

# 비평탄 지형 극복을 위한 4족 보행 로봇의 구조 설계 방법

유상중\*, 이건\*, 한성민\*, 박명숙\*, 김상훈\*  
 \*국립한경대학교 전기전자제어공학과  
 kimsh@hknu.ac.kr

## Structural design method of quadrupedal walking robot for overcoming non-flat terrain

Sang-jung Yu\*, Geon Lee\*, Seong-Min Han\*, Myeong-Suk Pak\*, Sang-Hoon Kim\*

\*Department of Electrical, Electronic and Control Engineering, Hankyong National University

### 요 약

본 논문에서는 비평탄 지형에서 보행할 수 있는 탐사, 정찰 목적으로 설계된 12자유도 4족 보행 로봇의 구성과 주요사양을 설명하고 로봇 하드웨어의 설계 과정과 현실에서 로봇을 구동하기 전 시뮬레이션으로 로봇을 미리 구동시킨 실험결과 및 보행 안전성에 관련된 분석 결과등을 제시하고 실제로 로봇의 보행이 안정한지 확인하는 과정을 보여준다

### 1. 서론

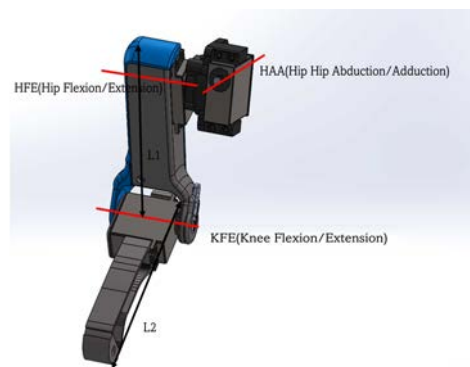
다족 보행 로봇은 지난 몇 년간 로봇 분야에서 가장 주목받고 있는 주제중 하나이다. 이를 뒷받침 하듯 세계적인 학회인 IEEE, ICRA, IROS에서는 보행로봇 관련된 Workshop이 꾸준히 개최되었고[1] 최근 한국기업인 현대는 1조원 규모의 인수금을 들여 미국의 보행 로봇 전문 회사 'BostonDynamics'를 인수한 것이 이를 뒷받침한다. 다족 보행 로봇의 특징은 다른 이동형 로봇에 비해 횡단능력과 지형 복잡성 극복 능력이 우수하여 다양한 지형에서 작동이 가능하다는 특징이 있다. 그중에서도 4족 로봇은 보행이 안정적이면서 빠른 속도가 특징인 보행 로봇이다. 본 논문에서는 spot micro AI 오픈 프로젝트 [2]를 기반으로 소형 크기의 12자유도 4족 보행로봇의 하드웨어를 설계하고 시뮬레이션을 통해 로봇에 필요한 관절 모터 토크를 도출하고 로봇이 안정하게 보행하기 위한 최적의 조건을 분석하고 실제 로봇을 제작하여 실험한다.

### 2. 로봇의 기구부 구성

본 장에서는 로봇의 상세 사양에 대해 설명 한다. 로봇의 외형은 4족 포유류 동물의 구조를 표방하고 있으며 다리 하나당 roll-pitch-pitch 3자유도로 로봇 전체 12자유도를 보유하고 있다.

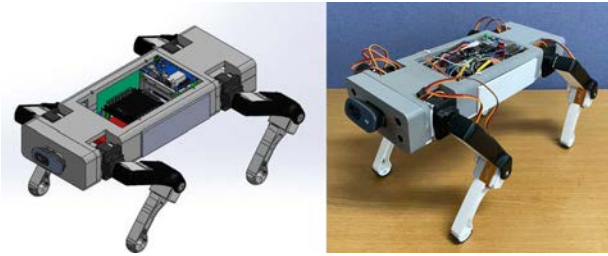


(그림 1) 이동형 로봇의 대표적인 바퀴로봇과, 보행로봇



(그림 2) 다리의 모양, 관절의 명칭([3]에서 인용), 회전축(빨간선)

그림 3은 Solidworks(2017)에서 외형을 설계하고 실제로 제작한 사진이며 로봇의 전방에는 영상정보 전송과 객체인식을 위한 카메라와 장애물 감지를 위한 초음파 센서가 있으며 발바닥에는 미끄럼을 방지하기 위해 고무 재질의 마감재를 부착하였다.



(그림 3) 좌: 3D CAD상에서의 로봇, 우: 실제 로봇

몸통 내부에는 객체인식과 로봇에 구동에 필요한 내장 컴퓨터 Jetson tx2, 모터제어를 위한 mcu와 각종 센서 및 배터리가 내장되어 있다. 로봇의 전체 사양은 <표 1>에 기술하였다.

