AI를 활용한 캠퍼스 시설관리 자율주행 플랫폼 개발

남택권*, 김민재*, 김범석*, 강태구*
상명대학교 휴먼지능로봇공학과*

Development of Self-driving Platform for Campus Facility Management Using AI

Taek-Gwon Nam*, Min-Jae Kim*, Bum-sok Kim*, Tae-Koo Kang*
Department of Human Intelligence and Robot Engineering, SangMyung University*

Abstract - 자연재해로 인한 캠퍼스(대학교 캠퍼스, 연구단지 등)의 시설물 훼손 사례와 건물 노후로 인한 외벽 손상 등 캠퍼스 시설과 관련된 피해가 늘고 있다. 1년에 한 번 하는 안전점검과 캠퍼스 관리인력을 통한 시설물 관리에 어려움이 있다. 이런 어려움을 해결하기 위해 캠퍼스 내에서 자율주행이 가능한 플랫폼을 제안하였다. 해당 플랫폼은 AI를 활용해 건물 외벽의 손상뿐만 아니라 차량 주행로의 장애물들을 판별할 수 있는 기능을 갖췄을 뿐만 아니라, 자율주행을 하며 캠퍼스를 순회하는 동시에 카메라를 이용해 캠퍼스 상황을 촬영하고 실시간으로 분석해 문제점을 찾으면 관리팀 서버에 전송한다. 본 시스템은 시설물 관리인력이 최대한 빠른 시일 내에 문제점을 인지하고 조치를 취해 캠퍼스 이용자들의 안전을 도모할 수 있는 역할을 수행할 것으로 기대된다.

1. 서 론

태풍, 폭우 등 자연재해로 인한 캠퍼스 시설 훼손 사례가 증가하고 있다. 대학교 캠퍼스, 기업 연구단지와 같은 캠퍼스는 넓은 공간으로 꾸준한 시설관리가 어렵다. 특히 캠퍼스는 산 아래 위치한 경우가 많아 폭우로 인한 산사태가 꾸준히 일어나고 있다. 이러한 자연재해로 인한 시설물 훼손은 예방이 불가능하기 때문에 빠르게 발견하고 신속한 조치가 필요하다. 하지만 기존에는 캠퍼스 내 관리 인원들이 차량 등 이동수단을 이용해 지속적으로 시설상황을 감시하고 있으며 문제 발생 시 캠퍼스 이용자들의 신고에 의지할 수 밖에 없다.

캠퍼스 내 시설을 관리하기 위해 매년 투자되는 비용이 증가하고 있으며 그중 인건비 인상이 비용증가의 직접적인 원인으로 꼽히고 있다. 또한, 건물 외벽 관리를 위해 꾸준히 관리 비용이 투자되고 있으며 건물 외벽 관리는 주기가 길어 점검일 사이에 발생하는 시설의 문제에 대해서는 사람이 발견하지 못하면 대처할 수 없다.

본 논문에서 제안하는 자율주행 플랫폼은 배달로봇 형태의 6개의 바퀴를 장착한 모바일 로봇으로 4개의 싱글포인트 LiDAR와 360도 LiDAR, RTK GPS를 이용해 자율주행을 하며 최상단에 위치한 카메라로 캠퍼스 내 시설물을 촬영하며, 촬영된 데이터는 실시간으로 서버에 저장된 기존 데이터로 학습된 AI 데이터와 비교해 캠퍼스 시설의 이상을 판별한다. 이상이 감지되면 시설관리팀에게 문제상황을 전송해 3분 이내에 문제 장소에 사람이 도착해 조치를 취할 수 있게 하였다.

