

작업자 안전을 고려한 무인 폐기물 수거차 시스템 개발

Development of Unmanned Vehicles System for Waste Collection Considering Worker Safety

정민권¹·김상호²·이상무³·원대희⁴·소병록⁴·이상준[†]

Mingwon Jung¹, Sangho Kim², Sangmoo Lee³, Daehee Won⁴, Byungrok So⁴, Sangjun Lee[†]

Abstract: In this paper, we propose waste collection vehicle system with a safety device for worker safety and an autonomous driving function. The steering system is applied as MDPS (Motor Drive Power Steering) system to control the waste collection vehicle of the internal combustion engine. Safety-related errors is prevented through redundancy brake of the integrated system and the control braking system. In order to ensure safety between workers and waste collection vehicles, work guidelines and safety devices for emergency stop in case of danger are applied to vehicles. In addition, this research is conducted on improving the working efficiency through vehicle condition monitoring system and a short-range control system for field test. This research is aimed to secure stability through demonstration and contribute to the industrialization of unmanned waste collection vehicles.

Keywords: Unmanned Vehicle, Safety Management, Waste Collection, Autonomous Truck

1. 서론

환경노동부 통계에 따르면 환경미화원 사고로 인한 산재 접수가 줄어들지 않고 지속적으로 발생하고 있는 것으로 보고되고 있다. 안전보건에 관한 지침¹⁾을 발간하고 교육을 통해 예방하고자 하였지만, 청소, 폐기물 수거 등과 같이 공공영역에서의 육체적 노동의 경우 높은 단순 반복 작업으로 인한 피로가 누적되고, 작업인력 부족으로 인한 3인1조 근무원칙이 지켜지지 않아 안전사고가 속출하고 있다. 근무원칙 상에 1명은 차량 운전, 2명은 폐기물 운반이지만, 대다수 지자체의 경우 2인1조로 운영되고 있어 폐기물을 차량으로 올리는 중 어깨와 허리 부상을 입거나, 수거차량에 끼임 사고 등이 발생하고 있다. 따라서 사고를 줄이기 위해 근무환경을 개선하고, 사전 예방할 수 있는 조치가 필요하다.

기존 연구가 진행된 특장차의 경우 무인 도로 청소차 위주로 많이 진행되었지만, 전 세계적으로도 무인 수거 차량의 경우 Volvo와 Renova에서 제작된 차량²⁾이 유일하고, 각 나라마다 수거방식과 환경이 다르기 때문에 국내 환경에 적합한 시스템 개발 진행이 필요하다. 본 연구에서는 자율주행 기술과 인공지능, 센서 기술 등을 이용해 폐기물 수거차량을 자율주행 및 작업자 안전기능을 탑재 한 차량으로 개조를 진행함으로 폐기물 운반인 2명만으로 작업이 가능하게 하였다. 기존 내연 기관 특장차량의 제동, 가감속, 조향을 제어하기 위해 MDPS (Motor Drive Power Steering) 시스템³⁾을 설계 적용하였고, 통합시스템 및 제동제어시스템을 이중화하여 안전 관련 오류가 발생하지 않도록 시스템을 개발하였다. 폐기물 수거용 무인 차량 시스템의 경우 작업자와 폐기물 수거 차량이 상시 동행하며 주행하기 때문에 자율주행 차량의 안정성만큼 작업자의 안전이 보장되어야 하므로 작업자 안전사고 예방에 관한 기능이 필요하다⁴⁾. 이를 위해, 저속으로 이동하는 폐기물 수거 차량과 작업자 간의 안전 작업 가이드라인과 안전장치들을 개발하여 차량에 탑재하였으며, 필드 테스트를 위한 차량 상태 모니터링과 관제 시스템 개발을 통한 작업환경 개선 및 효율 증대 관련 연구를 진행하였다. 본 연구는 실제 거주단지와 산업단지 내 도로 환경에서의 실증 테스트 시 안정적으로 운행할 수 있는 시스템을 개발하였다.