<표 1> 로봇 전체 사양

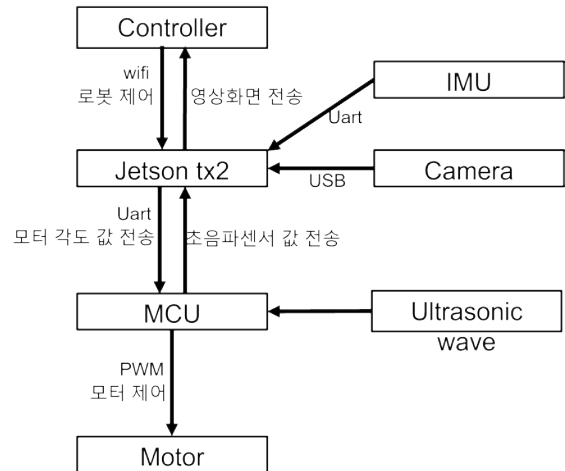
Body size[cm](L x W x H)	40 x 15 x 6.5
Leg length[cm]( $L_1, L_2$ ) (그림1 참조)	13, 13
Weight [kg]	2.9kg
자유도 (Degree of Freedom)	12
Main controller	Jetson tx2 Coretex m4
Battery	14.8V Lithium polymer 7.4V Lithium polymer
Sensors	C270 HD WEBCAM (Camera) EBIMU-9DOFV5-R2 (IMU) HC-SR04P (Ultrasonic sensor)

### 3 기구부 구성도

로봇의 기구부 구성도는 그림 4에 표시하였으며 Controller는 wifi통신으로 로봇에 내장된 Jetson tx2와 연결되어 영상화면을 전송받고 로봇을 사용자가 제어할 수 있게 한다. Jetson tx2는 카메라 영상정보로 객체인식을 실시하여 주어진 임무를 수행하고, 로봇의 시스템에 내장된 보행패턴에 IMU센서의 값을 활용하며 실시간으로 균형에 따라 보행을 보정하여 비평탄 지형에서도 넘어지지 않게 보행을 가능하게 한다.(보행패턴은 [4]를 바탕으로 본 논문에서의 로봇에 최적화하여 제작함) 이러한 과정으로 계산된 모터값을 MCU에 전달하여 12개의 모터를 제어하고, 초음파센서를 MCU에 연결하여 센서정보를 Jetson tx2에 전달해 장애물을 회피하거나 정지한다. mcu, Jetson tx2와 tx2에 연결된 센서, controller의 통신은 ROS[5]를 이용하여 구현하였다.

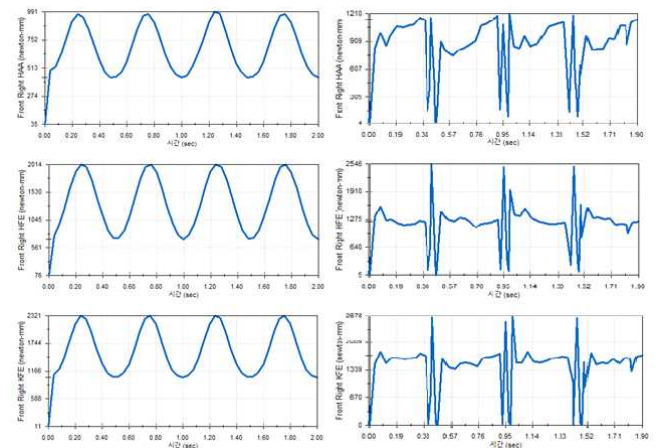
## 4. 실험 및 분석

### 4-1. 구동기 선정을 위한 토크 시뮬레이션



(그림 4) 로봇의 기구부 구성도

앞서 설계된 로봇이 문제없이 구동할 수 있는 관절의 토크를 구하기 위하여 Solidworks(2017)에서 제공하는 motion simulation을 통해 각 관절 모터의 움직임을 설정하고 토크 값을 도출하였다. 관절의 움직이는 방법은 실제 보행이나 제자리 걸음을 구현하는데 어려움이 있어 로봇의 전체 무게를 2배로 설정한뒤 HFE, KFE 관절만 움직여 제자리에서 앉았다 일어서는 동작과(통칭 동작1, 그림 5 왼쪽) 서로 대각 방향인 왼쪽 앞다리와 오른쪽 뒷다리를 동시에 들어올렸다 내리는 동작(통칭 동작2, 그림 5 오른쪽)으로 시뮬레이션을 진행하였고 주기는 2Hz로 설정하였다. 결과는 다음과 같다.



