

## 직렬연결이 가능한 소형 바퀴 로봇 모듈의 개발

김나빈\* · 김예지\* · 김지민\* · 황윤미\* · 봉재환\*\*

## Development of Series Connectable Wheeled Robot Module

Na-Bin Kim\* · Ye-Ji Kim\* · Ji-Min Kim\* · Yun Mi-Hwang\* · Jae-Hwan Bong\*\*

## 요약

인간의 접근이 어려운 재난 현장에 투입되는 재난 대응 로봇은 재난의 확산 방지 및 피해 최소화를 위해 현장탐색, 인명구조 등의 임무를 수행한다. 재난 현장에는 다양한 장애물이 산재한 험지, 통신 장애, 비가시적인 환경 등 복합적인 요인으로 인해 로봇 운용에 어려움이 있다. 본 논문에서는 직렬연결이 가능한 바퀴 로봇 모듈을 개발하였다. 바퀴 로봇 모듈은 직접 구동이 가능한 로봇 모듈과 수동으로 구동되는 로봇 모듈 두 가지로 개발하였다. 두 개의 직접 구동이 가능한 로봇 모듈과 하나의 수동으로 구동되는 로봇 모듈을 직렬연결하여 하나의 바퀴 로봇을 구성하였다. 로봇 모듈은 1 자유도 회전 관절로 연결되어 바퀴 로봇은 수직 방향으로의 장애물 회피가 가능하다. 바퀴 로봇은 압력 센서만을 이용해 주행과 장애물 극복을 수행하도록 제어하여 비가시적 환경에서 운용할 수 있도록 하였다. 바퀴 로봇의 성능 평가를 위해 두 개의 직접 구동이 가능한 바퀴 로봇 모듈과 한 개의 수동으로 구동되는 바퀴 로봇 모듈을 연결하여 장애물 극복 실험을 수행하였다. 바퀴 로봇은 압력 센서만을 사용해 최대 높이 80 mm의 계단형 장애물을 24.5초의 시간 동안 성공적으로 극복하여 비가시적인 상황에서 주행 및 장애물 극복이 가능함을 확인하였다.

## ABSTRACT

Disaster response robots are deployed to disaster sites where human access is difficult and dangerous. The disaster response robots explore the disaster sites prevent a structural collapse and perform lifesaving to minimize damage. It is difficult to operate robots in the disaster sites due to rough terrains where various obstacles are scattered, communication failures and invisible environments. In this paper, we developed a series connectable wheeled robot module. The series connectable wheeled robot module was developed into two types: an active driven robot module and a passive driven robot module. A wheeled robot was built by connecting the two active type robot modules and one passive type robot module. Two robot modules were connected by one DoF rotating joint, allowing the wheeled robot to avoid obstructions in a vertical direction. The wheeled robot performed driving and obstacle avoidance using only pressure sensors, which allows the wheeled robot operate in the invisible environment. An obstacle avoidance experiment was conducted to evaluate the performance of the wheeled robot consisting of two active driven wheeled robot modules and one passive driven wheeled robot module. The wheeled robot successfully avoided step-shaped obstacles with a maximum height of 80 mm in a time of 24.5 seconds using only a pressure sensors, which confirms that the wheeled robot possible to perform the driving and the obstacle avoidance in invisible environment.

## 키워드

Disaster Response, Inspection Robot, Invisible Narrow Space, Snake-like Robot, Wheeled Robot  
재난 대응, 탐색 로봇, 비가시적 좁은 공간, 뱀 형태 로봇, 바퀴 로봇

\* 상명대학교 휴먼지능로봇공학과 (skqslra@naver.com, wfifs0305@gmail.com, riawials2247@naver.com, hym11030428@gmail.com) · Received : Aug. 29, 2022, Revised : Sep. 20, 2022, Accepted : Oct. 17, 2022  
· Corresponding Author : Jae Hwan Bong  
Dept. Human Intelligence Robot Engineering, Sangmyung University,  
Email : drbong@smu.ac.kr

