후로 출원 건수가 매우 급증하고 있는 것을 확인할 수 있음. 이러한 동향으로 국내의 극한지 관련 연구가 2009년 이후 활발히 진행되고 있는 것으로 판단됨
- 한국에서의 극한지 기술 분야 중 선박기술에 집중 출원하고 있는 것으로 확인됨. 한국의 경우 조선업이 강한 국가로, 때문에 선박기술에 집중되고 있는 것으로 예측할 수 있음
- 선박기술 다음으로 기타와 시추기술에 대한 출원이 집중되고 있음. 특히 시추 기술과 기타 기술 분야의 경우 2010년 이후 출원이 집중되고 있는 것으로 확인됨
- 미국의 경우 극한지 연구 분야 중 선박, 시추, 측위, 통신 외에 기타 기술에 대한 출원이 49%로 가장 많은 출원을 수행하고 있는 것으로 확인되며 로봇을 비롯한 다양한 분야의 연구를 수행하고 있는 것으로 판단됨

극지연구소

제 3 장 소형 육상 로봇 활용 연구 주제 개발

제 1 절 워크숍 진행

소형 육상 로봇을 활용한 극지 연구 주제를 토의하기 위하여 유관 기관 연구원들이 모여서 워크숍을 진행하였다. 극지연구소 연구원들은 극지 연구 활동에 대한 설명을 진행하고 한국과학기술연구원(KIST), 선박해양플랜트연구소(KRISO) 연구원들은 극지 연구에 활용 가능한 기술들을 소개하여 새로운 연구 주제 개발을 위한 토의를 하는 방식으로 진행되었다.

1. 일 자 : 2019.04.04. ~ 04.05
2. 장 소 : 극지연구소 장보고회의실
3. 토의 주제 : 로봇 기술을 활용한 극지 연구 방안 모색
4. 발표 내용
 - 1) 남극 내륙 진출 루트 개척과 심부빙하/빙저호 시추 및 활용기술 개발
 - 극지연구소 K-루트사업단 이종익 단장 발표
 - K-루트 사업 소개
 - K-루트 사업에 필요한 기술 제시
 - : 내륙 하계 기지를 동계 기간 동안 유지할 수 있는 기술 필요
 - : 열수 시추 기술의 대부분을 영국에 의존하고 있음. 우리 기술 필요
 - : 미생물 분석을 위한 현장 Clean room 시설 필요
 - : 위험 지역에서 Hidden crevasse를 탐지할 수 있는 GPR 탐사 육상 로봇 필요

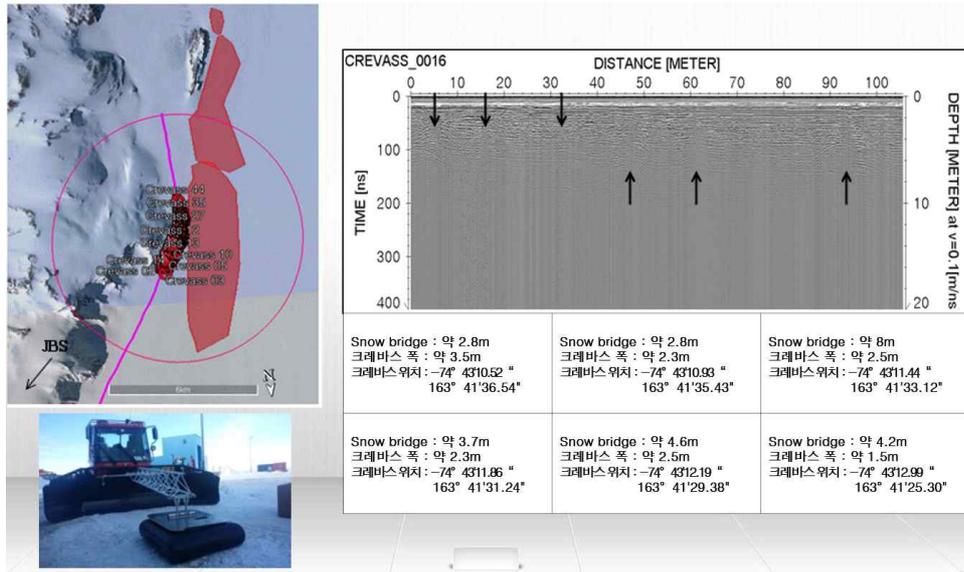


그림 7 K-루트사업단의 GPR 탐사 및 크레바스 지대 파악

2) 지상 원격탐사 센서를 이용한 극지 육상 활용 계획

- 극지연구소 북극해빙예측사업단 지준화 박사 발표
- 극지 육상 탐사 활동 소개
 - : 분광 정보를 이용한 대상 탐지
 - : 레이저를 이용한 3차원 정보 추출
- 로봇을 활용한 미래의 극지 육상 탐사 예측 및 문제점 제시
 - : 우주 탐사 장비 기술을 활용한 극지 탐사
 - : 모바일 라이더를 탑재한 정밀 지형 매핑
 - : 배터리, 데이터 송수신, 실시간 데이터 처리 방법 고민 필요



그림 8 북극해빙예측사업단 초분광정보 수집 활동(휴대용 분광반사 측정기, 초분광 영상 센서)

3) 육상소형로봇의 활용 - 남극 빙상의 지구물리학적 관측(GPS Kinematic/RTK 탐사 및 Radar 매핑)

- 해수면 변동 예측 사업단 이춘기 박사 발표
- 육상소형로봇 활용이 가능할 것으로 보이는 연구 분야 소개
- 육상 로봇 활용 가능성 검토
 - : 위험지역 탐사 - 크레바스 지역, 얼음 지역, 가파른 지역
 - : 비위험지역 탐사 - 동일 궤적 탐사, 투입 인력 감소, 탐사 효율 고려
- 사람보다 효율적으로 탐사하기 위해서는 다수의 소형 로봇 활용 필요



그림 9 정밀 지형 정보 습득을 위한 GPS data 수집 활동

4) Core Technology Development of the Korean Lunar Rover

- 한국과학기술연구원 이우섭 박사 발표
- 달탐사 로봇 개발 과제 개요 설명
- 주요 기술 설명
 - : 경량화 설계를 위한 메커니즘 개발
 - : 방사선 차폐 및 신뢰성 확보를 위한 제어부 설계
 - : Vision 기술 및 3D mapping 기술 개발
 - : 극한 환경 Tribology component 기술 소개

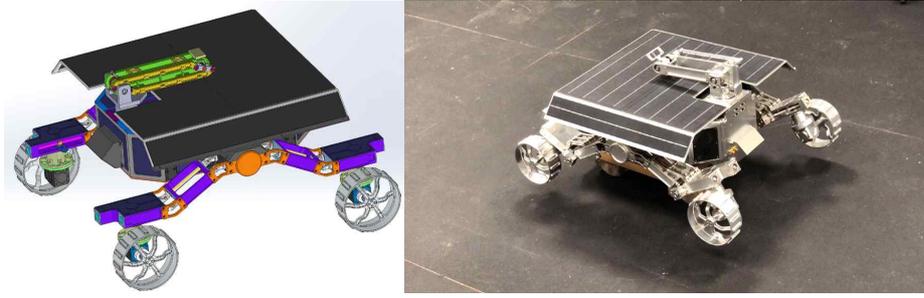


그림 10 한국형 달탐사 Rover Development Model

5) Utilizing high technology ocean observation equipments for the unknown Southern Ocean research

- 극지연구소 극지해양과학연구부 김태완 박사 발표
- 서남극 아문젠해 연구 활동 소개
- Ocean Glider와 EM-APEX를 활용한 해양 연구 소개
- Glider 사용의 한계점과 AUV를 활용한 해양 연구 소개

6) 남극 테라노바만 무인탐사로봇 관측과 향후 극지 빙권 연구에의 활용

- 극지연구소 해수면 변동 예측 사업단 윤숙영 박사 발표
- 무인잠수정 종류와 특성 소개
- 극지 무인잠수정 탐사의 필요성
- 빙봉 하부 무인 잠수정 필요 성능
- 무인 잠수정 빙봉 하부 탐사 현황 및 어려움
 - : 혹한 환경에서 테스트 운항, 투입 회수의 어려움
 - : 장비가 수면으로 나올 때 낮은 대기 온도로 인한 결빙
 - : 염도의 변화로 인한 부력 변화
 - : 얼음 하부에서 운영 어려움(위치확인, 통신 등)
 - : 운항 정보 오류로 인한 관측값 신뢰성 문제
- 향후 무인 잠수정을 이용한 빙봉 하부 탐사 계획

7) 수중로봇 활용 극지 관측 계획

- 극지연구소 북극해빙예측사업단 지준화 박사 발표
- 인공위성 기반 광역 산출물 검보정을 위한 기준 자료 획득에 활용

- 극지 현장조사 중 해당 시료 획득(아래온 근거리, 해빙 하부 등)
- 다양한 해빙 물성(두께, 형태 등) 측정에 활용
- 해빙 표면 용해 연못(melt pond) 특성 관측
- 연안 해저 특성 관측

8) AUV와 ROV를 이용한 북극해 진흙화산(Mud Volcano) 탐사

- 극지연구소 극지지구시스템연구부 진영근 박사 발표
- 북극 연구 환경 소개
- AUV와 ROV를 활용한 연구 활동 소개
 - : Methane hydrate와 Mud volcano 연구
 - : AUV와 ROV 활용 경험 공유

9) 해빙부이를 활용한 북극 해빙변화 무인 모니터링

- 극지연구소 북극해빙예측사업단 김주홍 박사 발표
- 북극 해빙 연구 활동 소개
 - : 유인으로 활동할 수 있는 해빙의 조건
 - : 현장 샘플링 활동
 - : 장기 모니터링을 위한 해빙 부이 설치 활동
- 위성 원격탐사의 한계
- 필요한 탐측 기술 제안
 - : 쇄빙연구선 근거리 상공 멀티 드론 탐사
 - : 드론 탑재형 경량 melt pond 샘플링 로봇
 - : 해빙 상 샘플링 로봇

10) 극지 빙하 탐사와 원격 모니터링을 위한 수중로봇 ICT 원천기술 개발

- 선박해양플랜트연구소 심형원 박사 발표 (과제총괄발표)
- 연구 개요
- 해외 극지 활용 로봇 사례 및 연구개발 동향 소개

- 연구개발 목표 및 내용

: 극지 빙저호, 빙붕저 탐사 수중 로봇의 플랫폼 설계, 수중항법, 매핑, 통신, 위치추적, 성능평가 원천 기술 개발 및 진회수, 샘플링, 시추 원천 기술 이룬 연구



그림 11 기술별 목표

- 추진전략 및 추진체계, 향후 계획 소개

11) 극지 빙하 탐사와 원격 모니터링을 위한 수중로봇 ICT 원천기술 개발

- 선박해양플랜트연구소 박진영 박사 발표 (수중로봇플랫폼)
- 빙붕의 ice hole을 통한 수중로봇 진회수 가능한 구조 설계
- 빙붕 탐사와 빙저호 탐사와는 적용 기술이 달라질 것으로 예상
- 운용 방법에 대한 재정의 필요
- 수중 로봇은 수중에서의 운용 환경 뿐만 아니라 대기 중에서의 보관, 운용 준비에 대한 환경도 중요 -> 고려하여 설계 필요

