

# 3자유도 결합 팔을 가진 모듈형 로봇의 비평탄 지형 주행 알고리즘

## A Navigation Algorithm of Modular Robots with 3 DOF Docking Arm in Uneven Environments

나두영\* · 민현홍\* · 이창석\* · 노수희\* · 문형필\*\* · 정진우\*\*\* · 김용태\*\*\*\*

Doo-Young Na\*, Hyun-Hong Min\*, Chang-Seok Lee\*, Su-Hee Noh\*, Hyung-Pil Moon\*\*, Jin-Woo Jung\*\*\* and Yong-Tae Kim\*\*\*\*

\*한경대학교 생물환경·정보통신 대학원

\*\*성균관대학교 기계공학과

\*\*\*동국대학교 컴퓨터공학과

\*\*\*\*한경대학교 정보제어공학과, IT융합기술연구소

### 요 약

본 논문에서는 미지 환경의 비평탄 지형에서 로봇 주행에 제한이 따르는 문제를 극복하기 위해 물리적 결합을 통한 모듈형 로봇의 이동성 향상 기법을 제안한다. 모듈형 로봇 시스템은 자가 결합 기구 장치, 3자유도 로봇 결합 팔, 모듈 로봇 플랫폼, 모션제어기, 주제어기로 구성하였으며, 로봇간 결합 및 협업을 위해 RGGR구조의 결합 메카니즘을 사용하였다. 또한 실내 GPS를 사용하여 로봇의 실시간 위치 및 진행 방향을 추정하고, 추정된 정보를 기반으로 로봇의 이동 경로와 방향을 제어하여 로봇간 물리적 결합을 수행하였다. 물리적 결합을 통한 모듈형 로봇의 비평탄 지형 주행 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 세 대의 모듈형 로봇을 제작하여 실제 끊어진 도로와 단턱이 존재하는 환경에서 실험을 통해 검증하였다.

**키워드** : 모듈형 로봇, 협력 이동, 물리적 결합, 자가 결합, 결합 제어

### Abstract

In the paper, we propose an improved mobility method of modular robots by physical docking in the uneven environments. The modular robot system consists of autonomous docking device, 3 DOF robotic arm, motion controller, and main controller. Real-time location and direction of the robot are estimated using inner GPS and they are used to control direction and path of each robot for physical docking between modular robots. We design a navigation algorithm of modular robot using physical docking and cooperative navigation in the environment with broken road and low stair. The proposed method is verified by navigation experiments of three developed modular robots in the uneven environments.

**Key Words** : Modular robots, cooperative movement, physical docking, autonomous docking, docking control

## 1. 서 론

오늘날 로봇 시스템은 자동화 시스템, 우주 탐사, 군사 등 사회 전반에 걸쳐 널리 응용되고 있으며, 단순 반복 작업의 수행에서 벗어나 보다 많은 자율성을 로봇에게 부여하고 있다. 우주 탐사나 재난 현장에서의 구조를 위해서 로봇은 다양한 임무수행이 가능하여야 하며, 복잡하고 구조화되어 있지 않은 환경에서의 주행 능력을 필요로 한다[1,2]. 기존의 로봇 연구는 주행 및 장애물의 회피에 초점이 맞춰

져 있다. 따라서 미지의 환경이나 비평탄 지형에서의 이동 제한으로 작업 수행의 제한이 불가피하다.

비평탄 지형에서의 환경 극복을 위하여 최근 많은 관심을 받고 있는 것이 재구성 가능한 모듈형 로봇이다. 모듈형 로봇은 로봇 전체의 모듈들이 분해하거나 재조합하는 형태로서 새로운 작업에 알맞게 구성하여 기존 로봇보다 환경이나 외부요소에 효과적으로 적응을 할 수 있다[3-5]. 로봇 한 대로는 운영 불가능한 상태가 되면 다른 모듈로 대체하여 작업을 수행할 수 있으며, 전체 시스템을 한대의 로봇으로 구성하는 것에 비해 각각의 기능을 모듈형으로 구성함으로써 비용을 절감할 수 있는 장점을 가진다.

모듈형 로봇에 관한 연구는 미국과 유럽을 중심으로 연구가 진행되고 있다. 대표적으로 미국의 슈퍼봇(SuperBot)과 유럽의 스웜봇(Swarm-bot)이 있다[6,7]. 미국 남가주대의 슈퍼봇은 레고 블럭과 유사한 형태를 가지며, 다양한 작

접수일자 : 2010년 4월 3일

완료일자 : 2010년 5월 30일

\*\*\*\* 교신저자

본 논문은 2010년 한국지능시스템학회 춘계 학술대회에서 우수 논문으로 선정된 논문입니다.