\*\* 교신저자 : 상명대학교 휴먼지능로봇공학과  
· 접수일 : 2022. 08. 29  
· 수정완료일 : 2022. 09. 20  
· 게재확정일 : 2022. 10. 17

## 1. 서 론

최근 수년에 걸쳐 자연재해와 인공재해의 위험성에 대한 사회적 인식이 커지고 있으며, 단지 재해의 발생 횟수를 줄이는 방법뿐만 아니라 재해로 인한 피해를 줄이기 위한 재해 관리(Disaster Management)에 대한 필요성이 커지고 있다[1]. 재해 관리는 완화(Mitigation), 준비(Preparedness), 대응(Response) 및 복구(Recovery)의 네 단계로 나누어 이루어진다[2]. 완화 단계는 재난 발생 이전에 약한 구조물 보강 등을 통해 예상 가능한 위험을 줄이거나 제거하는 과정이다. 준비 단계는 재난으로 인한 피해가 발생했을 때를 대비하여 대피나 회피 시나리오를 미리 마련하여 피해를 최소화하는 과정이다. 대응 단계는 재해 발생 직전, 발생 중과 발생 후에 재산과 인명피해를 최소화하기 위한 모든 대피 및 구조 활동 등을 포함한다. 복구 단계는 재난으로 피해를 받은 지역과 지역사회의 재건을 목표로 하는 활동을 포함한다.

대응 단계와 복구 단계에는 전문가로 구성된 구조 팀이나 복구 팀이 재난 현장에 파견되어 작업을 수행한다. 재난 현장은 방사능이나 독성 가스의 누출, 건물 구조물 붕괴나 폭발에 의한 위험 등의 이유로 일반적으로 사람에게 위험하고 험난한 환경을 갖고 있다 [3]. 후쿠시마 원자력 발전소 사고나 911 테러 현장에서도 다수의 전문가가 목숨을 바쳐 구조, 탐색 및 복구 작업 등을 수행하였다. 위험한 재난 현장에 사람 대신 투입되거나 사람과 함께 투입되어 위험 상황을 보조할 수 있는 로봇 기술의 개발이 중요해지고 있다 [4].

재난 현장에서 로봇을 활용하기 위해서는 장애물이 산재한 험지, 암흑이나 연기 등으로 인한 비가시적 상황 등의 가혹한 환경을 극복할 수 있는 로봇 기술의 개발이 필요하다. 험지와 같은 지형 문제를 극복하기 위해서 MUTT(:General Dynamics, USA), SMSS(Lockheed Martin, USA)와 같은 바퀴 로봇, Quince(FuRo, Japan), PackBot(Endeavor Robotics, USA)과 같은 궤도 로봇, BigDog(Boston Dynamics, USA), Cheetah(MIT, USA)와 같은 다리 로봇, 도마뱀을 모사한 StickyBot(Stanford University, USA) 로봇, 뱀 형태의 Soryu-C(Hibot, Japan), ACM(Hibot, Japan) 로봇 등과 같이 다양한 이동 방법(Mobility)을

갖는 로봇이 개발되고 있다.

뱀 형태의 직렬연결된 로봇은 몸체의 관절을 이용해 다자유도 기동이 가능하며, 좁거나 다양한 장애물이 나타나는 환경에서 유연한 움직임이 가능하다[5]. 뱀 형태의 로봇은 구동 방법에 따라 다양한 방식으로 개발되고 있다. 바퀴에는 구동기를 사용하지 않고 몸체를 연결하는 관절에만 구동기를 사용하여 몸체의 움직임으로 구동하는 방식의 로봇은 평지에서의 유연한 기동에서 좋은 성능을 보였다[6]. 바퀴에 구동기를 사용하고 몸체를 연결하는 관절에는 구동기를 사용하지 않아 바퀴로만 구동하는 방식의 로봇은 험지에서 빠른 기동이 가능했다[7]. 바퀴와 몸체를 연결하는 관절에 모두 구동기를 사용하는 로봇은 평지와 경사로 구성된 장애물을 극복하는데 좋은 성능을 보였다 [8]. 뱀 형태 로봇을 재난 현장에서 좁고 다양한 형태를 가지는 지형의 탐색 목적으로 사용하기 위해 뱀 로봇의 보행 방법에 대한 연구도 진행되고 있다 [9-11].

