

가변트랙형 메커니즘의 재난구조 로봇(VSTR)을 위한 장애물 극복

Obstacle Negotiation for the Rescue Robot with Variable Single-Tracked Mechanism

최근하*, 정해관, 현경학, 곽윤근

(Keun Ha Choi, Hae Kwan Jeong, Kyung Hak Hyun, and Yoon Keun Kwak)

Abstract : In this paper, we propose a new obstacle negotiation method for the rescue robot. The rescue robot has a variable geometry single-tracked mechanism, so it can maximize a contact length with ground for the adaptability to off-road and pursue a stable system due to the lower center of gravity. In this research, we add the basis of autonomous navigation, driving mode control based on obstacle detection, to the robot to realize automation of mode transformation. Obstacle detection using PSD(Position Sensitive Device) infrared sensors gives active transformation of the track shape. Finally, experimental results about mentioned are presented.

Keywords : rescue robot, variable track, obstacle negotiation, attack angle, driving mode control

I. 서론

최근 위험직종에 대한 기피현상으로 위험작업용 로봇의 필요성이 증대되고 있다. 이를 반영하듯 국내외에서 많은 종류의 특수목적용 로봇들이 등장하고 있다. 하지만 기술적으로 인간이 수행하던 일들을 완벽히 대체할 정도로 아직 그 기능을 가지고 있지 못하다. 이런 이유에는 여러 가지 요인이 있을 수 있으나 그 중 로봇이 임무환경을 극복할 수 있는 충분한 기동성을 유지하지 못한다는 것이 가장 큰 도전적 과제로 주어지고 있다. 일반적으로 로봇이 임무를 수행하게 되는 임무환경들은 많은 장애물들로 구성되어 있다. 따라서 로봇이 작업을 수행하기 위해서는 이런 장애물들을 극복하여 자유롭게 임무 환경 내에서 임무를 수행할 수 있어야 한다. 따라서 최근 장애물 극복에 적합한 구동메커니즘을 가지는 로봇들이 많이 선보이고 있다. 이렇듯 특수목적용 로봇의 임무환경 극복을 위한 구동메커니즘과 제어에 관한 연구는 가치가 있다고 생각되며 로봇이 임무를 인간과 같이 정확하고 신뢰성 있게 수행할 수 있는 기본 바탕이 될 수 있을 것으로 생각된다.

그 중 구조로봇(rescue robot)이 임무를 수행하는 과정 중에는 여러 장애요인이 있을 수 있다. 이 중 가장 기본적인 장애요인 중 하나가 로봇이 투입될 임무환경에 의한 장애요인이다. 로봇이 투입되고 임무를 수행하게 되는 임무환경은 통상 지진으로 인한 붕괴지역, 건물 붕괴 지역 등의 재난환경이다. 재난환경에서는 로봇이 투입될 투입로 상에는 붕괴에 따른 잔해들로 인하여 로봇의 기동에 큰 제약을 주며 결정적으로 생존자 탐색에 큰 어려움을 주게 된다. 구조로봇에게 있어서 임무환경에서의 원활한 기동은 임무수행을 위하여 기본적으로 해결되어

야 하는 요소이며 기동성이 확보되지 않는다면 생존자 탐색을 위해 로봇에 장착된 고가의 센서와 장비들이 그 성능을 발휘할 수 있는 기회를 상실하게 될 것이다.

구조로봇이 투입되게 될 투입로 상에서의 장애물 극복은 로봇이 지니는 구동 메커니즘과 많은 관계가 있다. 주행로봇의 메커니즘은 기본적으로 바퀴형(wheeled type), 트랙형(tracked type), 보행형(legged type)으로 나뉘어지고, 이들의 장점을 살린 복합 형태의 메커니즘도 개발되고 있다. 개발되는 많은 주행로봇(Mobile Robot)중의 대부분은 바퀴형 메커니즘을 이용하고 있다. 이러한 바퀴형 주행로봇은 탄탄한 평면의 운동에 있어서는 트랙형이나 보행형 같은 다른 이동 기구에 비해 주행 성능 및 에너지 효율 등에서 훨씬 우수하다는 특징을 지니지만, 험로 극복에서는 타 구조에 비해 부적합한 구조를 지니고 있다고 할 수 있다. 그리고 보행형 로봇의 경우 지형에 대한 적응성은 향상시킬 수 있지만, 험난한 지형에 대한 안정성이 떨어지고, 제어가 매우 복잡하며 에너지 효율이 낮다는 단점을 지니고 있다. 따라서 평지에서의 주행 속도가 떨어지고 에너지 효율이 낮으며 소음이 크다는 단점에도 불구하고, 안정적인 험로 극복을 위해서는 트랙형 메커니즘이 가장 적합하다고 볼 수 있다. 특히 최근에는 트랙형 메커니즘의 지형 적응성을 극대화하기 위하여 트랙의 형상이 가변되는 구조에 대한 관심이 높아지고 있다.

먼저 트랙형 구조로봇의 선행 연구들을 살펴보면 20세기 이전의 연구는 Kohler에 의해 제안된 VCTV-1과[1] Maeda에 의해 고안된 VCTV-2가[2] 대표적이다. 이들은 4개의 트랙 프레임을 회전시켜 지형 적응력을 극대화하는 동시에 회전 저항력의 감소를 꾀하였다. 또한 Iwamoto의 VCTV-3는[3] 위성 바퀴(planet wheel)를 장착한 최초의 단일 가변트랙 구조로 우수한 계단 적응성을 보였다. Martens의 Andros는[4] 트랙 장력을 보조 바퀴(idler)로 제어하고 4개의 트랙 프레임을 각각 회전시킴으로써 지형 적응력을 극대화하였으며, Yoneda의 Xevious는[5] 분말 주머니로 연결된 트랙을 이용하여 계단 모서리와의 접촉면적을 넓히고 보조 바퀴(idler)로 트랙의 장력

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 2. 13., 채택확정 : 2007. 10. 29.

최근하, 정해관, 현경학 : KAIST 기계항공시스템학부 기계공학전공
(choigo05@kaist.ac.kr/hothip@kaist.ac.kr/cromno9@kaist.ac.kr)

곽윤근 : 한국과학기술원 기계항공시스템학부 교수(ykkwak@kaist.ac.kr)

※ 이 논문은 2007년도 2단계 두뇌한국(BK)21사업에 의하여 지원되었음.