업 수행 요구에 따라 다른 시스템으로 재구성 될 수 있는 자율성을 가진 모듈형 로봇이다. 벨기에 브뤼셀 자유 대학교의 스웸봇은 중앙 통제 없이 에스봇이라 불리는 각각의 개별 로봇 모듈간 물리적 결합을 통해 대형 조립체를 스스로 구성하여 작업을 수행한다. 그러나 이들 로봇은 자율적인 결합이 불가능한 형태의 모듈형 로봇으로, 이동능력이 없기 때문에 인위적인 초기 결합이 필요하다. 또한, 외부 환경을 인식하여 환경에 따른 재구성을 할 수 없다.

본 논문에서는 미지의 환경이나 비평탄 지형에서 로봇 이동의 제한을 극복하기 위해 로봇간 물리적 결합을 통한 이동성 향상 방법을 제안한다.

## 2. 자가 결합 가능한 모듈형 로봇

### 2.1 모듈형 로봇의 시스템 구성

물리적 결합 가능한 모듈형 로봇의 시스템 구성은 그림 1과 같이 결합 기구 장치, 3자유도 결합 로봇 팔, 모터, 센서, 모션제어기, 주제어기, iGPS(Inner GPS)로 구성된다.

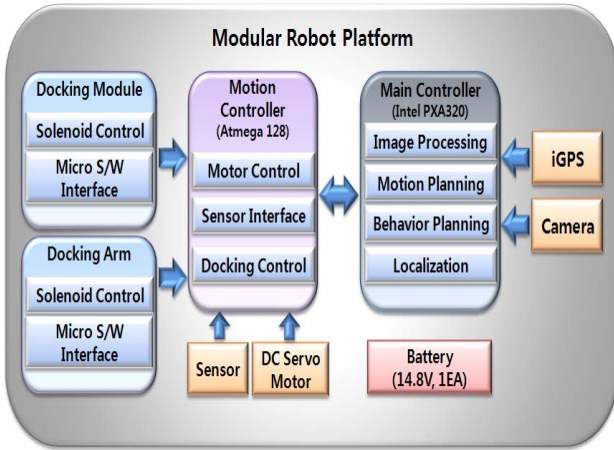


그림 1. 모듈형 로봇 시스템 구성  
Fig. 1. Structure of modular robot system

단순 결합 기구 장치는 한 쌍의 페그 모듈과 컵 모듈로 구성하고, 로봇의 양 끝에 각각의 모듈을 달아 로봇 간 2차원 평면에서 1차원적인 상호 결합이 가능하도록 구성하였다. 결합 로봇 팔은 3자유도의 로봇팔과 결합을 위한 페그 모듈과 컵 모듈로 구성하고, 두 대의 로봇 중심에 로봇 팔을 달아 2차원 평면상에서 로봇 간 2차원적인 상호 결합이 가능하도록 구성하였다. PSD센서를 로봇의 전면과 하단에 부착하여 장애물과의 거리를 측정하고, 비평탄 지형을 판단한다. 카메라를 로봇의 전면 상단에 장착하여 결합 모듈을 감지하였고, 로봇의 위치와 방향을 계산하기 위해 iGPS를 사용하였다. 주제어기로는 리눅스 기반의 Intel PXA320 임베디드 보드를 사용하였고, 위치기반 주행 및 결합 알고리즘과 영상처리를 수행한다. 모션제어기는 Atmega 128 보드를 사용하였으며, 7개의 모터와 로봇 팔의 솔레노이드를 제어한다. 본 논문에서 사용한 실제 모듈형 로봇은 다음의 그림 2와 같다.



그림 2. 물리적 결합 가능한 모듈형 로봇  
Fig. 2. Modular robot with physical docking device

### 2.2 모듈형 로봇의 주행 제어 모델

본 논문에서 개발된 모듈형 로봇은 차륜형 구동방식을 사용하였고, 주행 제어를 위한 기구학 모델은 그림 3과 같다.

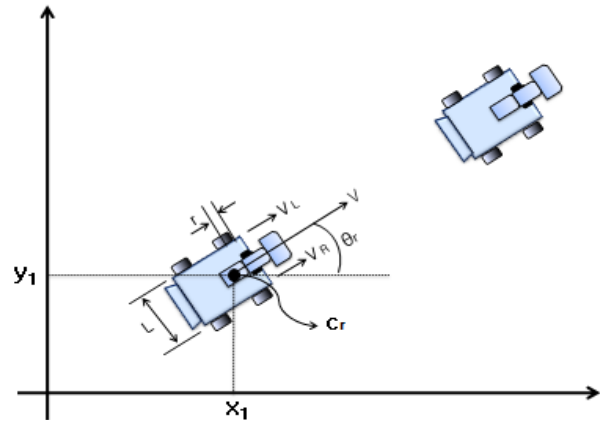


그림 3. 모듈형 로봇의 기구학 모델  
Fig. 3. Kinematic model of modular robot

$V_L$ 과  $V_R$ 은 양 바퀴의 선속도이며,  $\theta_r$ 은 로봇의 앞부분이 향하는 방향각이다. 간단한 기구학 모델을 얻기 위해 모듈형 로봇의 바퀴는 non-slipping조건을 만족한다고 가정하고, 이를 바탕으로 다음 식 (1)과 같은 속도 방정식을 얻었다.