2. 시설관리 자율주행 플랫폼 개발

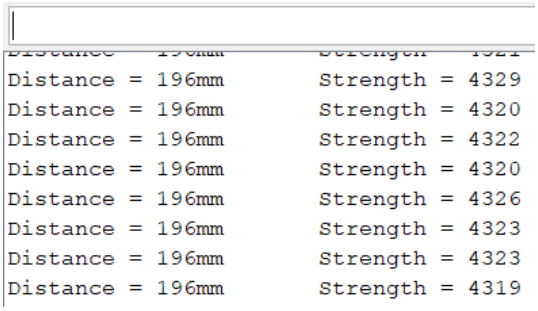
2.1 모바일 플랫폼 구성 및 기능

본 논문에서 제안하는 자율주행 가능 모바일 플랫폼은 가로 600mm, 세로 800mm, 높이 700mm 이다. 양 측면에는 각각 3개, 총 6개의 25cm 바퀴가 장착되었으며 중간과 뒤편에 장착된 바퀴는 기어박스를 통해 동일한 동력이 전달 가능하도록 설계하였다. 41 kg/cm 토크의 기어드모터 2개를 양쪽 기어박스에 장착해 제자리 회전이 가능한 구조로 제작하였다. 모터는 12V로 작동하며 40800mA 고전압 배터리로부터 전기에너지를 전달받아 작동한다. 플랫폼의 최전방에는 Benewake 사의 TFmini Plus LiDAR 2개를 장착해 전방의 장애물 감지를 할 수 있게 하였으며 양 측면에 TFmini Plus LiDAR2개를 장착해 좁은 길을 안정적으로 통과할 수 있는 기능을 추가할 수 있게 하였다. 600mm높이에 YDLiDAR 사의 G2 360도 라이다를 장착해 주변 장애물 및 환경인식이 가능하도록 하였으며 최상단에는 캠퍼스 상황을 실시간으로 촬영할 Logitech 사의 StreamCam을 장착하였다. 최상단 프레임의 카메라 옆에는 물리적인 E-STOP버튼을 위치시켜 시스템오류 등 돌발상황 발생시 모터의 전원을 물리적으로 끊어버릴 수 있도록 설계하였다. 가운데 바퀴 축 위에는 uBlox사의 C099-F9P RTK GPS를 장착해 캠퍼스 내에서 설정된 목적지를 향해 자율주행이 가능하도록 하였다. 이 모든 구성은 캠퍼스 내 보행 중인 사람과 주행 중인 이동수단(자동차, 자전거 등)에게 피해를 주지 않도록 인간 중심적인 설계를 진행하였다.

〈그림 1〉 자율주행이 가능한 모바일 플랫폼 구성

2.1.1 TFmini Plus 라이다를 이용한 긴급정지 시스템 구현

최전방에 장착한 2개의 TFmini Plus 라이다를 이용해 실시간으로 전방 장애물과의 거리를 측정한다. 측정된 값이 2m 이상이면 3km/h 속도로 주행을 한다. 주행 도중 전방 장애물이 감지되고 전방 장애물과의 거리가 1m 이상 2m 이하이면 최고 주행속도를 기존 주행속도의 절반인 1.5km/h로 제한한다. 전방 장애물과의 거리가 1m 미만으로 좁아지면 모터 회전을 서서히 멈춰 장애물과의 거리가 멀어지기까지 기다린다. 모터의 회전수를 서서히 낮추는 이유는 갑자기 모터 회전을 멈췄을 때 모터에 가해지는 물리적 충격을 대비하기 위해서이다. 모터의 속도를 서서히 낮추다가 장애물과의 거리가 50cm이하로 좁아지면 모터회전을 정지하고 30cm이하이면 모터 역회전을 시켜 긴급정지 시스템을 작동시킨다. 내리막길에서 주행할 때도 마찬가지로 전방 장애물과의 거리로 최고속도를 제한하며 주행하게 하였다.



