

기울어진 스포크 휠을 가지는 로봇의 현장 적용 연구

이종명^{*†} · 문예철^{*} · 서태원^{*}

^{*}한양대학교 융합기계공학과

Development of utility tunnel inspection using angle spoke wheel

JongMyeong Lee^{*†}, Yecheol Moon^{*}, TaeWon Seo^{*}

^{*} The Department of Mechanical Convergence Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

Key Words: Angled spoke, Mobile robot, Obstacle overcoming, Utility tunnel inspection, SLAM

There is a safety problem for workers due to suffocation or toxic gas poisoning in an utility tunnel. Additional manpower input for work assistance is also likely to be dangerous for additional workers. There are existing utility tunnel inspection systems, but they have limitations in price, weight, and convenience. Small robots are advantageous for utility tunnel inspections, and the Angle spoke wheel mechanism enables the design of small robots that overcome obstacles in utility tunnels. In this work, we propose a utility tunnel inspection system for small robots based on ASW mechanisms. Real-time monitoring of utility tunnels is possible through the camera, SLAM using LiDAR, and remote/autonomous driving modes can be selected. It is possible to promote the safety of workers by giving a warning about dangerous gas during operation.

1. Introduction

1.1 연구의 배경

중대재해처벌법이 시행되며 최근 밀폐공간에서의 작업 시 작업자의 안전문제가 재고되고 있다. 대표적으로 공동구를 대표적인 밀폐공간의 예시 들 수 있고, 이 구역에서 질식 재해 및 사망 사고가 발생하기 쉽다⁽¹⁾. 이를 위해 점검용 IOT, 로봇 시스템이 개발되었으나 이 역시 경제성, 실용성, 휴대성과 같은 한계가 존재한다.

즉, 공동구 점검을 위한 로봇은 비정형 장애물이 무작위로 존재하는 환경에서 잘 동작할 수 있어야 한다. 따라서 비정형 장애물 통과에 장점을 갖는 ASW 메커니즘을 채택하여 공동구 모니터링과 주행이 가능한 로봇을 연구하였다.

1.2 ASW 메커니즘

ASW(Angle Spoke Wheel) 메커니즘 기반 소형로봇은 공동구 지형을 극복할 수 있다. ASW는 spoke 길이의 약 70% 높이 장애물을 극복할 수 있으며, 형상의 구조상 spoke 상부공간을 활용할 수 있다⁽²⁾. 따라서 소형으로 설계할 수 있으며 휴대성과 경제성을 갖는다. 본 연구에서는 기존 로봇 대비 공동구 내부에 존재하는 비정형 장애물을 극복하고, 로봇에 부착된 통합 가스센서 모듈과 카메라를 통해 공동구를 점검할 수 있고, 상황에 맞추어 RF 통신 원격주행과 자율주행이 가능하도록 하여 기울어진 spoke를 가진 다리-바퀴 메커니즘 기반 공동구 점검 로봇 시스템을 구현하였다.

2. ASW mechanism-based robot design

2.1 Angle spoke wheel

ASW는 기존의 연구를 바탕으로 설계됐다. 6개의 spoke는 모두 회전축과 45도의 각도를 가지며 알루미늄 허브에 결합된다. Spoke의 내구성과 내식성을 위해 재질은 STS 304를 적용, 마찰력 증대 및 충격 감소를 위해 각 spoke에는 연질 PVC 재질의 캡을 장착하였다. 회전축에서 spoke 끝까지의 길이는 80mm로 약 50mm 정도의 장애물을 주파할 수 있다. 형상은 [Fig. 1] (a)에 묘사되어 있다.

2.2 Overall design

공동구 내부 조건에 맞추어 로봇의 몸체 크기(W260mm * D250mm * H300mm)를 설정하였다. 전체 구성요소는 [Fig. 1] (b)에 묘사되어 있다. 몸체는 상하부가 결합되는 구조로 설계하였다. 내부에는 두 개의 모터가 좌우를 담당하고 평 기어와 베벨 기어로 ASW에 동력을 전달한다. 모터는 103rpm, 2.94Nm의 성능 갖기 때문에 10kg의 로봇이 최대 3km/h의 속력으로 주행한다.

전장부는 비산되는 물과 분진으로부터 보호될

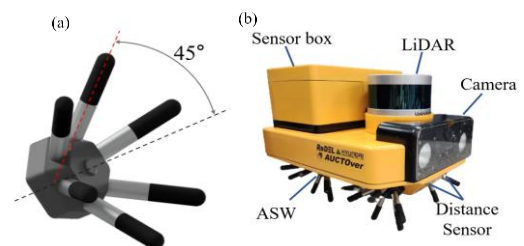


Fig. 1 (a) 3D model of ASW
(b) Outline of utility tunnel inspection robot

[†] Presenting Author, ljm7323@hanyang.ac.kr

수 있도록 몸체 내부와 상부 센서 박스 내부에 고정된다. 배터리는 11.1V 10000mAh 의 용량으로 완전 무선 조작 시 1 시간 30 분 이상 동작할 수 있도록 구동시간을 확보했다. Raspberry Pi 를 통해 제어하고, 환경 모니터링을 위한 센서는 적외선 거리센서, LiDAR(VLP-16), 카메라, 가스 센서들로 구성되어 점검동작 수행 시 공동구 내부의 환경을 모니터링할 수 있게 도와준다.