Received : Aug. 17. 2022; Revised : Sep. 13. 2022; Accepted : Sep. 28. 2022

※ This work was supported by the Technology development Program (No.P0012859) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea)

1. Senior Manager, Finemotors, Gwangju, Korea (mgj@finemotor.co.kr)

2. Principal Researcher, Joowon, Bundang, Korea (ksh0926@jw-t.kr)

3. Director, Joowon, Bundang, Korea (lsm@jw-t.kr)

4. Principal Researcher, KITECH, Ansan, Korea (daehee, newmal@kitech.re.kr)

† Researcher, Corresponding author: KITECH, Ansan, Korea (sjlee626@kitech.re.kr)

2. 폐기물 수거용 무인 차량 시스템

내연기관 방식의 폐기물 수거 차량에 적합한 MDPS (Motor Drive Power Steering)를 설계/제작하여 차량 제어를 가능하도록 차량을 개조하였으며, 차량의 자율주행을 위해 LiDAR, Camera, IMU, GPS, 센서등을 폐기물 수거 차량에 장착하였다. 그리고, 통합 제어기와 제동 제어시스템, 각 센서 데이터를 처리하는 제어기의 오류처리 방식을 이중화하여 오작동을 방지하였고, Fallback 기능을 통해 외부 작업자에 의한 긴급 상황에 대해 비상 정지가 가능 하도록 구현하였다. 무인수거차량 시스템의 제원은 [Table 1]과 같이 구성하였다.

2.1 가감속-제동 액추에이터 개발

폐기물 수거 차량(Fig. 1)의 가감속-제동을 위해 MDPS (Motor Driven Power Steering) 시스템³⁾을 구현하였으며(Fig. 2, [Fig. 3]), 특장차의 특성에 맞추어 진동, 외부환경에 강인한 제어기 모듈을 설계개발하였다. MDPS 모듈에 부착된 센서의 피드백을 통해 제어기 신호로부터 안정적인 제어 구현을 손쉽게 할 수 있도록 개발하였다.



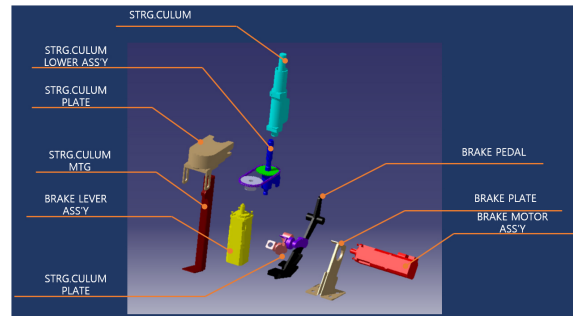
[Fig. 1] Unmanned waste collection vehicle

[Table 1] Specifications for an unmanned collection vehicle

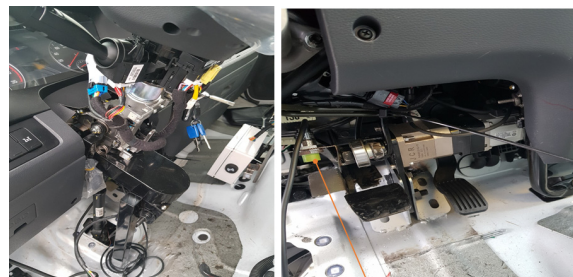
Length/Width/Height (mm)		5,765 / 2,025 / 2,390
Load weight (kg)		3,000
Brake		Main brake: Hydraulic Disk Parking: Electric Magnetic
Sensors for autonomous driving	Lidar	2D Lidar & 3D Lidar (Velodyne 16CH)
	Camera	ZED STEREO CAMERA
	IMU	Xsens MTi-300
	GPS	Ascen GPS
Controller		Vecow ECS-9000