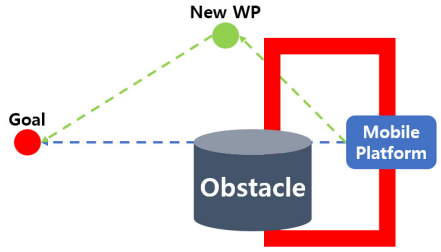
〈그림 2〉 TFmini Plus LiDAR를 이용한 실시간 거리 데이터

〈표 1〉 긴급정지를 위한 TFmimi Plus LiDAR 스펙

Operating Range	0.1m - 12m
Frame Rate	1-1000HZ
Distance Resolution	1cm
Accuracy	±5cm@(0.1m-6m) ±1%@(6m-12m)
FOV	3.6°

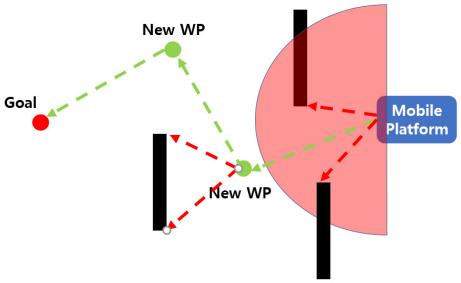
2.1.2 G2 360 LiDAR를 이용한 회피주행 시스템 구현

모바일 플랫폼의 이동 주행은 GPS를 기반으로 주행하면서 라이다를 이용하여 장애물을 감지한 다음 장애물이 감지되지 않는 곳에 새로운 WP(Way Point)를 생성하여 주행하게 만든다.



<그림 3> 장애물 탐지 및 회피주행

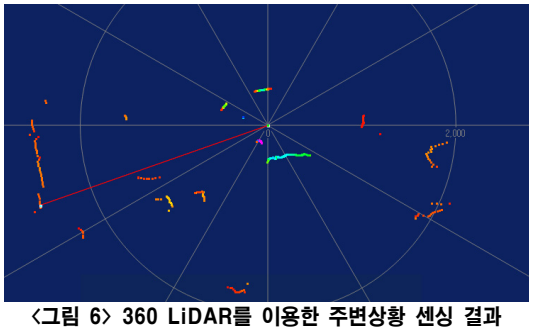
위 그림과 같이 탐지범위를 8m로 설정한 다음 이 탐지범위 안에 라이다가 장애물을 탐지하면 목표 WP와 모바일 플랫폼의 위치 사이에 장애물이 감지되지 않은 곳에 새로운 WP를 생성하여 회피주행을 하는 알고리즘을 사용한다.



<그림 4> 장애물 탐지 및 회피주행 시나리오

위의 <그림 4>처럼 주변 환경을 탐지 후 다음 목표 WP의 각도와 남은거리를 파악한 후 장애물의 크기, 남은거리, 각도를 계산하여 장애물을 피해 원래 목표 WP와 최소 1m 정도 떨어진 곳에 새로운 WP를 생성한다. 그리고 만약 새로운 WP에 가서도 장애물이 탐지된다면 이와 같은 과정을 반복해 피하게 만든다. 이러한 방식을 실시간으로 적용시켜 모든 장애물들을 피할 수 있다.

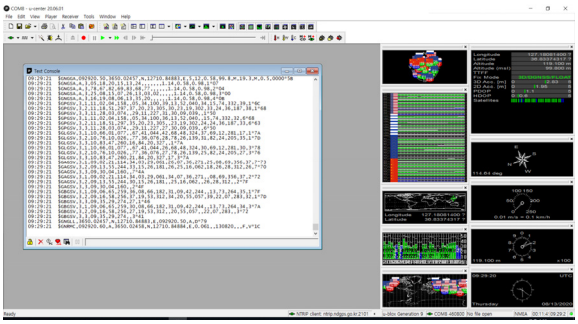
<그림 5> 회피주행을 위한 G2 360 LiDAR



<그림 6> 360 LiDAR를 이용한 주변상황 센싱 결과

2.1.3 RTK GPS를 이용한 위성항법 주행시스템 구현

대학교 캠퍼스 안에 일정한 간격으로 WP(Way Point)들을 찍어 놓고 사용자에게 목표 위치를 받게 만든 후 RTK GPS를 이용하여 보정된 현재 위치를 받은 후 현재 위치에서 목표 좌표까지 거리를 구한 후 계산하여 최적의 경로를 찾게 한다.