3. Function of robot

3.1 상황 모니터링

로봇이 공동구 환경에서 가스 상태와 영상을 수집하여 상황 모니터링 시스템으로 전송한다. 로봇에서 조종 PC 로 정보를 전송하여 조종자가 모니터링할 수 있다. 필요한 경우 O₂ 농도, CO₂ 농도, 유해가스, 온도, 습도 등의 데이터를 실시간으로 확인할 수 있도록 했다.

3.2 SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)

공동구 내부 환경을 파악하기 위해 Lidar 를 이용하여 SLAM 을 진행한다. 3D SLAM 은 Lego-Loam⁽³⁾을 기반으로 LEGO-LOAM-SR 을 적용하여 [Fig. 2] (a)같이 생성된다. 2D SLAM 은 SLAM toolbox⁽⁴⁾를 기반으로 맵을 구성한다. 구성된 맵은 이후 같은 장소에서의 자율주행에 기반이 된다. 이후 LIDAR 데이터를 이용하여 AMCL(Adaptive Monte Carlo Localization)과 엔코더, IMU 를 통해 현재 위치를 결정한다.

3.3 Navigation

SLAM 을 통해 생성된 맵을 이용하여 로봇의 이동경로를 생성한다. 이 과정에서 Navigation2⁽⁵⁾를 사용하여 장애물 위치를 파악한 후 이동 경로를 구성한다. 경로는 DWB controller 를 통해 주행 경로를 생성하고 이에 맞춰 주행한다. SLAM toolbox 로 생성된 2D 맵과 이를 이용한 이동경로 생성 모습은 [Fig. 2] (b)에 묘사되어 있다.

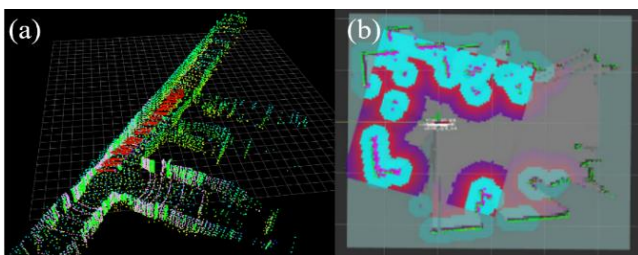


Fig. 2 (a) 3D map created using Lego-Loam
(b) 2D map created using Cartographer and path

4. Conclusion

본 연구에서는 Angle spoke wheel 메커니즘을 기반으로 한 소형 공동구 점검 로봇 시스템을 제안하였다. ASW 를 통해 공동구 환경을 주행할 수 있으며, 내부에 사람에게 유해한 환경인지 가스 센서를 통해 측정하고 카메라를 통해 이상을 확인한다. 로봇의 주행은 LIDAR 를 이용해 맵을 제작하고, 이를 기반으로 주행 경로를 만들어 주행한다. 이러한 효율적이고 경제적인 시스템으로 공동구 내부의 자율 점검 및 작업자의 안전 확보를 위한 용도로 사용될 수 있다.

후 기

본 연구는 현대엔지니어링 - 한양대학교의 공동구 점검 로봇 (R24145) 과제에 진행된 연구임.

Reference

- (1) 함승헌, 강성규, 박주홍, 최원준, 이완형, “첨단센서기술을 이용한 밀폐공간 유해가스 측정장치 개발 연구,” 안전보건공단 산업안전보건연구원, 대한민국, [Online], <https://kosha.or.kr/oshri/publication/researchReportSearch.do?mode=download&articleNo=411142&attachNo=232380>
- (2) Y. Lee, D. Yoon, J. Oh, H. S. Kim and T. Seo, "Novel Angled Spoke-Based Mobile Robot Design for Agile Locomotion With Obstacle-Overcoming Capability," in *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 25, no. 4, pp. 1980-1989, Aug. 2020, doi: 10.1109/TMECH.2020.2992302.
- (3) T Shan, B Englot, “LeGO-LOAM: Lightweight and Ground-Optimized Lidar Odometry and Mapping on Variable Terrain”, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, vol. x, no. x, pp. 4758-4765, 2018
- (4) Macenski, S., Jambrecic I., "SLAM Toolbox: SLAM for the dynamic world", *Journal of Open Source Software*, 6(61), 2783, 2021
- (5) S. Macenski, F. Martín, R. White, J. Clavero. “The Marathon 2: A Navigation System,” *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2020.