

## 결합 가능한 복합 바퀴-다리 이동형 로봇에 관한 연구

# A Study on Hybrid Wheeled and Legged Mobile Robot with Docking Mechanism

이보훈\* · 이창석\* · 김용태\*\*

Bo-Hoon Lee\*, Chang-Seok Lee\*, and Yong-Tae Kim\*\*

\*\*한경대학교 바이오·정보기술대학원

\*한경대학교 정보제어공학과, IT융합기술연구소

E-mail: ytkim@hknu.ac.kr

### 요 약

로봇의 이동성 향상을 위해 다양한 환경에 적응할 수 있는 로봇의 연구 개발이 활발하게 진행되고 있다. 본 논문에서는 휠(wheel)과 다리(Leg)기반 변형이 가능하고, 로봇간 상호 결합이 가능한 복합 이동형 로봇을 제안하였다. 복합 이동형 로봇은 로봇간 결합을 위해 페그 모듈과 컵 모듈을 로봇의 전면과 후면에 각각 장착하고, 주행과 보행이 가능하도록 구현하였다. 다양한 지형에서 이동성을 향상을 위해 임베디드 영상기반 결합 및 분리 알고리즘을 제안하였으며, 로봇간 결합을 통해 끊어진 도로와 비평탄 지형에서의 결합 이동 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 로봇의 전면과 밑면에 장착된 PSD 센서를 이용하여 지형을 인식하고, 지형에 맞는 극복 알고리즘을 통해 로봇간 협력을 통해 이동성을 향상시킨다. 제안한 방법들은 임베디드시스템 기반의 복합 주행 이동형 로봇을 실제 제작하여 실험 통해 성능을 검증하였다.

**키워드** : 결합 제어, 복합 이동형 로봇, 주행 제어, 보행 제어

### Abstract

There are many researches to develop robots that improve its mobility to adapt in various uneven environments. In the paper, a hybrid mobile robot that can dock with the other robot and transforms between wheeled robot and legged robot is proposed. The hybrid mobile robot platform has docking device with a peg and a cup module. In addition, the robot is possible to walk and drive according to condition of the road. A navigation algorithm of the hybrid mobile robot is proposed to improve the mobility of robots using docking algorithm based on image processing on the broken road and uneven terrain. The proposed method recognizes road condition through PSD sensor attached in front and bottom of the robot and selects an appropriate navigation method according to terrain surface. The proposed docking and navigation methods are verified through experiments using hybrid mobile robots.

**Key words** : Docking control, Hybrid mobile robot, Navigation control, Walking control

## 1. 서 론

로봇의 발달로 인해 엔터테인먼트, 서비스, 우주 탐사, 군사 등 사회 전반에 걸쳐 많은 로봇들이 연구 및 개발되고 있다. 현재 개발되고 있는 로봇은 개인 서비스용 로봇과 전문 서비스용 로봇으로 나눌 수 있다. 서비스용 로봇은 산업발달 이후로 많은 필요성이 대두되면서 점점 더 많은 연구 개발이 되고 있으며, 작업의 수행 자율성의 향상을 위한 연구가 진행되고 있다.

접수일자 : 2011년 11월 19일

완료일자 : 2011년 12월 16일

\*\*교신저자

본 논문은 2011년 한국지능시스템학회 추계 학술대회에서 우수 논문으로 선정된 논문입니다.

감사의 글 : 이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 연구재단의 지원을 받아 수행된 일반 연구자 지원사업 결과임.(No. 2010-0023291)

개인 서비스용 로봇은 가사 도우미 로봇, 엔터테인먼트 로봇, 노약자 간호 로봇, 방범 및 감시 로봇 등이 현재 개발이 되고 있다. 전문 서비스용 로봇은 군사용 로봇, 경비 로봇, 의료 로봇, 잠수 로봇 등 많은 분야에서 활용되어 지고 있다. 군사용 로봇과 우주 탐사 로봇은 다양한 작업 공간 및 환경에서의 이동성이 매우 중요하다. 로봇의 이동 방법은 바퀴로 주행하는 휠 기반 로봇과 다리로 보행하는 다족 기반 로봇으로 크게 나뉘게 된다. 휠 기반 로봇은 속도가 빠른 장점은 있지만 평지가 아닌 비평탄 지형이나 장애물 등 다양한 환경에서의 이동성이 떨어지는 단점이 있다. 그에 비해 다리 기반 다족 로봇은 휠 기반 로봇보다는 속도 면에서 현저히 느린 단점이 있지만, 다양한 환경에서의 이동 능력이 많이 향상된다는 장점이 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 보행의 안정화 및 걸음새 방법에 대한 연구가 되고 있다[1-6]. 현재 잘 알려진 4족 보행 로봇 중 최근에 미국에서 국방용으로 개발된 Bigdog은 다양한 환경에서의 보행 능력과 탁월한 환경 적응 능력을

가지고 있다.

