

가변구동 정찰로봇 시스템 설계

Design of the Patrol Robot with Variable Weels

황선명*, 조자연**

Sun-Myung Hwang*, Ja-Yun Jo**

요 약

본 논문에서는, 국방 로봇에 있어 핵심적으로 기술 개발이 요구되는 감시 정찰 분야의 무기 체계 확보를 위한 새로운 구동 메커니즘을 적용한 휴대용 정찰 로봇 개발 방법을 제시하였다. 본 논문은 차륜형 바퀴의 장점과 날개형 바퀴의 장점을 모두 수용하여, 바퀴의 형상이 가변되는 가변형 정찰 로봇이라는 새로운 메커니즘의 제시이다. 특히, 본 논문에서 중점적으로 다루고 있는 순응형 가변구동 정찰로봇은, 바퀴의 형상이 노면의 상태에 따라 평지에서는 회전체가 안쪽으로 모여 차륜형의 원형을 이루어 기존의 구동 메커니즘에 비하여 조용하고 빠른 이동 능력을 얻을 수 있으며, 험지에서는 별도 구동자의 작용 없이 단순한 구조적 특성으로 회전체가 펼쳐지게 되어 날개 형태로 변형됨으로써 험지 극복능력이 뛰어난 특징이 있다.

Abstract

The patrol robot is a typical extreme robot for the military use. It helps soldiers by detecting and informing a potential risk instead, and warning earlier. Also, these kinds of extreme robots need good ability to conquest rough road. In this paper, we studied new mechanism through which we can get high speed on the flat road with round-shape wheels, and simultaneously can get good ability to overcome rough road with blade-shape wheels. The shape of the wheels is being self-adaptively changed automatically according to the condition of the road without using additional actuator.

Key words : patrol robot, round-shape, blade-shape, self-adaptive

I. 서 론

로봇은 다양한 분야에서 사람들을 대신하여 보다 편리한 삶을 추구할 수 있도록 도와준다. 하지만, 로봇이 실 생활에 안정적으로 운영되기 위해서는 다양한 요소 기술들이 높은 수준까지 개발 되어야 하는데, 아직까지 환경 인식이나, 자율 주행 기술, 인공 지능 기술 등이 부족하여 하나의 독립된 개체로서 로봇이 작동하기에는 많은 어려움이 있다.

2000년 초반에 정부의 많은 지원과 기업들의 투자가 개인용 서비스 로봇에 집중적으로 이루어졌지만, 개인용 서비스 로봇의 경우 스스로 행동하는 자율성이 서비스 임무 수행에 있어 매우 중요한 요소이기 때문에 이에 필요한 기술적 요소가 부족한 상황에서 사업화가 큰 성과를 이루지 못하였다. 이에 정부와 기업에서 새롭게 집중적으로 투자하는 로봇 사업으로 극한 작업용 로봇 분야가 두각을 나타내고 있는데, 그

* 대전대학교 컴퓨터공학과 교수

** (주) 아이엠 테크놀로지 대표이사

· 투고일자 : 2010년 8월 6일

· 심사(수정)일자 : 2010년 8월 9일 (수정일자 : 2010년 10월 7일)

· 게재일자 : 2010년 10월 30일

이유는 극한 작업용 로봇은 로봇을 운영함에 있어 사람이 포함된 유인 시스템과 무인 로봇 시스템이 결합된 구조이기 에 보다 안정적으로 운영될 수 있고 현실성이 높기 때문이다. 그 중에 특히 국방 로봇은 최근에 미국을 비롯한 여러 국가에서 높은 관심을 보이고 있다. 이는 전투에서 인명 보호 및 경제적인 전투 수행, 그리고 승리를 위한 빠른 정보 획득을 위해서 로봇의 필요성이 커지고 있기 때문이다. [1,2].

살아 있는 모든 생물체는 본능적으로 자신이 위험에 노출되는 것을 피하는 방향으로 반응하고 행동한다. 지각 능력을 가진 인간은 더더욱 위험으로부터 멀리 피하려 노력하며, 부득이한 상황의 경우에는 무엇인가 자신을 대신할 도구나 다른 대체물을 찾게 된다. 인간의 편안함을 추구하는 속성을 충족시키기 위하여 끊임없이 연구 발전되고 있는 것이 로봇이라면 그 중 정찰로봇은 이러한 인간의 위험으로부터 멀리하고자 하는 안전에 대한 욕구를 충족시켜주기 위한 것이라 할 수 있다. 정찰로봇과 같은 극한 작업용 로봇은 임무의 특성상 기본적으로 다양한 형태의 협지를 극복해야 한다. 이러한 협지극복을 위하여 여러 가지 구동방안이 연구 되고 있다. 그리고 다양한 형태의 협지를 극복해야 하는 극한 작업용 로봇은 기본적으로 원격 관리자가 로봇으로부터 전송되는 영상, 센서 데이터 등을 통하여 원격지에 위치한 로봇의 상태와 작업 활동을 감시하고 로봇을 제어하는 방법으로 임무를 수행한다. 극한 작업용 로봇에는 원자력 로봇, 소방 방재 로봇, 우주 로봇 및 국방 로봇 등이 있으며, 이러한 로봇은 대량 생산이 요구되지 않으나 로봇의 활용에 따른 파급 효과가 크고 인명을 대신하는 로봇이기 때문에 그 가치가 매우 높다. 특히, 국방과 관련한 로봇의 경우 국가 보안, 첨단 기술 유출 문제로 인하여 해외 기술의 이전이 용이하지 않기 때문에 국가적인 차원에서 연구 개발이 필요하다.[3]

본 논문에서는 소방 방재 또는 국방용 로봇과 같은 극한 작업용 로봇이 기본적으로 갖추어야 할 다양한 형태의 협지 극복 능력을 위한 새로운 형태의 가변구동바퀴에 대하여 연구하고자 한다.

대부분의 극한 작업용 로봇은 위험 작업 지역인 비

평탄 지역에 쉽게 적용할 수 있는 캐터필러(caterpillar)형 구동 방식을 많이 채택하고 있다. 하지만 이러한 캐터필러 방식은 휴대용 정찰 로봇에 적용할 때 구조가 복잡하여 무게가 무거워지고, 협지 극복은 용이하지만 평지에서 신속하고 은밀하게 구동하기에는 어렵다는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 캐터필러 방식의 한계를 극복하여 평지에서는 신속하고 조용하게 구동할 수 있는 차륜형 방식으로 구동하고, 협로 구동에 있어서는 날개형 구조로 다양한 환경을 극복할 수 있는 구동 메커니즘을 연구하였다. 특히, 본 논문에서 개발된 정찰로봇은 가변 메커니즘에 있어 추가적인 액추에이터가 필요 없이 구조적으로 노면의 상태에 따라 바퀴가 가변되는(순응형) 방법을 이용하여 기존 방식의 정찰로봇보다 경량화, 소형화 된 로봇을 제작할 수 있는 특징을 가지고 있다.