$$w = \frac{V_R - V_L}{L} = r \frac{\omega_R - \omega_L}{L} \tag{1}$$

$$v = \frac{V_R + V_L}{2} = r \frac{\omega_R + \omega_L}{2}$$

여기서  $\omega$ 는 반시계 방향으로의 로봇의 각속도이며,  $v$ 는 로봇 중심의 선속도를 나타낸다.  $L$ 은 양쪽 회전 바퀴 사이의 거리를 나타내며,  $r$ 은 바퀴의 반지름이다.  $\omega_R$ 은 오른쪽 바퀴의 각속도를 나타내고,  $\omega_L$ 은 왼쪽 바퀴의 각속도를 나타낸다.

그림 4는 모듈형 로봇의 이동 궤적을 나타내며, 다음의 식(2)와 식(3)을 얻을 수 있다.

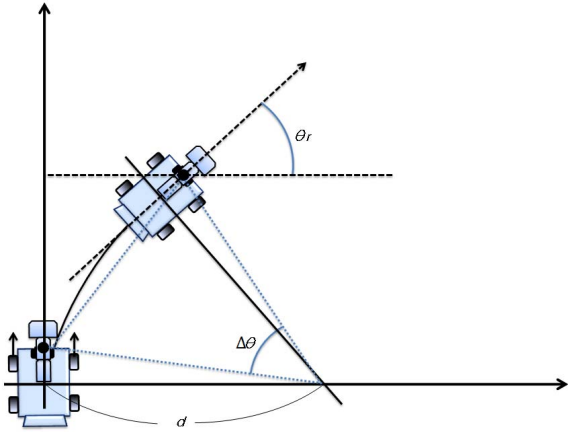


그림 4. 모듈형 로봇의 이동 궤적  
Fig. 4. Movement trajectory of modular robot

$$\Delta V_R : d + \frac{L}{2} = \Delta V_L : d - \frac{L}{2} \quad (2)$$

$$\frac{(\Delta V_L + \Delta V_R)L}{2} = (\Delta V_R - \Delta V_L)d \quad (3)$$

여기서  $d$ 는 로봇이 이동한 궤적의 중심축과의 거리,  $\Delta V_L$ 은 임의의 시간  $\Delta t$ 동안 왼쪽 바퀴가 이동한 거리,  $\Delta V_R$ 은 임의의 시간 동안 오른쪽 바퀴가 이동한 거리,  $\Delta\theta$ 는 임의의 시간 동안 로봇이 이동한 궤적의 중심축과의 각도이다. 임의의 시간  $\Delta t$ 동안에 양바퀴의 이동거리를 통해서 로봇이 이동한 궤적의 중심축과의 거리  $d$ 는 식(3)으로부터 다음의 식 (4)와 같이 얻어진다.

$$d = \left( \frac{\Delta V_R + \Delta V_L}{\Delta V_R - \Delta V_L} \right) \left( \frac{L}{2} \right) \quad (4)$$

또한 임의의 시간  $\Delta t$ 동안 로봇이 이동한 궤적의 중심축과의 각도  $\Delta\theta$ 와 로봇 중심의 이동 거리  $\Delta l$ 은 식 (5)와 식 (6)과 같이 구해진다.

$$\Delta\theta = \frac{\Delta V_R - \Delta V_L}{L} \quad (5)$$

$$\Delta l = \frac{\Delta V_R + \Delta V_L}{2} \quad (6)$$

### 2.3 공간 기구 메카니즘

로봇 몸체의 정렬을 최소화하고 로봇의 협업과 이를 통한 로봇의 이동성 향상을 위해 로봇 팔을 이용한 결합 및 로봇간의 상호협조가 필요하다. 로봇 팔이 결합된 경우 두 로봇 사이에는 일종의 링크구조가 형성된다[8].

본 연구에서는 구조가 비교적 간단하고 대칭구조를 가지고 각 로봇에 같은 형태의 로봇 팔을 적용하였다. RGGR 구조는 그림 6과 같이 로봇마다 RG 구조의 로봇 팔을 가지게 되어 결합 후에는 RGGR 링크 구조를 가지게 된다. RGGR 구조의 로봇 결합 팔로 인해 모듈형 로봇은 서로 다른 자세와 높이에 위치해도 공간적으로 결합이 가능하다.