2.2 통합 제어기 개발

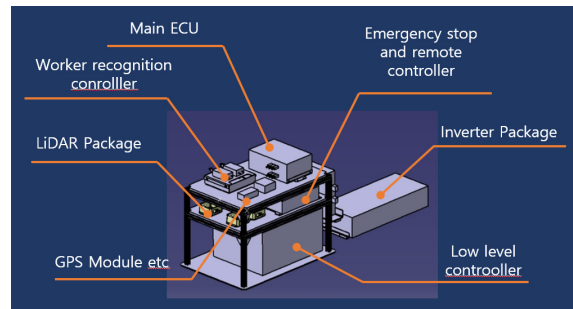
자율주행 제어기, 제동장치 및 비상제어 시스템들의 제어 기간 상태 및 고장 유무 확인⁴⁾을 위한 통합시스템(Fig. 4, [Fig. 5])을 개발하였으며, 제어기의 통신이 불안정하거나 연



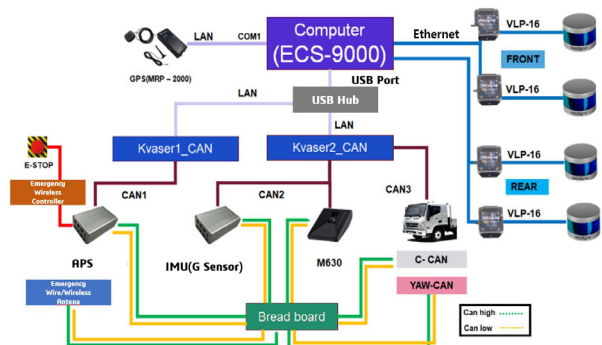
[Fig. 2] Steering, acceleration/deceleration and braking module



[Fig. 3] Modified modules inside the vehicle



[Fig. 4] Configuration of control system



[Fig. 5] Diagram of control system

결이 끊어지면, 차량에 비상정지 신호가 전송되도록 제어기를 구성하였다. 관제센터와 통신하는 제어기의 경우 독립 전원 장치를 구성하여 비상시 관제센터에 연락을 취할 수 있도록 구현하였다.

2.3 안전장치 시스템

무인수거차량의 작업자 안전을 위해 수거 작업 가이드라인을 제시하고 작업 안전 관련 제어 시퀀스를 시스템에 적용하였으며, 비상상황 발생시 차량 긴급 정지를 위해 외부 비상정지 버튼과 관제 프로그램에서 긴급 정지 기능이 가능하도록 시스템을 개발하였다. 무인수거차량의 안전을 위한 내부 위험 판단 기능 Fallback을 적용하여 시스템의 신뢰성을 확보하였다. 통합제어기와 같이 비상상황 발생 시 관제센터와 연락을 취할 수 있는 핫라인 통신 H/W는 독립전원을 사용한다[Fig. 6].

2.3.1 원거리/근거리 원격 비상정지

차량 외부에서 자율주행 조작을 할 수 있는 장치를 개발하고 자율주행 시스템에서 감지하지 못한 위험 상황에서 차량을 작업자가 직접 비상정지 시키기 위한 원거리/근거리 비상정지 시스템을 적용하였다. 또한 제어시스템의 오류로 인한 비상정지 시스템이 동작하지 않을 경우는 차량 외부에 기계적으로 차량을 멈추게 할 수 있는 핸드 브레이크 시스템을 장착하였다 [Fig. 7].



[Fig. 6] Hotline for contacting the control centre



[Fig. 7] Long- and short-distance remote emergency system

2.3.2 관제 모니터링 시스템

차량 내부 모니터링 프로그램을 통해 Fallback 상황 및 차량 상태를 모니터링 하고, 관제 프로그램에 전방 영상 및 차량 정보를 전송하여 관제 프로그램에서 무인수거차량의 상태를 확인하고, 작업자가 인지하지 못한 위험 발생 시 비상 정지 신호를 보내 차량이 멈추도록 개발하였다. 또한, 무인수거차량과 관제차량의 거리가 50m 이상 벌어지거나, 영상의 전송속도가 5FPS이하로 떨어지면 알람 및 비상정지 신호를 발생하여 무인수거차량과 관제 차량 간의 간격을 유지할 수 있도록 하였다. 개발된 관제 프로그램과 모니터링 프로그램은 [Fig. 8]과 같으며, 관제 프로그램에서 모니터링 시 외부 해킹 및 이상 트래픽 감지를 위해 Forfinet ForWiFi 30D (Common Criteria)의 EAL 3인증을 취득한 H/W 방화벽을 설치하여 관제 프로그램을 제외한 다른 외부 신호로부터 제어가 되지 않도록 통신 방화벽을 강화하였다.