연구의 단계는 먼저 날개형 바퀴를 고정형과 수동 체결식으로 제작하여 그 구동능력을 검증한 후, 기어를 이용한 순응형 가변구동바퀴를 설계하고 제작하여 이를 실 환경의 협지에서 구동시험을 함으로써 그 효능을 분석하고자 한다

II. 관련 연구

2-1 지능형 로봇의 개요

지능형 로봇을 정의하는데 있어 매우 다양한 의견이 있고, 기준이 존재한다. 본래 지능형 로봇은 외부의 환경을 인식하고, 이를 바탕으로 스스로 판단한 후에 다양한 운동을 하는 것으로 정의하고 있지만, 최근에는 로봇의 범주를 상당히 포괄적으로 생각하는 경향이 높다. 로봇은 스스로 판단하는 기능을 꼭 포함하고 있어야 한다고 하면 사람이 원격으로 조종하는 국방 로봇은 로봇이라기보다는 하나의 국방 장치로 밖에 생각할 수 없게 된다. 하지만 현재 로봇이라는 단어는 사회 전반적으로 매우 포괄적으로 사용이 되고

있는데, 이는 기존에 정해진 공장 환경에서 반복적인 작업을 하던 공장 자동화 로봇 뿐 만이 아닌, 사람들이 살고 있는 집, 사무실, 병원 등의 공간이나 사람이 접근하기 어려운 화재 지역, 위험 지역, 바다 속과 같은 다양한 공간에서 사람들에게 도움이 되는 역할을 로봇에게 기대하고 있기 때문이다. 즉, 현 시점에서 지능형 로봇이라는 말은 인공 지능을 가진 장치보다는 사람을 대신하는 기능을 가진 첨단 장치로 포괄적으로 사용되고 있는 것이다.

표1. 지능형 로봇의 분류

Table1. Group of Intelligent Robot

지능형 로봇	서비스 로봇	개인용 로봇	애완용 로봇
			청소 로봇
			경비 로봇
			교사 로봇 등
		전문 서비스 로봇	의료 로봇
			안내용 로봇 재난 구조 로봇
	산업 용 로봇	제조업 용 로봇	국방 로봇 등
			용접 로봇
			핸들링 로봇
		비제조 업용 로봇	도장 로봇 등
			농업, 어업
			건설용 로봇 등

[표 1]에서 지능형 로봇의 종류를 분류하여 나타내었다. 산업용 로봇에는 제조업용 로봇과 비제조업용 로봇이 있는데, 제조업용 로봇은 각 산업의 제조 현장에서 제품 생산부터 출하까지의 공정 내 작업을 수행하기 위한 로봇으로 현재 로봇의 안정성 확보가 이루어진 분야이다. 그리고 비제조업용 로봇에 포함된 농업, 어업, 건설용 로봇은 최근에 많은 관심을 받고 있는 로봇 사업으로 다양한 분야에서 생산성을 높이는 데 도움을 주는 역할로 기대를 받고 있지만, 로봇이 활용되는 작업 공간이 제조업과 달리 다양한 변수를 포함하는 환경이기 때문에 로봇의 안정성을 확보하는

데는 많은 시간이 요구된다.

서비스 로봇에는 개인용 서비스 로봇과 전문 서비스 로봇이 있는데, 개인용 서비스 로봇은 인간의 생활 범주에서 제반 서비스를 제공하면서 인간과 함께 생활하는 대인 지원 로봇으로서 다양한 로봇들이 개발되고 있다. 전문 서비스 로봇은 불특정 다수를 위한 서비스를 제공하고 전문화된 작업을 수행하기 위한 로봇으로서 국방 및 소방 방재, 의료 서비스 로봇 등이 있다.

2-2 지능형 로봇의 응용분야

사람과 비슷한 형태의 휴머노이드는 로봇 개발의 궁극적인 목표로 사람과 비슷한 동작을 하고 사고를 하는 것을 추구한다. 일본 ‘혼다’사의 “ASIMO”가 대표적인 로봇으로 동작에 있어서는 뛰어다니며, 계단을 오르는 수준까지 이르렀으며, 사람의 음성을 인식하고 간단한 대화를 할 수 있는 지능을 가지고 있다. 국내에서도 “HUBO”가 개발되어 휴머노이드의 가능성을 보여주고 있지만, 휴머노이드의 개발은 사업화보다는 첨단 기술의 로봇 적용이라는 연구 개발 위주로 이루어지고 있어 상용화와는 거리가 멀다.

가장 많이 사용 보급되고 있는 청소로봇 다음으로, 가정용 서비스 로봇은 가정에서 뉴스 및 날씨, 요리 등 정보 서비스를 제공하며 집안의 방범 기능, 로봇을 이용한 자녀 학습 및 오락 기능 등 다양한 서비스를 제공하도록 개발되고 있다. 또한 대부분의 가정용 서비스 로봇은 서비스를 제공하기 위한 방법으로 인터넷이나 핸드폰 등 네트워크와 연동 되어 보다 향상된 서비스를 제공하고 있다.

전문 서비스 로봇 중 가장 먼저 주목을 받고 사업화가 진행되고 있는 분야는 바로 의료용 로봇으로서, 복잡한 수술에 로봇을 사용함으로써 수술로 인한 신체 손상을 최소화하고, 수술 시간을 단축하며, 환자의 회복을 앞당기는 효과를 얻고 있다.

다음으로, 극한 작업용 로봇은 기본적으로 원격 관리자가 로봇으로부터 전송되는 영상, 센서 데이터를 통하여 원격지에 위치한 로봇의 상태와 작업 활동

을 감시하고 로봇을 제어하는 방법으로 임무를 수행한다. 극한 작업용 로봇에는 원자력 로봇, 소방 방재 로봇, 우주 로봇 및 국방 로봇 등이 있으며, 이러한 로봇은 대량 생산이 요구되지 않으나 로봇의 활용에 따른 파급 효과가 크고 인명을 대신하는 로봇이기 때문에 그 가치가 매우 높다. 특히, 국방과 관련한 로봇의 경우 국가 보안, 첨단 기술 유출 문제로 인하여 해외 기술의 이전이 용이하지 않기 때문에 국가적인 차원에서 연구 개발이 필요하다[6,7].

국방 로봇은 최근에 미국을 비롯한 여러 국가에서 높은 관심을 보이고 있으며, 이는 전투에서 인명 보호 및 경제적인 전투 수행, 그리고 승리를 위한 빠른 정보 획득을 위하여 로봇의 필요성이 커지고 있기 때문이다[8,9].