을 조절하였다. Hagen에 의해 발표된 Pandora[6] 역시 트랙 프레임에 회전시켜 각종 지형에 대한 우수한 적응력을 보였다. Shigeo Hirose[7]는 3 자유도를 지니고 좁고 기어 다닐 수 있도록 설계한 Souryu's를 개발하였다. 이 로봇은 6개의 트랙과 몸 전체가 세 부분으로 나누어져 있으며 각 부분은 조인트에 의하여 불규칙한 지형에 잘 적응하도록 설계되었다.

21세기 이후에는 미국을 중심으로 일반 기업이나 벤처 회사에서 자체적으로 개발한 구동 메커니즘이 눈에 띄게 많이 등장하였다. Inuktun Corp.의 Micro-VGTV은 트랙의 형상을 운용자에 의해 수동으로 변화시켜줄 수 있는 구조로 설계되었으며 Mesa Inc.의 Matilda는 단일트랙구조로 궤도의 크기를 크게 설계하였다. 그리고 iRobot Corp.의 Packbot의 경우는 fiber arm을 이용하여 장애물과의 접촉점을 높여주는 메커니즘을 사용하여 장애물극복 성능의 향상케 하였다. 우리나라에서는 KAIST MSD-Lab의 지형에 수동적으로 적용할 수 있는 더블트랙(double track) 메커니즘의 Robhaz DT-2[9]와 KIST와 유진로봇의 Roscuc 그리고 Packbot과 유사한 메커니즘을 지닌 유진로봇의 Robhaz DT-5 가 개발되어 활발히 연구되고 있다.

앞서 살펴본 주행로봇의 구동 메커니즘에 대한 연구는 공통적으로 접근각(Attack Angle)의 필요성을 설명해주고 있다. 현재 개발된 트랙형 구조로봇의 대다수는 장애물 극복을 위해 트랙의 형상을 접근각을 가진 형태로 설계하거나 추가적인 모터를 사용하고 로봇의 형상 변화를 통하여 인위적으로 접근각을 만들어 장애물의 극복성능을 향상시키는 방향으로 연구가 진행되어 왔다. 하지만 이런 가변형 트랙이 가지는 문제점은 장애물 극복시 트랙의 변형이 링크에 의한 수동형 변형을 하고 있으며 능동적 변형의 경우 운용자에 의하여 로봇에 설치된 영상을 보고 직접 트랙을 변형한다는 데 있다. 이는 구조작업을 실시하며 동시에 많은 임무를 수행하는 로봇 운용자에게 많은 부담을 주게 된다. 또한 수동형 변형의 경우 로봇이 장애물을 극복하기 위하여 트랙을 변형해야 하므로 로봇의 구동력이 장애물에 접하고 있는 트랙을 밀어 올려 링크구조로 되어있는 트랙이 변형될 수 있을 만큼 충분한 구동력을 갖추어야 한다. 하지만 이런 구동력은 장애물로 진입하는 로봇의 위치에 큰 영향을 받으며 로봇의 구동력에는 한계가 있기 때문에 변형에 실패하여 장애물을 극복에 실패할 가능성이 많다. 또한 운용자에 의한 변형의 경우 실제 재난현장은 먼지, 연기, 암흑으로 인하여 로봇에서 볼 수 있는 영상이 제한되므로 트랙의 변형시점에 대한 불확실성으로 장애물 극복의 신뢰도가 떨어질 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 트랙의 형상이 가변되는 구조를 지닌 가변형 단일 트랙 메커니즘의 구조로봇이 실시간 장애물을 탐지하고 탐지된 장애물 정보를 이용하여 로봇 스스로 가변형 트랙의 변형을 통하여 장애물 극복 성능을 향상시키는 것에 초점을 두었다.

II. 가변트랙형 재난구조로봇(VSTR)

1. 로봇시스템 개요

본 연구에서 사용된 로봇시스템은 재난환경에서 생존자 탐색 및 구조작업을 실시하기 위해 제작된 가변트랙형의 재난구조로봇(Variable Single-Tracked Rescue Robot, VSTR)이다.

VSTR의 가장 큰 특징은 단일형 트랙의 변형을 통해서 트랙과 장애물과의 접촉점을 높여 장애물 극복성능을 향상시킬 수 있다는 것이다. 그림 1은 가변형 단일트랙 메커니즘을 가진 구조로봇의 실제 제작된 형상으로 내부는 구동축과 변형축의 이중축 구조로 되어 있다. VSTR은 그림 2와 같이 야외 주행성능이 우수한 트랙형상의 구동 로봇이며 2개의 단일 트랙과 8개의 구동바퀴로 구성되어 있다. 그리고 지형 적응성 향상을 위하여 그림 3과 같이 3 가지 주행모드로 트랙 형상을 변형시킬 수 있다. 즉, 트랙의 접근각(attack angle) θ 를 로봇 중앙부에 설치된 DC모터를 통해 변형시킴으로써 트랙과 장애물 사이의 접촉점을 높이고, 이를 통해 장애물 극복 능력을 향상시킬 수 있는 구동 메커니즘을 지니고 있다.

본 연구에서 주행모드는 그림 3과 같이 수평형상의 모드 1과 접근각을 가지는 모드 2 그리고 응급정지 기능을 가지는 모드 3의 총 세 가지로 정의하였다. 위와 같이 세 가지로 모드를 제한한 이유는 장애물에 따른 잦은 트랙 변형에 따른 접근각의 변화는 로봇에게 많은 프로세스 하중을 줄 수 있으며 비효율적인 에너지 손실과 계산시간의 증가 등의 문제점을 가지게 되기 때문이다. 그리고 모드 2의 접근각은 장애물 극복 성능과 로봇의 자세 안정성을 고려하여 45°로 결정하였다[10].

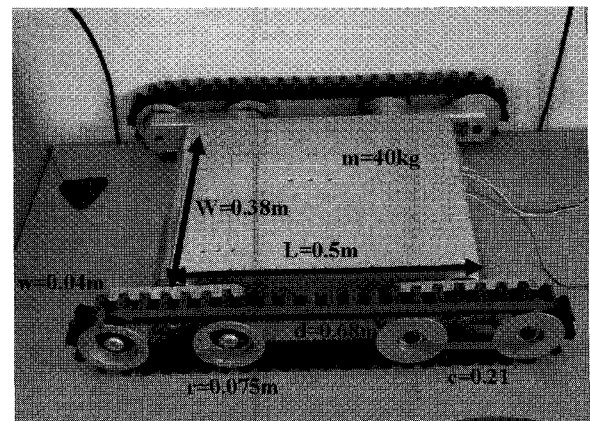


그림 1. 가변트랙형의 구조로봇(VSTR) 형상.
Fig. 1. Configuration of the VSTR.

