

이동형 실내 공기질 측정 로봇

이소화* · 고동진* · 김나빈* · 박은서* · 전동렬* · 봉재환**

Mobile Robot for Indoor Air Quality Monitoring

So-Hwa Lee* · Dong-Jin Koh* · Na-Bin Kim* · Eun-Seo Park* · Dong-Ryeol Jeon* · Jae Hwan Bong**

요약

실내 공기질에 관한 관심과 중요성이 커지고 있으나 현재의 고정된 장비를 이용한 실내 공기질 측정 방법에는 한계가 있다. 본 논문에서는 이동 중 요철에 의한 진동을 최소화하여 탑재된 센서를 보호하기 위해 소형 다족형 로봇에 공기질 측정 장비를 탑재하여 이동형 공기질 측정 로봇을 개발하였다. 개발한 이동형 공기질 측정 로봇은 간단한 보행 메커니즘을 활용하여 DC 모터 두 개의 정회전과 역회전 조합만으로 로봇의 전진, 후진, 좌우 선회가 가능하다. 로봇의 보행이나 보행 궤적을 제어하기 위해 복잡한 연산이 필요치 않고 하나의 아두이노를 사용해 로봇의 보행 제어 및 다양한 공기질 측정 장비의 데이터 획득과 전송을 할 수 있었다. 로봇 전장부의 소모 전력이 낮아 비교적 저용량의 배터리를 탑재하여 배터리로 인한 무게를 줄일 수 있었다. 개발한 로봇은 몸통에 배터리와 모터를 포함하여 다양한 공기질 측정 장비를 탑재하고 1.4kg의 무게를 가지며, 보행 및 선회 속도는 3.75cm/sec와 14.13rad/sec로 측정되었다. 다리의 최대 수직 도달 높이는 33mm였으나, 요철은 최대 24mm 높이까지 극복할 수 있었다.

ABSTRACT

There is a limit to the current indoor air quality (IAQ) monitoring method using fixed sensors and devices. A mobile robot for IAQ monitoring was developed by mounting IAQ monitoring sensors on a small multi-legged robot to minimize vibration and protect the sensors from vibration while robot moves. The developed mobile robot used a simple gait mechanism to enable the robot to move forward, backward, and turns only with the combination of forward and reverse rotation of the two DC motors. Due to the simple gait mechanism, not only IAQ data measurements but also gait motion control were processed using a single Arduino board. Because the mobile robot has small number of electronic components and low power consumption, a relatively low-capacity battery was mounted on the robot to reduce the weight of the battery. The weight of mobile robot is 1.4kg including links, various IAQ sensors, motors, and battery. The gait and turning speed of the mobile robot was measured at 3.75 cm/sec and 14.13 rad/sec. The maximum height where the robot leg could reach was 33 mm, but the mobile robot was able to overcome the bumps up to 24 mm.

키워드

Indoor Air Quality Monitoring, Klann Mechanism, Mobile Robot, Multi-Legged Robot
실내 공기질 측정, Klann 메커니즘, 이동형 로봇, 다족형 로봇

* 상명대학교 휴먼지능로봇공학과(sowhwa28@naver.com, dj3622@naver.com, skqlsrla@naver.com, parkeuns eo0923@gmail.com, wpqmfid12@naver.com) · Received : May. 20, 2022, Revised : Jun. 03, 2022, Accepted : Jun. 17, 2022
· Corresponding Author : Jae Hwan Bong
Dept. Human Intelligence Robot Engineering, Sangmyung University,

** 교신저자 : 상명대학교 휴먼지능로봇공학과

Email : drbong@smu.ac.kr

· 접수일 : 2022. 05. 20
· 수정완료일 : 2022. 06. 03
· 게재확정일 : 2022. 06. 17

I. 서론

기압 분포와 바람의 영향으로 국외에서 발생한 오염물질이 국내로 유입되고 국내에서 발생한 오염물질이 정제하면서 대기 중 미세먼지와 초미세먼지의 농도가 증가하였고 공기질(Air Quality) 문제가 대두되고 있다. 대기 중의 미세먼지와 초미세먼지는 실외에서 농작물 등에 큰 피해를 일으킬 뿐만 아니라 실내로 유입되어 실내 공기질을 악화시키며 사람들의 건강에도 해를 입히고 있다. 따라서, 실외와 실내의 공기질 측정과 공기질 관리에 관한 관심과 중요성이 커지고 있다[1-2].