이러한 관점에서 본 논문은 최첨단 과학 기술로 무장된 세계 최강의 미래 국군을 육성하기 위하여 국방 로봇 개발의 세계적인 현황과 종류, 그리고 국방 로봇의 상용화를 위한 새로운 발전 방향을 제시하고자 한다.

2-3 국방로봇 개발의 새로운 방향

미국은 국방 고등 방위연구소(DARPA)와 육·해·공군이 막대한 자금을 투자하여 국방 로봇을 개발하고 있다. 하지만 DARPA에서 지원하는 많은 연구들이 실제로 상용화가 되기까지는 10~15년이 필요하다는 전망이 우세하다. 그럼에도 불구하고 DARPA는 여러 학교와 기업이 참여하는 RiSE(Robot in Scansorial Environment) 프로젝트를 지원하여 다양한 환경을 극복하는 로봇을 개발하고 있다. RiSE 프로젝트는 극한 환경을 극복하는 로봇 개발로 스탠포드 대학, 펜실베이니아 대학, 카네기 멜론 대학, 캘리포니아 대학, 버클리 공대, 루이스앤클릭 대학 및 Boston Dynamics사에 의한 공동 연구이며[24], 험로를 극복하기 위하여 동물의 구동성을 모방하여 로봇에 적용시키는 연구로 개발된 플랫폼으로는 아래 그림 1과 같이 6족을 가진 다족 로봇이 있다. 6족 로봇은 각각의 다리의 뒷부분에 부착된 발톱이나 점착성 물질을 이용하여 급경사

지형을 오를 수 있도록 하였다. 그리고 Sprawlette 로봇은 이동 동력학, 다리 설계, 다리 보정에 대한 각종 아이디어를 테스트하기 위해 설계된 손바닥 크기의 6족을 가진 로봇이다. 산악과 같은 험준한 환경에서도 쉽게 이동할 수 있도록 모듈 형태의 6족을 갖고 있고 아날로그 콤팩트, 2개의 빛 센서, 전방의 비디오 캡처를 위해 Beacon으로 사용되는 LED를 장착하고 있다 [11,12].



그림1. RiSE 프로젝트의 로봇 Rhex(좌), Sprawlette(우)

Fig1. Robots of Rise Project

RiSE 프로젝트에서 개발된 로봇 중에 우리가 주목해야 할 로봇으로 Rhex라는 로봇이 존재한다. 이 로봇은 견마 로봇으로 유명한 Boston Dynamics사에서 개발한 로봇으로 아래의 그림 2에서처럼 6족을 가진 다족 로봇이다. 하지만 다리 형태라고 해서 걸어가는 형태가 아닌 발톱이나 점착성 물질이 부착된 6개의 다리를 바퀴처럼 회전하는 매우 단순한 구동 메커니즘이다. 그럼에도 불구하고 계단이나 급경사, 산악 지형을 신속하고 손쉽게 등반하고, 심지어 수중에서도 유행할 수 있는 우수한 성능을 가지고 있다. 또한 이처럼 단순한 구조이기 때문에 로봇의 관리 및 운용이 용이하며, 휴대용 정찰 로봇으로 개발하기 위한 소형화 경량화도 가능한 장점이 존재한다.

물론 Rhex도 상용화를 위해서 더 많은 보완 연구가 필요하지만, 이 로봇을 통해서 우리가 배워야 할 부분은 국방 로봇이 실제 로봇을 사용하는 실무자들에게 환영받기 위해서는 먼저 기본적인 성능 확보가 필요하다는 것이다. 아무리 첨단 장비를 탑재하고 우수한

기능을 갖춘 로봇이라고 하더라도 계단 등반에서 시간을 지체하고, 산악 지역에서는 앞으로 나가지 못한다면 현장에서 외면을 당할 것이다. 다음으로 생각해야 하는 점은 현재 국방 로봇을 비롯한 지능형 로봇이 매우 개발자 중심으로 제작 되고 있는데, 실제로는 현장에서 운용하는 사용자 중심으로 개발이 되어야 한다는 것이다. 사용자가 보다 용이하게 활용할 수 있어야 하고 운용의 안정성을 충족해야 하며, 문제가 발생했을 때 손쉬운 정비가 가능해야 만이 현장에서 실제로 임무를 수행하는 로봇으로 사용 될 수 있을 것이다 [9,10].



그림2. RiSE 프로젝트의 Rhex Robot
Fig2. Rhex Robot of Rise Project

본 논문에서는 이와 같이 구조는 복잡하지 않지만, 실제 운영에 있어서 구동 능력과 활용 가치가 확보된 정찰 로봇과 이를 운영하는 로봇 원격 제어 및 관리 시스템을 설계하고 구현 하였다.

Ⅲ. 가변구동 메커니즘

3-1 가변구동바퀴의 개요

앞에서 휴대용 정찰 로봇 개발에 있어 휴대성과 환

경 극복 능력을 확보하는 것이 매우 중요하다고 언급 하였다. 그림 3에서 나타난 바와 같이 정찰 로봇은 다양한 환경에서 임무를 수행해야 한다. 대부분의 로봇들이 평지 구동은 문제가 없지만, 계단이나 산악 지역을 구동하는 데에 어려움이 존재하기 때문에 무한궤도 방식으로 많이 개발 되었다. 하지만 무한궤도 방식은 앞에서 제시한 복잡한 제조의 단점과 함께 은밀하고 신속하게 임무를 수행해야 하는 정찰 로봇의 기본 조건을 충족하기에 여전히 부족한 점이 있는 구조이다.



그림3. 정찰 로봇의 임무 수행 환경
Fig3. Mission Environment of Patrol Robot

그리고 앞에서 언급한 Rhex의 경우에는 차륜형 방식의 정찰 로봇에 비해 험지 극복 능력에 있어 우수한 결과를 보였으나, 일반 평지에서 운영하기에는 진동이나 소음에 대한 단점을 가지고 있다. 이에 본 논문에서는 평지 구동에서 가장 효과적인 차륜형 구조와 험로 구동 성능이 확인된 Rhex의 구조의 장점을 모두 포함하는 새로운 메커니즘을 제시한다.