로봇의 자율 주행을 위해 RGB 카메라와 LiDAR 센서를 이용해 장애물을 파악하는 연구가 있으나[12] 재난 현장에서 연기가 발생한 경우에는 RGB 카메라로 인식할 수 있는 물체와의 거리가 크게 떨어지거나 물체를 인식할 수 없게 된다. 연기가 심해 가시거리가 짧은 재난 환경에서 RGB 카메라를 대신하여 열화상 카메라로 주변 환경의 온도를 감지하고 물체를 인식하는 연구[13]가 진행되었으나 열화상 카메라로는 인식이 어려운 물체가 존재하여 한계가 있다.

본 논문에서는 재난 현장의 배관, 덕트와 같은 협소하고 다양한 형태의 공간을 통해 탐색이 가능한 뱀 형태의 로봇을 개발하기 위한 사전 연구로써 직렬연결이 가능한 소형 바퀴 로봇 모듈을 개발하였다. 소형 바퀴 로봇 모듈은 직접 구동이 가능한 로봇 모듈(RM<sub>Active</sub>)과 수동으로 구동되는 로봇(RM<sub>Passive</sub>)의 두 종류로 모듈화하여 개발하였다. 모듈화된 두 종류의 소형 바퀴 로봇은 목적에 따라 원하는 수 만큼 직렬로 연결하여 하나의 바퀴 로봇을 구성한다. 바퀴 로봇은 압력 센서만을 이용해 장애물을 파악하고 연결된 로봇 모듈 사이의 각도를 조절하여 장애물을 극복함으로써 비가시적 환경에서도 장애물을 극복 및 이동이 가능하다.

## II. 직렬연결이 가능한 소형 바퀴 로봇

두 개의  $RM_{Active}$ 와 하나의  $RM_{Passive}$ 를 직렬연결하여 하나의 바퀴 로봇을 구성한 3차원 조립 모델을 그림 1에 나타내었다. 바퀴 로봇은 그림 1의 (a)에 표시한  $RM_{Active}$ 를 최소 2개 이상 연결하고 그림 1의 (b)에 표시한  $RM_{Passive}$ 를 최소 1개 이상 연결하여 구성하도록 개발하였다. 두 종류의 소형 바퀴 로봇 모듈은 그림 1의 (c)에 표시한 연결부로 연결하였다. 연결부의 양 끝에서 소형 바퀴 로봇 모듈과 체결되며 연결부의 중심에 하나의 서보모터를 사용하는 회전 관절을 포함하여 회전 관절의 축 방향으로 2차원 평면에서 1 자유도 회전할 수 있다.

$RM_{Active}$ 는 바퀴 로봇이 이동하는데 필요한 동력을 전달하고  $RM_{Passive}$ 와 연결부는 바퀴 로봇의 다양한 자세를 만들어 장애물 극복이 가능하도록 한다.

바퀴 로봇의 사용 목적과 필요 성능에 따라  $RM_{Active}$ 와  $RM_{Passive}$ 를 추가로 직렬연결하여 그림 1의 바퀴 로봇보다 길이가 더 긴 바퀴 로봇을 구성할 수도 있다. 예를 들어 바퀴 로봇에 동력이 추가로 필요한 경우 그림 1의 구성에  $RM_{Active}$ 를 추가 연결하고 바퀴 로봇의 작업공간(Workspace)을 늘려 다양한 자세 구현과 더 높은 장애물 극복이 필요하다면 그림 1의 구성에  $RM_{Passive}$ 를 추가로 연결하여 바퀴 로봇의 성능 변경이 가능하다.