최근에 형태를 변형할 수 있는 모듈 형태의 로봇에 대한 연구가 많은 관심을 받고 있지만 아직까지는 많은 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이다[7-10]. 대표적으로 일본산업기술종합연구소에서 M-TRAN이라는 형상 가변형 로봇을 연구하였다[7]. M-TRAN은 능동적 블록과 수동적 블록에 의한 결합 구조를 가진 모듈이지만, 자기 스스로의 이동이 불가능하여 사용자에게 의해서만 결합이 가능하도록 구성되었다. 이동형 로봇은 미지의 환경에서 다양한 작업을 수행하기 위해 다양한 장애물 극복[9], 경로 생성, 협업 제어[11-13] 등의 요소 기술들을 필요로 한다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 카메라를 장착하고 바퀴와 다족 기반의 변형이 가능하다, 로봇 두 대간의 결합 제어가 가능한 복합 이동형 로봇 플랫폼을 제안하였다. 제안한 로봇 플랫폼은 주행모드와 보행모드로 구현하여 로봇의 이동성 향상시켰다. 4족 보행을 위해 보행 방법은 견형 4족 로봇의 보행패턴을 사용하여 기본 걸음새를 구현하였으며, 임베디드 영상상을 사용하여 두 대의 이동형 로봇간의 효과적인 결합 제어 방법을 통해 로봇의 결속력을 향상시켰다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 복합 이동형 로봇 시스템 구성과 로봇의 기구학 모델을 설명하고, 3장에서는 결합을 위한 임베디드 기반 영상처리와 분리 결합 알고리즘을 바탕으로 끊어진 도로와 비평탄 지형에서의 극복 알고리즘을 제안하였다. 4장에서는 제안한 알고리즘의 성능을 검증하고, 5장에서는 결론을 맺었다.

## 2. 결합 가능한 복합 이동형 로봇

### 2.1 복합 이동형 로봇의 구성

복합 이동형 로봇 시스템 구성은 그림 1과 같이 주제어부, 모션제어부, 결합장치로 된다. 결합장치는 페그 모듈과 컵 모듈로 구성되며, 로봇 간 결합이 가능하도록 로봇의 전면과 후면에 각각 장착하였다. 주제어부는 리눅스 기반의 Intel PXA320 임베디드 보드를 사용하였고, 위치기반 주행 및 결합 알고리즘 및 영상처리를 수행한다. 모션제어부는 Atmega2561 마이크로 컨트롤러 보드를 사용하였으며, 센서와 20개의 DC서보모터, 결합 기구장치의 서보모터를 실시간으로 제어한다.

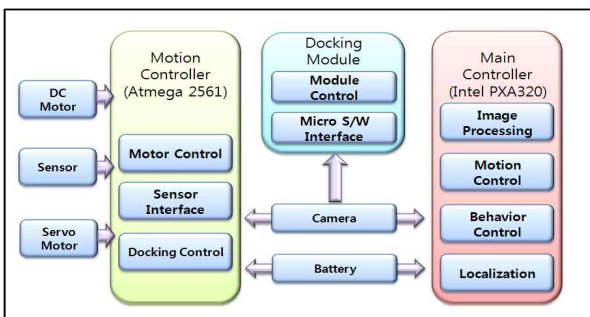


그림 1. 복합 이동형 로봇 시스템 구성  
Fig. 1. Overall structure of a hybrid Mobile robot

복합 이동형 로봇의 구조는 그림 2와 같이 휠과 다리 기반 변형과 주행이 가능하도록 구성하였다. 4개의 다리 하단에 4개의 바퀴를 장착하고, 영상 이미지를 획득하기 위해 로봇의 전면상단에 CCD 카메라와 다양한 주위 환경을 인식하기 위해 PSD센서를 로봇의 전면과 밑면에 장착하였다. 바퀴와 다리를 구동하기 위한 모터는 13kgf·cm과 52kgf·cm의 토크를 가진 DC서보모터를 사용하였다. 결합을 위한 결합 장치는 한 쌍의 페그 모듈과 컵 모듈로 구성하고, 상호 결합을 위해 로봇의 각각 전면과 후면에 장착하였다.