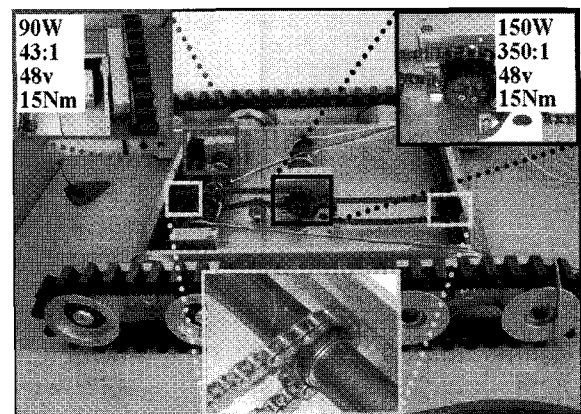


그림 2. VSTR의 내부구조.
Fig. 2. Inner configuration of the VSTR.

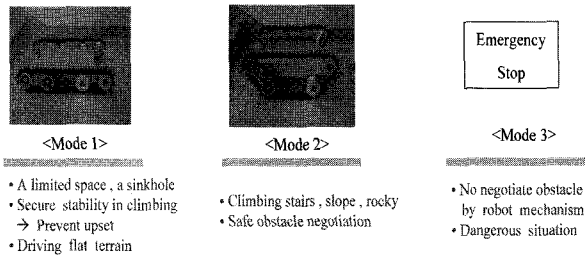


그림 3. VSTR의 주행모드.

Fig. 3. Driving mode of the VSTR.

2. VSTR의 장애물 극복 과정

가변형상 트랙 메커니즘 로봇의 장애물 극복 과정을 보면 그림 4와 같이 초기 장애물에 접할 시 트랙의 변형을 통하여 접근각을 증가시키고, 장애물 등반 간에는 로봇의 자세안정성 확보를 위하여 다시 트랙의 형상을 수평모양으로 변형시켜주는 과정을 통하여 장애물 등반능력과 로봇의 자세안정성 두 가지를 고려하여 장애물을 극복하게 된다. 수직장애물에서 로봇에 장애물 등반능력에 영향을 주는 요소는 장애물의 높이와 지면과 장애물 사이의 경사각이 될 수 있다. 장애물의 높이가 높아질수록 로봇의 장애물 등반능력이 떨어지는 것은 자명하며 경사장애물의 경우 지면과 장애물 사이의 경사각이 증가하면 트랙과 장애물 사이의 접촉면적이 넓어져 초기 등반에 유리하나 경사각이 어느 이상 커지게 되면 장애물 높이의 증가에 따라 등반이 어려워지고 로봇의 무게 중심이 높아지면서 전복위험성 역시 증가하게 된다. 그리고 낮은 경사각의 장애물의 경우 로봇의 트랙변형 없이 장애물 등반이 가능하다. 그림 4는 수직장애물, 경사장애물 그리고 계단 등반 과정을 보여준다.

III. 장애물 극복 알고리즘

로봇이 장애물을 효과적으로 그리고 안정적으로 극복하기 위해서는 로봇 전방의 장애물 탐지와 장애물에 따른 정확한 주행모드 결정 과정이 요구된다. VSTR의 장애물 극복 알고리즘은 아래 세가지 과정을 통해 실행된다.

장애물 탐지(obstacle detection): PSD(Position Sensitive Device) 적외선 센서 2개를 이용하여 장애물의 각과 높이를 추정한다.

주행모드 결정(driving mode decision): 앞서 추정된 장애물 정보를 이용하여 로봇의 장애물 극복 능력과 자세안정성을 위한 적절한 주행모드를 결정한다.

주행모드 변화(driving mode transformation): 실제 로봇을 결정된 주행모드로 변화시켜준다.

1. 장애물 탐지

구조로봇이 임무환경 내에 존재하는 장애물들을 인간의 눈이 아닌 로봇 스스로 탐지하기 위해서는 비전센서가 필요하다. 지금까지 개발된 주행로봇 중 서비스 로봇, 우주 탐사 로봇 등은 자율주행(autonomous navigation)을 위하여 stereo camera, laser rangefinder, FLIR 등의 비전센서를 이용하여 SLAM(Simultaneous Mapping and Localization)기법을 이용한 경로계획(path planning), 장애물 회피(obstacle avoidance)를 통하여 임무환경에서 기동성을 확보하였다. 한편 iRobot사의

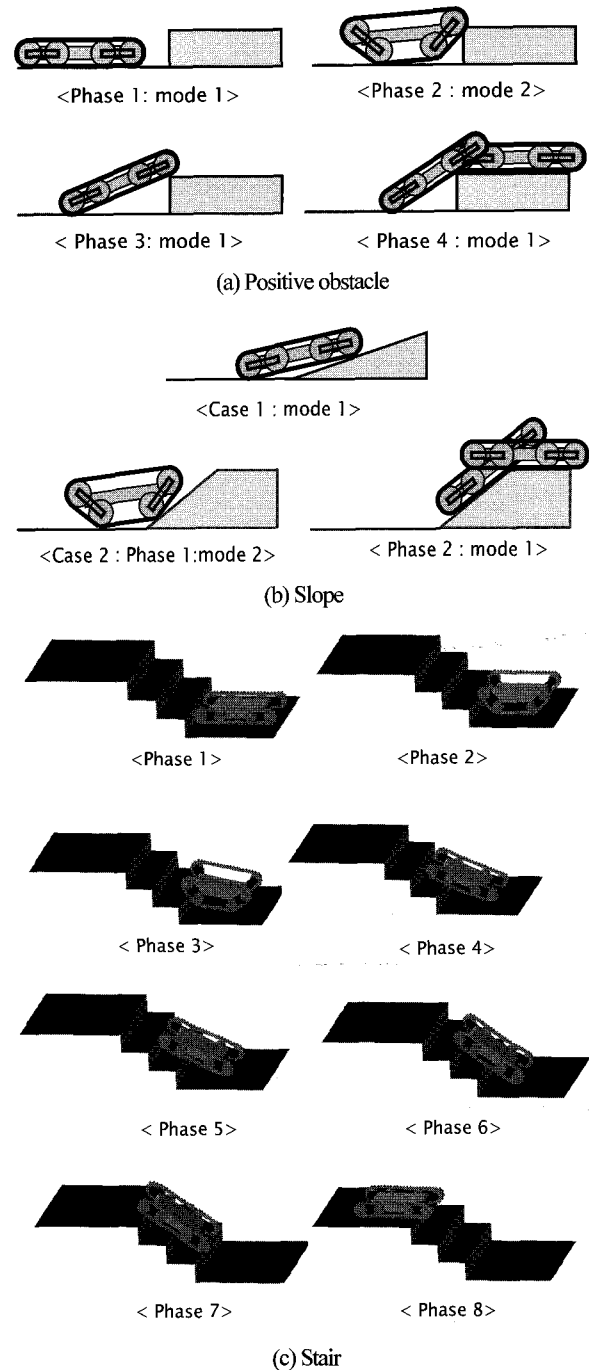
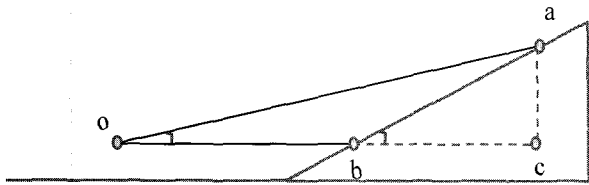