실외에는 공기질 측정을 위한 장비가 특정 거리마다 있지만 가정이나 사무실 같은 실내에서의 공기질 측정은 공기청정기에 포함된 공기질 측정 장비에 의존하고 있다. 공기청정기는 대부분 실내의 특정 위치에 고정되어 있어 공기청정기에 포함된 공기질 측정 장비로 실내 공간 전체의 공기질을 측정하는 데는 한계가 있다. 또한, 공기청정기에 포함된 공기질 측정 장비의 고장이나 오류 발생 여부를 검출할 방법이 없다. 이동이 가능한 실내 공기질 측정 장비의 개발을 통해 실내 공간 전체에 대한 공기질 측정을 할 수 있고 공기청정기에 포함된 공기질 측정 장비와 이동형 실내 공기질 측정 장비의 측정값 비교를 통해 측정 장비의 고장이나 오류 발생 여부를 검출할 수 있다.

실내에서 이동이 가능한 모바일 로봇은 바퀴를 굴러 이동하는 차륜형 로봇과 다리를 움직여 보행하는 다족형 로봇으로 구분할 수 있다. 차륜형 로봇의 경우 평지에서 안정적으로 빠르게 움직일 수 있는 장점이 있으나, 요철이 있는 구간에서 로봇에 진동이 발생하는 단점이 있다[3-4]. 공기질 측정 장비를 탑재하는 모바일 로봇의 경우 빠른 속도의 이동보다는 탑재된 센서의 보호를 위해 요철 등의 극복 과정에서 진동을 최소화할 필요가 있으므로 본 논문에서는 소형 다족형 로봇에 공기질 측정 장비를 탑재하여 이동형 공기질 측정 로봇을 개발하였다[5-6].

개발한 이동형 공기질 측정 로봇은 몸통에 배터리와 모터를 포함하여 다양한 공기질 측정 장비를 탑재할 수 있도록 충분한 공간을 갖도록 설계하였다. 또한, 가정을 포함한 실내에 적용하기 위해 소형 다족형 로봇의 보행 메커니즘을 간단하게 구현할 수 있는 메

커니즘을 활용하여 로봇의 보행 동작이 DC 모터 두 개로 구동되고, 로봇의 유지 및 보수가 쉬우며, 낮은 제작 비용을 갖도록 개발하였다.

II. 다족형 로봇

보행을 위한 로봇의 다리를 구성하기 위해 8절(Eihgt-bar) 메커니즘, Klann 메커니즘, Jansen 8절 메커니즘 등이 다양하게 응용되었다[7-9]. Klann 메커니즘은 4절(Four-bar) Burmester 메커니즘을 확장해 구성한 6절(Six-bar) 메커니즘으로 Klann 메커니즘을 구성하는 크랭크(crank)가 180° 회전할 때 하나의 보폭을 만들 수 있다. Klann 메커니즘은 보행 동작 구현을 위해 적은 수의 링크를 필요로 하며, 기구부의 소형화에 유리하다는 장점이 있다[10].

본 논문에서는 Klann 메커니즘을 사용해 다족형 로봇을 개발하였다. 그림 1은 개발한 다족형 로봇의 3차원 조립 모델을 보여준다. 개발한 다족형 로봇은 모터 2개로 총 8개의 Klann 메커니즘 다리를 구동한다. 다족형 로봇은 너비 290mm, 깊이 370mm, 높이 77mm의 크기를 가진다. 그림 1의 (a)에 표시된 다족형 로봇의 몸체에는 다리 구동을 위한 두 개의 모터와 모터 드라이버, 전원 공급을 위한 2200mAh 용량의 배터리, 로봇 주변의 환경 정보 인식을 위한 센서, 그리고 모터의 구동 제어와 센서 데이터 전송을 위한 아두이노가 탑재되었다. 다족형 로봇의 몸체 크기는 너비 160mm, 깊이 100mm, 높이 60mm로 설계하여 탑재 공간을 마련하였다. 다족형 로봇의 몸체에 탑재한 모터에서 Klann 메커니즘을 사용한 다리로 연결되는 구동축에는 베어링을 사용하여 회전마찰을 줄였다.

다족형 로봇의 몸체 한쪽 면에 Klann 메커니즘을 사용한 다리 4개가 그림 1의 (b)와 같이 연결되어 하나의 모터로 구동된다. 다족형 로봇의 몸체 기준으로 바깥쪽에 위치한 다리 두 개가 함께 움직이고 안쪽에 위치한 다리 두 개가 함께 움직인다. Klann 메커니즘은 모터에 연결된 크랭크가 180° 회전할 때 하나의 보폭이 만들어지므로 모터에 연결된 크랭크가 한 바퀴 회전하면서 바깥쪽과 안쪽에 위치한 다리들이 번갈아 한 보폭씩 움직인다.