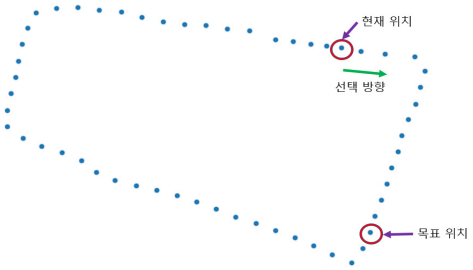


<그림 7> RTK 보정

경로를 추적할 때 지나간 WP들은 지운 후 가장 가까운 WP를 목표 좌표로 설정하여 heading값과 현재 위치와 목표 좌표까지의 거리 등 다양한 정보들을 계산하여 사용자가 입력한 목표 위치까지 정확하게 안내하게 만든다. 다음 수식은 위도와 경도의 거리 계산식을 나타낸다.

$$X = (\cos(\alpha_1) * 6400 * 2 * 3.14/360) * |\beta_1 - \beta_2| \quad (1)$$
$$Y = 111 * |\beta_1 - \beta_2|$$
$$D = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

(1)에서 α는 위도를 β는 경도를 각각 나타낸다.



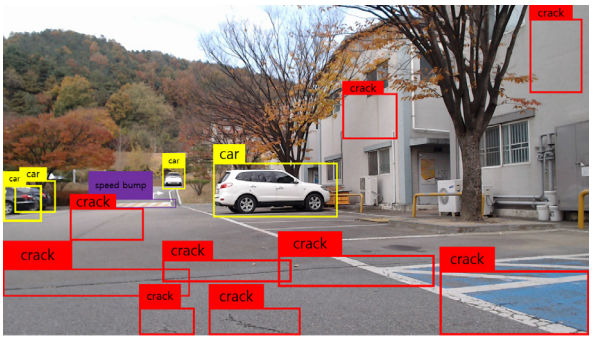
<그림 8> RTK GPS를 이용한 경로추적 시스템

<그림 8>에서 보는 바와 같이 선택 방향을 찾는 방식은 WP들이 일정 순서대로 배열에 저장되어 있기에 어느 방향으로 가는 것이 읽는 순서가 빠른지 계산한 다음 가장 빠른 경로로 선택하여 순서대로 읽게 만든다.

2.1.4 AI를 이용한 캠퍼스 시설관리 시스템 구현

플랫폼이 주행하며 실시간으로 캠퍼스 상황을 최상단에 위치한 카메라로 촬영하며 데이터를 수집한다. 촬영되는 영상은 기존 YOLO 알고리즘으로 학습시킨 데이터와 실시간으로 분석하며 상황을 인식한다. 건물외벽, 바닥 등 카메라에 보이는 부분에 금이 가거나 시설물이 회손된 것이 인식되면 Crack으로 해당 부분을 캠퍼스 관리팀 서버로 전송된다. 해당 시스템은 모바일 플랫폼이 실시간 캠퍼스 상황을 인식하고 문제가 발생된 부분에 대해 사진을 촬영해 최대한 빨리 조치를 취할 수 있도록 하는 것에 목적을 두고 있다.