그림 4. VSTR의 장애물 극복 과정.

Fig. 4. Obstacle negotiation process of the VSTR.

Packbot과 같은 구조로봇의 경우 CCD camera에서 얻은 영상에서 각 계단의 가장자리에 대한 선 정보를 추출하여 계단의 각 단(tread)을 구분하여 로봇이 계단에 정확하게 진입하도록 로봇의 현재 위치를 보정해주는 연구가 수행된 바 있다[11]. 그 밖에 개발된 구조로봇의 경우, 주로 비전 카메라를 통하여 육안으로 장애물을 확인하고 운용자의 판단에 의존하는 장애물 극복방법을 사용하고 있다. 앞서 설명했듯이 운용자에게 의존하는 경우는 로봇이 재난지역에서 기동하는데 신뢰성이 떨어지게 된다. 구조로봇들이 전방 장애물을 탐지하기 위하여 사용되는 비전센서 사용의 경우 정확한 장애물 정



$$\angle aob = \alpha, \angle abc = \gamma_i$$

$$\overline{oa} = d_h, \overline{ob} = d_m, \overline{ac} = h_i$$

그림 5. VSTR의 장애물 극복 과정.
Fig. 5. Obstacle negotiation process of the VSTR.

보를 얻을 수 있는 반면에 매우 고가이며 많은 계산시간과 복잡한 시스템을 동반한다는 단점을 지니고 있다.

VSTR이 재난환경내의 장애물을 탐지하기 위해서는 다음과 같은 능력을 가진 센서가 필요하다. 센서의 탐지거리는 약 2m 내외이고, 소형의 구조로봇임을 고려하여 작은 공간을 차지해야 하며 다른 비전센서에 비하여 저가의 센서이어야 한다. 특히 재난환경은 온도, 외부 조명의 밝기 등 환경적 요인이 열악하므로 이런 환경적인 영향에 덜 민감하며 비교적 근거리에서 높은 정확도와 분해능을 지녀야 할 것이다. 본 연구에서는 이런 필요성능을 고려하여 PSD(Position Sensitive Device) 적외선 센서를 선택하였다. 장애물 탐지에 사용되는 PSD 적외선 센서는 광삼각법을 응용한 거리탐지 센서로, 적외선 LED로 조사된 빛이 장애물에 반사되어 나오면 반사된 빛이 렌즈를 통하여 센서 수신부에 탐지되는 위치에 따라 장애물까지의 거리를 측정하는 센서이다. PSD 센서의 탐지거리는 0-2m이며 근거리에서 높은 정확도와 대상 물체의 색이나 온도(-10~+60°C) 변화 등 환경적 영향을 덜 받는 장점을 지니며 다른 비전센서에 비하여 매우 저가의 센서라는 점이 특징이다. 이렇게 장애물 정보를 저가의 간단한 시스템으로 획득하는 것은 많은 부수 장치와 센서를 장착해야 하는 주행로봇에게 부여되는 많은 운용부담을 줄여줄 수 있게 된다.

VSTR이 장애물을 극복하는 과정에서 장애물의 높이와 각은 로봇의 장애물 극복 유무를 결정하는 중요한 요소가 된다. 따라서 정확한 장애물의 높이와 각 정보를 얻는 것은 중요한 요소가 된다. 현재 장애물을 탐지하기 위하여 사용되는 laser rangefinder, CCD camera 그리고 stereo camera 등은 정확한 장애물 정보를 얻을 수 있는 반면에 매우 고가이며 많은 계산시간과 복잡한 시스템을 동반한다는 단점을 지니고 있다. 이는 로봇의 복잡성을 증가시키고 가격의 증가를 초래하게 된다. 따라서 본 연구에서는 장애물의 각과 높이를 측정하기 위하여 그림 5와 같이 2개의 PSD적외선 센서를 이용하여

수평방향의 거리와 윗방향 장애물까지의 거리를 센서로부터 탐지하여 기하학적 관계를 통해 (1), (2)와 같은 간단한 식으로 장애물의 각과 높이를 계산한다.

$$\gamma_a = \tan^{-1} \left\{ \frac{d_h \sin(\alpha)}{d_h \cos(\alpha) - d_m} \right\} \quad (1)$$

$$h_i = h_0 + d_h \sin(\alpha) \quad (2)$$

where, α : angle between upper and middle

2. 주행모드 결정 과정

로봇의 장애물 극복 능력을 결정하는 장애물의 변수는 장애물의 높이와 장애물과 지면이 이루는 각이라 할 수 있다. 이 두 가지 변수는 PSD 센서로부터 얻은 장애물까지의 거리 정보로부터 계산할 수 있으며 이들 두 가지 변수의 크기에 따라 주행 모드의 변화가 필요하다. 주행모드의 결정은 로봇의 장애물 극복 유무를 결정하는 장애물의 높이와 각이 문턱값(thresholds)들이 되어 모드를 아래 3가지 경우로 구분하게 된다[12].