12) 극지 빙하 탐사와 원격 모니터링을 위한 수중로봇 ICT 원천기술 개발

- 선박해양플랜트연구소 김승근 박사 발표 (수중통신)

- 수중광역 이동통신 네트워크 개발 과제 진행 중
- 장거리 이동통신이 필요한지 근거리 이동통신이 필요한지 정의 필요
- 극지 환경의 음속 프로파일 자료가 있다면 설계에 도움
- 극지 환경에서 채널 및 통신 데이터 취득 실험 필요

13) 극지 빙하 탐사와 원격 모니터링을 위한 수중로봇 ICT 원천기술 개발

- 선박해양플랜트연구소 김시문 박사 발표 (수중음향)
- AUV의 도킹 등에 활용할 iUSBL 기술 연구
- 극지 수중 음파 전파 및 잡음 특성 연구 필요
- 기후 환경 변화의 영향으로 얼음 밑에서의 위치 추적 성능 저하
- 극지 해역의 가장 주요한 소음원은 ice sheet로 파악 됨
- 극지에서 측정된 수중음향자료가 있다면 시뮬레이션 가능
 - : CTD로 측정한 수온, 염분 등의 데이터도 시뮬레이션 인자로 활용

14) 극지 빙하 탐사와 원격 모니터링을 위한 수중로봇 ICT 원천기술 개발

- 선박해양플랜트연구소 정성엽 박사 발표 (극지 빙저 탐사용 수중로봇 저온 환경 성능 평가 기술 개발)
- 극지 빙저 탐사용 수중로봇의 저온환경에서의 성능 평가 절차 정립 및 검증 방법 개발
- 선박에 대한 방한 성능(Winterization) 평가에 대한 연구는 있으나 로봇에 대한 연구는 부족
- KRISO에서 보유하고 있는 -65도 챔버, -25도 챔버 활용
- 수중 로봇이지만 대기중에서 결빙이 발생하는 현상에 대한 평가 필요

15) 극지 빙하 탐사와 원격 모니터링을 위한 수중로봇 ICT 원천기술 개발

- 선박해양플랜트연구소 강관구 박사 발표 (한국형 Cryobot 원천기술개발 및 신뢰성 중심 유지보수)
- Cryobot 소개
 - : 미국, 독일, 중국에서 연구 중이며 국내에서는 국내학술대회에서도 발표된 자료가 없음
 - : 미국, 독일, 중국 Cryobot의 특징 소개

- 신뢰성 중심 유지보수(RCM: Reliability Centered Maintenace) 개념 소개



제 2 절 소형 육상 로봇 활용 아이디어

워크샵에서 도출된 소형 육상 로봇 활용 아이디어와 연구원들과의 면담 등을 통하여 도출된 아이디어들 중에서 소형 육상 로봇을 이용하여 대응할 수 있는 활용 방법들을 아래와 같이 정리하였다.

- Hidden Crevasse 탐사에 활용할 수 있는 육상 로봇 필요
- 각종 영상 센서를 탑재한 측정로봇 활용(우주 탐사용 Rover의 연구 활동 참고)
- 로봇을 활용하여 같은 경로를 주기적으로 데이터 수집
(ex. 적설량 측정, 레이더를 이용한 빙하 표면 정보 등)
- 위험 지역 탐사 및 샘플 채집에 활용
- 하나의 연구 목적에 다수의 소형 로봇을 활용함으로써 연구 효율성 증대
- 북극 해빙 연구시 해빙의 상태나 북극곰 위협 등 위험 요소 산재 →감시경계에 활용
- 펭귄 서식지 관측 및 바이오 데이터 수집
- 내륙기지 건설과 관련하여 활용도가 높을 것으로 예상

제 3 절 활용 시나리오 도출

도출된 아이디어들 중에서 극지 연구에 있어서 활용 수요가 명확하고 소형 육상 로봇으로 임무 수행이 가능한 두 가지의 시나리오를 다음과 같이 도출하였다.

1. 휴대용 크레바스 탐지 로봇

- 임무 내용: 새로운 캠프 장소 또는 기존 위험 지역으로 알려진 영역에 대해서 빙하를 투과할 수 있는 Ground Penetrating Radar(GPR)을 정해진 루트를 따라 자율적으로 또는 사용자의 조종에 따라 이동하면서 크레바스 탐사 활동을 수행
- 미국의 다트머스 대학과 CRREL에서 Polar rover 'Yeti'를 개발하여 활용한 사례가 있으며, 현재도 지속적으로 개발을 진행하고 있음
- 극지 현장을 활동하는데 있어서 크레바스는 안전을 위협하는 요소이기 때문에 로봇을 활용하여 안전하게 크레바스를 탐지해내는 것은 효용성이 크다고 판단



그림 14 Ground penetrating radar를 끌고 있는Yeti Rover

2. 생태 모니터링용 스파이 로봇

- 임무 내용: 펭귄 등 극지방에 서식하는 동물들을 자연 상태 그대로 모니터링하기 위하여 동물들의 주의를 끌지 않고 접근하여 생활환경 모니터링 또는 생체 데이터 측정
- 프랑스 스트라스부르 대학 연구팀에서 원격 조종으로 구동되는 펭귄 로봇을 제작하여 경제심이 강함 황제펭귄의 무리에 투입하여 펭귄의 심장박동 등 여러 생체 정보를 수집하는데 성공
- KOPRI에서도 펭귄 등 극지방 동물에 대한 연구를 진행하고 있으며 RC카를 이용하여 펭귄 서식지를 모니터링 하려는 시도를 하고 있으나 추가적인 기능들이 요구되고 있는 상황임
- 주변 동물들의 이목을 끌지 않도록 구동 소음을 줄이는 것이 필요함



그림 15 프랑스 스트라스부르 대학 연구팀에서 수행한 테스트. 소형 로버에 펭귄 모형의 변장이 없을 때 황제 펭귄은 로버를 부리로 공격하고 근처로 다가올 수 없도록 했지만, 변장을 한 로버는 무리의 가까이 접근할 수 있었음



제 4 장 기술전략 및 기술로드맵 수립

제 1 절 극지 연구용 육상 로봇 플랫폼 분류

- 워크샵, 연구원 인터뷰, 해외 사례 조사 등을 통하여 도출된 육상 로봇 아이디어들을 종합하여 임무에 따라 필요한 사양을 정리하여 분리 작업 실시
- 표 4와 같이 로봇의 크기에 따른 3종류의 플랫폼으로 분류할 수 있었으며, 각 플랫폼이 임무를 수행하는데 필요한 주요 사양을 정리
- 소형, 중형, 대형 플랫폼 사이즈에 따라 탑재할 수 있는 배터리 용량에 한계가 있기 때문에 사용 가능 시간과 사용 반경이 제한될 것으로 예상
- 각 플랫폼 사이즈에 따라 차체 중량 대비 탑재할 수 있는 센서와 수집할 수 있는 샘플의 무게, 부피가 제한될 것으로 예상
- 본 과제의 기획 대상인 소형 플랫폼의 경우 카메라 또는 가벼운 센서를 탑재하고 근거리의 데이터 수집 또는 모니터링에 활용이 가능할 것으로 예상되며, 사용반경이 넓지 않기 때문에 단순한 자율주행 기능 또는 수동 조작으로 활용하는 경우가 대부분일 것으로 예상됨
- 소형 플랫폼은 극지 연구 활동 외에도 기지 주변 시설 점검, 시설 간 근거리 물류 이동, 실내 운용 등의 추가 활용처가 있을 것으로 예상
- 중형 플랫폼의 경우 기지에서 헬기로 운송이 가능한 사이즈이며, 배터리 탑재에 따라 2시간 이상 운용이 가능하기 때문에 캠프 주변, 내륙 탐사 등에 활용 가능할 것으로 예상
- 대형 플랫폼의 경우 헬기 등으로 운반이 어렵기 때문에 육상 운반 또는 자체 이동해야 하므로 극지의 극한 환경에 오랜 기간 노출되어도 작동에 이상이 없도록 내구성, 내한성을 갖출 것이 요구됨
- 대형 플랫폼은 중장비, 설상차, ATV 등 이미 극지 지역에서 활용하고 있는 유인 장비들을 무인화하여 활용하는 것이 개발 비용 및 기간을 단축할 수 있을 것으로 예상

표 4 극지 연구 로봇 활용 수요에 따른 로봇 플랫폼 분류

분류	극지 연구 활용	주요 사양			
		로봇 무게	견인력	사용시간	사용반경
소형	- 위험 지역 탐사(근거리, 수동조작) - 소형 샘플 채집(눈, 물, 운석 등) - 단순 반복 측정(GPS, 온도, 영상 등) - 생태 탐사용 스파이 로봇 - 실내 감시 경계	30kg 내외	20kg 내외	1시간 내외	2km 내외
중형	- 위험 지역 탐사(중거리, 자율이동) - 중형 샘플 채집 - 단순 반복 측정(다중 포인트) - 다수의 센서를 활용한 측정 - 실외 감시 경계	100kg 내외	50kg 내외	2시간 내외	10km 내외
대형	- 환자 운송 - 중량물 또는 중량장비 운송 - 장거리 샘플 채집 및 측정 - 관측 장비 단순 유지 보수 - 중장비 무인화	500kg 이상	100kg 이상	8시간 내외	50km 내외

제 2 절 기간별 로드맵 수립

- 크기별 육상 로봇 플랫폼 활용이 필요한 시점을 예상하기 위하여 KOPRI에서 추진 중인 주요 사업과 활용 가능한 로봇 플랫폼을 매칭하여 기간별 로드맵을 수립
- 단순 샘플 채집에 있어서는 소형, 중형, 대형 로봇 모두 활용 가능한 분야가 있는 것으로 나타났지만, 기술 구현에 필요한 자원과 효율성 검토 필요
- 범용적인 활용 외에는 중형 로봇 플랫폼을 활용한 위험지역 크레바스 탐사가 가장 빠른 시일 내에 활용이 필요하며 활용 목적과 무인화에 따른 효과가 명확함
- 소형 로봇은 주로 사람이 접근이 어려운 곳에서의 모니터링 또는 샘플링에 대한 수요가 꾸준히 있으며, 현재 사람이 할 수 없는 것을 대신하는 것 보다는 주로 편의적인 측면에서 활용이 예상되기 때문에 개발 시기보다는 다양한 활용처를 발굴하는 것이 중요할 것으로 판단
- 남극 내륙에 대한 연구가 점차 진행될수록 안전, 탐사, 건설 등과 관련하여 육상 로봇의 활용 수요가 많아질 것으로 예상