2.3.3 작업자 안전을 위한 인식 시스템

인식 시스템은 YOLO (You Only Look Once) v4 모델을 적용하여 작업자와 비작업자를 구분하고 주변 물체를 인식하여 위치를 알려줌으로서 작업자가 안전지대에 있을 경우에만 자율주행 시스템이 동작할 수 있도록 인식 시스템을 개발하였다 [Fig. 9]. 라이더와 카메라 데이터로부터 인식된 데이터를 바탕으로 작업자 주변에 인식된 물체를 차량 후방에 부착된 모니터와 표시등을 통해 상황을 알려줌으로 작업자가 위험 상황으로부터 대처할 수 있도록 하였다.



[Fig. 8] Monitoring program for worker, respectively, inside an unmaned vehicle and in the control center

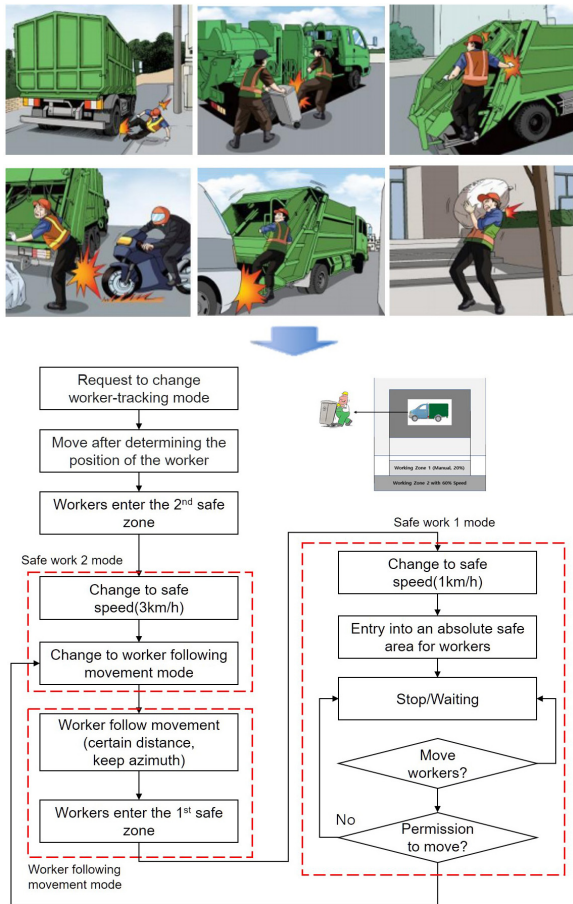


[Fig. 9] Results of recognition worker

해 관제센터 비상정지 명령 전달의 경우는 평균 1.852[m], 시간은 평균 1,298[sec]가 발생되고, 작업자무선기기를 통한 비상정지 명령 전달의 경우는 평균 1.382[m], 시간은 평균 1.022[sec]의 결과를 얻어 무인차량의 운행에 대한 최소한의 안전거리를 예측할 수 있었다.

2.3.5 작업자 안전 가이드 개발

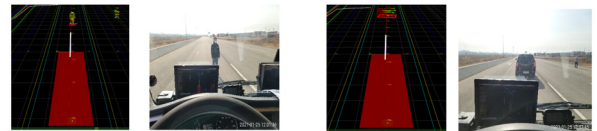
고용노동부에서 발간한 폐기물 수거작업의 안전 기술지침¹¹⁾과 수거차량의 다양한 주행 시나리오(주차차량 추월, 교차로 통과, 작업자 안전거리 유지, 주변사람/사물과의 안전거리 유지 등)에 따른 작업 환경 조건에 대하여 [Fig. 12]와 같이 작업자 안전 가이드를 개발하였다. 수거차량이 작업 안전구역에 진입하면 차량의 속도를 줄이고, 작업자를 인식하여 작업자 위치를 추종하며 이동한다. 사고 위험이 발생할 수 있는 위치에 작업자가 접근하면 사고를 예방하기 위해 차량운행을 정지 후 작업자에 의해 차량을 재가동이 가능하도록 자율주행 시스템 알고리즘에 적용하여 작업자의 안정성을 높였다.