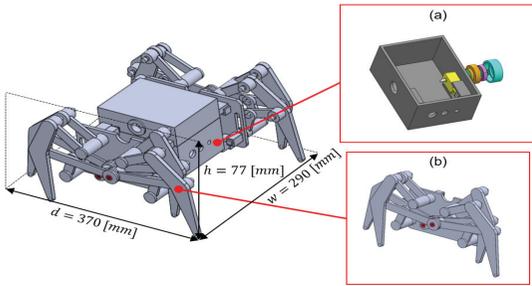


그림 1. 다족형 로봇의 3차원 조립 모델
Fig. 1 3D assembly model of multi-legged robot

2.1 다족형 로봇의 기구부

다족형 로봇의 몸체와 한쪽 다리의 분해도를 그림 2에 나타내었다. 직육면체 모양을 갖는 로봇 몸체의 양옆 면에 그림 2에 (a)로 나타낸 다리 지지대(Leg Plate)가 하나씩 부착된다. Klann 메커니즘을 갖는 다리는 로봇 몸체에 직결되는 것이 아니라 다리 지지대에 연결되어 로봇 몸체와 고정된다. 그림 2에 (b)로 표시된 다리 축(Leg Axis)은 다리 관절에서 회전 관절 역할도 하지만 다리와 다리 지지대를 체결하는 역할도 한다. 보행 궤적의 변화를 위해 Klann 메커니즘의 링크 길이를 변경해야 하는 경우에 다리 지지대의 치수 수정만으로 변경된 다리를 몸통에 부착할 수 있다.

다족형 로봇의 몸체에 탑재된 DC 모터는 그림 2에 (c)로 나타낸 구동축(Driving Axle)과 연결되었고, 구동축의 반대쪽 끝은 그림 2에 (d)로 표시된 Klann 메커니즘의 크랭크에 연결되었다. 구동축의 회전 저항을 줄이고 동력 전달을 원활히 하기 위해 그림 2에 (e)로 표시된 베어링과 하우징을 제작하여 구동축을 지지하였다. 로봇 몸체의 정면에는 세 개의 구멍이 있으며, 세 개의 구멍에는 왼쪽부터 차례로 미세먼지 측정 센서, 온습도 센서 그리고 유해가스 센서가 로봇 몸체 안쪽으로 위치한다.

다족형 로봇의 보행을 구현하기 위해 4개의 Klann 메커니즘을 연결하여 그림 3의 (a)와 같이 로봇 다리를 구성하였다. 4개의 Klann 메커니즘은 크랭크에 의해 하나의 모터로 구동된다. 그림 3의 (a)에 표시된 로봇 다리는 로봇 몸체의 한쪽 면에 부착되며, 총 두 쌍의 로봇 다리가 로봇 몸체의 양쪽 면에 대칭으로 위치하여 로봇 보행을 구현하였다.

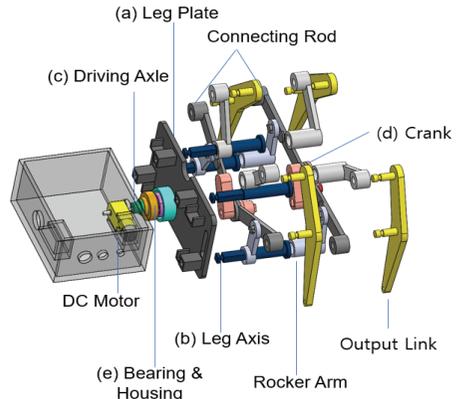


그림 2. 모터와 다리의 연결을 보여주는 분해도
Fig. 2 Exploded-view drawing of robot's leg

그림 3의 (b)에서 크랭크는 모터와 연결되어 360° 회전하고 Connecting Rod에 동력을 전달한다. 첫 번째와 세 번째 Klann 메커니즘의 Connecting Rod는 크랭크의 한쪽 끝에 함께 연결되어 있고, 두 번째와 네 번째 Klann 메커니즘의 Connecting Rod는 크랭크의 반대쪽 끝에 함께 연결되어 있다. 이러한 연결 구조로 인해 첫 번째와 세 번째 Klann 메커니즘을 구동하는 크랭크 각도와 두 번째와 네 번째 Klann 메커니즘을 구동하는 크랭크 각도 사이에는 180°의 차이가 발생한다.