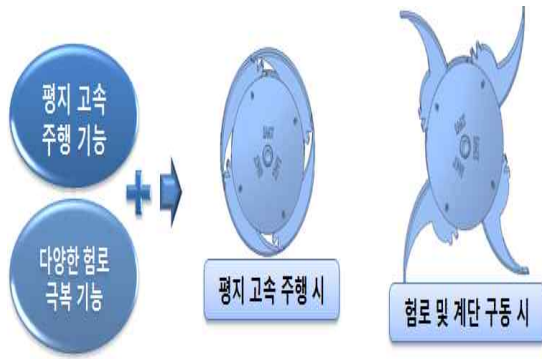


그림4. 평지와 험로 상황 모두 적용 가능한 가변구동바퀴
Fig4. Wheels under road condition

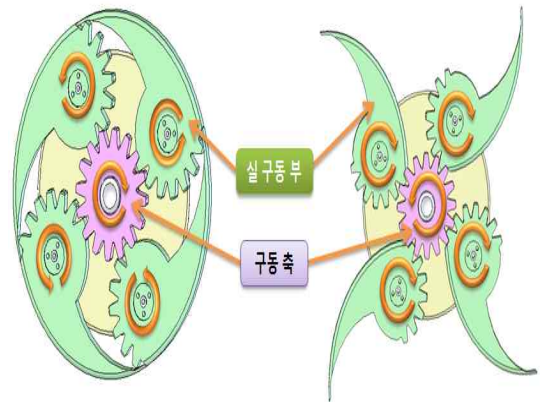


그림5. 액추에이터의 추가 없이 가변되는 메커니즘
Fig.5 Changeable mechanism without actuator

위의 그림 4에 나타난 새로운 가변 구동 메커니즘은 기존 정찰 로봇의 문제점을 해결하기 위한 방법으로, 평지와 험로를 구동함에 있어 바퀴의 형상이 가변되는 메커니즘을 적용하여 환경에 따라 구동 방식을 달리하는 특징을 가진다. 평지에서 구동될 때는 차륜형 바퀴 형태를 통해 은밀한 임무 수행이 가능하며, 정밀하고 신속한 기동 능력을 확보할 수 있다. 그리고 다양한 험로 지형에서는 바퀴가 펼쳐지는 형태로 계단이나 산악 지역, 나아가 수중에서도 구동이 가능한 로봇을 제작할 수 있다.

특히 본 메커니즘은 아래의 그림 5에서 나타난 바와 같이 바퀴를 가변함에 있어 추가적인 액추에이터를 사용하지 않고 단순하게 모터의 회전 방향에 따라 바퀴의 형상이 가변되는 구조를 가진다. 가변 구동에 있어 단순한 구조를 사용하면서도, 이를 통해 다양한 환경 극복 능력과 휴대성을 위한 소형화, 경량화를 동시에 추구할 수 있으며, 로봇 제작이 용이하기 때문에 제품 가격 역시 저렴하면서 사후 관리가 용이한 특징을 보여준다.

특히, 본 논문의 가변구동 메커니즘은 평지에서는 로봇의 무게에 의해 원형 형태를 유지하고 험로를 만나면 그 상황을 극복하기 위해 날개형으로 변형되는 것을 특징으로 하는 새로운 개념의 순응형 가변구동 메커니즘이다. 이러한 가변 구동형 정찰 로봇을 개발하기 위하여 먼저, 그 메커니즘을 해석하고 아울러 3D 모델링과 시뮬레이션을 통하여 해석에 대한 검증을 수행하였다.

3-2 험지 극복을 위한 가변구동바퀴 메커니즘

본 논문에서는 가변 구동 메커니즘의 설계에 앞서 아래의 두 가지에 대한 해석 과정을 수행하였는데, 첫 번째는 험지 극복 능력을 극대화할 수 있는 가변구동 바퀴의 구조를 확인하기 위한 험지 극복 능력에 대한 해석이다. 이는 바퀴를 어떠한 형태로 설계하였을 경우 안정적인 주행과 함께 최대의 극복 능력을 이끌어 낼 수 있는 가를 확인하기 위한 해석이다. 그리고 두 번째는 가변 구동 메커니즘이 어떠한 요소의 힘들에 의해 변형이 결정되는가를 해석하는 것이다. 이는 로봇의 하중과 노면의 상태에 따른 토크의 변화에 대한 해석으로서, 이러한 두 가지 해석은 모두 효율적인 가변형 정찰 로봇을 설계하기 위하여 사전에 먼저 확인하여야 할 요소들이다.

가변형 구동 메커니즘의 설계에 있어 우선적으로

고려되어야 하는 점으로 바퀴를 구성하고 있는 곡선형 조각을 몇 조각으로 구성할 것인가이다. 곡선형 조각은 로봇의 험로 극복 성능을 결정하고 로봇의 이동 안정성에 영향을 미치기 때문에 로봇의 설계 이전에 꼭 고려해야 하는 상황이다.

본 논문에서는 바퀴의 조각을 2 내지 4 조각으로 구성하여 로봇이 극복할 수 있는 최대 험로의 높이 L_0 와 로봇의 안정성을 확인할 수 있는 앞뒤 바퀴의 중심의 최대 높이 차 L_d 를 각각 계산하여 로봇이 안정적으로 운영되면서 보다 다양한 환경을 극복할 수 있는 최적화된 설계를 찾아보았다.

아래 그림 6에서 나타낸 바와 같이 로봇이 극복할 수 있는 높이 L_0 와 로봇의 안정적인 주행 능력을 나타내는 L_d 는 원형 커버의 크기 l_a 와 날개 조각의 길이 l_b 로 계산할 수 있다. 그림과 같이 2조각의 날개로 구성된 로봇은 바퀴가 최고로 도달할 수 있는 높이 $L_0=l_a+l_b+l_b$ 가 된다. 그리고 로봇의 안전적 구동을 확인하는 척도인 L_d 는 앞바퀴와 뒷바퀴의 최고 높이의 차로써 앞바퀴의 높이= $l_a/2+l_b$ 이고 뒷바퀴의 높이는 $l_a/2$ 이므로 $L_d=(l_a/2+l_b)-l_a/2=l_b$ 이다.

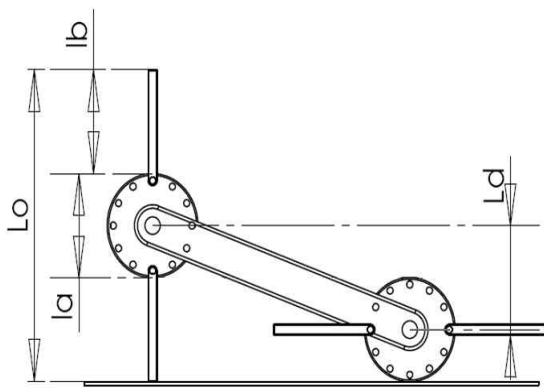


그림6. 2조각으로 구성된 바퀴
Fig6. 2 Pieces - wheel

다음으로 아래의 그림 7와 같이 3조각의 날개로 구성된 로봇은 그림에서 최대 극복 높이 L_0 와 안정 주행 능력 L_d 를 구할 수 있다. 두 날개로 구성된 이등변 삼각형의 높이 l_c 를 계산하면 $\sin 30^\circ=l_c/(l_b+l_a/2)$ 이므로,

$l_c=(l_b+l_a/2)/2$ 가 되며, 이에 따라 도달할 수 있는 최고점의 높이 $L_0=l_c+l_b+l_a/2=(l_b+l_a/2)/2+l_b+l_a/2$ 가 된다. 그리고 로봇의 안정적 구동 수치인 $L_d=l_a/2+l_b-l_c=l_a/2+l_b-(l_b+l_a/2)/2$ 가 된다.