표 5 KOPRI 주요 사업에 따른 육상 로봇 개발 로드맵

연도별 주요계획	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	
코리안루트개척	코리안루트 개척 및 내륙 연구 캠프 구축											
필요예상 육상로봇		소형-연구 캠프 주변 탐사										
		중형-위험 지역 크레바스 탐사										
					중형-연구 캠프 주변 측정 장비 및 시설 모니터링							
내륙기지 건설				내륙기지 후보지 탐사				내륙기지 건설		내륙기지 운영		
필요예상 육상로봇				소형-주변 탐사 및 샘플 채집				대형-중량물 운송, 증장비무인화		소형-실내유지보수		
				중형-주변탐사 및 샘플 채집						중형-건물간 물류		
										중/대형-실외유지보수		
샘플 및 데이터 수집	눈, 빙하, 빙하코어, 운석, 바이오 데이터, 레이더 및 영상 데이터, GPS 데이터, 기상 데이터, 지진계 등											
필요예상 육상로봇	소형-소형 시료 샘플링 및 근거리 데이터 수집(ex. 생태 탐사용 스파이로봇, 위험 지역 모니터링)											
	중형-중형 시료 샘플링 및 중거리 데이터 수집(ex. 레이더 및 영상 데이터 수집)											
	대형-대형 시료 샘플링 및 원거리 데이터 수집(ex. 깊이별 눈 시료 자동 채취 로봇)											
다부처공동과제		극한지 개발 및 탐사용 협동 이동체 시스템 기술 개발								* 예산 문제로 과제 진행 홀딩		
필요예상 육상로봇					중형/대형-계측 장비 데이터 백업 및 유지보수, 통신 중계, 빙하코어수집							

제 3 절 필요기술 분석 극지연구소

1. 극지이동로봇 주요기술

극지에서 활용할 이동 로봇 개발 시 필요한 주요 기술을 아래의 그림과 같이 정리하였다. 대부분 기술들은 이미 산업용 또는 서비스용으로 활용되는 이동 로봇에 많이 활용되는 기술들로 어렵지 않게 기술을 확보하여 로봇을 개발 할 수 있을 것으로 기대된다. 하지만 설면 또는 빙판 위에서의 주행, 영하의 추운 날씨, 부족한 인프라 시설, 고립된 환경 등과 같이 극지의 특수한 환경으로 인하여 기존 기술의 보완, 새로운 기술 개발이 많이 필요할 것으로 예상된다. 주로 로봇의 조작과 편의 사양과 관련된 부분들은 기존의 기술들을 활용하는데 크게 문제가 없고 이미 다양한 기술들이 개발되었기 때문에 효과적으로 이용하는 것이 가능할 것으로 생각된다. 하지만 H/W와 주행 관련된 주변의 기술들은 대부분 극저온과 빙상 위에서의 주행을 크게 고려하지 않고 개발된 기술들이기 때문에 극한지에서 활용할 이동 로봇 플랫폼을 개발하기 위해서는 관련하여 지속적인 연구 개발이 필요한 분야로 생각된다.

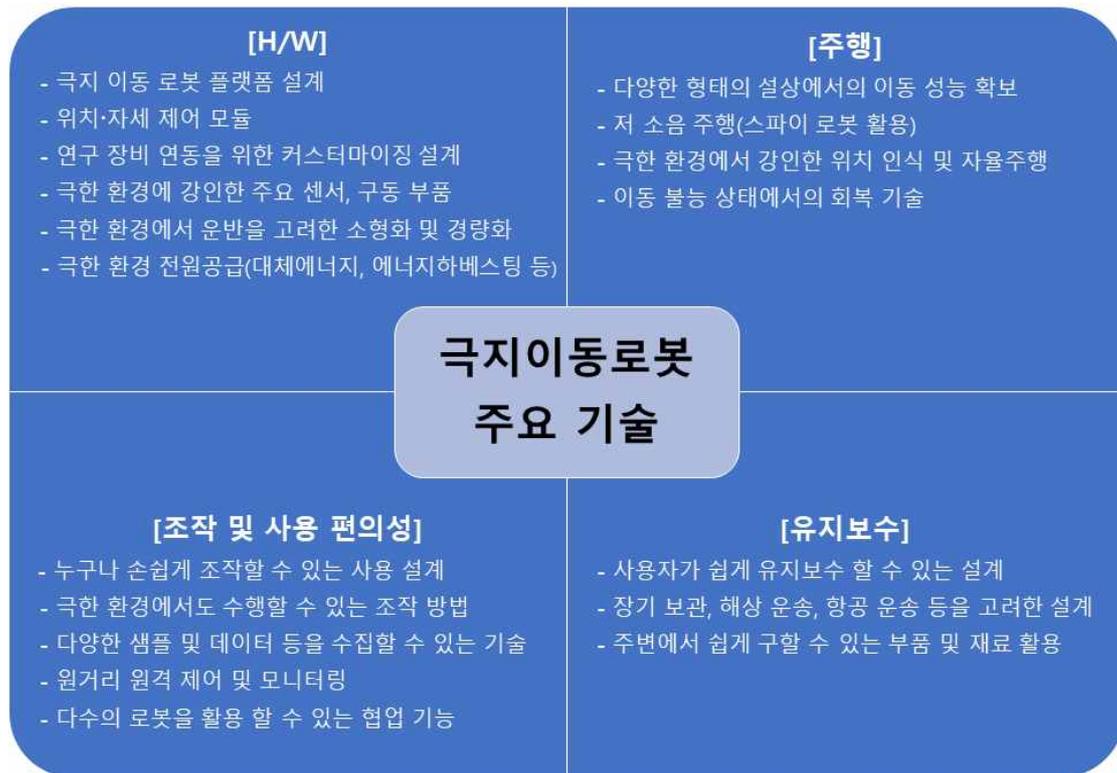


그림 16 극지 이동 로봇의 주요 기술

또한, 위에서 정리된 극지 이동 로봇의 주요 기술 외에도 극지 연구에 로봇을 활용하기 위해서는 기존 연구 장비를 로봇과 연동하고 관련된 인터페이스 부품, 장치들을 개발하는 것이 필요하다.

2. 기술 참조 모델

앞서 도출된 이동 로봇 플랫폼에 대한 필요성과 활용 시나리오, 필요 기술들을 종합하여 기술 참조 모델을 구성하였다. 극지 연구원들과의 워크샵, 인터뷰 등을 통하여 극지 연구 활동에 있어서 로봇을 이용하여 사람이 할 수 없는 정밀·정확한 작업 수행, 사람을 대신하여 편의성을 제공, 위험 작업을 대신 수행하는 목적으로 필요성을 도출할 수 있었다. 이러한 필요성을 하나의 제품으로 충족시키는 것은 어렵기 때문에 크기에 따라 3 종류의 플랫폼으로 구분하였다. 각각의 플랫폼은 크기에 따라 이용 가능한 시간과 범위가 한정되기 때문에 활용 분야에 따라 사용가능한 플랫폼을 연결하였다. 또한 각 제품별로 필요한 기술들을 정리함으로써 본 기획 과제에서 제안하고자 하는 소형 로봇 플랫폼 활용 시나리오에 맞는 필요기술들을 도출할 수 있었다.

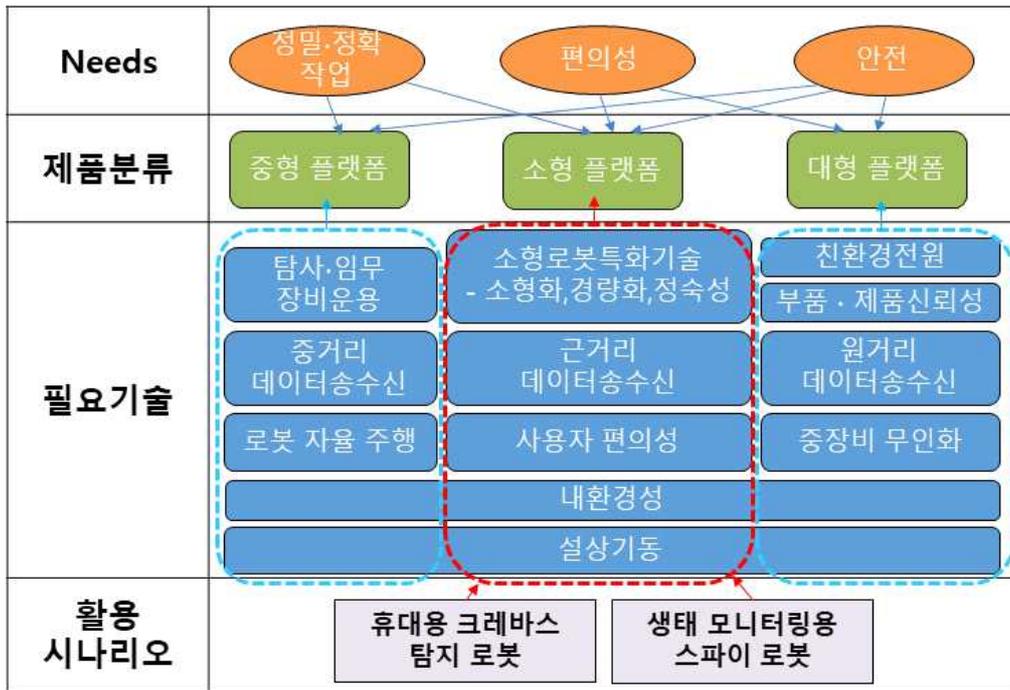


그림 17 기술참조모델

3. 목표 사양 설정

기술참조모델에서 도출한 소형 플랫폼 개발에 필요기술들로부터 시나리오 구현에 필요한 소형 플랫폼 개발에 필요한 세부 기술들을 도출하였다. 또한 시나리오 구현에 필요하다고 생각되는 주요 항목들의 사양을 아래 표와 같이 정리하였다.



그림 18 시나리오 구현을 위한 세부기술 도출

휴대용 크레바스 탐지 로봇과 생태 모니터링용 스파이 로봇의 무게, 크기, 구동 시간, 조작 범위 등은 동일한 사양으로 설정이 가능하였다. 하지만 일부 사양에 있어서는 사용 용도에 따라 차별화가 필요할 것으로 예상되었다. 크레바스 탐지 로봇은 크레바스 탐지에 필요한 GPR(Ground Penetrating Radar)과 운용 장비를 탑재 또는 견인해야하기 때문에 그에 필요한 차체 강성과 동력 확보가 필요하다. 또한 생태 모니터링용 이동 로봇은 관찰 대상의 경계심을 낮추기 위하여 구동 소음을 최대한 줄일 필요가 있으며 관찰 대상이 균락을 이루며 서식하는 생물일 경우 분변과 같은 오염물질이 많은 환경에서 운행할 가능성이 있기 때문에 오염 물질로부터 로봇을 보호하고, 세척이 용이하도록 방수방진 기능을 필요로 한다.

표 6 목표 사양

항목	사양		비고
	크레바스탐지	생태모니터링	
무게	30kg 이하		1인 운반 가능
크기	60cm 이하		백팩 또는 썰매 운반 가능
구동 시간	2 시간 이하		
조작 범위	2 km 이내		
조작 방법	조종기		보조 장치 활용
동작온도	-40~20°C		
가반하중	10kg이하	-	
구동소음	-	70dB이하	
방수방진	IP54	IP65	

제 5 장 샘플 제작 검증

앞서 도출된 세부기술들 중에서 활용도와 시급성은 높으면서도 기존 상용 기술 활용이 가능하여 구현이 어렵지 않은 기술과 구현 난이도는 높지만 향후 육상 로봇의 극지 활용을 위해서는 반드시 개발이 필요한 기술을 선정하여 샘플을 제작하고 검증하였다. 첫 번째로는 육상 로봇에 GPR과 같은 임무 장비를 설치할 수 있는 견인 장치를 제작하였다. 기존에 개발하여 테스트 중인 중형 크기의 육상 로봇을 활용하여 테스트를 진행할 수 있었고, 향후 크레바스 탐사를 위한 소형 로봇의 구동 동력 및 견인 장치 설계에 필요한 데이터를 획득할 수 있었다. 두 번째로는 생태 모니터링용 스파이 로봇에 반드시 필요한 근거리 영상 전송 기술과 FPV(First Person View) 카메라를 활용한 조작 기술을 테스트하기 위한 샘플을 제작하였다. 험지 주행용 RC카를 설상 운용에 맞도록 개조하고 편의 기술을 추가하여 샘플 제작의 완성도를 높일 수 있었다. 마지막으로 육상 로봇이 빙설 지형에서 부드러운 눈이나 딱딱한 빙판에서도 용이하게 구동할 있는 아이디어를 도출하고 이를 검증하기 위한 샘플을 제작하였다.