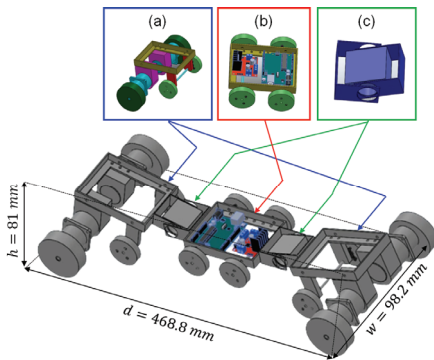


그림 1. 직렬연결이 가능한 소형 바퀴 로봇 모듈로 구성된 바퀴 로봇  
Fig. 1 Wheeled robot consisting of series connectable wheeled robot module

$RM_{Passive}$ 는 구동기를 포함하지 않아 187g의 무게를 가지며  $RM_{Active}$ 는 구동기를 포함하여 522g의 무게를 가진다. 연결부는 62g의 무게를 가진다.  $RM_{Active}$ 와 비교하여  $RM_{Passive}$ 는 상대적으로 가볍게 설계하여  $RM_{Passive}$ 를 바퀴 로봇에 다수 연결하는 경우에 바퀴 로봇의 회전 관성 증가량을 최소화하였다.

### 2.1 소형 바퀴 로봇 모듈과 연결부의 부품 구성

직렬연결이 가능한 소형 바퀴 로봇 모듈과 연결부의 주요 부품을 그림 2에 나타내었다.  $RM_{Active}$ 는 그림 2의 (a)로 표시된 두 개의 66 mm 바퀴에 그림 2의 (b)로 표시된 DC 모터를 직결하여 각각 구동하였다. DC 모터는 감속비가 1/180인 기어를 포함하며 그림 2의 (c)로 표시된 거치대를 설계하여 고정하였다. 그림 2의 (d)로 표시된 두 개의 43 mm 수동 바퀴를 추가하여 로봇이 수평을 유지할 수 있도록 하였다.

소형 바퀴 로봇 모듈을 연결하는 연결부는 그림 2의 (g)에서 각각 소형 바퀴 로봇 모듈과 체결된다. 그림 2의 (e)에 표시된 서보모터는 연결부의 회전 관절을 축 방향으로 회전시켜 소형 바퀴 로봇 모듈 사이의 자세를 변경하였다.

$RM_{Passive}$ 에는 그림 2의 (h)로 표시된 네 개의 43 mm 수동 바퀴를 사용하였다. 그림 1과 같이  $RM_{Active}$ 와  $RM_{Passive}$ 를 연결했을 때, 이동 방향의 가장 앞과 뒤에 위치하는 구동 바퀴의 직경을 중간에 위치하는 수동 바퀴에 비해 크게 함으로써 장애물 극복이 용이하도록 하였다.

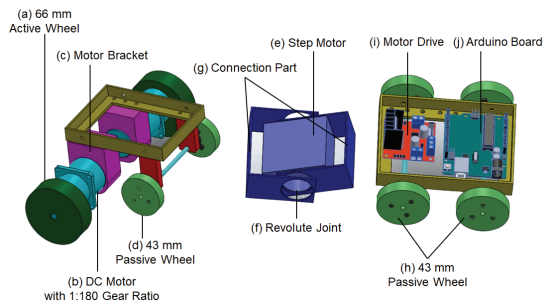


그림 2. 소형 바퀴 로봇 모듈과 연결부의 주요 구성  
Fig. 2 Key components of wheeled robot modules and connector module

그림 2의 (j)로 표시된 아두이노 보드는 센서 신호를 받아 처리하고 알고리즘에 따라 그림 2의 (b)와 (e)로 표시된 DC 모터와 서보모터를 회전시키기 위한 신호를 생성하였다. 그림 2의 (i)로 표시된 모터 드라이버는 DC 모터의 회전 속도나 회전 방향을 제어하였다.

