

# 주행 환경에 따라 바퀴와 관절 주행을 동적으로 변경하는 다관절 로봇 시스템 개발

박상은, 조민규, 박성욱, 이진아, 박서희\*  
 숭실대학교 전자정보공학부 IT융합전공 학부생  
 \*메타잇주식회사

{pse0219, mingku1025, s0501, kuna001}@naver.com, \*shpark@metait.kr

## Development of a Multi-joint Robot system that enables adaptive driving of wheels and joints

Sang-Eun Park, Min-Kyu Cho, Sung-Wook Park, Gun-A Lee, Seo-Hui Park\*  
 Dept. of Electronic Information Engineering, Soongsil University  
 \*Metait Inc.

### 요약

장애물이나 경사지가 많은 협소 지역에서 탐사 활동을 수행하는 로봇은 험지에서도 이동할 수 있는 자율주행 방법을 필수적으로 제공해야 한다. 본 논문은 협소 지역에서 탐사와 객체 탐지를 위해 주행 상황에 따라 바퀴 주행과 관절 주행을 동적으로 변경하면서 이동하는 다관절 로봇 시스템을 제안한다. 다관절 로봇은 마찰력과 수직항력, 토크 값 등을 고려해 설계한 운동 모델을 기반으로 바퀴와 관절 이동을 변경하면서 자율적으로 주행한다. 관리는 관제 서버를 통해 로봇이 수집한 탐사 정보를 실시간으로 확인하고 필요시 로봇의 원격제어를 수행할 수 있다. 본 연구를 통해 사람이 접근하기 어려운 협소 지역 탐사나 재난지역 인명구조 활동에 활용할 수 있기를 기대한다.

### 1. 서론

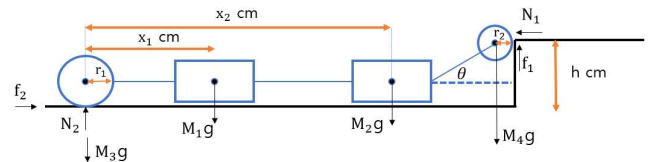
재난과 재해로 붕괴한 지역 내 매몰자 탐색은 추가 붕괴 위험이 있어 구조 요원의 생명에 위협이 된다. 재난 대응 로봇은 극한 상황에서 정찰과 탐색, 인명구조 등을 사람 대신 수행함으로써 인명 피해를 최소화할 수 있으므로 재난 대응 로봇에 대한 지속적인 연구개발 필요성이 제기되고 있다[1].

본 프로젝트는 협소 지역에서 인명 구조 및 재난 상황 정보를 수집하는 다관절 로봇을 제안한다. 본 논문의 다관절 로봇과 유사한 연구로 관절을 이용해 이동하면서 구조대상자를 탐색하는 뱀형 로봇이 있다[2][3]. 관절을 이용해 이동하는 뱀형 로봇은 이동 속도가 느리고 관절 제어를 위해 많은 에너지를 소모한다. 본 논문에서는 이를 개선하기 위해 바퀴 주행이 가능한 곳에서는 바퀴로 빠르게 이동하고 험지에서는 관절 주행으로 변경하며 이동할 수 있도록 운동 모델을 설계하고 다관절 로봇을 개발하였다.

### 2. 다관절 로봇 운동 모델

본 논문에서 제안하는 다관절 로봇은 여러 개의 연속된 관절로 이루어진 로봇으로 로봇의 관절을 제어하기 위한 운동 모델을 기반으로 관절 각도와 위

치를 조절해서 로봇을 이동시킨다. 본 연구에서 험지는 크고 작은 계단들의 연속으로 간주했으며 계단 등반에서의 수직항력과 마찰력을 고려해 운동 모델을 설계하였다.



[그림 1] 다관절 로봇 전면부 바퀴 중심이 장애물의 높이와 같을 때 자유물체도

[그림 1]에서와 같이 자유물체도로 로봇의 관절과 바퀴, 계단을 표현한다고 했을 때 다관절 로봇은 가장 앞부분 관절의 중심으로부터 지면 사이의 높이와 계단의 높이를 비교하고 [수식 1]을 이용해 지면과의 반력과 마찰력에 따른 힘 평형식과 모멘트를 계산한다.

$$\begin{aligned}
 F_x : f_2 - N_1 &= 0 \\
 F_y : f_1 + N_2 - (M_1 + M_2 + M_3 + M_4)g &= 0 \\
 M_0 : \{(\text{평철길이})\sin\theta + r_1\} N_1 + (a + r_2) f_1 &= (M_1 x_1 + M_2 x_2 + M_4 a)g \quad [\text{수식 1}]
 \end{aligned}$$