시나리오	필요기술	세부기술	KIST 강점	KOPRI 강점	활용도 시급성	난이 도
휴대용 크레바스 탐지 로봇	탐사·임무장비운용	소형 GPR운용		√	상	상
		GPR 데이터분석		√	상	상
생태 모니터링용 스파이 로봇	소형로봇특화 - 소형화,경량화,정속성	임무장비와 로봇연동(기구)			상	하
		임무장비와 로봇연동(제어)	√		중	상
		소형로봇설계	√		중	중
		경량메커니즘설계	√		중	상
		구동부 저소음설계	√		중	중
		근거리 영상 전송	√		상	중
		FPV활용 조작기술	√		상	중
		방수방진설계	√		상	중
근거리 데이터송수신	사용자 편의성	극한환경 내환경설계	√		상	상
		극한환경 장비 운용		√	상	상
		설상기동			상	상
내환경성	설상기동	설상기동			상	상
		설상기동			상	상

그림 19 기술 검증을 위한 샘플 제작 대상 선정

제 1 절 GPR 견인 장치 제작

KOPRI에서 개발중인 중형 로봇 플랫폼을 활용하여 GPR을 견인할 수 있는 견인장치를 제작하였다. 제작된 샘플을 실제 남극 빙하 위에서 견인함으로써 필요한 견인력과 향후 소형 GPR을 제작하여 소형 로봇으로 견인 장치를 연결할 경우 주의할 점들을 파악할 수 있었다. 향후 이동 로봇을 이용하여 크레바스 탐사를 무인화 할 경우 아래 표와 같은 개선 사항들을 기대할 수 있다.

표 7 기존 크레바스 탐사 방식과 무인 육상 차량을 이용한 탐사 방식 비교

	기존	개선
이미지		
활용 플랫폼	설상차(PistenBully, 8.5ton)	KOPRI 중형 로봇 플랫폼 (MK-S, 90kg)
소요인원	장비설치-2인 이상 탐사-2인 이상	장비설치-1~2인 탐사-무인 로봇 모니터링-1인
속도	5~6km/hour	10km/hour
1회 탐사거리	5km 내외(위험구간)	10km 이내
작업자 안전	위험	안전

GPR 장비는 지면과 적당한 높이를 유지하고 이동시 마찰을 줄이기 위하여 튜브를 이용하여 한쪽에 설치하였다. 튜브와 로봇은 스틸 파이프를 이용하여 연결하고 로봇이 방향을 전환할 때 과도한 모멘트가 걸리지 않도록 중간에 조인트를 추가하였다. 또한 이동 로봇이 튜브를 앞에서 견인하거나 뒤에서 밀고 나갈 수 있도록 두 가지 형태의 연결 장치를 구성하였다. GPR 장비와 이동 로봇 사이의 간격에 따라 로봇의 이동에 방해가 되거나 GPR 탐사시 전과 간섭 등의 영향이 있을 수 있기 때문에 거리를 조절 할 수 있도록 파이프의 앞뒤 길이를 조절할 수 있도록 마진을 남겨두었다.

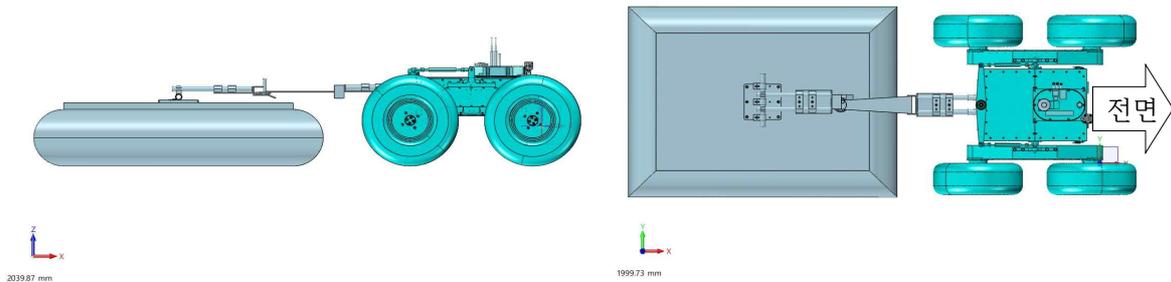


그림 20 Towing 구조의 GPR 연결 장치 모델링

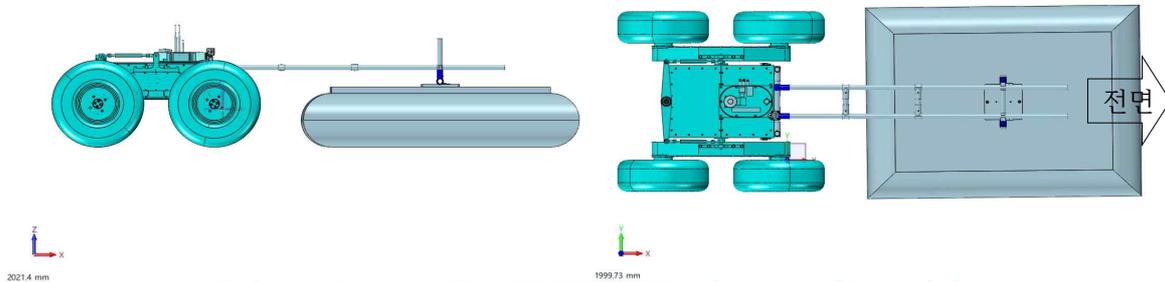


그림 21 Pushing 구조의 GPR 연결 장치 모델링

튜브에 약 10kg의 부하를 탑재하고 인조 잔디 구장에서 견인할 경우 직진 방향 견인력은 약 19.4kg이 필요하였다. 하지만 실제 남극 빙판 위에서 필요한 견인력은 1/10 이하로 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 약 10kg의 GPR 장치를 소형 로봇을 이용하여 견인하는 것도 가능할 것으로 판단할 수 있었다. 하지만 GPR 장치의 무게가 소형 로봇 무게에 비해 상당히 크기 때문에 관성력에 의해 소형 로봇이 전복되거나 경로를 이탈할 수 있는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 실제 휴대용 크레바스 탐사 로봇을 개발할 경우에는 GPR의 안테나 크기를 줄여서 소형 로봇 내부에 탑재하는 방법이 유리할 것으로 보인다. 이 밖에도 다음과 같은 남극 실험 결과를 정리할 수 있었다.

- 소형 로봇으로 10kg 이상의 장비를 견인하는데 견인력은 충분할 것으로 예상
- 소형 로봇의 무게 대비 무거운 장비는 관성력에 의한 로봇의 전복 또는 경로 이탈 우려
- GPR을 소형 로봇 내부에 탑재하는 것이 여러 측면에서 유리할 것으로 예상
- 무인 육상 차량을 남극에서 운용시 compass error로 인하여 경로를 이탈하는 문제가 발생하였음. 남극에서는 진남극과 자남극 간의 편각이 크기 때문에 발생한 문제로 예상되

로 이에 대한 대비책 마련 필요

- 주행하는 동안 좌우측 모두 후륜 모터에 더 많은 전류가 소모되었음. 로봇의 무게 중심과 견인되는 GPR의 무게로 인한 영향으로 예상
- GPR을 탑재한 튜브와 지면간의 마찰력이 작아서 로봇의 움직임 또는 지형의 형상에 따라 튜브에 슬립이 발생하면서 방향이 틀어지는 문제 발생. 더 정밀한 레이더 탐사 결과를 얻기 위해서는 대비책 마련 필요



그림 22 견인 장치를 이용한 GPR 탐사
(2010년 11월 남극 장보고 기지 인근 브라우닝 패스)

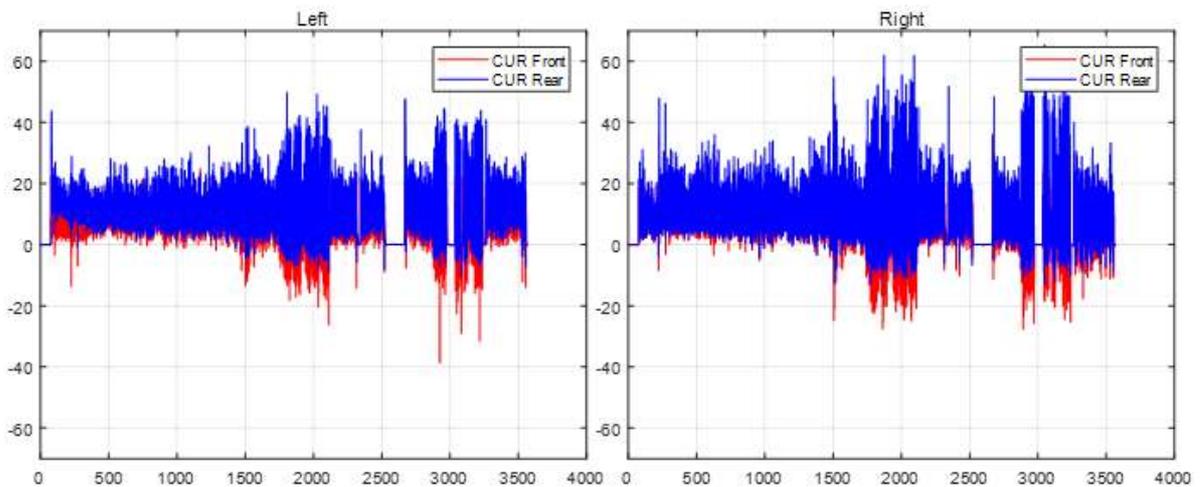


그림 23 탐사 구간에서의 모터 전류 소모량(후륜에 있는 모터의 전류 소모가 큼)

제 2 절 소형 로봇 플랫폼

소형 로봇의 모니터링 기능과 조작 편의성을 테스트하기 위하여 험지 주행 기능이 검증된 상용 RC카를 활용하여 극지에서 활용이 가능한 소형 로봇 플랫폼을 제작하였다. 관련 기술 개발과 플랫폼의 제작은 험지용 이동 로봇의 연구 및 경험이 많은 KIST(한국과학기술연구원)에서 담당하여 진행하였다.

1. RC카 프레임 개조

베이스가 되는 RC카는 Traxxas사의 몬스터 크라울러 서밋 4WD 차량을 선택하였다. 본 차량은 험지용에서 구동이 가능하도록 개발된 RC카로 전자 장치에 방수 처리가 되어있고 대용량 모터와 조종기로 작동되는 고-저속 변속기를 포함하고 있다. 주요 제원은 다음과 같다.