### 2.2 소형 바퀴 로봇 모듈과 연결부의 전장 구성

그림 3은 소형 바퀴 로봇 모듈과 연결부의 구동을 위한 구동기, 센서, 아두이노 보드 사이의 연결 관계와 실제 구성한 바퀴 로봇을 보여준다. 소형 바퀴 로봇 모듈을 연결한 바퀴 로봇은 암흑이나 연기가 심한 비가시적 상황에서 RGB 카메라로 주변 환경 정보를 파악할 수 없는 경우에도 압력 센서를 이용해 장애물을 파악하고 그림 3에 (a)로 표시한 DC 모터와 그림 3에 (b)로 표시한 서보모터를 제어하여 주행과 장애물 회피가 가능하도록 개발하였다.

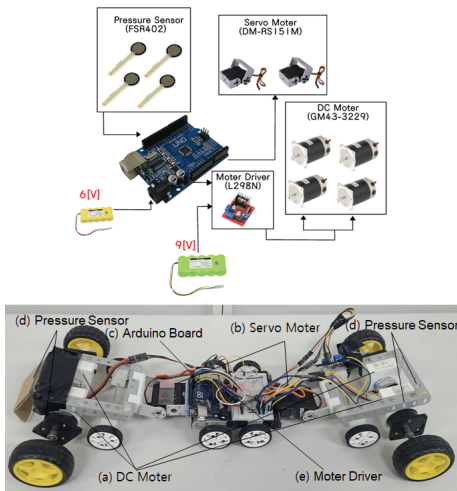


그림 3. 소형 바퀴 로봇 모듈과 연결부의 전장 구성  
Fig. 3 Electronic connections for wheeled robot modules and connector module

그림 3에 (c)로 표시한 아두이노 보드에는 6 V 전압이 공급되며 그림 3에 (d)로 표시한 Force Sensitive Resistor (FSR) 압력 센서는 아날로그 신호를 아두이노 보드에 전달하였다.

그림 3에 (d)로 표시한 FSR 압력 센서 신호를 이용해 소형 바퀴 로봇 모듈의 바퀴가 장애물에 닿아

충격이나 압력이 발생하는지 감지하였다. FSR 압력 센서의 아날로그 출력은  $[0, 1023]$  범위의 값을 가진다. FSR 압력 센서의 아날로그 신호 값을 50 미만이면 1, 50 이상이면 0으로 변환하여 이진화하였다. 이진화된 FSR 압력 센서의 값이 1일 때, 소형 바퀴 로봇 모듈이 주변 환경과 접촉한 것으로 판단하였다.

아두이노 보드는 센서의 아날로그 신호를 처리하여 그림 3에 (a)와 (b)로 표시된 DC 모터와 서보모터를 제어하였다. 서보모터는 아두이노 보드에서 펄스 폭 변조(PWM)를 통해 회전 각도를 제어하였다. DC 모터는 아두이노 보드가 그림 3에 (e)로 표시된 모터드라이브에 제어 신호를 보내고 모터드라이브가 DC 모터의 회전 속도나 회전 방향을 제어하였다. DC 모터의 구동을 위해 추가로 9 V 전원을 연결하였다.

### 2.3. 직렬연결 바퀴 로봇의 장애물 극복 과정

소형 바퀴 로봇 모듈을 직렬연결한 바퀴 로봇이 주행 중 장애물을 극복하는 과정을 그림 4에 나타내었다. 바퀴 로봇은 지면을 이동하면서 FSR 압력 센서를 통해 로봇과 장애물의 충돌 여부를 판단한다. 그림 4의 (a)와 같이 FSR 압력 센서에 의해 로봇과 장애물의 충돌이 감지되면 바퀴를 구동하는 DC 모터의 회전을 멈추고 그림 4의 (b)와 같이 소형 바퀴 로봇 모듈 사이의 회전 관절을 회전하여 소형 바퀴 로봇 모듈 사이의 각도를 90도로 만든다.