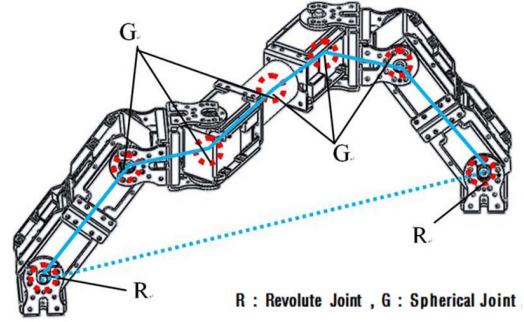


그림 6. 로봇 팔의 결합 구조  
Fig. 6. Docking structure of robot arm

## 3. 모듈형 로봇의 이동성 향상 기법

### 3.1 모듈형 로봇의 위치 및 방향 추정

모듈형 로봇은 원활한 작업 수행을 위해 실시간으로 자신의 위치와 진행 방향 정보를 획득하여야 한다[9,10]. 본 논문에서 사용한 로봇의 위치 및 진행 방향 추정 시스템의 구성도는 그림 7과 같다. RF와 초음파 기반의 iGPS를 사용하여 로봇의 실시간 위치와 진행 방향을 추정한다.

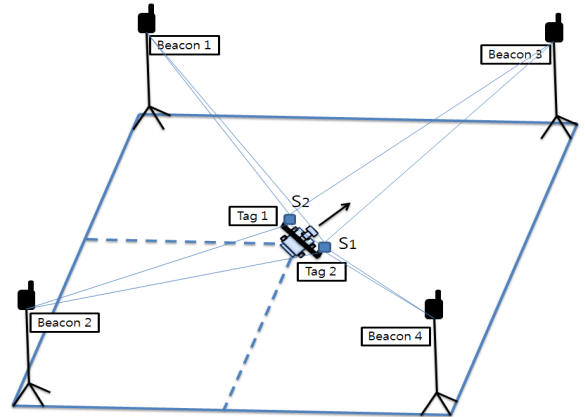


그림 7. iGPS기반 로봇 위치 및 진행 방향 추정  
Fig. 7. iGPS-based estimation of location and direction of the robot

로봇의 실시간 위치 추정을 위해 4개의 비컨(Beacon)은 정사각형의 형태로 각 모서리에 배치하고 로봇의 진행방향 추정을 위해 로봇의 진행 방향과 수평으로 30cm의 고정 간격을 가지는 두 개의 태그(Tag)를 로봇에 장착하였다. 하나의 초음파 센서로 위치정보는 추정할 수 있지만 진행 방향에 대한 정보는 추정하지 못하므로 두 개의 태그를 로봇에 장착하였다. 이동 중인 로봇에 장착된 두 개의 태그에서 송신한 신호를 4개의 비컨에서 수신하고 이를 이용하여 이동 중인 로봇의 위치를 추정한다. 추정된 위치를 기반으로 로봇의 이동 경로와 방향을 제어하고, 모듈형 로봇의 중심 좌표는  $C_r$ 은 다음 식(7)과 같이 추정한다.

$$C_r = \frac{s_1 + s_2}{2} \quad (7)$$

여기서  $s_1$ 과  $s_2$ 는 로봇의 좌우측이 장착된 센서의 추정 위치벡터이다.

### 3.2 모듈형 로봇의 분리와 결합 알고리즘

모듈형 로봇의 결합장치는 모듈형 로봇의 결합과 결합 해제를 위한 핵심적인 장치이다. 두 개의 모듈은 능동적 모듈과 수동적 모듈로 구성되며, 단순 결합 장치는 수동적 모듈의 모터에 의해 모듈이 결합 또는 분리하고 로봇 팔의 결합 장치는 능동적 모듈의 모터에 의해 모듈이 결합 또는 분리한다.

결합 모듈간 분리와 결합 알고리즘은 그림 8과 같다. 단순 결합 명령을 받으면, 기존의 결합 상태 정보를 확인하고 영상기반의 결합 알고리즘을 통해 자가 결합하고 마이크로 스위치에 의해 결합 상태 정보를 갱신한다. 로봇 팔 결합 명령을 받으면, 기존의 결합 상태 정보를 확인하고 결합을 위한 결합 준비 알고리즘을 수행한다. 영상기반의 결합 알고리즘을 통해 모듈을 자가 결합하고 마이크로 스위치에 의해 결합 상태 정보를 갱신한다. 결합 해제 명령을 받으면, 결합 해제 알고리즘 수행을 통해 모듈의 결합을 해제하고 결합 상태 정보를 갱신한다.