표 8 몬스터 크라울러 서밋 4WD 주요 제원

길이	565mm
앞바퀴 간격	469.5mm
뒷바퀴 간격	472mm
센터 지상고	121mm
무게	5.75kg(배터리 포함)
높이(전체)	320mm
차축거리	377mm
변속 종류	EVX-2 저전압 감지 기능 내장 전진/후진/브레이크
모터	Titan 775 하이토크
변속기	Single-Speed(2nd gear only)
브레이크 종류	전자식
구동 방식	축기반-4륜 구동
조향(Steering)	벨 크랭크
무선 방식	2.4GHz(4채널)

차체의 기구부는 내구성 및 안정적인 주행 능력 확보를 위하여 플라스틱 부품을 금속 부품으로 교체하였다. 또한 소프트 폼 인서트 타이어는 설상에서 구동이 용이하도록 Snowmobile Caterpillar로 교체하여 장착하였다.

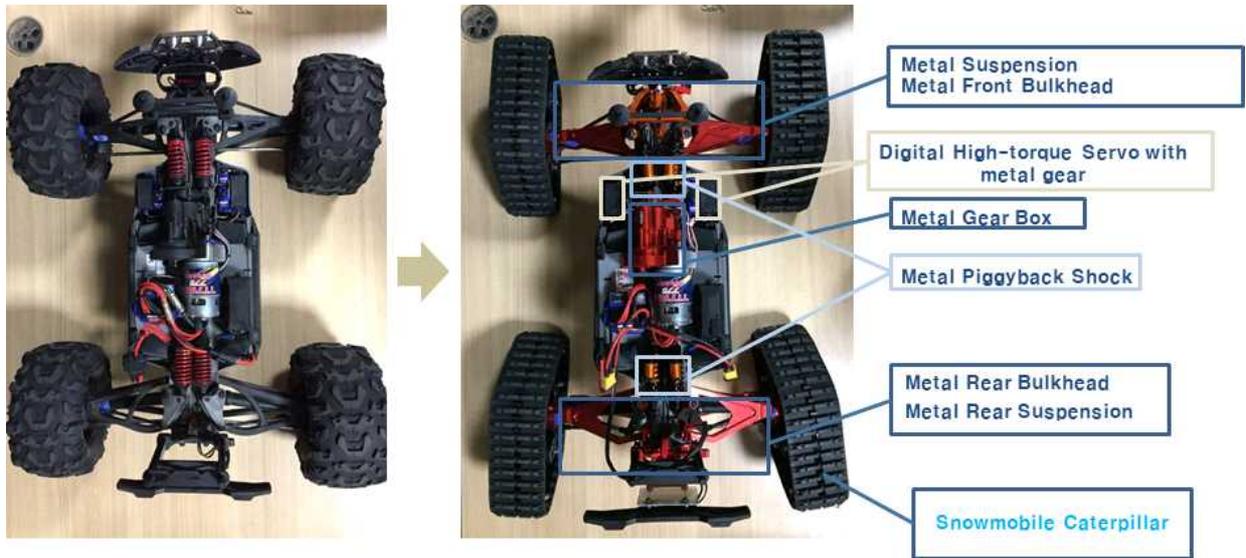


그림 24 상용 RC카의 프레임 개조

2. 영상 관측 및 조종 기능

모니터링을 위한 영상 장비와 조종을 위한 영상 장비는 별도로 구성하였다. 모니터링을 위한 영상 장비는 고화질 전송이 가능하지만 시지연이 발생하기 때문에 고속으로 이동하는 로봇을 조작하기에는 적합하지 않다. 따라서 로봇을 조작하기 위한 영상 장비로는 시간 지연 없이 아날로그 영상을 전송할 수 있는 FPV(First Person View) 카메라를 별도로 설치하였다. 모니터링용 영상 장비는 로봇의 이동 방향과 자세와 상관없이 관찰 대상을 촬영할 수 있도록 짐벌을 추가하였고, 조종용 영상 장비는 조작 편의성을 위하여 FPV 카메라 화면을 고글을 통하여 확인할 수 있도록 구성하였다.

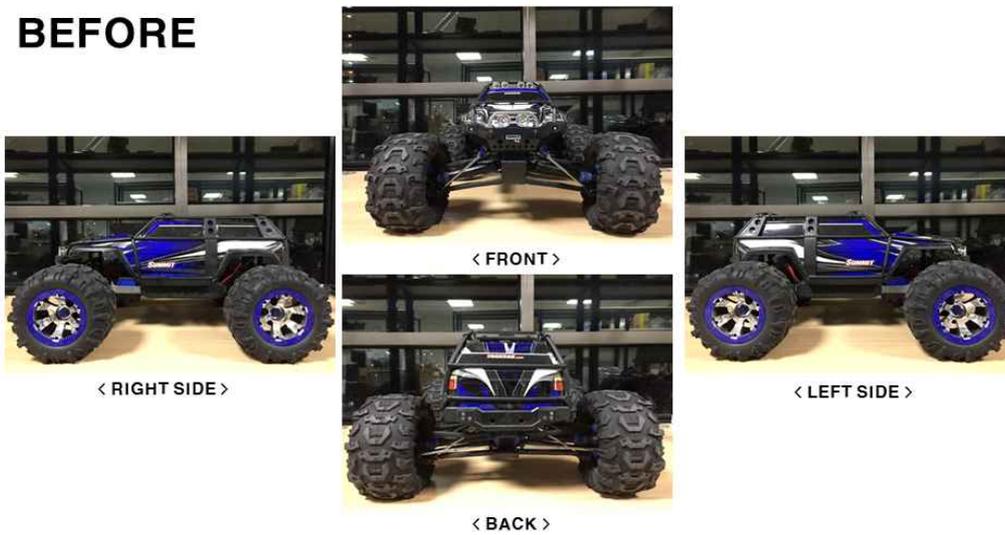


그림 25 모니터링용 영상 장비(4K 카메라+Gimbal Controller+Field Monitor)



그림 26 Remote Controller용 영상 장비(FPV Camera+HDO Goggles)

BEFORE



AFTER

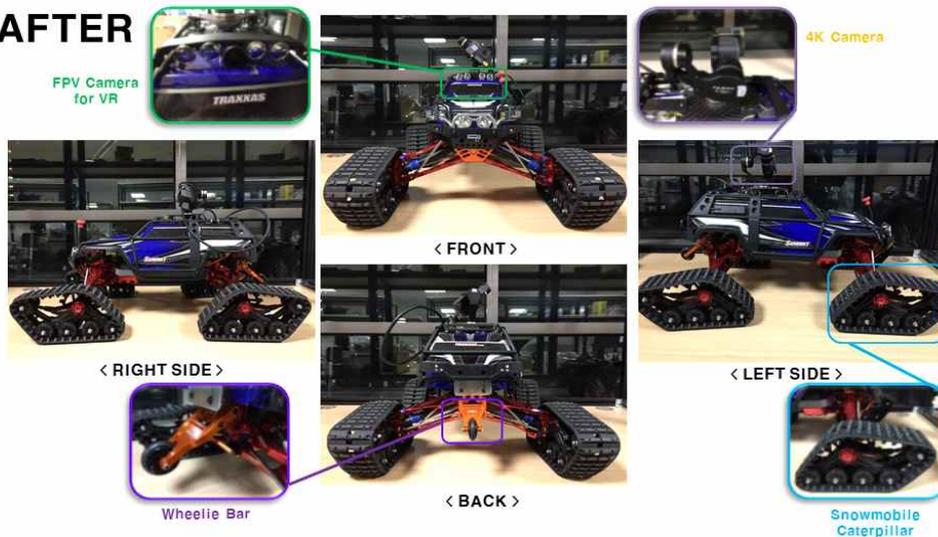


그림 27 기구부 개조와 영상 장치가 탑재된 소형 로봇 플랫폼

3. 소형 로봇 플랫폼 테스트

제작된 소형 로봇 플랫폼을 이용하여 기본 구동 테스트, 험지 구동 테스트, 영상 관측 및 조작 테스트를 진행하였다.

가. 기본 구동 테스트

기본 구동 테스트는 일반 보도에서의 전·후진 주행과 턴 주행, 잔디밭에서의 전·후진 주행과 턴 주행, 약 5cm의 턱을 오르고 내리는 테스트를 수행하였다. 타이어가 아닌 캐터필러를 장착하였지만 단단한 블록에서 뿐만 아니라 잔디밭에서도 문제없이 구동하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 차체에 비해 높은 턱도 캐터필러의 구동과 연결축의 회전을 이용하여 오르고 내릴 수 있는 것을 확인하였다.



그림 28 기본 구동 테스트

극지연구소

나. 험지 구동 테스트

험지 구동 테스트는 KIST 주변 산책로에서 실시하였다. 경사로에서의 주행 능력을 테스트하였으며 차체에 비해 상당히 큰 장애물도 어려움 없이 극복하는 것을 확인할 수 있었다.



그림 29 경사로 구간 및 장애물 극복 테스트

다. 영상 관측 및 조작 테스트

플랫폼에 장착된 두 개의 카메라를 운용하고 테스트하였다. 영상 관측을 위하여 설치한 4K 카메라는 선명한 영상을 전송하고 짐벌을 이용하여 원하는 대상을 촬영하는 것이 용이하였지만 약간 시간 지연이 발생하였기 때문에 영상 관측용 카메라를 보면서 플랫폼을 조종하는 것은 어려움이 있었다. 반면에 FPV 카메라의 영상은 화질이 좋지 않고 가끔 노이즈가 발생하였지만 고글을 통한 영상을 보면서 조종하는데 별다른 어려움이 없었다. 실제 로봇이 안 보이는 위치에서도 고글을 통하여 로봇을 1인칭으로 인식하면서 조종하는 것이 소형 로봇의 조작 편의성을 높여줄 수 있을 것으로 기대된다.