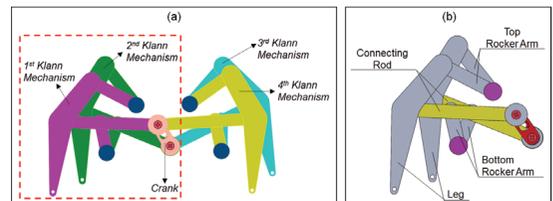


그림 3. Klann 메커니즘을 연결해 구성한 로봇 다리
Fig. 3 Robot leg consists of four Klann mechanisms

로봇 다리에 사용한 Klann 메커니즘에서 크랭크의 길이를 60mm, Top Rocker Arm의 길이를 70mm로 고정하고 Bottom Rocker Arm과 Connecting Rod의 길이를 변경하며 링크 간 간섭이 생기는지 확인하였다. Bottom Rocker Arm의 길이가 110mm 이상, Connecting Rod의 길이가 159mm 이하일 때 링크 간 간섭이 발생하였다. Bottom Rocker Arm을 길게 하고

Connecting Rod를 짧게 만들기 위해서 간섭이 생기는 경계값에 10mm씩의 여유를 두고 Bottom Rocker Arm과 Connecting Rod를 각각 100mm, 169mm로 설계하였다.

2.2 다족형 로봇의 보행 주기

다족형 로봇의 보행 주기(Gait Cycle)를 그림 3의 첫 번째 Klann 메커니즘을 기준으로 다음과 같이 설명한다. 모터가 크랭크를 360° 돌리는 동안 Connecting Rod에 의해 Bottom Rocker Arm이 0°에서 40°까지 회전하게 된다. 크랭크와 Bottom Rocker Arm에 의해 Connecting Rod의 끝단이 등근 삼각형을 그리며 움직이게 된다. Connecting Rod의 끝단에 연결된 출력 링크(Output Link) 역시 그림 4에 빨간색 점선으로 표시한 등근 삼각형 경로를 따라 움직이게 된다. 두 번째, 세 번째, 네 번째 Klann 메커니즘 역시 첫 번째 Klann 메커니즘과 동일한 방식으로 작동한다.

그림 4에서 확인할 수 있듯이 첫 번째와 세 번째 Klann 메커니즘이 같은 움직임을 보이고, 두 번째와 네 번째 Klann 메커니즘이 같은 움직임을 보인다. 네 개의 Klann 메커니즘은 하나의 모터로 구동되지만, 첫 번째와 세 번째 Klann 메커니즘을 구동하는 크랭크 각도와 두 번째와 네 번째 Klann 메커니즘을 구동하는 크랭크 각도 사이에는 180° 차이가 있으므로 보행 주기에서 첫 번째와 세 번째 Klann 메커니즘과 두 번째와 네 번째 Klann 메커니즘이 한 보폭 차이를 갖는다. 이러한 차이로 인해 로봇의 보행 동작 중에 최소 두 개 이상의 Klann 메커니즘 출력 링크가 지면과 접촉하여 로봇이 안정적으로 보행할 수 있다.

그림 3의 로봇 다리를 구성하는 네 개의 Klann 메커니즘에서 링크 길이의 조절을 통해 로봇의 보행 궤적을 바꿀 수 있다. Top Rocker Arm의 길이를 줄이거나, Connecting Rod의 길이를 늘이면 로봇의 보폭이 증가하면서 다리의 수직 도달 높이가 낮아진다. 반대로 Top Rocker Arm의 길이를 늘이거나, Connecting Rod의 길이를 줄이면 로봇의 보폭이 감소하고, 다리의 수직 도달 높이가 높아진다.

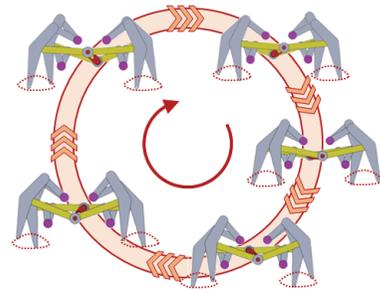


그림 4. 크랭크 각도에 따른 로봇의 보행 주기
Fig. 4 Gait cycle of robot with respect to crank angle

2.3 다족형 로봇의 전장부

다족형 로봇의 제어를 위해 아두이노 우노 R3를 사용하였다. 그림 5는 다족형 로봇의 몸체에 탑재된 전장부를 나타낸다. 아두이노에 연결된 미세먼지 측정 센서(PMS7003, PLANTOWER), 온습도 센서(DHT11, SMG) 그리고 유해가스 센서(MQ-135, SMG)가 데이터를 획득하면 WiFi 모듈(ESP8266, Espressif Systems)을 통해 데이터 로깅하였다.