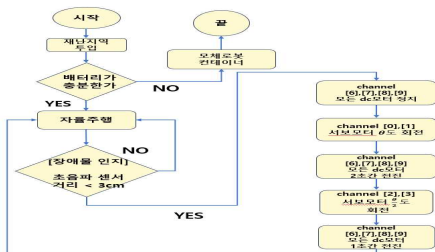
[표 1] 수식의 파라미터 정의

파라미터	정의
$a$	앞 & 뒷바퀴 중심 사이의 거리
$x_1$	뒷바퀴 중심과 후부 프레임 중심 사이 거리
$x_2$	뒷바퀴 중심과 전면프레임 중심 사이 거리
$M_1$	로봇 후부 프레임의 무게
$M_2$	로봇 전면부 프레임의 무게
$M_3$	뒷바퀴 무게
$M_4$	전면부 소형 바퀴 무게
$r_1$	뒷바퀴 반지름
$r_2$	전면부 소형 바퀴 반지름
$\theta$	전면부 서보 모터 회전 각도

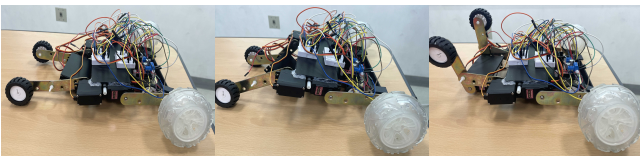
관절 주행 시 [수식 1]에서 계산한 모멘트  $M_0 > 0$  을 만족해야 관절의 서보 모터를 회전해서 계단을 넘어갈 수 있다. 이때 필요한 서보 모터 최대 부하 토크 값은 축 중심으로부터의 거리와 그 거리에서 미는 힘인 무게의 곱으로 표현된다. 관절 주행 시 첫 번째 관절의 서보 모터 회전각은 [수식 2]를 이용해 계산한다.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h-r_1}{r_2+3}\right) \quad \text{[수식 2]}$$

바퀴 주행이 가능한 곳에서 바퀴로 빠르게 이동하다가 계단을 만나면 앞쪽 관절 서보 모터를  $\theta$ 만큼 반시계 방향 회전하고 뒤쪽 관절 서보 모터 반시계 방향 회전, 뒤쪽 DC 모터를 작동시켜 계단을 넘어간다.



[그림 2] 다관절 로봇 이동제어 순서도

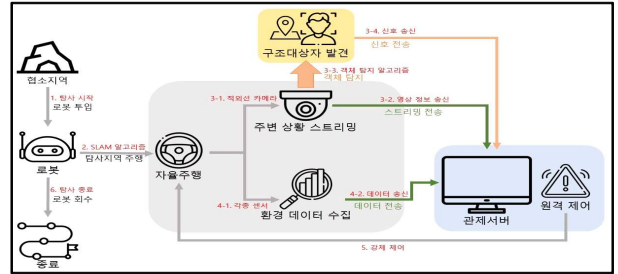


[그림 3] 다관절 로봇 관절 제어 모습

### 3. 다관절 로봇 시스템

다관절 로봇 시스템은 LiDAR 센서와 SLAM 알고리즘으로 자율주행하며 탐사 정보를 수집하고 서버로 전송한다. [그림 4]는 다관절 로봇의 시스템 서비스 구성도이다. 적외선 카메라로 수집한 영상 데

이터는 YOLO 기반 객체 탐지 알고리즘으로 구조대 상자를 인지하고, 관제 서버에서 관리자가 실시간으로 확인할 수 있도록 제공된다. 로봇에 탑재된 각종 센서에서 수집한 데이터도 관제 서버에 저장되고 시각화된 형태로 제공된다.



[그림 4] 다관절 로봇 서비스 구성도

### 4. 결과 및 결론

실험을 위해 임의의 장애물을 설정하고 관절 위치, 개수, 거리 등에 따른 이동 능력을 비교해 장애물 통과에 적합한 로봇 모델을 선정하였다. [표 2]는 관절 로봇의 3가지 모델과 각 모델에서 통과할 수 있는 최대 장애물 높이를 보여준다.

[표 2] 관절 개수 및 위치에 따른 장애물 높이 비교

모델	관절 수	앞바퀴와 뒷바퀴 중심 사이의 거리	뒷바퀴 지름	장애물 통과 최대 높이
1	1	24cm	53mm	4cm
2	3	28cm	130mm	6.1cm
3	3	24cm	53mm	7.5cm

본 연구에서는 협소 지역에서 바퀴와 관절의 가변적 주행이 가능한 다관절 로봇 시스템을 개발하였다. 본 연구 결과가 재난 상황에서 인명구조와 위험지역 탐사 등에 활용될 수 있기를 기대한다.

\* 본 논문은 과학기술정보통신부 정보통신창의인재양성사업의 지원을 통해 수행한 ICT멘토링 프로젝트 결과물입니다.

### 참고문헌

[1] 김성삼, 신동윤, “난 접근 재난 현장의 재난 로봇 기술개발 현황과 정책 제언”, 한국산학기술학회 논문지, vol. 22, no. 11, pp. 270-276, 2021.

[2] 김성재, 신동관, 표주현, 신주성, 김무림, 서진호, “협소 공간 생존자 탐색을 위한 뱀형 로봇의 다중 센서 모듈”, 로봇학회 논문지, vol. 16, no. 4, pp. 291-298, 2021.

[3] 고두열, 김수현, “험지 주행을 위한 다관절 트랙 로봇 설계 및 개발”, 로봇학회 논문지, vol. 4, no. 4, pp. 265-272, 2009.