Mode 1: $\gamma < \psi_a$ or $h < \psi_{h1}$

Mode 2: $\gamma \geq \psi_a$ or $\psi_{h1} \leq h \leq \psi_{h2}$

Mode 3: $\gamma > \psi_a$ or $h > \psi_{h2}$

장애물 높이에 따른 모드 결정을 위한 문턱값(ψ_{h1}, ψ_{h2})의 결정은 다음과 같이 수행할 수 있다. 현재 모드가 1일 경우 장애물의 높이가 로봇의 구동 바퀴의 반지름이상이면 로봇의 등반은 어려워진다. 그리고 모드 2일 경우 그림 6에서 보는 바와 같이 로봇의 높이(H)이상이면 등반이 어려워진다. 이 두 가지 값이 장애물의 높이에 따른 모드 변화의 문턱값이 될 수 있으며, 제작된 로봇의 반지름은 0.075m이고 접근 각은 45° 이므로 문턱값은 $\psi_{h1} = 0.075m, \psi_{h2} = 0.21m$ 로 결정된다.

다음은 장애물의 각(Angle)에 따른 문턱값을 결정해야 한다. 우선 로봇이 경사지에서 미끄러지지 않고 주행할 수 있는 구동 모멘트의 조건을 이용하면 로봇의 경사면에 대한 최대 등반각은 구동력의 크기와 무게 중심의 위치에 의해 결정된다.

$$r = 0.075 (m)$$

$$\therefore \psi_{h1} = 0.075 (m) \quad (3)$$

$$H = r + c \sin \theta$$

$$= 0.075 + 0.18 \sin 45^\circ$$

$$= 0.21 (m)$$

$$\therefore \psi_{h2} = 0.21 (m)$$

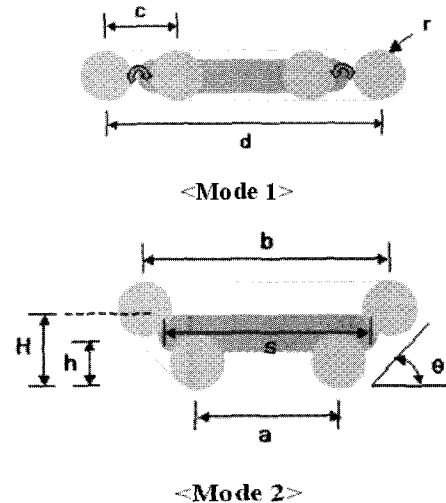


그림 6. VSTR의 설계 변수.
Fig. 6. Design parameters and dimension.

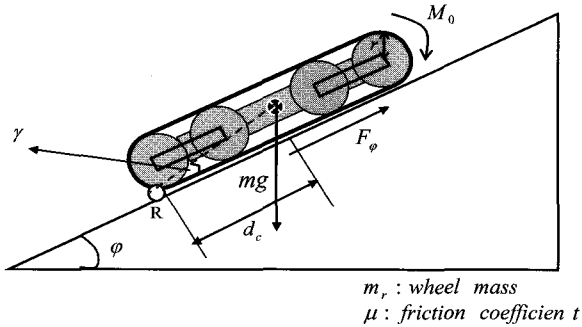


그림 7. VSTR의 경사지 등반간 자유물체도.
Fig. 7. VSTR on the slope.

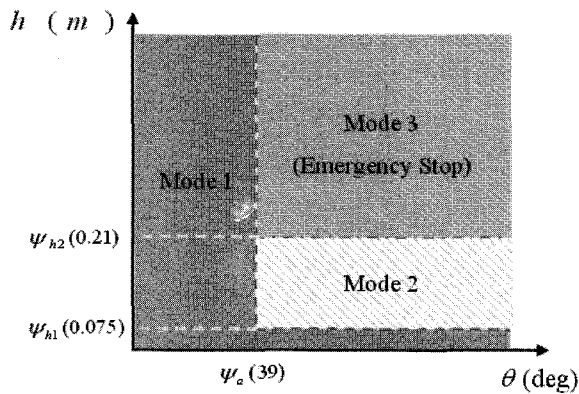


그림 8. VSTR의 주행모드 결정.
Fig. 8. Driving mode decision for VSTR.

그림 7과 같이 경사지 주행 시 로봇의 구동력 (F_ϕ)이 중력에 의한 힘보다 작아지거나 전복 시에 로봇의 회전 중심이 되는 R점에 대한 모멘트가 반시계 방향이 되는 때의 경사각이 로봇의 최대 등반각이 된다. 경사로에서의 로봇의 구동력 (F_ϕ)은 주행면에 대한 힘의 평형식, 구동륜에 대한 모멘트 평형식과 트랙의 구름 조건으로부터 (5), (6)과 같이 구해진다. 따라서 (5), (6)의 조건으로부터 구동력에 의한 최대 등반각은 (7)과 같이 구해진다.

$$F_\phi = \frac{2mM_0 + m_r r m g \sin \phi}{2(m_r + m)r} \quad (5)$$

$$M_0 \leq \frac{\mu r m g}{2} \left(1 + \frac{m_r}{m}\right) \quad (6)$$

$$F_\phi \geq \frac{1}{2} m g \sin \phi$$

$$\therefore \phi \leq \sin^{-1} \left(\frac{2M_0}{m g r} \right) \approx 39^\circ \quad (7)$$

그림 8은 앞에서 계산된 문턱값을 바탕으로 주행모드를 구분한 결과이다. 그림에서 모드 1은 장애물의 높이와 관계 없이 장애물 각이 39° 이하이면 모드 1로 등반가능하고 또한 장애물의 높이가 0.075m 이하일 경우에는 장애물의 각과 관계없이 등반 가능하다. 모드 2는 장애물 각이 39° 이상인 장애물에서 장애물의 높이가 0.075m 이상 0.21m 이하의 장애물에 적용 가능하며 모드 3은 VSTR의 구조로 극복불가능

한 장애물이므로 응급정지기능을 통해 멈추게 된다.