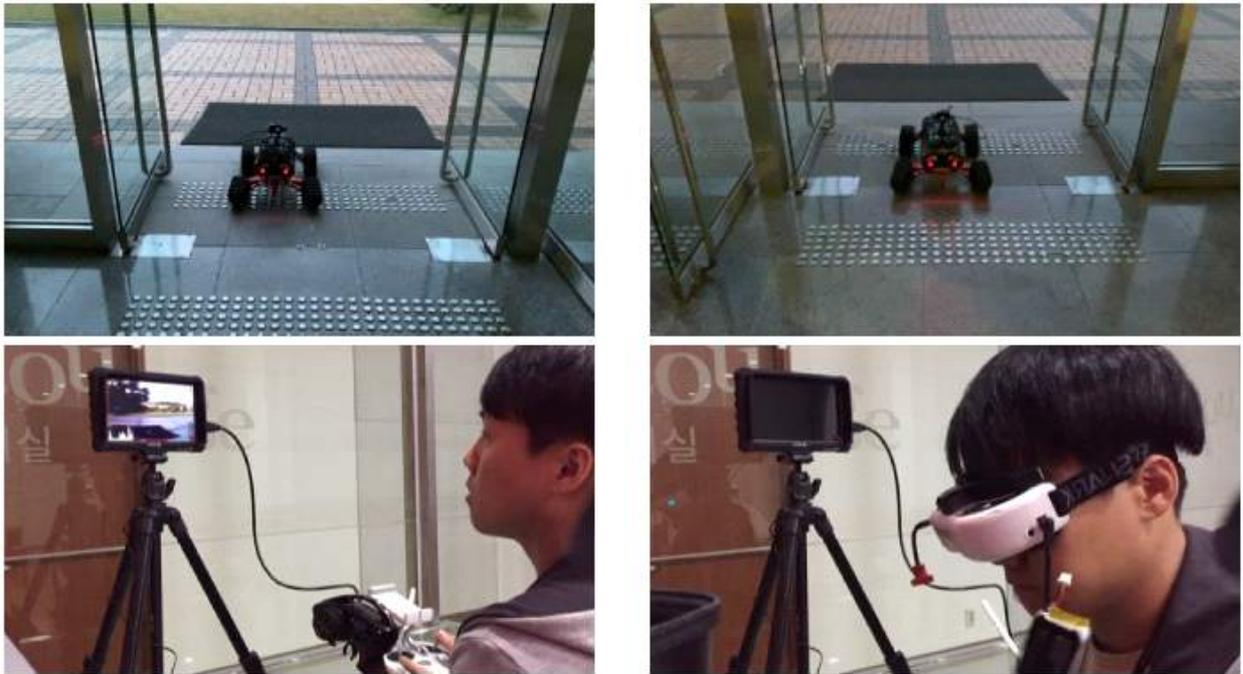


그림 30 4K 카메라를 이용한 관측(좌) FPV 카메라와 고글을 이용한 조종(우)

제 3 절 설상 구동 모듈

1. 아이디어

남극은 해마다의 적설량, 바람의 영향, 기온 등으로 인하여 다양한 형태의 빙설 지형이 혼재되어 있기 때문에 다양한 빙설 지형에서도 모바일 로봇의 이동 능력을 유지할 수 있는 구동 모듈이 필요하다. 특히 소형 로봇은 차체가 작고 지상고가 낮기 때문에 부드러운 눈에 빠질 경우 이동성능을 다시 복구하지 못하고 이동 불능 상태에 빠지는 경우가 자주 발생한다. 이처럼

부드러운 눈으로 덮여있는 지형에서는 Track과 같이 넓은 표면적으로 차체를 지지하여 눈 표면에 가하는 압력을 낮추어 더 이상 깊이 차체가 빠지지 않도록 하는 것이 유리하다. 반면에 단단한 눈 표면에서는 Wheel과 같이 차체와 지면 간에 접촉면적을 작게 하는 것이 구동 효율을 높이고 빠른 이동에 유리하다.

표 7 Wheel과 Track 비교

	Wheel	Track
구름저항	작음	큼
지면 압력	큼	작음
단단한 눈	유리	불리
부드러운 눈	불리	유리

따라서 단단한 눈으로 덮인 지역에서는 Wheel을 이용해서 주행하고 부드러운 눈으로 덮인 지형을 만나서 차체가 눈을 압축하면서 가라앉으면 Track이 눈에 닿아 접지 면적을 넓혀줄 수 있는 구조의 아이디어를 도출하였다.

2. 기구 설계 사양

Track과 Wheel을 높이차를 두고 평행하게 구성하여 단단한 눈에서는 Wheel이 지면에 닿도록 하고 부드러운 눈을 만나서 눈이 압축되면 Track이 지면과 접지되어 압력을 낮출 수 있도록 설계하였다. Track은 눈을 밀어내어 추력을 더 낼 수 있도록 50mm 간격으로 그라우저 (Grouser)를 설치하였다.

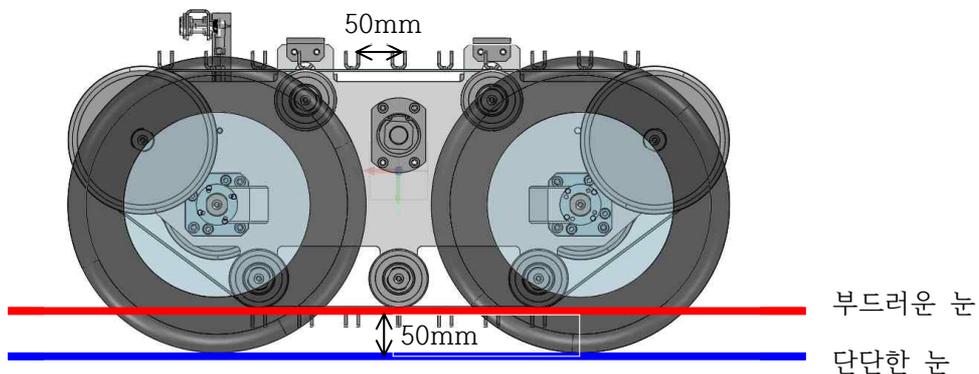


그림 31 Track과 Wheel 단차 설계

구동 모듈은 가운데 hinge 점을 두어 지형에 따라 자유롭게 움직일 수 있도록 하여 네 개의 wheel이 항상 바닥에 닿도록 하고 Track의 경우에도 지형에 따라 자유도를 갖도록 설계하였다. 좌측과 우측의 구동 모듈은 Differential bar를 이용하여 서로 연결되어 있어서 좌우측의 구동모듈이 hinge 점을 중심으로 서로 다르게 움직이더라도 제어부가 탑재되는 중심 판은 항상 중간 각도를 유지하도록 구성하였다.

구동 모듈의 예상 무게는 배터리와 제어부를 포함하여 약 700N으로 Wheel로 지지할 경우 6.12 kPa 이상의 Nominal ground pressure가 작용하지만 눈이 50mm 압축되어 Track이 지면과 접하게 되면 4.85 kPa로 낮아진다. 이 경우 압력에 의한 눈의 압축률을 40 kPa/m로 가정하면 구동 모듈의 최대 침하량은 약 12 cm로 예상되며 배면이 눈에 닿아 저항을 크게 하는 것을 방지하기 위하여 Ground clearance를 120 mm 이상으로 설계하였다.

표 10 설계 파라미터

Parameter	value	unit
Weight	700	N
Track width	0.05	m
Track length	0.3	m
Wheel diameter	0.33	m
Wheel width	0.11	m
Ground clearance	0.18	m

설계 사양에 맞게 모델링된 형상은 그림 과 같으며 상부에는 제어장치를 변경해가면서 테스트 할 수 있도록 상용 제어 케이스를 장착할 수 있도록 구성하였다.

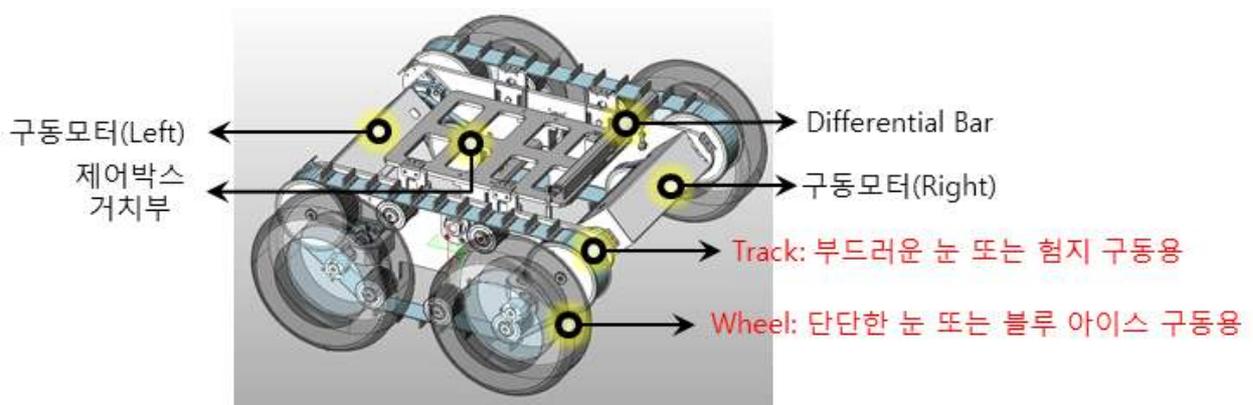


그림 32 설상 구동 모듈 기구부 구성

3. 구동부 설계

좌측과 우측의 각 모듈은 Track 1줄과 Wheel 2개로 구성되어있으며 각 모듈은 하나의 모터로 구동하도록 설계하였다. 모터의 용량은 차체 중량에 따른 저항과 경사 저항, 가속 저항 등을 고려하여 Maxon 모터사의 EC-i52 180W급 모터를 선정하였다. 최대 구동 속도는 지면에서 약0.8m/sec의 속도로 정하였으며 이에 적합한 감속기의 감속비는 43:1로 선정하였다.

또한 본 모듈은 하나의 모터로 Track과 Wheel을 하나의 모터로 구동하지만 Wheel의 지름과 Track을 구동하는 풀리의 지름이 다르기 때문에 Wheel과 Track이 동시에 지면과 접촉 시에는 선속도에 차이가 발생하게 된다. 부드러운 눈의 경우 Wheel과 Track 간에 선속도에 차이가 발생하더라도 눈의 전단응력이 크지 않기 때문에 큰 문제가 없지만, 단단한 얼음이나 바위와 같은 지면에 wheel과 Track이 동시에 접촉할 경우에는 속도 차이에 의한 파손의 위험이 있기 때문에 모터에서 Wheel로 전달되는 동력은 Timing belt를 이용하여 한 번 더 감속을 하여 동력을 전달하도록 구성하였다.

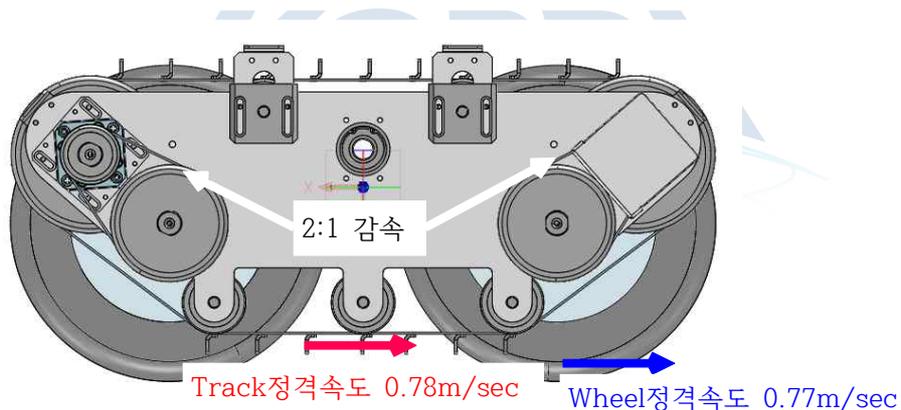


그림 33 Track과 Wheel 끝단의 선속도

표 11 구동부 사양

감속기	감속비	43:1
	출력단 순간 허용 토크	45 Nm
	최대 연속 전달 출력	440 W
	최대 단속 전달 출력	660 W
모터	전격접압	24V
	정격속도	4220 rpm
	정격토크	434 mNm
	정지토크	12200 mNm
엔코더	pulse resolution	1024
	채널 수	3
	출력신호	인크리멘탈

4. 제어부 설계

설상 구동 모듈의 제어 및 테스트를 용이하게 하기 위하여 Open-source를 기반으로 동작하는 Pixhawk 제어를 사용하여 제어부를 구성하였다. 전체적인 블록 다이어그램은 아래 그림과 같다.