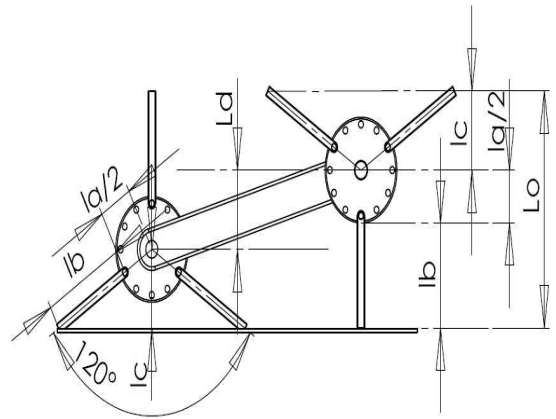


그림7. 3조각으로 구성된 바퀴
Fig7. 3 Pieces - wheel

마지막으로 4조각의 날개로 구성된 로봇의 바퀴가 최고점이 되는 지점 L_0 를 계산하기 위해서 먼저 $\sin 45^\circ=l_c/(l_b+l_a/2)$ 를 통해 $l_c=0.7(l_b+l_a/2)$ 를 구하였다. 그리고 $L_0=2*l_c$ 이므로 $L_0=1.414(l_b+l_a/2)$ 가 됨을 확인하였다. 또한 $L_d=(l_b+l_a/2)-l_c=(l_b+l_a/2)-0.7(l_b+l_a/2)$ 임을 확인하였다.

3-3 순응형 가변구동바퀴의 역학적 해석

본 논문에서 중점적으로 다루고 있는 순응형 가변구동바퀴의 특징은 노면의 상태에 따라, 아래 그림 8에서보는 바와 같이 평지에서는 회전체가 안쪽으로 모여 바퀴의 형상이 일반 자동차와 같은 휠(wheel) 형태로 변형됨으로써 원활한 험지 극복능력을 확보하게 된다. 여기서 바퀴의 형상이 바뀌는 원리는 단순히 톱니 기어의 회전 방향 뿐 아니라, 바퀴의 자중과 이에 대한 수직 상방의 항력, 자중을 이겨내고 바퀴가 펼쳐 지는데 필요한 토크, 그리고 바퀴가 계속하여 앞으로 나아가려는 관성 등의 힘이 복합적으로 작용 되고 이를 아래와 같이 해석함으로써 바퀴가 가변되는 상황

에 대하여 분석이 가능하다.

이러한 가변구동바퀴의 노면 순응 현상에 대한 물리적 해석은 다음과 같다.

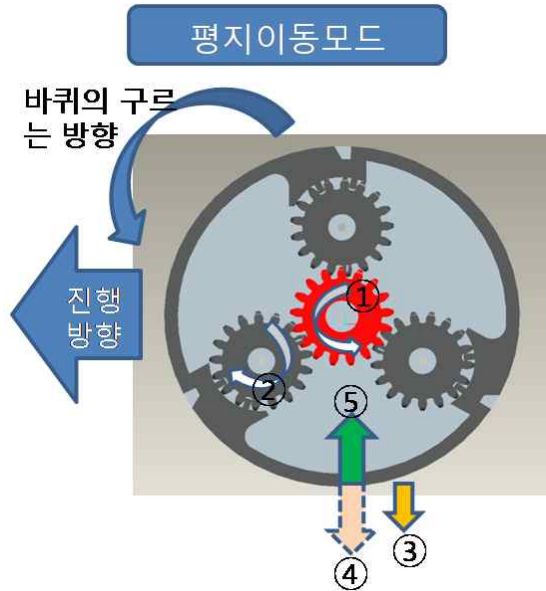


그림8. 평지 이동 모드
Fig8. Flat Road Mode

먼저, 평지에서는 위의 그림 8에 나타난 바와 같이 날개가 최대 닫힘 상태로서 주구동축 ①에 맞물려 있는 보조구동축 ②의 회전력에 의한 토크(torque)의 수직성분 ③이 바퀴의 자중(自重) ④의 노면에 대한 수직항력 ⑤ 보다 작은 상태가 유지됨으로써, 날개가 펼쳐지려는 힘 ③이 수직항력 ⑤에 의하여 억제 되어 원형의 강체를 유지할 수 있게 된다. 이로써 평지에서는 주 구동축의 회전력에 의한 빠르고 원활한 원형 운동을 유지할 수 있게 된다.

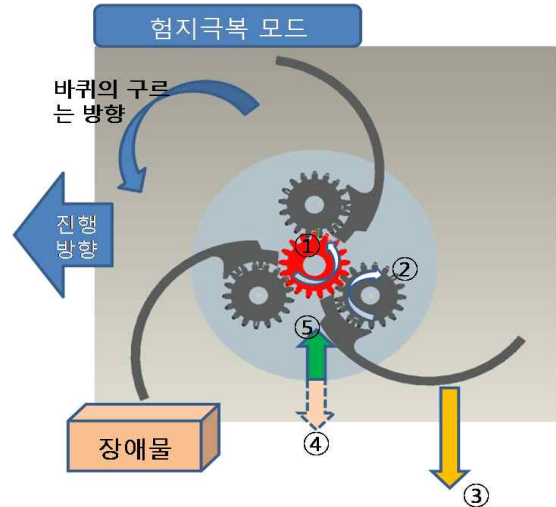


그림 9. 험지 극복 모드
Fig9. Rough Road mode

다음으로, 험지에서는 위의 그림 9에 나타난 바와 같이 바퀴가 장애물의 저항을 받아, 주구동축 ①에는 구동 모터로부터 좀 더 큰 회전력이 전달되게 되며, 이는 결과적으로 수직항력 ⑤보다 큰 토크의 수직성분 ③이 보조구동축 ②의 날개에 걸리게 되고, 이로써 날개가 펼쳐지게 되어 바퀴는 험지를 원활히 극복할 수 있게 된다. 물론, 다시 평지를 만나면 그 반대의 현상으로 바퀴는 다시 원형을 이루게 된다.

IV. 가변구동 정찰로봇 시스템의 설계 및 제작

로봇을 통해서 날개형 구동 정찰 로봇이 실제 필드에서 캐터필러 방식에 비해 우수한 험지 극복 능력이 있음을 확인하였다.