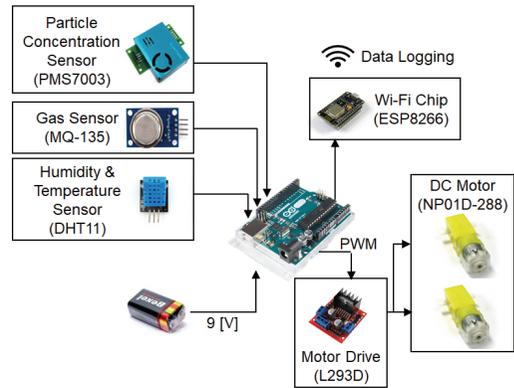


그림 5. 다족형 로봇의 전장부
Fig. 5 Electronic connections for multi legged robot

다족형 로봇이 직진뿐만이 아니라 우회전과 좌회전도 가능하도록 보행 동작을 제어를 위해 DC 모터의 정회전과 역회전이 모두 가능해야 한다. 아두이노를 이용해 H-Bridge가 탑재된 모터드라이버(L293D, SMG)에 펄스 폭 변조 (Pulse-Width Modulation) 신호를 보내서 DC 모터(NP01D-288, SZH)의 정회전과 역회전을 제어하였다.

III. 다족형 로봇의 보행 성능

3D 프린터를 이용해 다족형 로봇의 링크를 출력하고 그림 6과 같이 제작하였다. 다족형 로봇의 전체 무게는 1.4kg이었고, 모터에 연결된 크랭크가 한 바퀴 회전하는 동안 다족형 로봇은 한 방향으로 평균 18.5cm 이동하였다. 모터의 회전 속도가 평균 20rpm으로 다족형 로봇의 보행 속도는 3.75cm/sec로 계산하였다. 크랭크가 한 바퀴 도는 동안 Klann 메커니즘의 출력 링크가 지표면을 기준으로 도달하는 최대 높이를 다리의 최대 수직 도달 높이라고 했을 때, 다리의 최대 수직 도달 높이는 평균 33mm로 측정되었다.

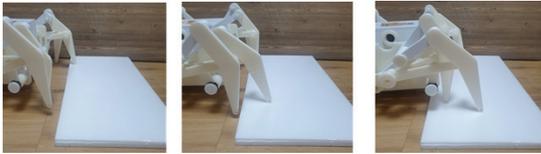


그림 6. 다족형 로봇의 장애물 극복 실험 환경
Fig. 6 Experimental setup for obstacle crossing

다족형 로봇이 극복할 수 있는 장애물의 높이를 파악하기 위해 그림 6과 같이 6mm 두께의 판을 겹쳐서 바닥에 설치하는 방법으로 장애물의 높이를 바꿔가며 로봇이 지나가도록 하였다. 장애물의 높이는 최초 6mm로 설정하였고, 다족형 로봇이 장애물을 극복하면 장애물의 높이를 6mm 단위로 높였다. 다족형 로봇은 24mm 높이의 장애물까지 극복하였다.

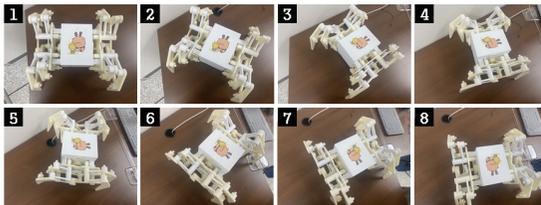


그림 7. 다족형 로봇의 선회 성능 실험 환경
Fig. 7 Experimental setup for robot turning

다족형 로봇이 시계 방향으로 선회하는 연속 사진을 그림 7에 나타내었다. 다족형 로봇의 시계 방향선회를 위해 로봇 왼쪽에 위치한 DC 모터를 180rpm으로 정회전시키고 로봇 오른쪽에 위치한 DC 모터를 90rpm으로 역회전하였다. 다족형 로봇은 시계 방향과

반 시계 방향으로 모두 잘 선회하였으며, 회전 속도는 14.13rad/sec였다.