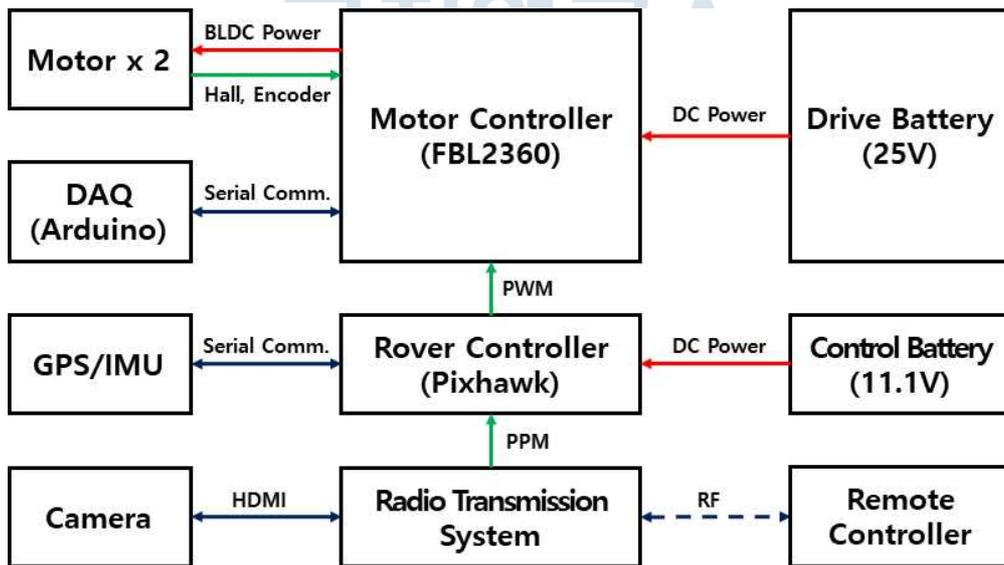


그림 34 제어부 블록 다이어그램

Pixhawk 제어기는 Remote Controller로부터 무선으로 신호를 받아 Motor Controller로 제어 신호를 전달한다. Motor Controller는 명령 신호에 따라 모터 RPM을 제어하며, Encoder로부터 RPM값을 Feedback 받아서 PID제어를 수행하여 모터가 명령 신호에 맞는 일정한 RPM을 유

지할 수 있도록 제어한다. 또한 Pixhawk 제어기에는 GPS와 IMU가 연결되어 구동 모듈의 위치와 자세를 센싱할 수 있도록 되어 있다. 제어부와 구동부는 전원을 각각 구성하여 안정적인 전원 공급이 가능하도록 하였다.

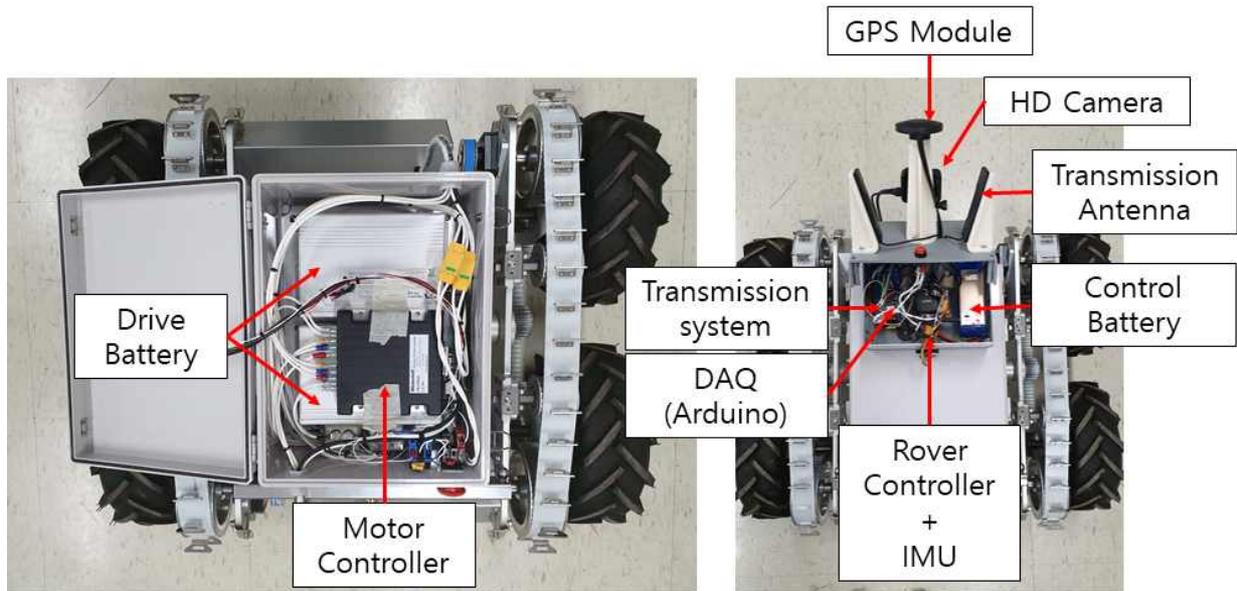


그림 35 제어부 구성

Remote Controller는 Pixhawk와 연동되어 무선 조정과 비디오 영상 디스플레이를 동시에 지원하는 Herelink 조종기를 사용하였다. 이 조종기를 이용하여 구동 모듈의 전후좌우 이동을 조정할 수 있으며, 구동 모듈 전면에 부착된 카메라를 조종기에서 1인칭 시점으로 확인하면서 조종하는 것이 가능하다.



그림 36 Herelink 조종기

5. 제작

설상구동모듈은 Wheel과 Track에 의한 하중 분포와 견인력 등을 측정하는 것을 염두에 두고 제작하였다. Wheel은 험지주행용 Tire를 사용하였으며, Track은 우레탄 계열의 타이밍 벨트를 활용하였다. 타이밍 벨트의 상부에는 눈을 밀어내어 추진력을 발생시킬 수 있도록 그라우저(Grouser)를 설치하였다. 모터와 엔코더부에는 눈과 접촉되지 않도록 알루미늄 재질의 커버를 제작하여 씌웠으며 제어부와 배터리는 간단한 방수가 가능한 제어 박스 안에 설치하였다.

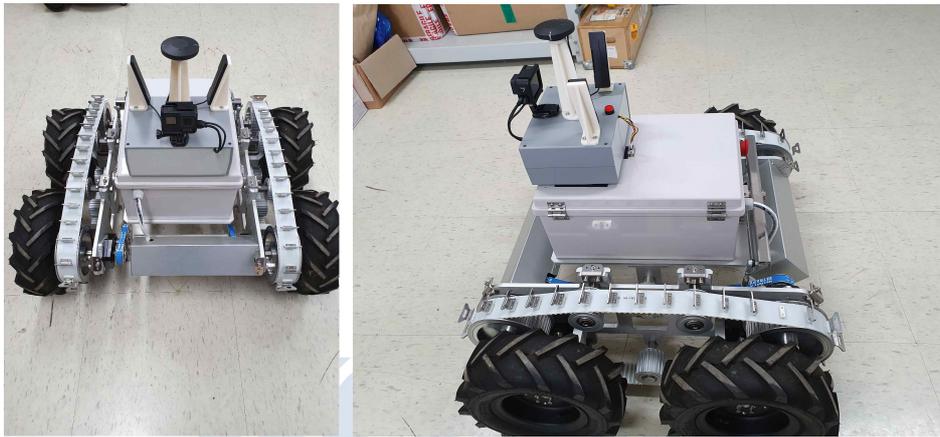


그림 37 제작 완료된 설상 구동 모듈

6. 구동 시험

구동 모듈의 모터 응답성을 높이기 위하여 PID 게인값 튜닝을 실시하였다. 그 결과 아래 그래프와 같이 적절한 가감속이 있는 사다리꼴 형태의 명령은 잘 추정하는 것을 확인할 수 있었다.

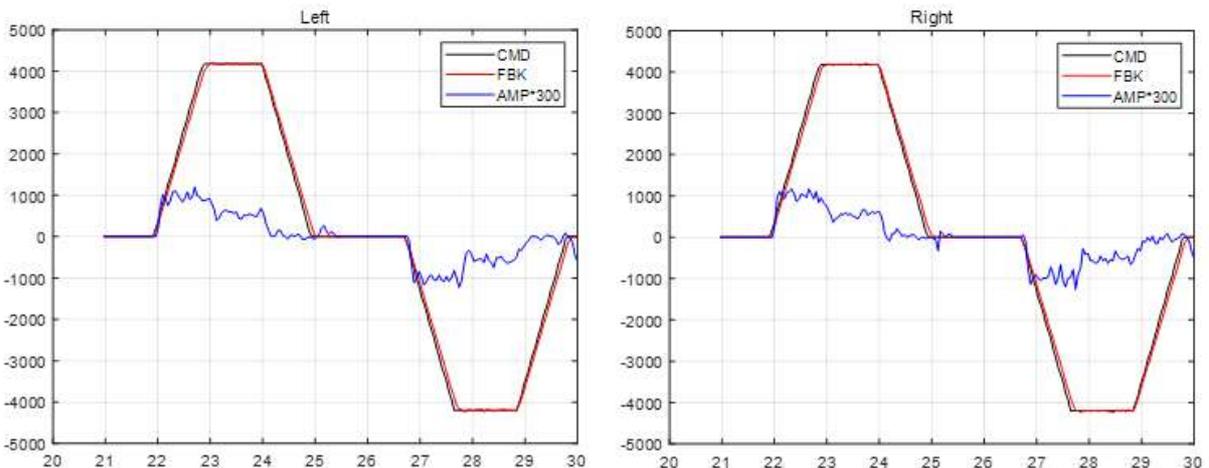


그림 38 전후진 동작시 좌우 모터의 RPM과 소모전류

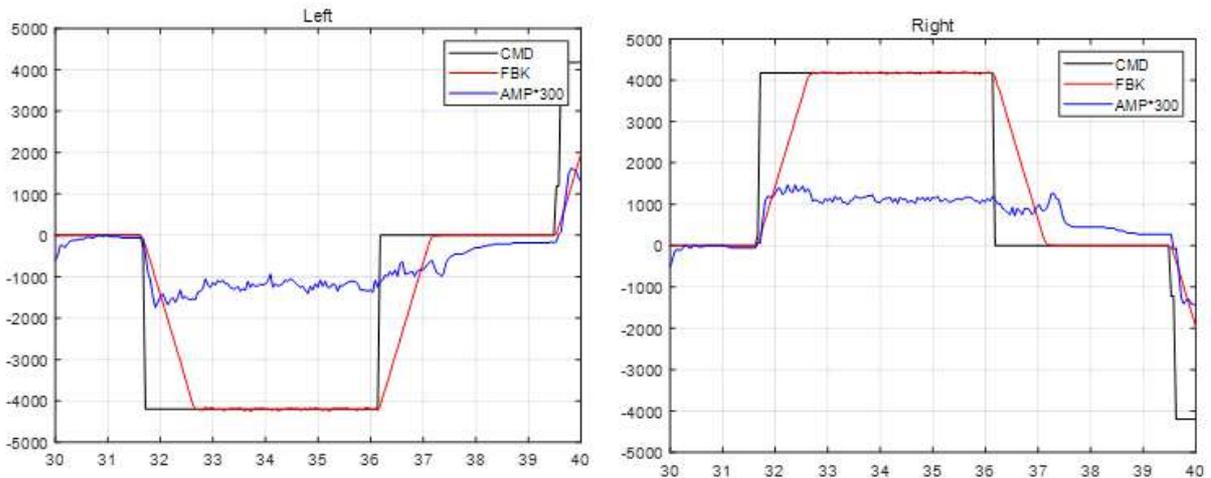


그림 39 제자리 회전 동작시 좌우 모터의 RPM과 소모전류

또한 좌우측 각각의 모터에서 평지에서 가속시 약 3A, 등속 구간은 약 1.5A, 제자리 회전시 약 4A의 전류가 소모되는 것을 확인할 수 있었다. 등속 구간에서 소모되는 전류에 모터의 토크 상수 48.1mNm/A와 감속비를 곱하고 타이어의 반지름을 나누면 한쪽 측면에 구름저항으로 작용하는 힘을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{소모전류} * \text{토크상수} * \text{감속비} / \text{휠 반지름} = 1.5\text{A} * 0.0481\text{Nm/A} * 43 / 0.165\text{m} = 19.15\text{N}$$

좌우측에 각각 19.15N이므로 주행시 약 38.3N이 구름저항으로 작용하는 것을 알 수 있다. 이는 일반적인 휠 구동 차량에 비해서는 큰 값으로 본 모듈은 휠과 트랙을 함께 구동하기 때문에 구동 마찰에 의한 저항이 다소 크게 나온 것으로 예측할 수 있다.