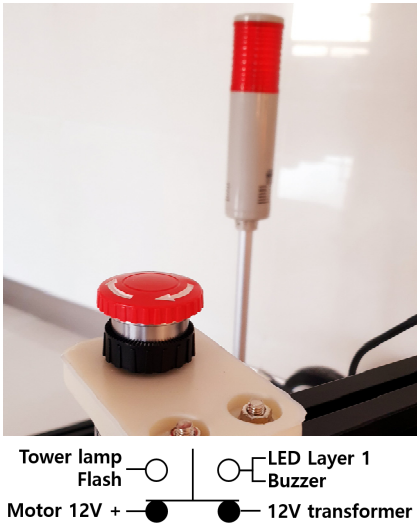
<그림 9> 상황인식을 위해 장착한 카메라



〈그림 10〉 YOLO알고리즘을 이용한 상황인식 결과

2.1.5 비상정지 회로 구현

본 논문에서 설명하는 모바일 플랫폼은 캠퍼스 내에서 자율주행을 하며 사람들과 함께 주행해야 하기 때문에 비상정지 버튼을 장착하고 물리적으로 모터 구동을 정지시킬 수 있는 회로를 구현하였다. 센서 오작동, 모터 오작동으로 인한 급발진 등 위험한 상황에서 사람의 손과 가장 가까운 위치에 물리버튼을 장착하였다. 해당 버튼을 누르면 모터와 연결된 회로가 차단되면서 모터 작동을 정지시키며 타워등과 연결된 회로를 작동시키며 빨간색 LED와 부저를 울려 주변 사람들에게 경고신호를 보내게 하였다.

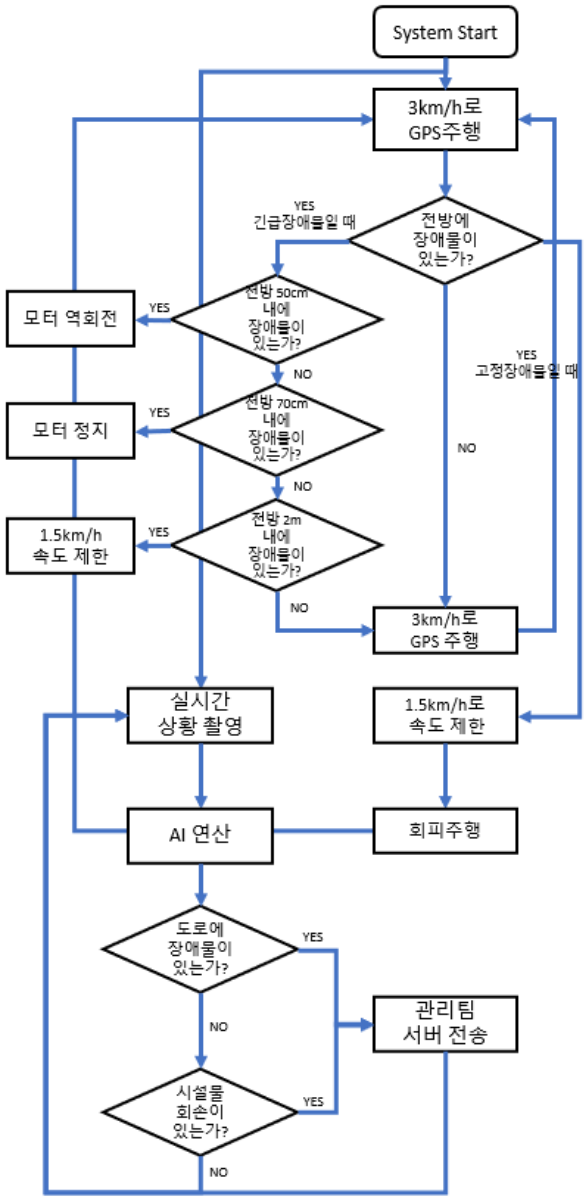


〈그림 11〉 비상정지 버튼 및 타워등 (위)
비상정지버튼 회로도 (아래)

2.2 시스템 작동 프로세스

본 논문에서 설명하는 캠퍼스 시설관리를 위한 자율주행 모바일 플랫폼은 <그림 12>과 같이 작동한다. 시스템이 작동을 시작하면 GPS기반으로 이동한다. 시속 3km/h로 움직이며 사람보다 느린속도로 주행한다. 최고속도를 사람의 평균속도인 4km/h보다 느리게 주행하며 충돌시 안전성을 확보하고 후방충돌을 방지한다. 플랫폼 최전방에 위치한 2개의 싱글포인트 라이다를 이용해 전방에 장애물이 있는지를 판단한 뒤 장애물의 거리가 50cm이하, 70cm이하, 2m이하로 단계를 두어 모터속도 및 정지에 대한 제어를 하게 하였다. 또한 장애물이 사람, 이동수단 등과 같이 동적 장애물이 아닌 고정되어있는 정적 장애물로 판단될 경우 G2 360도 라이다를 통해 회피주행을 시도한다. 회피주행을 할 때도 역시 보행자 및 기타 시설물에 대한 충돌 안전성을 확보하기 위해 주행속도의 절반인 1,5km/h로 제한해 회피주행을 진행한다.