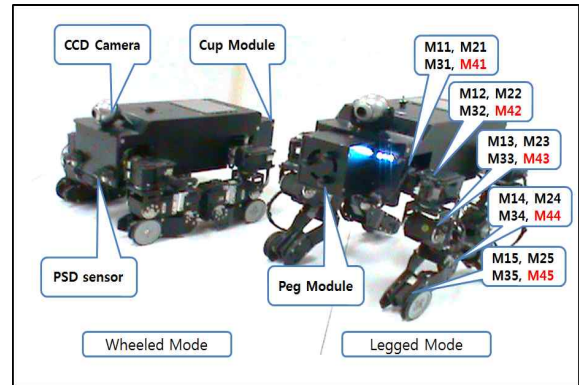


그림 2. 복합 이동형 로봇의 기구 설계  
Fig. 2. Mechanical design of hybrid mobile robot

결합 장치는 그림 3과 같이 페그 모듈과 컵 모듈로 구성되며, 각각 로봇의 전면과 후면에 장착하였다. 페그 모듈에 3개의 페그를 서보모터와 연결하여 제어하였고, PWM 방식을 사용하여 페그의 각도제어를 수행한다. 컵 모듈에는 결합 상태를 감지 및 확인하기 위해 3개의 마이크로스위치를 사용하여 결합과 분리를 확인한다. 페그 모듈과 컵 모듈은 길이가 73mm, 너비가 65mm, 높이가 73mm로 설계 및 제작하였다.

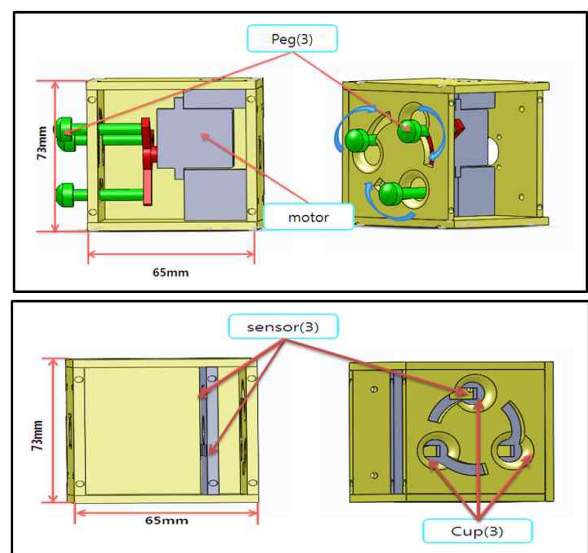


그림 3. 결합 장치의 페그 모듈과 컵 모듈  
Fig. 3. Peg module and cup module of docking device

2.2 복합 이동형 로봇의 기구학 모델과 보행 패턴

로봇의 이동속도 향상을 위해 휠 기반의 주행방법이 필요하다. 본 논문에서는 복합 이동형 로봇의 주행 제어를 위한 기구학 모델은 그림 4와 같다[9]. 로봇의 중심점 좌표는  $(x_c, y_c)$ 이고,  $v$ 는 로봇 중심의 좌표이다. 로봇의 양 바퀴의 선속도는  $V_L$ 와  $V_R$ 이고, 로봇의 방향각은  $\theta$ 이다. 주행 기구학 모델을 얻기 위하여 이동형 로봇의 바퀴는 non-slipping조건을 만족한다고 가정하면, 다음 식(1)과 (2)같은 속도 방정식을 얻을 수 있다. 여기서는  $w$ 는 반시계 방향으로서 로봇의 각속도를 나타내며,  $w_r$ 과  $w_l$ 은 로봇의 오른쪽과 왼쪽의 각속도를 나타낸다.  $v$ 는 로봇 중심의 선속도를 나타내고,  $l_1$ 와  $r$ 은 로봇의 양쪽 바퀴 사이의 길이와 로봇의 바퀴 반지름을 나타낸다.