IV. 실험 결과

1. 시스템 구성

시스템의 구성은 그림 9에서 보는 바와 같이 장애물 탐지를 위한 PSD 적외선 센서를 로봇 전방에 설치하였으며 로봇 구동을 위해서 2개의 DC모터(구동모터)와 로봇의 접근각을 생성하는 1개의 DC모터(암모터)를 사용하였다. 접근각 제어를 위하여 컴퓨터와 DAQ card, 모터 드라이버를 설치하였고, 접근각을 실시간 측정할 수 있도록 암모터에 가변저항기(potentiometer)를 설치하여 접근각을 측정할 수 있도록 하였다. 접근각의 제어는 로봇이 모드 1에서 모드 2로의 변형을 실시할 때 주어진 모드에 맞는 접근각을 정확히 만들기 위한 것으로 PSD 센서로부터 장애물이 탐지되고 이에 맞는 모드가 결정되면 모드에 따라 정해진 변형각(Mode 1 : 0° , Mode 2 : 45°)이 입력값이 되며 가변저항기로부터 현재 상태의 접근각을 피드백 받게 된다. 그리고 이는 다시 PI제어를 통해 모드에 적합한 접근각을 정확하게 만들게 된다.

2. 문턱값의 검증

문턱값(thresholds)들을 검증하기 위하여 장애물의 높이, 각을 변화시켜가면서 실험을 수행하였다. 결과는 표 1과 같으며 높이 문턱값은 앞서 해석한 결과 0.075/0.21m보다 높은 0.1/0.27m로 측정되었으며 각 문턱값은 해석치와 유사한 40° 의 실험 결과를 나타냈다. 특히 로봇의 초기 등반에서는 40° 이상의 경사장애물일 경우 모드 2로의 변형 없이 등반할 수 없었으며 초기 등반이 후에는 모드 1, 2 모두 경사각에서 미끄러지며 더 이상 등반하지 못함을 확인하였다. 이는 앞서 해석한 바와 비슷한 결과를 보였다. 높이에 대한 문턱값이 높게 측정된 결과는 로봇의 트랙에 설치되어있는 그라우저(grouger)에 의한 등반능력의 향상으로 인한 것으로 보인다[13]. 이 실험결과에 의하여 실제 로봇시스템에 적용할 문턱값들을 표 1의 실험치를 수정하여 적용하였다.

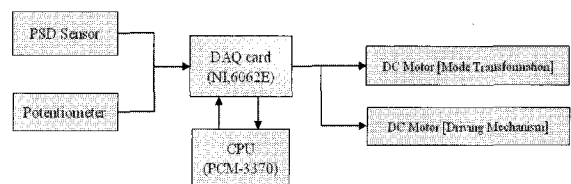
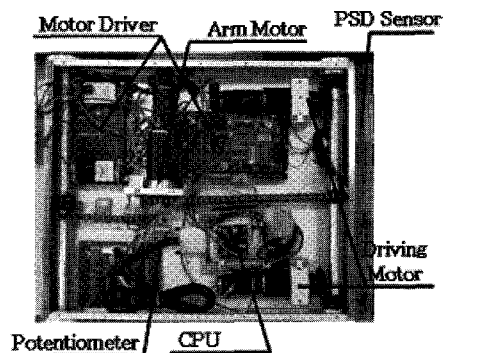


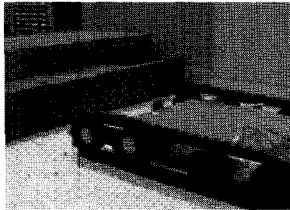
그림 9. VSTR의 내부 시스템 구성.
Fig. 9. The schematic diagram of VSTR.

표 1. 문턱값의 검증 결과.

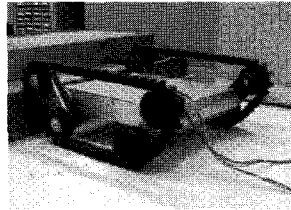
Table 1. Verification of thresholds.

	Results	
	Height (m)	Angle (deg.)
Analysis	0.075 / 0.21	39
Experiment	0.10 / 0.27	40

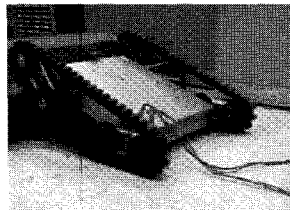
Mode 1/Mode 2



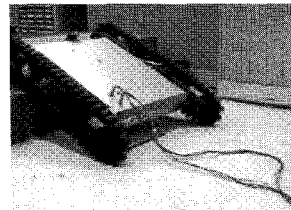
[Phase 1]



[Phase 2]



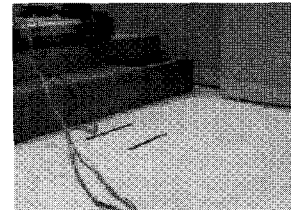
[Phase 3]



[Phase 4]



[Phase 5]



[Phase 6]

그림 10. VSTR의 계단등반 실험.

Fig. 10. Experiment of overcoming a stair.

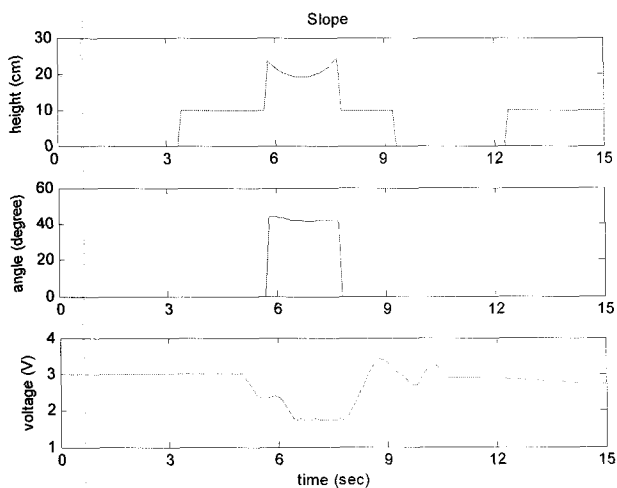


그림 11. 계단 장애물 극복 실험 결과.

Fig. 11. Experimental results of overcoming a stair.

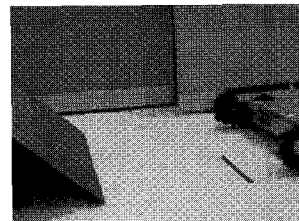
3. 실험결과

본 절에서는 구현된 제어시스템을 로봇에 적용하여 실제 장애물모형을 대상으로 실험을 수행하고 성능을 평가하였다. 실험은 실내계단 모형과 경사 모형을 장애물 대상으로 하였다.