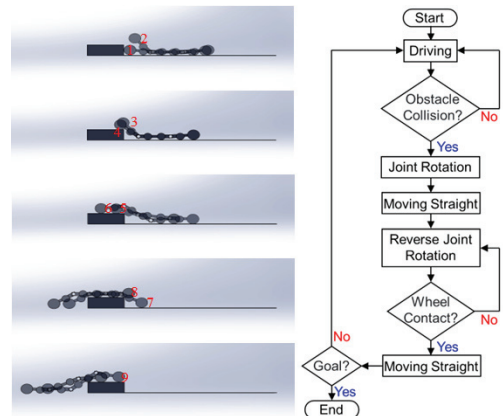


그림 4. 소형 바퀴 로봇 모듈을 연결한 바퀴 로봇의 장애물 극복 과정

Fig. 4 Obstacle avoidance sequence of series connected wheeled robot

그림 4의 (c)와 같이 다시 저속으로 DC 모터를 구동하여 로봇이 전진하고 그림 4의 (d)와 같이 회전했던 소형 바퀴 로봇 모듈 사이의 회전 관절을 역회전하여 2도씩 내린다. 바퀴가 장애물이나 지면 등에 닿는지 FSR 압력 센서 값을 이용해 판단하고 바퀴가 장애물이나 지면 등에 닿지 않았다면 그림 4의 (c)와 (d)의 전진과 소형 바퀴 로봇 모듈 사이의 회전 관절의 회전을 반복한다. 바퀴가 장애물이나 지면 등에 닿았다면 그림 4의 (e)와 같이 소형 바퀴 로봇 모듈 사이의 회전을 멈추고 장애물 극복을 위해 전진한다.

### III. 실험 및 결과

그림 3과 같이 RM<sub>Active</sub> 2개와 RM<sub>Passive</sub> 1개를 연결하여 바퀴 로봇을 구성하였다. 바퀴 로봇이 FSR 압력 센서만 이용하여 계단형 장애물을 극복하는 실험을 수행하였다. 실험은 바퀴 로봇을 평지에 두고 계단형 장애물을 로봇의 250 mm 앞에 고정된 상태에서 시작하였다.

계단형 장애물의 계단 너비는 300 mm로 일정하게 하였고 계단 높이는 40 mm를 가장 낮은 높이로 하여 20 mm씩 높여가며 실험하였다. 계단형 장애물과 처음 부딪히는 구동 바퀴(그림 2의 (a))의 직경이 66 mm 이므로 최대 33 mm 높이의 계단형 장애물은 바퀴 구동을 통해 극복이 가능하지만 33 mm 이상의 높이를 가지는 계단형 장애물은 바퀴 구동만으로는 극복이 불가능하다. 따라서 가장 낮은 계단형 장애물의 높이를 40 mm로 설정하였다.

바퀴 로봇의 장애물 극복 실험은 그림 5에 보이는 과정으로 이루어졌다. 바퀴 로봇과 장애물이 부딪히면 FSR 압력 센서에 의해 서보모터가 작동하여 장애물과 부딪힌 RM<sub>Active</sub>를 들어 올렸다. 앞쪽 RM<sub>Active</sub>를 들어 올린 상태로 바퀴 로봇은 뒤쪽 RM<sub>Active</sub>의 DC 모터를 구동해 조금씩 전진하며 서보모터의 회전을 통해 앞쪽 RM<sub>Active</sub>가 시계 방향과 반시계 방향으로 회전한다. FSR 압력 센서를 이용해 앞쪽 RM<sub>Active</sub>가 다시 장애물에 닿은 것으로 파악되면 서보모터의 회전을 멈춰 앞쪽 RM<sub>Active</sub>의 각도를 고정한다. DC 모터를 이용한 전진과 서보모터를 이용한 로봇 모듈 사이의 각도조절을 통해 뒤쪽 RM<sub>Active</sub>도 장애물을 넘어가도록 하였다.