$$w = \frac{V_r - V_l}{l_1} = r \frac{w_r - w_l}{l_1} \tag{1}$$

$$v = \frac{V_r + V_l}{2} = r \frac{w_r + w_l}{2} \tag{2}$$

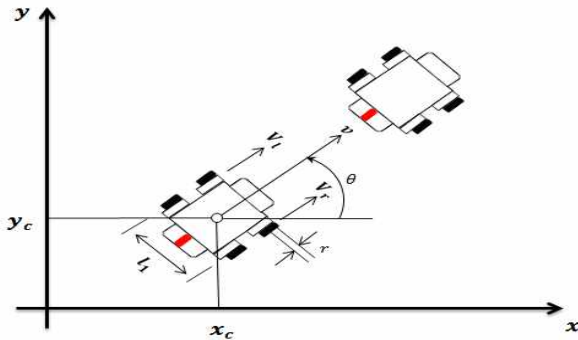


그림 4. 복합 이동형 로봇의 주행 기구학 모델  
Fig. 4. Kinematic model of wheeled mobile robot

4족 보행 로봇은 산악지형, 계단 같은 다양한 종류의 지면에서 뛰어난 적응력과 다른 다족 로봇과 2족 로봇보다 균형 유지와 보행이 효율적이다. 본 논문에서는 그림 5와 같은 4족 로봇의 기구학적 모델을 사용해 보행 로봇의 다리를 해석하였다[2].

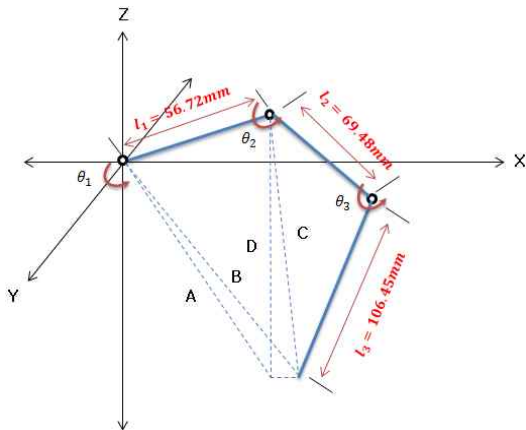


그림 5. 복합 이동형 로봇의 보행 기구학 모델  
Fig. 5. Kinematic model of legged mobile robot

4족 로봇의 기구학적 모델은 로봇의 다리의 관절에 따라 링크에 맞는 회전행렬을 곱하게 된다. 4족 보행 로봇은 다리의 자유도가 y-x-z축에 대한 회전이므로 구성되고, 다음과 같이 좌표값이 표현된다[2].

$$x = l_1 \cos\theta_1 + \sin\theta_1 (l_3 \sin\theta_2 \cos\theta_3 + l_3 \cos\theta_2 \sin\theta_3 + l_2 \sin\theta_2) \tag{3}$$

$$y = l_3 \cos\theta_2 \cos\theta_3 + l_2 \cos\theta_2 - l_3 \sin\theta_2 \sin\theta_3 \tag{4}$$

$$z = l_3 \cos\theta_1 \sin\theta_2 \cos\theta_3 + l_3 \cos\theta_1 \cos\theta_2 \sin\theta_3 + l_2 \cos\theta_1 \sin\theta_2 \tag{5}$$

또한 다음과 같이 역기구학을 통해 관절각을 계산하여 4족 로봇에 적용하였다.

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{z}{x} - \cos^{-1} \frac{l_1^2 + A^2 - D^2}{2l_1 A} \tag{6}$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \frac{l_2^2 + C^2 - l_3^2}{2l_2 C} + \tan^{-1} \frac{y}{D} \tag{7}$$

$$\theta_3 = \cos^{-1} \frac{l_2^2 + l_3^2 - C^2}{2l_2 l_3} \tag{8}$$

로봇이 보행을 하기 위해서는 보행 패턴을 생성해야 한다. 본 논문에서는 그림 6과 같이 보행 패턴으로는 3개의 다리가 땅에 접촉하도록 하여 RR(후방 우측), FR(전방 우측), RL(후방 좌측), FL(전방 좌측) 순서대로 발을 이동하면서 기본 걸음새를 수행하도록 구현하였다.