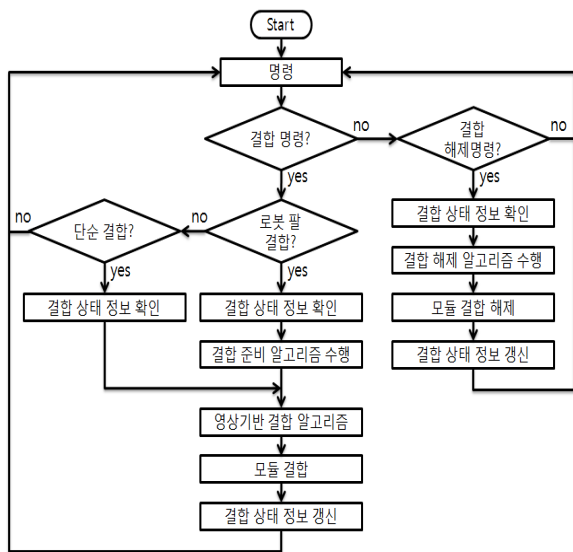


그림 8. 분리와 결합 알고리즘  
Fig. 8. Undocking and docking algorithm

### 3.3 자가 결합 제어를 위한 영상 처리 과정

모듈형 로봇이 임의의 환경에서의 자가 결합을 수행하기 위한 로봇간 위치 및 방향정보는 영상처리를 통해 얻어진다. 그림 9는 카메라에서 얻어진 영상이 영상처리 과정을 거쳐 결합 장치 및 장애물 인식 과정을 나타낸 것이다. 입력 영상은 조명의 영향을 최소화하기 위하여 HSI 영상으로 변환한다. 변환된 HSI 영상의 조명 정보를 제외한 색 정보만 이용하여 붉은색과 파란색의 컵 모듈과 장애물들을 추출한다. 일부 분산되어 있는 픽셀들을 제거한 뒤에 물체의 윤곽선을 검출하고 대상 물체들을 인식하며, 무게 중심법을 이용하여 대상 물체들의 중심점을 추출하였다. 영상을 통해 얻어진 정보들을 기반으로 모듈형 로봇은 자가 결합을 수행한다.

모듈을 기반으로 모듈형 로봇은 자가 결합을 수행한다.

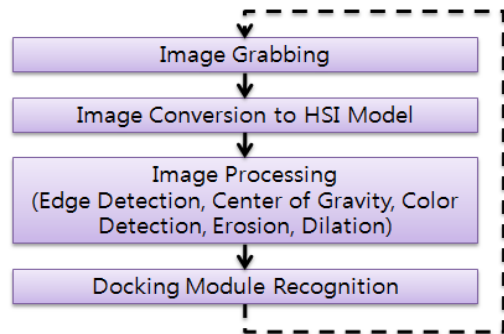


그림 9. 자가 결합을 위한 영상 처리 과정  
Fig. 9. Image processing for self-docking of robots

입력 영상은 조명의 영향을 최소화하기 위하여 HSI 영상으로 변환한다. 변환된 HSI 영상의 조명 정보를 제외한 색 정보만 이용하여 붉은색과 파란색의 컵 모듈과 장애물들을 추출한다. 일부 분산되어 있는 픽셀들을 제거한 뒤에 물체의 윤곽선을 검출하고 대상 물체들을 인식하며, 무게 중심법을 이용하여 대상 물체들의 중심점을 추출하였다. 영상을 통해 얻어진 정보들을 기반으로 모듈형 로봇은 자가 결합을 수행한다.

그림 10은 장애물과 모듈형 로봇의 윤곽선을 검출하는 실험 결과 영상이며, 그림 11은 로봇에 장착된 결합 장치 인식 및 중심점 추출 실험의 결과 영상이다.

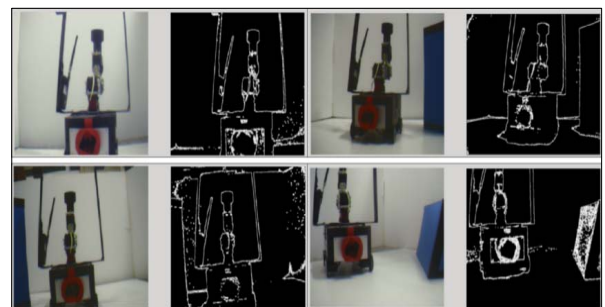


그림 10. 장애물과 모듈형 로봇의 윤곽선 검출  
Fig. 10. Edge detection of obstacles and robot

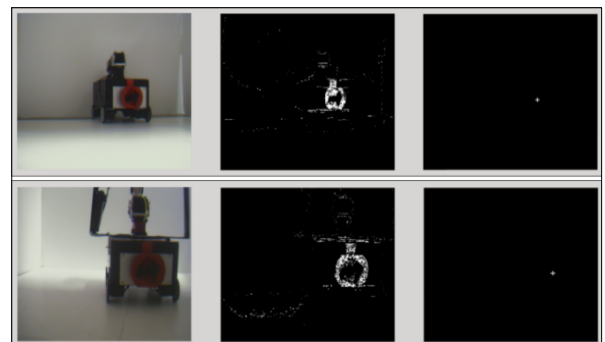


그림 11. 결합 장치 인식 및 중심점 추출  
Fig. 11. Recognition of docking device and extraction of a central point