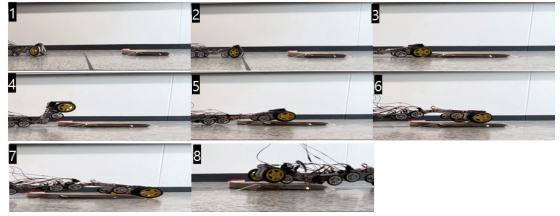


그림 5. 직렬연결된 바퀴 로봇의 장애물 극복 실험  
Fig. 5 Obstacle avoidance experiment using series connected wheeled robot

세 개의 바퀴 로봇 모듈을 연결한 바퀴 로봇은 80 mm 높이의 계단형 장애물까지 극복할 수 있었다. 계단형 장애물의 높이가 80 mm를 초과하는 경우에는 DC 모터가 바퀴 로봇을 밀어주는 힘이 부족하여 계단형 장애물을 극복하지 못하였다. 바퀴 로봇이 40 mm 높이의 계단을 극복하는데 16초의 시간이 소요되었고, 80 mm 높이의 계단을 극복하는데 24.5초의 시간이 소요되었다.

바퀴 로봇이 계단형 장애물을 극복하기 위해 그림 4의 (a)에서 (e) 과정의 동작을 하는 동안 소형 바퀴 로봇 모듈을 연결하는 두 연결부의 회전 관절 각도를 그림 6과 같이 기록하였다. 바퀴 로봇은 이 과정을 반복하여 장애물을 극복한다.

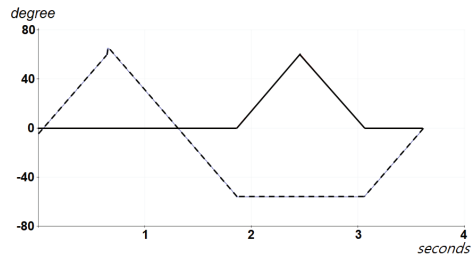


그림 6. 장애물 극복 실험에서 로봇 모듈 사이의 관절 각도

Fig. 6 Joint angles between two robot modules during obstacle avoidance

그림 6의 그래프에서 점선은 로봇이 장애물과 부딪혀 충격을 받았을 때 앞쪽 RM<sub>Active</sub>를 들어 올리고 들어 올린 로봇 모듈을 다시 반시계 방향으로 회전하여 내리며 계단형 장애물을 넘어가는 과정에서 먼저 회전 관절의 시계 방향 회전이 관찰되고 회전 관절이 반시계 방향으로 회전한 이후에 지표면과 수평인 0°

로 복귀하는 과정을 보여준다. 실선은 앞쪽의  $RM_{Active}$ 가 계단형 장애물을 통과함에 따라 뒤쪽의  $RM_{Active}$  연결부가 회전하며 전체 로봇이 장애물을 넘어가고 지표면과 수평인  $0^\circ$ 로 복귀하는 과정을 보여준다.

#### IV. 결론

직렬연결이 가능한 소형 바퀴 로봇 모듈을 개발하였다. 개발한 소형 바퀴 로봇 모듈은  $RM_{Active}$ 와  $RM_{Passive}$ 로 나누어 개발하였으며 다수의 로봇 모듈을 직렬연결하여 하나의 바퀴 로봇을 구성한다.

개발한 바퀴 로봇은 FSR 압력 센서만을 이용해 지면 또는 장애물과의 충돌을 감지하고 주행과 장애물 극복을 수행하였다. 다른 센서 없이 FSR 압력 센서만 사용하기 때문에 비가시적 상황에서 주행이 용이하다.

개발한 바퀴 로봇의 장애물 극복 성능 평가를 위해 계단형 장애물의 높이를 바꿔가며 장애물 극복 실험을 수행하였다. 개발한 로봇은 FSR 압력 센서를 이용해 제어되며 80 mm 높이의 계단형 장애물까지 극복이 가능했다. 80 mm 높이의 계단형 장애물을 극복하는데 24.5 초의 시간이 소요되었다.

개발한 바퀴 로봇은 연결한 소형 바퀴 로봇 모듈을 이용해 수직 방향의 장애물 극복이 가능하지만, 소형 바퀴 로봇 모듈 사이에 1 자유도 회전만 가능하다. 비가시적 상황에서 수직 방향의 장애물 극복 이외에 자율 주행과 횡방향 장애물 회피가 가능하도록 추가 연구가 필요하다. 소형 바퀴 로봇 모듈 사이의 연결부와 관절을 2자유도 이상으로 개선하고 초음파 센서를 이용해 비가시적인 환경에서 수직 방향 장애물 회피 뿐만 아니라 자율 주행과 횡방향 장애물 회피가 가능하도록 추가 연구를 진행하고 있다.