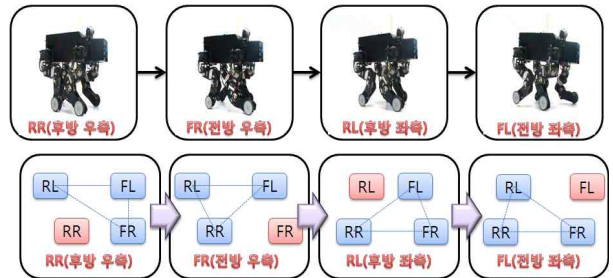


그림 6. 복합 이동형 로봇의 보행 패턴  
Fig. 6. Walking pattern of hybrid mobile robot

3. 복합이동로봇의 결합 및 주행제어

3.1 임베디드 영상처리기반 결합

영상처리는 두 대의 로봇간의 결합을 수행하기 위한 기반 정보들을 제공한다. 그림 7은 로봇간의 결합을 위한 CCD카메라를 통해 얻어진 영상정보를 영상처리 과정을 거쳐 결합 장치를 인식하는 과정을 나타낸다[10]. 영상을 입력 받으면 임베디드 보드에서의 처리 시간을 감소하기 위해 영상의 크기를 축소하고, 조명에 영향을 최소화하기 위해 RGB 영상을 HSI 영상으로 변환한다. 조명 정보를 제외한 색 정보만 이용하여 붉은색의 컵 모듈을 추출한다. 컵 모듈을 추출한 후 분산되어 있는 픽셀들을 제거한 뒤에 로봇의 윤곽선을 검출하여 컵 모듈을 인식하고, 무게 중심법을 이용하여 컵 모듈의 중심점을 추출하였다. 얻어진 정보들을 기반으로 이동형 로봇의 주행 및 결합 제어를 수행한다. 그림 8은 결합 장치의 실제 영상처리 결과를 나타낸다.

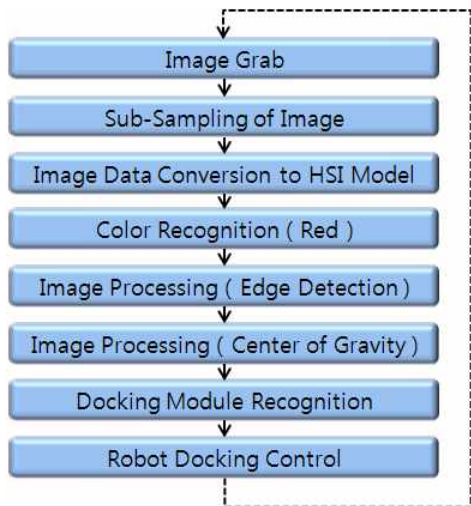


그림 7. 임베디드 기반 영상처리 알고리즘  
Fig. 7. Image processing algorithm based on embedded system

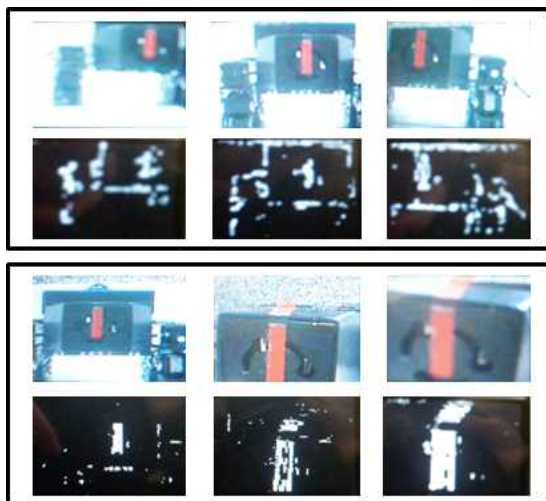


그림 8. 결합장치 영상처리 실험 결과  
Fig. 8. Experimental results of image processing of docking device

### 3.2 복합 이동형 로봇의 분리와 결합 알고리즘

다양한 환경에서 단일 로봇이 극복하지 못하는 상황에 두 대의 로봇이 결합을 하여 상황을 극복하기 위해서는 결합 장치가 로봇의 결합과 결합 해체에 있어서 핵심적인 역할을 한다. 본 논문에서는 그림 9와 같이 결합 장치 간 분리와 결합 알고리즘을 제안하였다. 로봇이 자율적 작업 수행 중 두 대의 로봇이 지형을 인식 후 결합 명령을 받으면, 기존의 상태를 확인하고 결합을 위해 임베디드 영상처리 알고리즘을 수행하게 된다. 영상처리기반의 알고리즘을 통해 모듈을 결합하고 마이크로 스위치를 통해 모듈의 결합 상태를 확인하게 된다. 결합이 이루어진 경우 페그 모듈의 서보모터를 PWM 제어 하여 모듈 간에 결합력을 강화시킨다. 결합 이동시 지형을 인식하여 결합 해제 명령을 받으면 페그

모듈을 제어하여 모듈 결합을 해제하게 된다. 해제 상태를 확인한 후 두 대의 로봇은 또 다른 명령까지 서로 다른 작업을 수행하게 된다.