### 3.4 모듈형 로봇의 비평탄 주행 알고리즘

다수의 소형 로봇들은 탐사, 정찰, 구조 등의 응용 분야에 적용되어 각자 특화된 작업을 수행하게 되며, 대부분의 경우 비평탄 지형에서의 이동을 필요로 한다. 본 연구에서는 도로가 끊어진 경우와 단턱이 있는 비평탄 지형을 고려하여 모듈형 로봇의 상호 협력 및 주행 알고리즘을 구현하였다. 단일 로봇으로 이동이 불가능한 비평탄 지형에서 로봇간 물리적 결합을 통한 이동성 향상 알고리즘은 다음의 그림 12와 같다.

```

Algorithm : Mobility improvement navigation
recognize terrain
if (terrain = broken road) then
    execute Navigation across broken road
else (terrain = low hill) then
    execute Navigation over low stair
endif
return execute individual navigation and task
    
```

그림 12. 비평탄 지형에서의 이동성 향상 알고리즘  
 Fig. 12. Mobility improvement navigation algorithm in the uneven environment

그림 13은 지형에 따른 모듈형 로봇의 이동성 향상 알고리즘이다. 여기서  $\theta_{r1}$ 과  $\theta_{r2}$ 는 각 로봇의 방향각이고,  $\theta_{doc}$ 는 로봇간 결합을 위한 전체 로봇의 목표 방향각이다. 로봇이 작업 수행 중 로봇의 하단에 장착된 PSD 센서를 통해 끊어진 도로를 인식하게 되면, 다른 로봇의 협력으로 환경을 극복하기 위해 iGPS의 절대 좌표를 이용하여 결합을 위한 위치로 이동한다. 결합 모듈의 인식률을 높이기 위하여 각 로봇들의 경로방향각을 비교하여 맞추고, 영상처리를 통해 결합할 로봇을 인식하여 로봇 간 결합을 시도한다. 결합에 실패하면 일정 거리 후진하여 결합을 재시도하고, 로봇간 결합이 성공하면 협력 이동을 통해 지형을 극복하여 이동하고, 로봇 하단 후미에 장착된 PSD센서를 이용하여 이동이 완료됨을 확인 후 결합을 해제한다.

로봇의 전면에 장착된 PSD 센서를 통해 단일 로봇의 이동이 불가능한 단턱을 발견하게 되면 로봇들간 협력으로써 환경을 극복하기 위해 iGPS의 절대 좌표를 이용하여 결합을 위한 위치로 이동한다. 결합 모듈의 인식률을 높이기 위하여 두대 로봇의 경로방향각을 비교하여 맞춘다. 영상처리를 통해 결합할 로봇의 결합 장치를 인식하고, 로봇 팔을 결합이 가능한 자세로 조정 하여 결합을 시도한다. 결합에 성공하면 로봇간 협력을 통하여 로봇의 앞부분을 들고 일정 거리 이동하여 내려놓는다. 다시 로봇의 뒷부분을 들어 이동하고, 로봇 하단 후미에 장착된 PSD센서를 이용하여 이동이 완료됨을 확인 후 결합을 해제한다.

극복 불가능한 장애물의 경우 카메라 영상정보를 이용하여 장애물을 탐지한다. 탐지된 장애물이 로봇 진행방향을 기준으로 오른쪽에 인식되면 로봇은 왼쪽으로 회피하고, 왼쪽에 존재하면 반대방향으로 회피한다.

```

Algorithm : Navigation across broken road
repeat
    communicate (Robot1, Robot2)
    compare ( $\theta_{r1}$ ,  $\theta_{r2}$ ) // using iGPS
    execute adjust  $\theta_{doc}$ 
    calculate  $\theta_{doc}$ 
    if ( $\theta_{doc} \leq$  threshold)
        recognize docking_device
        if (recognize docking_device = success) then
            repeat
                execute peg_docking
                if (peg_docking = success) then
                    repeat
                        execute cooperative move
                        if (navigation across broken road = success) then
                            execute undocking
                            return (Mobility improvement navigation algorithm)
                        endif
                    until navigation across broken road = success
                else (peg_docking = fail) then
                    execute backward move
                endif
            until peg_docking = success
        endif
    endif
until navigation across broken road = success
    
```

그림 13. 끊어진 지형에서의 주행 알고리즘  
 Fig. 13. Navigation algorithm across broken road

```

Algorithm : Navigation over low stair
repeat
    communicate (Robot1, Robot2)
    compare ( $\theta_{r1}$ ,  $\theta_{r2}$ ) // using iGPS
    execute adjust  $\theta_{doc}$ 
    calculate  $\theta_{doc}$ 
    if ( $\theta_{doc} \leq$  threshold)
        recognize docking_device
        if (recognize docking_device = success) then
            adjust arm_docking_posture
            repeat
                execute arm_docking
                if (arm_docking = success) then
                    repeat
                        execute low_stair_mounting
                        if (low_stair_mount = success) then
                            execute undocking
                            return (Mobility improvement navigation algorithm)
                        endif
                    until low_stair_mount = success
                else (arm_docking = fail) then
                    execute backward move
                endif
            until arm_docking = success
        endif
    endif
until low_stair_mount = success
    
```