#### References

[1] H. Taubenböck, J. Post, A. Roth, K. Zosseder, G. Strunz, and S. Dech, "A conceptual vulnerability and risk framework as outline to identify capabilities of remote sensing," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol.

8, no. 3, 2008, pp. 409-420.

[2] F. Franci, "The Use of Satellite Remote Sensing for Flood Risk Management," Ph.D. Thesis, *Alma Mater Studiorum Università di Bologna Ingegneria civile, ambientale e dei materiali*, 2015.

[3] H. Lee and J. Oh, "A Study of Indoor Air Monitoring IoT System Customized for Medical Institutions," *The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 6, 2020, pp. 1217-1222.

[4] J. Bellingham and K. Rajan, "Robotics in Remote and Hostile Environments," *Science*, vol. 318, no. 5853, 2007, pp. 1098-1102.

[5] R. Bogue, "Snake robots: a review of research, products and applications," *Industrial Robot*, vol. 41, no.3, 2014, pp.253-258.

[6] A. Crespi, A. Badertscher, A. Guignard, and A. J. Ijspeert, "AmphiBot I: an amphibious snake-like robot," *Mechatronics*, vol. 50, no.4, 2005, pp.163-175.

[7] H. Kimura and S. Hirose, "Development of Genbu: active wheel passive joint articulated mobile robot," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Lausanne, Switzerland, 2002.

[8] H. Yamada and S. Hirose, "Development of practical 3-dimensional active cord mechanism ACM-R4," *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 18, no. 3, 2006, pp. 305-311.

[9] P. Liljebäck, K. Pettersen, Ø. Stavdahl, and J. Grasdahl, "Controllability and stability analysis of planar snake robot locomotion," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 56, no. 6, 2011, pp. 1365-1380.

[10] Z. C. Cao, Q. Xiao, R. Huang, and M. C. Zhou, "Robust neuro-optimal control of underactuated snake robots with experience replay," *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 29, no. 1, 2018, pp. 208-217.

[11] R. Hatton and H. Choset, "Sidewinding on slopes," *IEEE International Conference on*

*Robotics and Automation*, Anchorage, AK, USA, 2010.

- [12] J. Kim and E. Kim, "Agricultural Autonomous Robots System for Automatic Transfer of Agricultural Harvests," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 4, 2021, pp. 749-754.
- [13] S. Kim, S. Jun, and J. Park, "Thermal Stereo System for Visible Range Extension of Disaster Robot," *IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics*, Philadelphia, USA, 2018.

저자 소개



**김나빈(Na-Bin Kim)**

2020년 ~현재 상명대학교 휴먼 지능봇공학과 재학

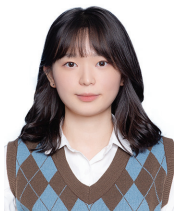
※ 관심분야 : Mobile web programming, Artificial intelligence



**김예지(Ye-Ji Kim)**

2020년 ~현재 상명대학교 휴먼 지능봇공학과 재학

※ 관심분야 : Mechanical design, Machine control



**김지민(Ji-Min Kim)**

2020년 ~현재 상명대학교 휴먼 지능봇공학과 재학

※ 관심분야 : Robot design



**황윤미(Yun-Mi Hwang)**

2020년 ~현재 상명대학교 휴먼 지능봇공학과 재학

※ 관심분야 : Web programming, Artificial intelligence



**봉재환(Jae-Hwan Bong)**

2012년 고려대학교 기계공학과 졸업(공학사)

2014년 고려대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사)

2020년 고려대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학박사)

2020년 3월 ~ 2020년 8월 RA, MMMI, University of Southern Denmark

2020년 9월 ~현재 상명대학교 조교수

※ 관심분야 : Robotics, Human-Robot Interface, Data-Driven Control, Machine Learning