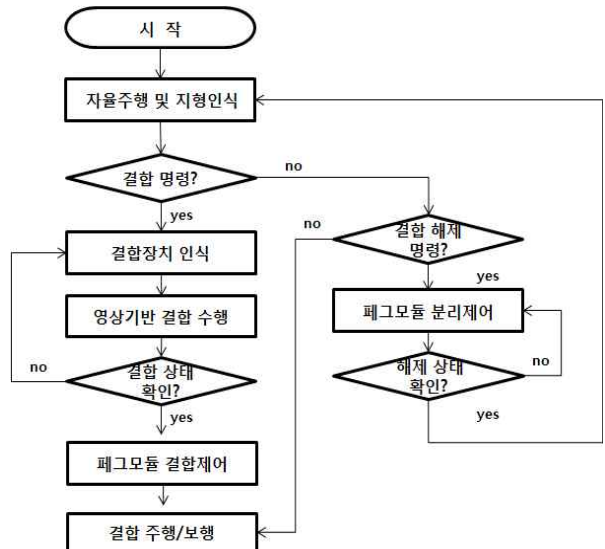


그림 9. 결합 및 분리 알고리즘  
Fig. 9. Docking and undocking algorithm

### 3.3 복합 이동형 로봇의 결합 주행 및 보행

뾰여진 지형과 비평탄 지형에서의 로봇의 이동성은 현저하게 떨어진다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 로봇의 결합을 통해 이동성 향상시켰다. 두 대의 로봇이 결합을 통한 지형 극복에 대한 이동성 향상 알고리즘을 나타낸다. 로봇은 하단에 장착된 PSD 센서 값을 통해 뾰여진 도로를 인식하게 하게 되면 두 대의 로봇이 결합 이동으로써 환경을 극복하기 위해 알고리즘을 수행하게 된다. 영상처리를 통해 결합할 로봇을 인식하여 상호 로봇의 통신을 통해 결합을 시도한다. 두 대의 로봇간이 결합이 성공하면 협력 이동을 통해 지형을 극복하여 이동하고, 지형 극복의 완료 상태를 알기 위해서 후미 로봇 하단에 장착된 센서를 이용하여 이동이 완료됨을 확인하게 된다. 이동이 완료된 후 앞 로봇에 통신 우선권을 부여하여 로봇간 상호 통신을 하여 결합 이동 및 결합 해제를 한다.

휠 기반으로는 두 대의 로봇이 결합을 통해서도 비평탄 지형을 극복하기에는 많은 어려움이 있다. 다리 기반 로봇은 다리가 많을수록 비평탄 지형에서의 안정적인 보행을 할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 본 논문에서는 결합을 통해 다족으로 변형 하여 비평탄 지형을 극복하게 구현하였다. 두 대의 로봇이 결합을 통해 8족 보행을 통해 비평탄 지형을 극복하는 알고리즘을 구현하였다. 두 대의 로봇이 결합을 하게 되면 앞의 로봇이 통신 우선권을 갖게 되고, 상호 통신을 하게 된다. 두 대의 로봇이 결합 주행 중 앞의 로봇에 장착된 센서를 통해서 비평탄 지형을 인식하고, 로봇간 상호 통신을 하여 다족 보행 모드로 변환하여 비평탄 지형을 극복한다. 이동이 완료된 후 이동성 향상을 위해 보행 모드에서 주행 모드를 변형하여 다른 작업을 수행한다.



#### 4. 실험 및 고찰

본 논문에서 한 대의 로봇으로 극복하지 못하는 지형에서의 이동성 성능을 확인하기 위해 실제 환경에서의 결합이 가능한 복합 이동형 로봇을 사용하여 실제 환경에서 실험을 통해 검증하였다. 그림 10(a)는 정해진 보행패턴을 통해 로봇이 기본 보행하는 것을 보여준다. 그림 10(b)은 두 대의 이동형 로봇이 주행하여 성공적으로 결합하는 것을 보여준다.



(a) 보행패턴 기반 보행 실험

(a) Walking experiment using walking patterns



(b) 임베디드 영상기반 결합 실험

(b) Docking experiment based on embedded system

그림 10. 보행 및 결합 실험

Fig. 10. Walking and docking experiments

그림 11은 끊어진 지형 극복 알고리즘을 통해 한 대의 로봇으로 극복하지 못하는 상황을 두 대의 로봇이 결합과 상호 통신을 하여 지형을 극복하는 실험 결과를 보여준다.