[Fig. 12] Control sequence according to operator safety guide



(a) Autonomous driving program



(b) Recognition results (human and vehicle in front view)

[Fig. 13] Autonomous driving

2.4 자율주행 시스템

개발된 무인 폐기물 수거차량은 정해진 산업 단지 작업 구간과 거주단지 내에서만 운용하기 때문에 차량의 자율주행 프로그램은 [Fig. 13]에 나타난 바와 같이 시맨틱 지도 기반의 알고리즘을 적용하여 개발하였으며, 실증사이트 분석을 통해 자율주행 시 발생할 수 있는 위험요소를 자율주행 프로그램에 반영하였다.

3. 실증 테스트

실증테스트를 위해서 우선 실증사이트내 정해진 코스의 차량운행 동영상과 지도의 로드뷰를 활용하여 도로상황과 환경을 분석하고, 폐기물이 집하되어 있는 수거 위치(Spot)와 수거 안전지대를 파악하여 현장 검증을 통해, 주행/수거 실증 시나리오를 작성하였다[Fig. 14]. 실증 코스 거리는 거주단지내 2.2 km, 산업단지내 2.1 km로 정하고, 2년 동안 총 261 km의 거리를 자율주행과 수거작업 테스트 진행하였다.

유인/무인 차량의 수거 작업 시간 비교를 위해 거주단지내 2.2 km의 코스에서 수거 Spot 10개소에 대해 23회 테스트를 수행하고, 그결과를 [Fig. 15]에 나타내고 있다. 유인 수거 차량은 작업자 2인(운전자 1인, 수거작업자 1인)으로 진행하고, 무인 수거 차량은 작업자 1인(무인주행, 수거작업자 1인)으로 테스트하였다. 유인 수거 작업의 평균 소요시간은 9.93[min]이고, 무인 수거작업의 평균 시간은 11.49[min]이 소요되었다. 무인 수거작업이 유인대비 15.7% 많은 시간이 필요하였으나, 필요 작업자 수가 2인에서 1인으로 줄어들어 인건비 대비 작업량 측면에서는 172% 높은 생산성을 갖는 결과를 얻을 수 있었다.

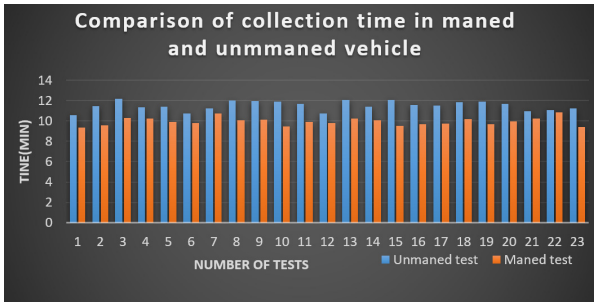


(a) Analysis of road status in verification site



(b) Real road and environment status in demonstration site (Residence site)

[Fig. 14] Detail analysis of verification site for collection waste



[Fig. 15] Comparison of time, collection waste results of collection waste time in manned/unmanned vehicle

4. 결론

본 논문에서는 폐기물 수거 차량의 무인 시스템 적용을 위해 차량을 개조하고, 자율주행 시스템과 작업자의 안전 시스템을 장착한 무인 수거차량의 개발 결과를 제시하였다. 다양한 안전장치들을 차량에 적용하여 차량과 작업자의 안전성을 높이고, Fallback 기능을 통해 시스템의 신뢰성을 확보하였으며, 실증 테스트를 통해 개발된 시스템의 안전성과 수거 작업의 생산성을 검증하였다. 추후 시스템 최적화와 실증 사이트 확대 테스트를 진행을 통해 무인 특장 차량 연구 분야에 활용에 기여 할 수 있기를 희망한다.