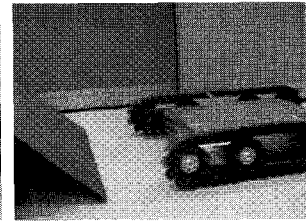
3.1 계단 장애물에 대한 실험

계단등반 실험 결과, 그림 10과 같이 로봇이 장애물에 접근하게 되면 모드 1에서 모드 2로 모드가 변화되어 첫 번째 계단을 극복하며 이후 phase 3과 phase 4에서 보는 것과 같이 다시 모드는 2에서 1로 변화되며 앞서 제시한 로봇의 계단등반과정과 동일한 과정으로 계단을 극복하였다.

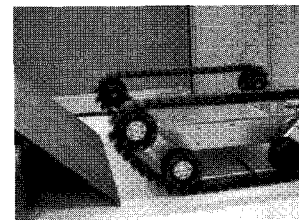
또한 그림 11의 그래프는 로봇이 주행하는 동안 탐지된 장애물의 높이와 각을 측정된 결과와 이에 따른 모드 변화를 보여주는 것으로 로봇이 탐지한 장애물의 높이가 0.28(m), 각이 90°가 되자 로봇의 모드가 1에서 2로 변화하였으며 다시



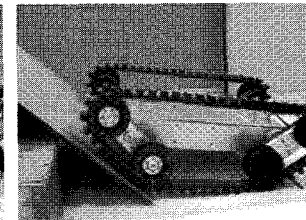
[Phase 1]



[Phase 2]



[Phase 3]



[Phase 4]

그림 12. VSTR의 경사지 등반 실험.

Fig. 12. Experiment of overcoming a slope.

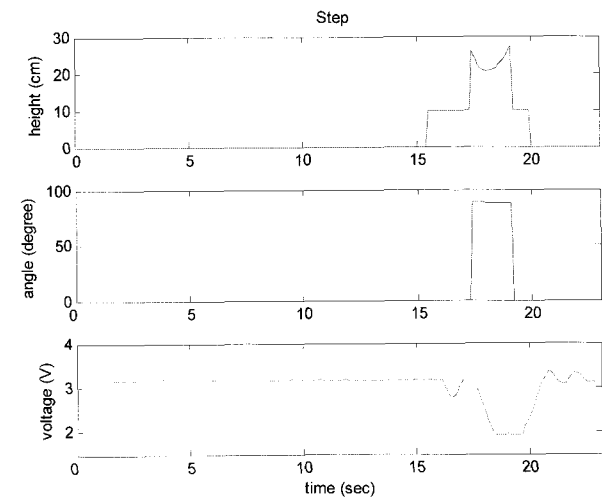


그림 13. 경사지 장애물 극복 실험 결과.

Fig. 13. Experimental results of overcoming a slope.

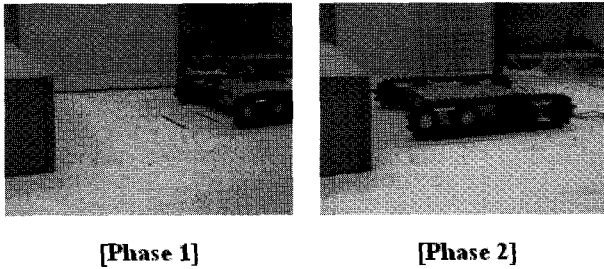


그림 14. VSTR의 경사지 등반 실험.
Fig. 14. Experiment of excessively high obstacle.

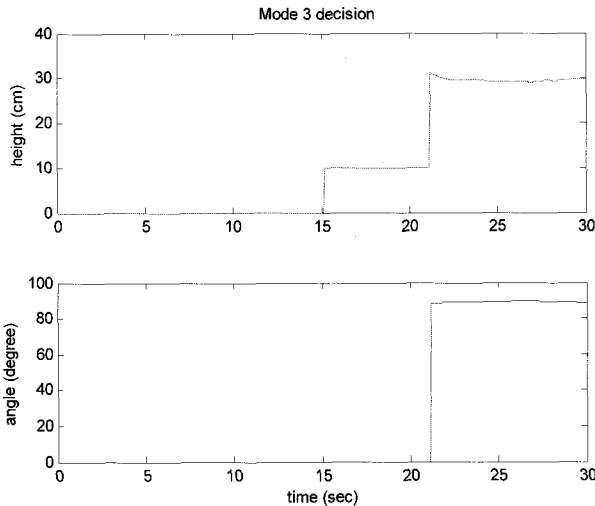


그림 15. 경사지 장애물 극복 실험 결과.
Fig. 15. Experimental results of excessively high obstacle.

장애물이 탐지되지 않자 모드가 2에서 1로 변화하는 것을 가변저항기의 전압 변화(mode1: 3V, mode 2: 1.6V)로 확인할 수 있다.

3.2 경사지에 대한 실험

경사지에 대한 실험도 마찬가지로 그림 12와 같이 43°의 경사지를 대상으로 주행하였을 때 장애물의 높이가 0.23(m), 각은 약 42~44°로 탐지되자 모드가 1에서 2로 변화하며 경사 장애물을 등반함을 볼 수 있었다.

3.3 극복 불가능 지형에 대한 실험

그림 14는 구조로봇이 극복 불가능한 장애물을 만나게 되었을 때 모드 3이 결정되는지를 확인하기 위한 실험으로 그림에서 보는 바와 같이 로봇이 장애물을 탐지하고 모드 3을 결정하여 정지하는 것을 확인할 수 있다. 그림 15의 아래 그래프는 장애물의 높이가 약 0.29(m)로 탐지되고 장애물의 각이 약 90°가 되자 모드결정과정의 의하여 적절하게 모드가 결정되는 것을 보여준다.

V. 결론

본 연구에서는 가변 트랙형의 메커니즘을 지닌 구조로봇이 재난환경 내에 투입되어 임무 수행시 구조로봇이 자율적으로 장애물을 탐지하고 탐지된 정보를 가지고 장애물에 적합한 주행 모드를 결정하도록 하여 구조로봇의 장애물 극복 성능을 향상시킬 수 있음을 보였다.