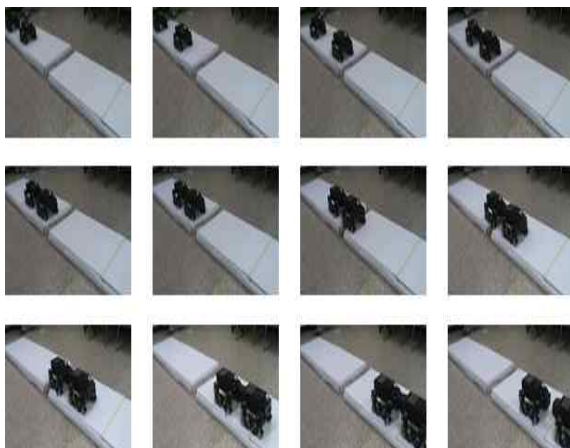


그림 11. 끊어진 지형 극복 실험

Fig. 11 Broken road traversal experiment

본 논문에서 제안한 비평탄 지형 극복 알고리즘을 그림 12와 같은 실제 상황에서 성능 검증하였다. 결합 주행 시 센서 값을 통해 비평탄 지형을 인식하고 두 대의 로봇의 상호 통신을 통해 보행 가능한 로봇으로 형태를 변환하여 다족 보행을 통해 비평탄 지형을 극복하는 것을 보여준다. 결합한 로봇이 주행과 보행 동작으로 다양한 환경에서 이동성 향상과 작업 수행이 가능한 것을 실험을 통해 확인하였다.

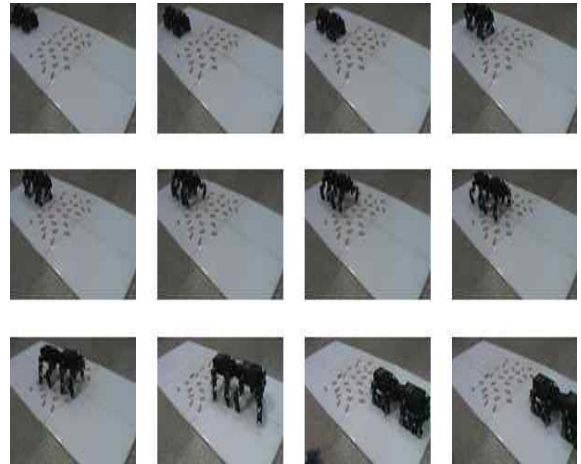
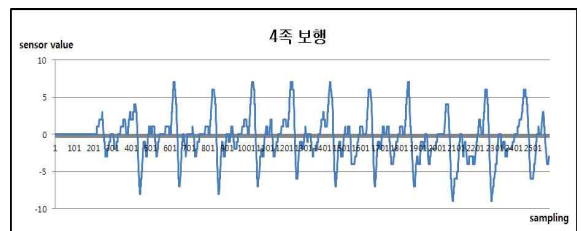


그림 12 비평탄 지형 극복 실험

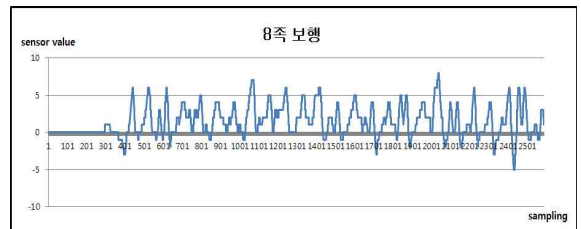
Fig. 12 Uneven terrain traversal experiment

실제로 비평탄 지형에서 4족 보행과 다족 보행 시 차이로 센서를 통해 로봇의 몸체의 기울어짐을 실험하였다. 그림 13과 같이 비평탄 지형에서 4족 보행 보다 두 대의 로봇으로 결합하여 다족으로 보행하였을 때 더욱 안정된 보행을 한다는 것을 실험 결과를 통해 확인할 수 있다.