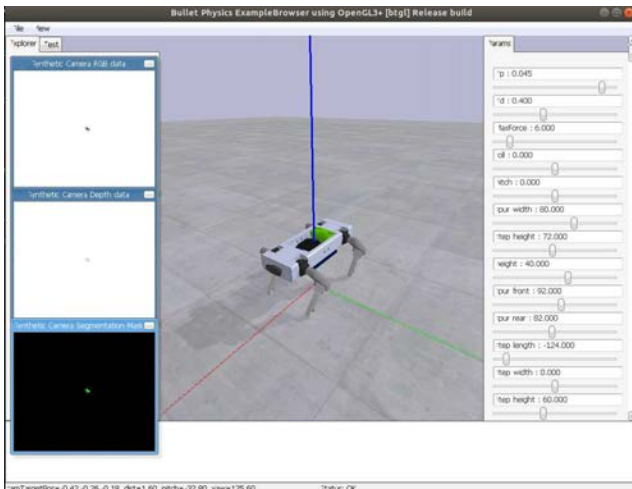
(그림 5) 시뮬레이션 결과 그래프

시뮬레이션 결과 동작1은 제자리에서 앉았다 일어서는 동작으로 몸체의 흔들림이 없었지만 동작2의 경우 대각 방향 다리만을 들었다 내리는 움직임에서 몸체의 흔들림이 있어 모든 관절에서 토크의 출력이 비교적 불규칙하고 발바닥과 지면의 충돌로 인한 충

격으로 평균 토크가 높게 나오는 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 두 실험 모두 KFE 관절의 토크가 가장 높았으며, 시뮬레이션 상 구동기의 최대 토크는 시뮬레이션의 최대값에서 안전을 1.5배를 곱하여 4.01[N-m]를 만족해야한다는 결과가 나왔다.

#### 4-2. 보행안정성 확인을 위한 물리 시뮬레이션

토크 시뮬레이션의 검증과 로봇이 실제 보행에 문제가 없는지 사전확인을 위해 pybullet 시뮬레이션 환경에서 보행 테스트를 진행하였다.[2] 설계된 로봇의 정보는 urdf파일 형식으로 제작되어 로봇의 외형과 각 링크의 무게, 관성 모멘트, 관절의 토크 등에 관한 정보를 포함하고 있다. 설계된 로봇을 기반으로 작성된 urdf파일을 pybullet 시뮬레이션 환경에서 불러와 로봇의 보행을 시뮬레이션 해보았다. 시뮬레이션 환경에서는 로봇의 보폭, 몸체의 높이, 양쪽 발의 넓이, 보행 속도 등에 변화를 주며 시뮬레이션이 가능하다.



(그림5) pybullet환경에서 로봇 시뮬레이션 결과

여러 조건을 바꾸어가며 실험해 본 결과 로봇이 넘어지지 않으면서 잘 작동하는 것을 확인하였다.

#### 4-3. 실제 보행 실험

앞서 실시한 외형 설계와 시뮬레이션을 토대로 실제 로봇을 제작하여 보행 실험을 실시하였다. 실험은 평지와 자갈밭 둘로 나누어 실험하였다. 평지에서의 안정적으로 보행이 가능한 최대 보행속도는 15.8cm/s였고, 자갈밭에서는 고르지 못한 지면으로 인해 최대 보행속도는 14.2cm/s로 측정 되었다.

### 5. 결론

본 논문에서는 비평탄 지형을 보행할 수 있는 객

체인식을 탑재한 탐사, 정찰 목적의 4족 보행 로봇을 설계하고 필요한 구동기의 용량을 구한뒤 시뮬레이션을 통해 작동이 가능한지 검증하고 실제로 로봇



(그림 6) 평지에서의 보행속도 측정 실험을 제작해 작동시켜보았다. 이 로봇을 응용해 전방의 카메라를 활용하여 사용자에게 영상정보를 전달함으로써 사람이 직접 활동하는 것을 대신하여 재난 지역 정찰, 경비등의 목적으로 사용할 수 있을 것으로 예상된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2022년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020R1F1A1067496)

본 논문은 과학기술정보통신부 정보통신창의인재양성사업의 지원을 통해 수행한 ICT멘토링 프로젝트 결과물입니다.

#### 참고문헌

- [1] 이영훈, 최혁렬 "사족보행로봇 AiDIN Series의 개발" 로봇과 인간 제 17권 2호
- [2] "SpotMicroAi" <https://spotmicroai.readthedocs.io/en/latest/>
- [3] G. Bledt, M. J. Powell "MIT Cheetah 3: Design and Control of a Robust, Dynamic Quadruped Robot" The IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Madrid, Spain, 2018
- [4] Maurice Rahme, Ian Abraham "Linear Policies are Sufficient to Enable Low-Cost Quadrupedal Robots to Traverse Rough Terrain" IROS, Prague, Czech Republic, 2021
- [5] "ROS wiki" <http://wiki.ros.org/Documentation>