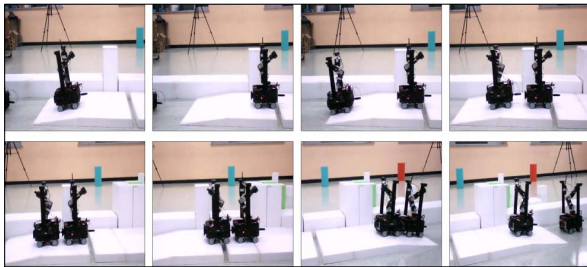
그림 14. 단턱 극복 주행 알고리즘  
 Fig. 14. Navigation algorithm over low stair



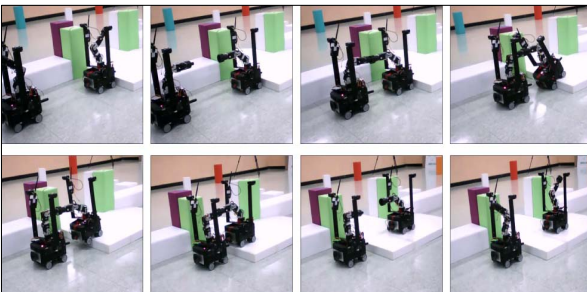
#### 4. 실험 결과

본 논문에서 제안된 모듈형 로봇의 협력을 통한 이동성 향상 알고리즘의 성능을 검증하기 위해서 세 대의 모듈형 로봇을 제작하여 실제 다양한 환경에서 실험을 수행하였다. 단순 결합을 위한 로봇, 로봇 팔의 결합을 위한 로봇, 결합할 로봇으로 역할을 나누어 끊어진 도로, 단턱, 끊어진 도로와 단턱이 모두 존재하는 환경에서 각각 10번 단위의 반복 실험을 통해 검증하였다.

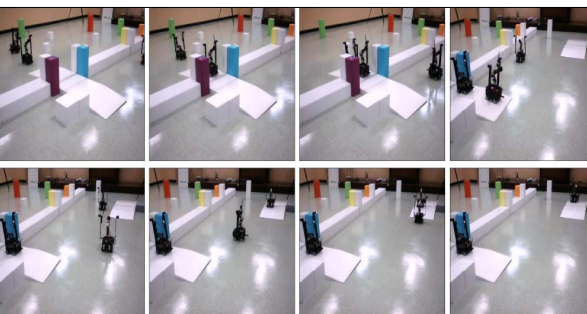
실험 결과에서 끊어진 도로의 경우에 협력이동 성공률은 평균 90%로 높은 수준이며, 단턱이 존재하는 환경에서의 극복을 통한 이동 실험은 평균 82.5%의 성공률을 보였다. 또한, 끊어진 도로와 단턱이 모두 존재하는 환경에서의 통합 실험은 평균 75%정도의 성공률을 보였다. 그림 12는 다양한 상황에 따른 모듈형 로봇들의 이동성 향상 실험 장면을 보여준다.



(a) 끊어진 도로  
(a) Broken road



(b) 단턱 환경  
(b) Low stair



(c) 끊어진 도로와 단턱  
(c) Broken road and low stair

그림 12. 비평탄지형 모듈형 로봇의 이동성 향상 실험  
Fig. 12. Experimental results for improved mobility of modular robots in the uneven environments

#### 5. 결론 및 고찰

본 논문에서는 기존의 로봇들이 미지의 환경이나 비평탄 지형에서 로봇의 주행에 제한이 따르는 문제를 극복하기 위해 모듈형 로봇의 물리적 결합을 통한 주행 향상 기법을 제안하였다. 제안된 모듈형 로봇의 이동성 향상 기법은 세 대의 모듈형 로봇을 사용하여 실제 다양한 환경에서 실험을 수행하여 성능을 검증하였다. 끊어진 도로의 경우 페그 결합을 이용하여 상대적으로 높은 성공률을 보여주었으며, 단턱이 존재하는 환경의 경우 로봇 팔을 이용한 3차원 공간에서의 결합으로 인해 상대적으로 낮은 성공률을 보였다. 실제 실험에서 조명에 의한 영상처리 결과와 iGPS의 위치 오차가 결합 및 주행 성능에 영향을 주었다. 앞으로 조명과 위치 오차의 영향을 최소화하기 위한 개선 방법을 연구할 예정이다.