그리고 두 번째로 수동 체결식 가변 구동 정찰 로봇을 설계하고 제작하였다. 이는 평지와 험로에서 가변 구동 정찰 로봇의 우수성을 확인하고, 손쉽게 필드에서 운영될 수 있는 휴대용 정찰 로봇의 제작을 검증하였다.

4-1 순응형 가변구동 정찰로봇의 설계 및 제작

아래 그림 8와 같은 톱니형 메커니즘은 구동 모터에서 전달되는 모든 힘이 손실 없이 바퀴의 가변이나 구동력으로 전달되기 때문에 본 논문에서와 같은 가변 구동 바퀴의 설계에 있어 매우 적절한 방법이라 여겨진다. 아울러, 가변 구동 바퀴의 제작에 있어 본 연구에서 수행한 3D Modeling과 시뮬레이션 과정은 실제 로봇 제작에 앞서 소프트웨어적으로 가변 성능을 확인할 수 있어 여러 가지 문제점을 미리 확인할 수 있는 장점이 있다.

아래의 그림 10은 톱니형 가변 구동 바퀴의 설계 및 조립도를 나타내는 것으로 조립에 있어서도 크게 복잡하지 않기 때문에 실제 정찰 로봇에 적용하였을 경우, 저가의 정찰 로봇 제작이 가능하여 기존의 로봇에 비해 상용화의 가능성이 높다.

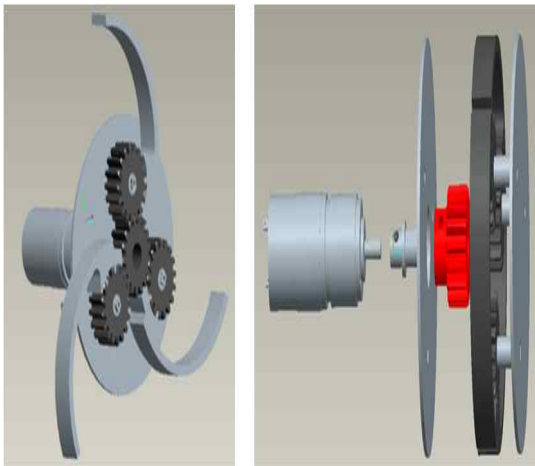


그림10. 가변 구동 바퀴의 내부 설계 및 조립도
Fig10. Design for Variable wheel

설계도를 바탕으로 실제 톱니형 가변구동바퀴를 제작하였으며, 이를 통하여 가변 구동 바퀴의 가변성을 입증하였다.

본 논문에서 제시하는 순응형 가변 구동 정찰 로봇을 확인하기 위하여 아래와 같이 4개의 가변 구동 바퀴로 구성된 테스트 용 가변 구동 정찰 로봇을 제작하였으며, 이 로봇을 통하여 순응형 가변 구동 바퀴의 이론을 검증할 수 있었다.

아래의 그림 11에서는 시험용 가변 구동 정찰 로봇

의 설계 메커니즘을 나타내었다.

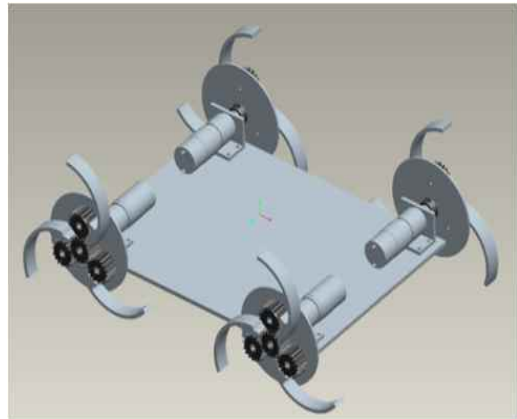


그림 11. 시험용 가변구동 정찰로봇
Fig11. Prototype of Patrol Robot with Variable wheel

4-2 로봇 제어 모듈

앞에서 가변 구동 메커니즘을 검증하기 위한 다양한 메커니즘의 설계와 제작을 나타내었다. 이 절에서는 이렇게 제작된 정찰 로봇의 내부 제어기와 시스템 구조를 나타낸다. 앞서 말한 바와 같이 정찰 로봇에 있어 가장 중요한 임무는 감시 정찰의 수행으로서 원격 모니터링 기능을 통하여 다양한 환경을 정찰한다. 이를 위하여, 구동 모터를 제어하고 기타 임무 장치를 제어할 수 있으며 상황에 따라 소형 로봇에도 적용될 수 있는 소형 로봇 제어 모듈이 요구된다. 본 논문에서는 이러한 임무 제어 장치를 하나의 제어기 통합 Box로 제작하여 보다 손쉽게 로봇을 제작하고 조립할 수 있도록 하였다. 아래의 그림 12에서 그 구성을 나타내었는데, Mobile 모터 제어 모듈은 DC Motor의 PWM 제어를 담당하는 모듈로서 RS232 통신을 지원하고, 저 용량(4A)과 고용량(20A)의 두 가지 용량으로 제작하여 로봇에 따라 차별 적용이 가능하다. 그리고 RF 조종기, 블루투스 무선 조종 등 다양한 원격 제어 기들과도 연결이 가능하다. 또한 임무 장치 제어 모듈은 감시 정찰 뿐만 아니라 로봇 팔, 카메라 등 여러 가

지 임무 장치들을 제어할 수 있는 제어 모듈로서 추후에 로봇의 기능을 확대하기 위해 필요한 모듈이다. 또한 경찰 로봇이 소규모 전투에서 운영 될 때에는 소형 로봇이 임무에 사용 되는데 이를 위하여 소형 로봇 제어 모듈도 함께 개발하였다.

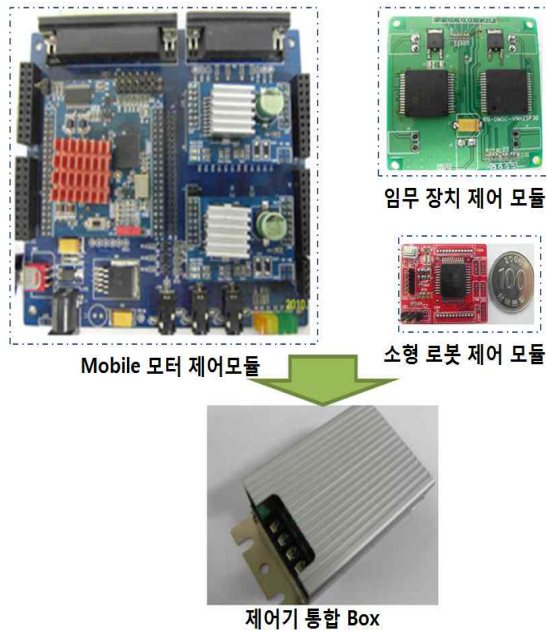


그림 12. 로봇 전용 제어기 모듈 및 통합 제어 Box
Fig12. Robot Control module and Box

최종적으로 경찰 로봇을 제작함에 있어서 보다 손쉽게 조립이 가능하고, 용이하게 수리가 가능하도록 제어기 모듈들을 하나의 Box에 통합하여 제작하였다. 이는 제어기들이 충격으로부터 보호 되고, 문제가 발생하였을 경우에 제어기 Box를 교체함으로써 손쉽게 수리가 가능한 장점이 있어 필드에서 운영 될 경우 매우 좋은 결과를 이끌어 낸다.