(a) 4족 보행

(a) Quadruped walking



(b) 8족 보행

(b) 8-legged walking

그림 13. 비평탄 지형에서 로봇 기울기  
Fig. 13 Tilting value of robot on the uneven terrain

## 5. 결론 및 추후 과제

본 논문에서는 로봇의 이동성 향상을 위해 로봇 간 결합이 가능한 복합 바퀴-다리 이동형 로봇의 플랫폼을 제안하고, 결합 및 분리 알고리즘을 통해 끊어진 도로와 비평탄 지형에서 이동성 향상 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 통해 로봇 혼자서 극복하지 못하는 상황을 두 대의 로봇이 결합하여 주어진 상황을 인식하고 극복하는 것을 확인 할 수 있었다. 그러나 본 논문에서 제안한 방법은 정해진 환경 이외의 상황에서는 성공률이 낮아진다. 앞으로 이를 보완해줄 여러 환경에서의 지형 인식을 통한 극복 방법, 다양한 상황 인식 방법과 두 대 로봇간 결합 성공률을 높이는 연구를 수행할 예정이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Hiroshi Igarashi, Tamotsu Machida, Fumio Harashima and Masayoshi Kakikura "Free Gait for Quadruped Robot with Posture Control", *2006 9th IEEE International Workshop Advanced Motion Control*, pp. 438-438, 2006
- [2] 정학상, 박상수, 최윤호, 박진배, "4족 보행 로봇의 모델링 및 시뮬레이션", *대한전기학회, 2009 대한전기학회 제 40회 하계학술대회*, pp. 1839-1840, 2009
- [3] 이수영, 홍예선, "4족 보행 로봇의 걸음새 안정화를 위한 몸체 임피던스 제어", *대한전기학회 논문지*, 제49권 5호, pp. 257-263, 2000
- [4] 장재영, 현수환, 서기성, "뉴럴 진화를 이용한 4족 보행 로봇의 이동 제어", *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 20, No. 1, pp. 119-122, 2010
- [5] 김병호, "다족 로봇을 위한 효과적인 보행 패턴 분석", *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 19, No. 5, pp. 622-628, 2009
- [6] B. H. Kim, "Performance Index-Based Evaluation of Quadruped Robotic Walking Configuration", *한 International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, Vol. 10, No. 4, pp. 308-313, 2010
- [7] S. Murata, E. Yoshida, A. Kamimura, H. Kurokawa, K. Tomita, S. Kokaji, "M-TRAN: self-reconfigurable modular robotic system", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol. 7, No. 4, pp. 431-441, 2002
- [8] R. Murphy, "Marsupial and shape-shifting robots for urban search and rescue," *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 15, pp. 14-19, 2000
- [9] 나두영, 노수희, 문형필, 정진우, 김용태, "모듈형 로봇의 자가 결합을 위한 퍼지 주행 제어 및 장애물 회피 제어", *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 19, No. 4, pp. 470-477, 2009
- [10] Y. T. Kim, H. Moon, J. H. Park, H. R. Choi, H. S. Noh, and J. W. Jung, "Vision-based Modular Docking System for Cooperative Mobile Robots", *International Journal of Assistive Robotics and*

*Systems*, Vol. 15, No. 1, pp. 15-25, 2009

- [11] A. Deshpande and J. Luntz, "Behaviors for physical cooperation between robots for mobility improvement," *Autonomous Robots*, Vol. 23, pp. 259-274, 2007
- [12] 나두영, 민현홍, 이창석, 노수희, 문형필, 정진우, 김용태, "3자유도 결합 팔을 가진 모듈형 로봇의 비평탄 지형 주행 알고리즘", *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 20, No. 3, pp. 311-317, 2010
- [13] L. Parker, "ALLIANCE: An architecture for fault tolerant multi-robot cooperation," *IEEE transactions on Robotics and Automation*, Vol. 14, pp. 220-240, 1988

## 저 자 소 개



**이보훈(Bo-Hoon Lee)**

2011년 : 환경대학교 정보제어공학과  
졸업(학사)

2011년 : 환경대학교 대학원 석사과정

관심분야 : 지능로봇, 지능시스템  
E-mail : h0812s@hanmail.net



**이창석(Chang-Seok Lee)**

2010년 : 환경대학교 정보제어공학과  
졸업(학사)

2011년 : 환경대학교 대학원 석사과정

관심분야 : 지능로봇, 지능시스템  
E-mail : lcsok@naver.com



**김용태(Yong-Tae Kim)**

1991년 : 연세대학교 전자공학과(학사)

1993년 : KAIST 전기및전자공학과  
졸업(공학석사)

1998년 : KAIST 전기및전자공학과  
졸업(공학박사)

1998년~2000년 : (주)삼성전자

2006년 : Univ. of Illinois at Urbana-Champaign  
방문연구

2002년~현재 국립 환경대학교 정보제어공학과 교수

관심분야 : 지능로봇, 지능시스템, 지능제어, 기계학습  
E-mail : ytkim@hknu.ac.kr