References

- [1] “Technical guidelines for the safety and public health of waste collection operation,” *Korea Occupational Safety & Health Agency*, 2016, [Online], <https://kosha.or.kr/extappKosha/kosha/guidance/fileDownload.do?sflhTchnlgyManualNo=G-56-2016&fileOrdNo=3>, Accessed: September 28, 2022.
- [2] Volvo pioneers autonomous, self-driving refuse truck in the urban environment, [Online], <https://www.volvogroup.com/en/news-and-media/news/2017/may/news-2561936.html>, Accessed: September 28, 2022.
- [3] S. C. Yun and C. S. Han, “A Study on Development of a Motor Driven Power Steering System,” *Korean Society Automotive Engineers Conference*, pp. 427-432, 1995, [Online], https://www.ksae.org/journal_list/search_index.php?mode=view&sid=40226&gubun=2&year=1995&month=11&issue=0&number=0&page=7&page_pre=&kwon_title=JUVDJUI2JTk0JUVBJUIzJTg0JUVEJTk1JTk5JUVDJITg4JUEwJUVcJThDJTgwJUVEJTBjThDKyVFQIU4NSVCQyVFQyVBQyVCOCVFQyVBjNyU5MSsxJUVEJTk4JUI4.
- [4] “Regulations on safe operation requirements and test run of autonomous vehicles,” *Ministry of Land, Infrastructure and Transport*, 2021, [Online], <https://www.law.go.kr/LSW/admRulLsInf.oP.do?admRulSeq=2100000199257>, Accessed: September 28, 2022
- [5] J. W. Nah, W. G. Kim, and K. S. Yi, “Verification of fault diagnosis algorithm for an autonomous driving vehicle,” *Korean Society of Mechanical Engineers Conference*, 2010, [Online], <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE01551882>.
- [6] J. S. Lee, M. G. Kim, and H. I. Kim, “Camera and LiDAR sensor fusion for improving object detection,” *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 24, no. 4, pp. 580-591, 2019, DOI: 10.5909/JBE.2019.24.4.580.



정민권

2007 건국대학교 기계공학과(학사)
 2008~2016 (주)타마스 연구소 과장
 2016~2019 (주)에스엠지 연구소 차장
 2019~현재 (주)화인특장 연구소 부장

관심분야: 자율주행 제어



원대희

2000 고려대학교 제어계측공학(학사)
 2002 한양대학교 정밀기계공학(석사)
 2015 한양대학교 전기공학(박사)
 2003~현재 한국생산기술연구원 로봇연구부문
 수석연구원

관심분야: Space robotics, Nonlinear control, Embedded control systems, Real-time motion network



김상호

2000 강원대학교 전자공학과(학사)
 2002 강원대학교 전자공학과(석사)
 2020 목포대학교 전기공학과(박사)
 2020~현재 (주)주원테크놀로지 연구소 수석
 연구원

관심분야: Unmanned vehicle, Agriculture robot, AGV



소병록

1997 한양대학교 제어계측공학(학사)
 2000 한양대학교 제어계측공학(석사)
 2006 한양대학교 전자전기제어계측공(박사)
 2006~현재 한국생산기술연구원 로봇연구부문
 수석연구원

관심분야: Humanoid, Space robotics, Robot mechanism, Parallel mechanism, Motion planning



이상무

1987 서울대학교 제어계측공학(학사)
 1989 서울대학교 제어계측공학(석사)
 1999 서울대학교 전기공학부(박사)
 2015~현재 (주)주원테크놀로지 대표

관심분야: Motion Control, Personal Mobility Control, Handling Robot



이상준

1999 선문대학교 제어계측학과(학사)
 2001 선문대학교 전자공학(석사)
 2010~현재 한국생산기술연구원 로봇연구부문
 연구원

관심분야: 인공지능, 비전