4-2-1 구동장치 제어 모듈

휴대용 경찰 로봇의 경우 무게는 가볍게 제작 되고, 구동 속도는 신속하여 민첩한 임무 수행이 가능하여야 하기 때문에, 구동 모터는 비교적 작고 토크와 RPM이 확보된 DC Gear Motor를 사용하였다. 이 구동

모터를 제어하기 위하여 모터 제어 모듈을 개발하였는데, 이는 가장 일반적으로 사용 되면서 안정성이 확보된 MCU인 AVR 계열을 사용하였다. 그리고 모터 드라이버는 ST사의 VNH2SP30-E라는 H-bridge 회로가 내장된 모터 구동용 원칩을 사용하였는데, 이 칩은 사이즈가 작음에도 불구하고 평시 전류 10A에서 순간 최대 전류 20A까지 드라이빙이 가능하며, 19V 이상의 전압이 입력 시 SHUT DOWN 기능을 내장하고 있다.

4-2-2 임무장치 제어 모듈

경찰 로봇은 기본적인 감시 역할 뿐만 아니라 많은 응용 가능성을 가지고 있는데, 이러한 가능성 확대를 위하여 임무 장치 제어 모듈을 개발 하였다.

먼저 전문 경찰 로봇의 임무 기능에는 유독 가스 시설물, 방사능 취급 지역 등 관리자가 접근하기 어려운 지역 및 시설물을 실시간 관리할 수 있는 기능이 있다. 또한 재난 발생 지역에서의 인명 구조나 유독 가스 유출 지역, 화재로 인한 인명 구조를 위하여 열 영상 카메라에 의한 조난자 발견, 소형 산소마스크를 탑재하여 재난 현장에서 조난자에게 제공, 재난 지역에서 위험 물질 제거 등의 임무를 수행하기도 한다. 그리고 국방에서 주로 사용되는 기능으로 폭발물 확인 및 제거 기능이 있는데 이를 위하여 무선 조종 및 영상 확인 후 Actuator를 이용하여 위험물 제거 및 안전 지역으로 이송하는 기능이 필요하다.

4-3 원격 제어 시스템

경찰 로봇은 센서를 통한 침입자 정보, 혹은 적진의 배치 정보, 아군의 상황 정보 등 다양한 정보를 파악할 수 있어야 한다. 아울러, 경찰 로봇은 이러한 원격지에서 수집된 모든 상황 정보를 지휘 통제의 권한이 있는 곳으로 신속하게 전달하여야 한다.

먼저, 근거리용 휴대형 제어기의 원격 모니터링 및 제어 방식은, RF 무선 모듈을 통하여 로봇으로부터 영상 신호를 받고 제어 신호를 로봇으로 보낼 수 있도록 설계되었다. 이를 위하여 로봇에는 영상 신호와 제

어 신호를 처리하는 기능을 담당하는 제어기가 탑재되어 있으며, 이 근거리용 휴대형 제어기는 현재 약 150m의 거리에서 임무 수행이 가능한 시스템으로, 시가전이나 소규모 작전 등에 활용 될 수 있다.

다음으로, 원거리 통제시스템의 원격 모니터링 및 제어 방식은 Wireless TCP/IP 통신 방식으로 영상과 제어 신호를 주고받아, 원격으로 로봇을 모니터링하거나 제어할 수 있도록 설계 되었는데, 이로써 로봇에는 기본 제어기 외에도 PC급 제어기를 탑재하여, 보다 고도화된 감시 정찰 임무를 수행할 수 있다. 이 정찰 로봇은 앞에서 설명한 근거리용 휴대형 제어기에 비하여 임무 수행 거리가 넓기 때문에 보다 많은 활용 가능성이 있을 것으로 기대가 된다.

V. 시험 및 평가

고정된 날개형 바퀴를 가진 고정식 날개형 정찰 로봇과, 나사를 이용하여 수동으로 날개형 바퀴를 체결하도록 제작된 수동 체결식 가변 구동 정찰 로봇의 힘지 극복 능력을 확인하기 위하여, 아래 그림 13과 같이 여러 가지 필드 상황에 맞추어 두 로봇의 구동 테스트를 수행하였다.



그림13. 정찰 로봇의 다양한 환경 테스트
Fig13. Field Test of Patrol Robot

필드 테스트 환경은 잔디밭이나 풀밭, 그리고 자갈

밭이나 모래밭, 웅덩이 지역 등 실제 휴대용 정찰 로봇이 운영 될 수 있는 환경에서 테스트를 수행하였으며, 이러한 테스트를 통하여 단순한 구조를 가진 날개형 정찰 로봇이 기존의 캐터필러 로봇에 비해 힘로 극복에 있어 보다 신속하고 뛰어난 장애극복 능력을 가지고 있음을 확인 할 수 있었다.

5-1 순응형 가변구동 정찰로봇의 시험

순응형 가변 구동 정찰 로봇의 경사로 등반 각도 및 장애물 높이 극복 테스트를 통하여 로봇의 힘지 극복 능력을 측정하였다. 아래의 그림 14은 본 논문에서 제작한 순응형 가변구동 정찰로봇의 등판능력과 장애물 극복 높이를 측정한 결과로서, 등판능력은 40도를 나타냈으며, 최대 장애물 극복 능력은 18cm의 높이를 확인할 수가 있었다. 물론, 바퀴의 직경을 좀 더 크게 한다면 더 높은 장애물 극복능력을 얻을 수 있을 것이다.

그리고 다음으로 로봇의 자중 및 수직항력, 토크 등, 복합적인 힘의 작용에 의하여 평지에서는 차륜 형태를 이루어 구동을 하다가, 장애물이나 힘지를 만나게 되면 날개 형태로 가변되는 순응형 가변 구동 현상을 아래 그림 15에 나타내었다.



그림14. 순응형 가변구동 로봇의 등반 각도 및 높이 극복 시험
Fig14. Slope Test of self-adaptive variable wheel

아래 그림 15에서 알 수 있듯이 평지에서는 신속하고 안정적인 차륜형 구동을 하다가 장애물이나 힘지

에서는 그 상황을 이겨내기 위하여 날개형으로 구동 방식이 바뀌어, 다양한 환경에 스스로 적응하여 구동 되는 결과를 확인할 수가 있었다.