본 논문에서 제안한 비평탄 지형에서 로봇의 이동성 향상 기법은 탐사, 경찰, 구조 등의 소형 로봇에 적용되어 다양한 분야에서 응용될 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Y. T. Kim, H. G. 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 Robots and Systems*, Vol 15, pp. 15-25, 2009
- [2] M. Yim, Y. Zhang, and D. Duff, "Modular Robots", *IEEE Spectrum*, Vol. 39 No. 2. pp. 30 - 34, 2002.
- [3] R. Gross, M. Bonani, F. Mondada, and M. Dorigo, "Autonomous Self-assembly in Swarm-Bots," *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 22, pp. 1115-1130, 2006
- [4] M. Delrobaei and K. Mclsaac, "Docking Joint for Autonomous Self-assembly," *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, pp. 1025-1030, 2008
- [5] A. Kamimura, S. Murata, E. Yoshida, H. Kurokawa, K. Tomita, and S. Kokaji. "Self-reconfigurable Modular Robot - Experiments on Reconfiguration and Locomotion," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 606 - 612, 2001.
- [6] M. Yim, K. Roufas, D. Duff, Y. Zhang, C. Eldershaw, and S. B. Homans, "Modular Reconfigurable Robots in Space Applications," *Auton. Robots*, Vol. 14 No.2-3 pp. 225 - 237, 2003.
- [7] A. Deshpande and J. Luntz, "Behaviors for Physical Cooperation between Robots for Mobility Improvement," *Autonomous Robots*, Vol. 23, pp. 259-274, 2007
- [8] D. M. Choi, J. H. Park, D. Y. Na, Y. T. Kim, H. R. Choi, and H. P. Moon, "A Design of Cooperative Robots Using Spatial Mechanisms," *Proceeding of the Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence*, pp. 451-455, 2009

[9] H. H. Gonzalez .Banos and J. C. Latombe, "Navigation Strategies for Exploring Indoor Environments," *International Journal of Robotics Research*, Vol. 21 No. 10-11 pp. 829 - .848, Oct. Nov 2002.

[10] 김지성, 태용민, 유연결, 김시중, 정명진, "센서 융합 기반의 자가 재결합 로봇을 위한 위치 인식 시스템", *제4회 한국지능로봇융합학술대회*, 2009

저 자 소 개



**나두영(Doo-Young Na)**  
 2009년 : 한경대학교 정보제어공학과 졸업 (학사)  
 2009년~현재 : 동 대학원 석사과정

관심분야 : 지능제어, 지능시스템, 지능로봇  
 E-mail : nadooyoung@gmail.com



**민현홍(Hyun-Hong Min)**  
 2009년 : 한경대학교 정보제어공학과 졸업 (학사)  
 2009년~현재 : 동 대학원 석사과정

관심분야 : 지능제어, 지능시스템, 지능로봇  
 E-mail : minhh1@naver.com



**이창석(Chang-Seok Lee)**  
 2010년 : 한경대학교 정보제어공학과 졸업 (학사)  
 2010년~현재 : 동 대학원 석사과정

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



**노수희(Su-Hee Noh)**  
 2004년 : 한경대학교 정보제어공학과 졸업 (학사)  
 2006년 : 한경대학교 대학원 졸업(석사)  
 2006년~현재 : 동 대학원 박사과정

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



**문형필(Hyung-Pil Moon)**  
 1996년 : 포항공과대학교 기계공학과 졸업 (학사)  
 1998년 : 포항공과대학교 기계공학과 졸업 (석사)  
 2005년 : University of Michigan, Ann Arbor 기계공학 박사

2005년~2007년 : Carnegie Mellon University, Robotics Institute, Post-doctoral fellow  
 2008년~현재 : 성균관대학교 기계공학부 조교수

관심분야 : distributed manipulation, SLAM, multiple robot navigation, biomimetic robotics  
 E-mail : hyungpil@me.skku.ac.kr



**정진우(Jin-Woo Jung)**  
 1997년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)  
 1999년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)  
 2001년~2002년 : 일본 동경대학교 기계정보공학과 대학원 방문 연구원

2004년 : 한국과학기술원 전자전산학과 졸업(공학박사)  
 2004년~2006년 : 한국과학기술원 인간친화 복지로봇 시스템연구센터 박사 후 연구원  
 2006년~현재 : 동국대학교 컴퓨터공학과 조교수

관심분야 : 인간-로봇 상호작용, 다개체 모듈형 협력로봇, 소프트웨어컴퓨팅, 생체측정, 지능로봇  
 E-mail : jwjung@dongguk.edu



**김용태(Yong-Tae Kim)**  
 1991년 : 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학사)  
 1993년 : KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1998년 : KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)  
 1998년~2000년 : (주)삼성전자

2006년 : Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 방문연구  
 2002년~현재 : 국립 한경대학교 정보제어공학과 부교수

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