이를 위해 먼저 재난환경 내에 있을 수 있는 장애물을 정의하고 장애물을 탐지하기 위하여 PSD 거리 탐지 센서를 사용하여 장애물의 높이정보와 각 정보를 얻었다. PSD 센서는 다른 비전 센서에 비하여 가격이 매우 저렴하고 적은 크기와 전력 소비 등의 장점을 지닌다. 이는 소형의 구조로봇이 인명구조 작업을 위하여 많은 센서와 부수장비를 장착해야 하는 면을 고려했을 때 PSD 센서를 통한 장애물의 탐지는 매우 유용할 것으로 생각된다. 실험결과에서도 볼 수 있듯이 정확하게 장애물의 거리, 높이, 각을 측정할 수 있고 이를 이용한 로봇의 모드 변화에 정확성을 줄 수 있음을 볼 수 있었다. 주행 모드의 결정에 있어서는 센서로부터 획득한 장애물 정보와 해석적 방법을 통해 얻어진 문턱값들을 통해 구분하고 모드 결정을 판단하여 불필요한 모드 변형을 없애고 기존 운용자에 의한 모드 변형과 비교하여 신뢰성을 높일 수 있음을 또한 확인하였다.

그리고 실험을 통하여 제안된 모드 결정을 위한 문턱값들을 검증한 후 수정하여 모드선택의 정확성을 높였으며 제안된 모드 결정 알고리즘을 구현하고 실내환경에서의 장애물 모형을 대상으로 성능평가를 실시하여 실제로 제안된 제어 시스템의 성능을 확인할 수 있었다. 향후에는 로봇이 극복할 수 없는 장애물을 접했을 때 로봇 스스로 장애물을 회피할 수 있는 기능을 추가한다면 구조로봇의 장애물 극복 성능은 더욱 커질 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] G. W. Kohler, N. Sleight, and M. Salaske, "Manipulator vehicle of the nuclear emergency brigade in the federal republic of germany," *Proc. of 24th Conf. on Remote System Technology*, pp. 196-218, 1976.
- [2] Y. Maeda, S. Tsutani, and S. Hagihara, "Prototype of multifunctional robot vehicle" *Prototype of Multifunctional Robot Vehicle*, *Proc. of Int. conf. on Advanced Robotics*, pp. 421-428, 1985.
- [3] T. Iwamoto and H. Yamamoto, "Mechanical design of variable configuration tracked vehicle," *J. of Mechanical Design*, vol. 112, pp. 289-294, 1990.
- [4] J. D. Martens and W. S. Newman, "Stabilization of a mobile robot climbing stairs," *Proceeding of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 3, pp. 2501-2507, 1994.
- [5] K. Yoneda, Y. Ota, and S. Hirose, "Development of Hi-grip crawler using a deformation of powder," *JSRJ*, vol. 15, pp. 1188-1193, 1997.
- [6] H. Schempf and E. Mutschler, "Pandora: Autonomous urban robotic reconnaissance system," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA '99)*, vol. 3, pp. 2315-2321, 1999.
- [7] J. Y. Hirose, S., "Search on leg-wheel hybrid stair-climbing robot, Zero Carrier," *2004 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, pp. 654-659, Aug. 2004.
- [8] B. Shah and H. Choset, "Survey on urban search and rescue robotics," CMU, Pittsburgh, PA 15213.
- [9] C. H. Lee and Y. K. Kwak, "Double-track mobile robot for hazardous environment applications," *Advanced Robotics*, vol. 17, no. 5, pp. 447-459, 2003.
- [10] K. H. Choi, H. K. Jeong, and Y. K. Kwak, "Obstacle detection

and driving mode decision for a rescue robot using a PSD sensor," *Proceedings of the KSME 2006 Fall Annual Meeting*, pp. 680-685, 2006.

[11] Y. Xiong, L. Matties, "Vision-guided autonomous stairs climbing," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, April 2001.

[12] K. H. Choi, H. K. Jeong, J. H. Choi, H. D. Choi, and Y. K. Kwak, "Obstacle detection and overcoming for mobile robot with variable geometry single-tracked mechanism," *Proceedings of the KIMST 2006*, pp. 680-685, 2006.

[13] N. E. Park, D. I. Park, and Y. K. Kwak, "Track shape f or performance improvement of the rescue robot's climbing stairs," *Proceedings of the KSME 2005 Fall Annual Meeting*, pp. 859-864, 2005.

[14] S. K. Lim, D. I. Park, B. S. Kim, S. W. Jeon, and Y. K. Kwak, "Variable geometry single-tracked mechanism for a rescue robot," *Proceedings of the 2005 IEEE, International Workshop*

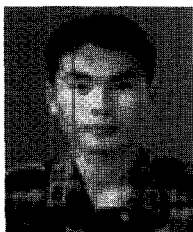
on Safety, Security and Rescue Robotics, pp. 111-115, 2005.

[15] H. Mo, P. Huang, and S. Wu, "Study on dynamic stability of a tracked robot climbing over an obstacle or descending Stairs," *Electronic Design, Test and Applications, 2006 Third IEEE International Workshop*, pp. 210-213, Jan. 2006.

[16] R. Manduchi, "Obstacle detection and terrain classification for autonomous off-road navigation," *Autonomous Robots*, vol. 18, pp. 81-102, 2005.

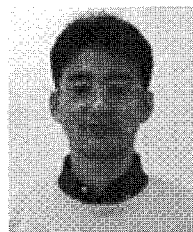
[17] L. Matthies, A. Kelly, T. Litwin, and G. Tharp, "Obstacle detection for unmanned ground vehicles: A progress report," *7th International Symposium of Robotics Research*, Munich, Germany, 1995.

[18] L. Matthies, T. Litwin, K. Owens, A. Rankin, K. Murphy, et al., "Performance evaluation of UGV obstacle detection with CCD/FLIR stereo vision and LADAR," *IEEE Workshop on Perception for Mobile Agents*, Santa Barbara, CA, June 1998.



최 근 하

2002년 육군사관학교 무기공학과 졸업.
2005년~2007년 한국과학기술원 대학원 기계공학과 졸업(공학석사). 관심분야는 주행로봇의 자율주행 및 제어.



정 해 관

2003년 한국과학기술원 기계공학과 졸업.
2005년 동 대학원 기계공학과 졸업(공학석사). 2005년~현재 동 대학원 기계공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 주행로봇의 자율주행 및 제어.



현 경 학

2003년 부산대학교 기계공학과 졸업.
2003년~현재 한국과학기술원 기계공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 감성 로봇의 감정인식.



박 윤 근

1971년 서울대학교 기계공학과 졸업.
1974년 University of Colorado, Boulder, USA 공학설계 및 경제평가학과 졸업(공학석사). 1978년 University of Texas, Austin, USA 기계공학과 졸업(공학박사). 2005년~현재 한국과학기술원 기계공학과 교수. 관심분야는 감성로봇, 주행로봇.