그림15. 순응형 가변 구동 정찰 로봇의 구동 테스트

Fig15. Blade-shape Wheel of Rough road

또한, 이러한 장애 요소를 극복하고 평지에 이르렀을 때, 특별한 액추에이터의 조작 없이 다시 차륜형으로 형태가 바뀌어 노면 상태에 순응하여 구동되는, 순응형 가변 구동 메커니즘을 확인할 수가 있었다.

5-2 가변구동 메커니즘의 성능 평가

본 논문에서 제시된 가변구동 메커니즘의 성능을 평가하기 위하여, 현재 정찰로봇의 대부분을 차지하고 있는 무한궤도(caterpillar) 방식과 비교하였다. 아래 표 2에 국내의 유진로봇에서 개발하여 이라크 전에 실전 배치 된 바 있는 롭해즈(ROBHAZ-CT)와 본 논문의 순응형 가변구동 정찰로봇의 제원과 성능을 비교하였다[13].

표 2. 가변구동 메커니즘의 성능 평가
Table2. Performance evaluation of the Mechanism

항목	순응형 가변구동	롭해즈 (옵션장치 제외)
플랫폼 사이즈	300*450*150mm	884*440*280mm
플랫폼 중량	8Kg	37Kg
동작 시간	2시간/팩	1.5시간/팩 (MAX 2팩)
주행 속도	Wheel 3m/s	Wheel 2.2m/s

	Leg Wheel 2m/s	Track 1.6m/s
경사 등판	40 Deg	40 Deg
등반 높이	180mm	300mm
기능	전후방 카메라, 라이트 1W	전후방 카메라, 라이트 2W, 3W 스피커/마이크로폰, 장애물 회피
가격	저가형	고가형

VI. 결 론

본 논문에서는, 국방 로봇에 있어 핵심적으로 기술 개발이 요구되는 감시 정찰 분야의 무기 체계 확보를 위한 새로운 구동 메커니즘을 적용한 휴대용 정찰 로봇 개발 방법을 제시하였다. 이는 차륜형 바퀴의 장점과 날개형 바퀴의 장점을 모두 수용하여, 바퀴의 형상이 가변되는 가변형 정찰 로봇이라는 새로운 메커니즘의 제시이다. 특히, 본 논문에서 중점적으로 다루고 있는 순응형 가변구동 정찰로봇의 특징은, 바퀴의 형상이 노면의 상태에 따라 평지에서는 회전체가 안쪽으로 모여 차륜형의 원형을 이루어, 조용하고 빠른 이동 능력을 얻을 수 있으며, 험지에서는 별도 구동자의 작용 없이 단순한 구조적 특성으로 회전체가 펼쳐지게 되어 날개 형태로 변형됨으로써 원활한 험지 극복 능력을 확보하게 된다. 이와 같이 별도의 인위적 작용이 없이도 바퀴의 형상이 바뀌는 원리는, 단순히 톱니기어의 회전 방향 뿐 만 아니라, 바퀴의 자중과 이에 대한 지면으로부터의 수직 상방의 항력, 자중을 이겨내고 바퀴가 펼쳐지는데 필요한 토크, 그리고 바퀴가 계속하여 앞으로 나아가려는 관성 등의 힘이 복합적으로 작용하여 얻어지는 노면상태 순응 현상이다.

가변구동바퀴의 이러한 가능성을 확인하기 위하여, 본 논문에서는 메커니즘의 해석과 시뮬레이션, 그리고 여러 단계의 시제품 제작을 통하여 그 가능성을 확인하였으며, 특히 필드 테스트의 결과는 그동안 휴대용 정찰 로봇의 한계를 넘어서는 새로운 구동 메커니즘의 우수한 결과를 이끌어낼 수 있었다.

즉, 본 논문에서 제시하는 험지상태에 따른 가변구

동 메커니즘은 기존의 캐터필러방식 보다는 우수한 성능 및 기능을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 제작과정의 플랫폼규격 및 중량에서도 소형화 경량화가 가능하였다. 본 구동 메커니즘을 통하여 국방분야의 정찰 로봇과 재난발생시 탐사 로봇 및 방재분야에서 충분히 활용이 가능하다고 확신한다.

향후 순응형 가변구동 정찰로봇은 바퀴의 이물질 낚 현상과 내구성 확보라는 추가적인 연구를 통하여 국내 국방 관련 로봇 사업의 새로운 대안으로 그 가능성이 주목 받을 수 있을 것이라 생각한다.

참 고 문 헌

[1] 고정호, 박용운, “지상 무인 전투 체계 기술 발전 방향”, *국방과학기술플러스*, 2007.09.15, Vol.43, ISSN 1739-897X

[2] 박용운, “미래전은 무인 로봇이 승패를 가른다”, *국방 소식*, 2005년 5월

[3] “Joint Robotics Program Master Plan FY003”, *OUSD Defense Systems / Land Warfare and Munitions 3090*

[4] Andrew F. Krepinevich, "The Pattern of Military Revolutions", *The National Interest*, 1994.

[5] Hisashi Nakamura & Malcolni Dano, "Japan's Military Research and Development : A High Technology Deterrent", *The Pacific Review*, Vol. 6

[6] Raymond E. Frank, Jr & Gregory G. Hildebrandt, "Competitive Aspects of the Contemporary Military Technical Revolution" *Defense Analysis*, Vol. 12. 1996.

[7] Jeffrey R. Cooper, Another View of Information Warfare : Conflict in the Information Age, The Information Revolution and National Security : Dimensions and Directions, Washington, DC : *Center for Strategic & International Studies*, 1997.

[8] 박용운, 지태영, 강신천, 류철형, 고정호 “개방형 아키텍처 기반의 자율 주행 기술 구현”, *대전전자공학회지*, 제44권, 제3호, 2007. 5.

[9] John Naisbitt & Patric Aburdence(저), 김흥기(역), "메가트렌드 2000"

[10] Maj Ge David F. MacGhee Jr, "Headquarters Air Force Doctrine Brief"

[11] Michael J. Mazzar, "The Military Technical Revolution, Washington, D. C : *Center for Strategic and International Studies*", 1993.

[12] 최창근, “국방 로봇의 발전 방향”, *국방과 기술*, 제 335호, 2007. 1.

[13] 박영춘, 정광모, "이동 Ad-hoc 네트워크 기반의 유비쿼터스 네트워크 기술 동향 및 적용 방안", *전자 부품연구원*.

황 선 명



1982년 중앙대학교 전자계산학과 (이학사)
 1984년 중앙대학교 소프트웨어공학 전공 (이학석사)
 1987년 중앙대학교 소프트웨어공학 전공 (이학박사)
 1989년~현재 대전대학교 컴퓨터공학과 교수

조 자 연

현재 : (주) 아이엠 테크놀로지 대표이사