7. 영상 전송 시험

조종기로 사용하는 Herelink 조종기는 S.bus 신호를 송수신하여 조종과 영상 수신을 동시에 하는 것이 가능하다. 실제 남극에서 사용할 경우 사용 가능한 범위를 알아보기 위하여 거리에 따른 영상 송수신 테스트를 실시하였다. 제품 사양에는 간섭이 없는 지상에서 공중까지는 최대 20km까지 통신이 가능한 것으로 표시 되어있지만 주변 환경과 안테나 설치 방법 등에 따라 범위가 변할 수 있기 때문에 다양한 안정적으로 통신 가능한 범위를 확인하였다.

표 12 Herelink Controller 사양

Herelink Controller	
SPECIFICATION	
Appearance & Interface	
Dimensions	217×106.5×31 mm (not included antennas and analog sticks)
Material	Plastic
Video	5.46 inches, 1080P, 16 million colors, LCD touchscreen
Audio	build-in Speaker×1 build-in mic×2
Remote Control	Rocker×2/wheel×1/bottom key×6/with back light top key×1 (right)
Modem	BT/ WiFi / GPS 2.4G transmission ground system
Indicate Light	Top tri-color light×2 (left, right)
Interface	MicroUSB×1 TFlash×1 (Supports maximum expansion capability up to 64GB)
Antenna	Directional antenna (4.5dBi)×1 / sectional omni Antenna (2dBi)×1 sectional built-in WiFi antenna/built-in GPS antenna External GPS antenna interface
Battery	Built-in 4950 mAh lipo battery
Charger	Support Micro USB 2A charge
Features	
Processor	SoC - pinecone S1 AP: 4 x big cores, Cortex A53@2.2GHz 4 x small cores, Cortex A53@1.4GHz GPU: 4 cores, Mali-T860
Storage	SDR: A7 + DSP LPDDR3: 2GB eMMC: 4GB
Transmission Range	FCC 20km CE / SRRC 12km
Latency	Minimum 110ms (from input source to ground control screen display)
Video Resolution	720p@30fps 1080p@30/60fps
Operating Frequency	2.4GHz ISM
Receiver Sensitivity	-99dBm@20MHz BW
Interference Recovery	< 1s
Power Consumption	Average below 4W *Only when Transmission system working, medium brightness, WiFi closed, GPS closed

테스트는 아래 그림과 같이 인천 월미도를 중심으로 거리를 늘려가면서 통신 상태를 체크하였다.



그림 40 Herelink 통신 테스트 계획

테스트 결과 제1지점(2.5m)에서는 연결속도 200~1100kbps를 유지하며 안정적으로 영상을 송신하는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 제2지점(5.0km)에서는 통신 연결이 잘 되지 않는 것을 확인하여 제1지점에서 점차 거리를 늘려가면서 테스트를 진행하였다. 최종적으로는 약 2.8km 거리까지 영상 전송이 가능하고 연결 속도도 500~1500kbps를 유지하는 것을 확인하였다. 본 테스트를 통하여 지향성 안테나의 방향성 설정과 송수신기 간의 높이가 통신에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 다른 추가 자료들을 통하여 카메라의 고도가 컨트롤러 보다 높게 설정되어야 원활하게 통신할 수 있으며 따라서 안테나 간의 최소 높이를 확보해야 하는 것을 알 수 있었다. 남극에서 본 조종기를 제대로 활용하기 위해서는 최소 1000kbps의 속도를 확보해야 하며 차체 높이가 높지 않은 소형 로봇의 경우 2km 이내에서 운용하는 것이 안전할 것으로 예상할 수 있다.



제 6 장 연구개발목표 달성도

연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위	목표달성도	비고
○ 로봇기술 활용 계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> - 소형 육상 로봇을 활용한 연구 주제를 개발하고 활용 시나리오 제시 - 시나리오 구현을 위한 기술 전략 및 로드맵 수립 	100 %	
○ 극지 연구용 임무형 모듈 샘플 제작	<ul style="list-style-type: none"> - 시나리오 구현에 필요한 기술들을 정리하고 일부 기술을 검증할 수 있는 샘플 제작 - 레이더 견인 장치를 제작하여 이동 로봇과 임무 모듈의 연결을 테스트 - 소형 로봇 플랫폼을 제작하여 영상 전송 및 조종 편의 장치 테스트 - 설상 구동 모듈에 대한 아이디어를 제안하고 검증하기 위한 샘플을 제작하고 테스트 	95%	<ul style="list-style-type: none"> - 제작된 샘플의 실 환경 테스트가 충분히 이루어지지 못하였음

제 7 장 연구개발의 활용 계획 및 향후 계획

본 기획 과제에서는 극지 연구에서 소형 육상 로봇을 활용할 수 있는 적용처를 발굴하고 활용 가능한 로봇 제작에 필요한 기술들을 도출하였다. 도출된 기술들 중에서 과제 범위 내에서 검증이 가능한 기술들은 샘플을 제작하여 테스트를 실시하였다. 본 과제를 통하여 도출된 시나리오와 샘플들은 다음과 같이 활용할 계획이다.

1. 육상 이동 로봇의 고도화

샘플 제작을 통하여 제작한 설상 구동 모듈은 휠과 트랙을 이용하여 설상을 구동하는 로봇의 기초 실험 장비로 활용할 계획이다. 또한 편의성 향상을 위한 영상 전송장치와 조정 장치는 소형 로봇뿐만 아니라 중대형 육상 로봇에도 활용이 가능하다.

- 휠, 트랙 최적화 개발
- 영상 전송 장치 추가
- 조작 편의성 향상
- 자율 주행 기능 향상(영상처리, 경로계획, 장애물 회피, 상황별 대처 등)

2. 신규 소형 모바일 로봇 플랫폼 개발

- 소형 로봇 활용 시나리오에서 도출된 소형 모바일 로봇의 개발

3. 소형 로봇 플랫폼 활용처 발굴

- 샘플 제작된 소형 로봇 플랫폼들을 활용하여 극지 연구 현장에서의 신규 활용처 발굴

제 8 장 참고문헌

Bekker, M. G. Theory of land locomotion—the mechanics of vehicle mobility, University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan, 1959.

DING Liang, GAO Hai-bo, DENG Zong-quan, TAI Jian-guo., Wheel slip-sinkage and its prediction model of lunar rover. J. Cent. South Univ. Technol. (2010) 17: 129-135

Eric Trautmann, Laura Ray, Jim Lever., Development of an Autonomous Robot for Ground Penetrating Radar Surveys of Polar Ice. The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, October 11-15, 2009 St. Louis, USA, pp.1685-1690

James H. Lever, Daniel Denton, Gary E. Phetteplace, Sumintra D. Wood, Sally A. Shoop., Mobility of a lightweight traced robot over deep snow. Journal of Terramechanics 43 (2006) 527-551

J.H. Lever, A.J. Delaney, L.E Ray, E. Trautmann, L.A. Barna and A.M Burzynski., Autonomous GPR Surveys using the Polar Rover Yeti. Journal of Field Robotics 30(2), 194-215(2013)

J.H. Lever, L.R. Ray, A. Streeter and A. Price., Solar power for an Antarctic rover. Hydrological Processes 20, 629-644 (2006)

J.H. Lever, S.A. Shoop, R.I. Bernhard., Design of lightweight robots for over-snow mobility. Journal of Terramechanics 46 (2009) 67-74

Jianjun Du, Gang Liu, Janjun Zhu and Dun Liu., Mechanical Analysis and Experiment of Wheel-soil Interaction of Lunar Rover. Advanced Materials Research Vols 317-319 (2011) pp.782-788

Jonah H. Lee, Daisy Huang., Vehicle-snow interaction: Testing, modeling and validation for combined longitudinal and lateral slip. Journal of Terramechanics 55 (2014) 1-16

Junlong Guo, Liang Ding, Haibo Gao, Tanyou Guo, Guangjun Liu, Hwei Peng., An Apparatus to Measure Wheel-Soil Interactions on Sandy Terrains. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 23, No.1, February 2018, pp.352-363

Kazuya Yoshida and Hiroshi Hamano., Motion Dynamics of a Rover With Slip-Based Traction Model. Proceeding of the 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation Washington DC, 3155-3160, May 2002

Laura E. Ray, James H. Lever, Alexander D. Streeter and Alexander D. Price., Design and Power Management of a Solar-Powered “Cool Robot” for Polar Instrument Networks.

Journal of Field Robotics 24(7), 581-599(2007)

Laura R. Ray, Devin C. Brande, James H. Lever., Estimation of net traction for differential-steered wheeled robots. Journal of Terramechanics 46 (2009) 75-87

Le Maho, Y., Whittington, J., Hanuise, N. et al. Rovers minimize human disturbance in research on wild animals. Nat Methods 11, 1242 - 1244 (2014).
<https://doi.org/10.1038/nmeth.3173>

Martin Schneebeli, Christine Pielmeier, Jerome B. Johnson., Measuring snow microstructure and hardness using a high resolution penetrometer. Cold Regions Science and Technology 30(1999) 101-114

Peter Visscher, Brad Jones, Peter Radziszewski., Developing Planetary Rover Traction Systems. 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, 4-7 January 2011, Orlando, Florida, pp.1-22

S.A. Shoop, P.W. Richmond, J. Lacombe., Overview of cold regions mobility modeling at CRREL. Journal of Terramechanics 43 (2006) 1-26

S.Shoop, B. Young, R. Alger and J. Davis., Effect of Test Method on Winter Traction Measurements. Journal of Terramechanics, Vol. 31, No. 3, pp.153-161, 1994

Yang Tang, Yi Sun, Shugen Ma., Drawbar pull of a wheel with an actively actuated lug on sandy terrain. Journal of Terramechanics 56 (2014) 17-24

극지연구소

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.