V. 결론

실내에서 이동하며 공기질을 측정할 수 있는 소형 다족형 로봇을 개발하였다. 로봇의 보행 구동부를 단순화 및 소형화하고, 적은 수의 모터 사용을 통해 제작 비용을 낮추기 위해 Klann 메커니즘을 로봇의 다리에 활용하였고 두 개의 모터를 다리에 직결하여 로봇의 보행 동작을 구동하였다. Klann 메커니즘의 링크 길이 조절을 통해 로봇의 다리 구동에 사용되는 두 모터의 정회전과 역회전 조합만으로 로봇의 전진, 후진, 좌우 선회가 가능하며 로봇의 보행이나 보행 궤적을 제어하기 위한 복잡한 연산이 필요치 않다. 따라서 하나의 아두이노를 사용해 로봇의 보행 제어 및 다양한 공기질 측정 장비의 데이터 획득과 전송을 할 수 있었고 로봇 전장부의 소모 전력이 낮아 비교적 저용량의 배터리를 탑재하여 배터리로 인한 무게를 줄일 수 있었다. 개발한 소형 다족형 로봇의 성능 평가를 위해 보행 및 선회 속도와 극복 가능한 요철의 높이를 측정하는 실험을 진행하였다. 개발한 로봇은 3.75cm/sec와 14.13rad/sec의 보행 및 선회 속도를 가졌고, 다리의 최대 수직 도달 높이는 33mm였으나, 요철은 최대 24mm 높이까지 극복할 수 있었다. 사용하는 모터의 종류나 모터에 사용되는 기어를 변경하여 로봇의 보행 및 선회 속도는 증감할 수 있다. 추가 연구를 통해 개발한 소형 다족형 로봇에 카메라나 초음파 센서 등의 저가 센서를 탑재하고 로봇이 실내에서 자율 보행하는 방법을 개발할 계획이다.

References

- [1] D. Seo and K. Yoon, "A Study on Indoor Air-quality Improvement System Using Actuator," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 1, 2021, pp. 183-190.
- [2] H. Lee and J. Oh, "A Study of Indoor Air Monitoring IoT System Customized for Medical Institutions," *Journal of the Korea*

Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 15, no. 6, 2020, pp. 1217-1222.

- [3] S. Park, O. Kwon, D. Won, T. Kim, B. So, and W. Son, "Hydraulic Four-Foot Walking Robot Jinpoong," *Korea robotics society review*, vol. 5, no. 3, 2008, pp. 24-32.
- [4] M. Kim, D. Kang, H. Kang, D. Kwak, D. Nam, and C. Kim, "Study on the design and control of quadruped walking robot mechanism," *Institute of Control, Robotics and Systems*, Jeollabuk-do, South Korea, 2018.
- [5] J. Lee and B. Cho, "Force Manipulability Analysis of Multi-Legged Walking Robot," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 10, no. 4, 2004, pp. 350-356.
- [6] S. Im, D. Lee, H. Kang, and S. Kim, "Multi-legged Walking Robot Using Complex Linkage Structure," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, vol. 20, no. 11, 2021, pp. 74-79.
- [7] P. Simionescu and I. Tempea, "Kinematic and kinetostatic simulation of a leg mechanism," *Proceedings of the 10th International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms*, Oulu, Finland, 1999.
- [8] J. Klann, "Walking device," *United States Patent*, no. US6260862B1, July 17, 2001.
- [9] T. Jansen, *The great pretender*. Rotterdam, Netherlands: 010 Publishers, 2007.
- [10] H. Kim, M. Jung, J. Shin, and T. Seo, "Optimal Design of Klann-linkage based Walking Mechanism for Amphibious Locomotion on Water and Ground," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 20, no. 9, 2014, pp. 936-941.

저자 소개



이소화(So-Hwa Lee)

2020년 ~현재 상명대학교 휴먼 지능봇공학과 재학

※ 관심분야 : 로보틱스, 로봇 설계 및 제어



고동진(Dong-Jin Koh)

2020년 ~현재 상명대학교 휴먼 지능봇공학과 재학

※ 관심분야 : 로봇 설계, 로봇 제어, 기계학습



김나빈(Na-Bin Kim)

2020년 ~현재 상명대학교 휴먼 지능봇공학과 재학

※ 관심분야 : 모바일 웹 프로그래밍, 인공지능



박은서(Eun-Seo Park)

2020년 ~현재 상명대학교 휴먼 지능봇공학과 재학

※ 관심분야 : 인공지능, 로봇 제어, 로봇 설계



전동렬(Dong-Ryeol Jeon)

2020년 ~현재 상명대학교 휴먼 지능봇공학과 재학

※ 관심분야 : 인공지능, 로봇 제어, 로봇 설계



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