주행프로세스와 동시에 최상단에 위치한 카메라를 통해 실시간으로 캠퍼스 상황을 촬영한다. 촬영되는 데이터는 미리 만들어둔 AI데이터를 통한 연산을 진행한다. YOLO알고리즘을 활용해 상황 데이터를 인식한 후 도로에 Obstacle로 표현하는 장애물이 있는지를 판별한다. 판별결과 장애물이 있으면 캠퍼스 관리팀 서버로 사진과 위치를 전송해 최대한 빨리 조치를 취할 수 있도록 하였다. 도로에 장애물이 없다면 시설물에 회손이 있는지를 판별한다. <그림 10>과 같이 건물 벽이나 도로 등 시설물에 Crack으로 표현되는 회손이 판별되면 관리팀 서버로 사진을 전송해 건물 등 시설물 관리에 도움을 줄 수 있도록 한다. 해당 프로세스는 계속 반복하며 넓은 캠퍼스를 주기적으로 관리할 뿐만 아니라 건물 관리 등에도 효율적으로 사용 가능하다.



〈그림 12〉 캠퍼스 시설관리를 위한 모바일 플랫폼 작동 프로세스

3. 실험 결과

3.1 Yolo 알고리즘을 이용한 상황 인식 실험 환경

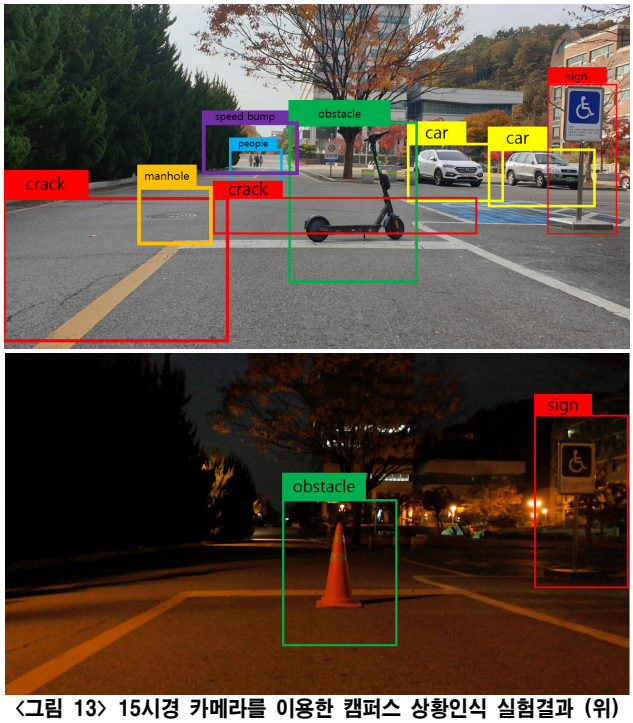
플랫폼 최상단에 위치한 StreamCam 카메라는 빛이 적은 밤에는 플랫폼이 이동하는 상황에서 빛을 안정적으로 모을 수 없다. 본 실험은 카메라가 플랫폼에 설치된 높이에서 15시와 21시에 각각 촬영하며 학습결과를 확인하였다. 본 학습을 위해 사용된 데이터는 Augmentation 하지 않고 500장의 데이터를 이용하여 학습하였다.

3.2 Yolo 알고리즘을 이용한 상황 인식 실험 결과

실험은 <그림 13>과 같이 도로에 장애물을 설치하고 700mm높이에서 실험을 진행하였다. <그림 13>의 결과를 보면 낮시간(15시)에 촬영된 사진과 밤시간(21시)에 촬영된 사진에서 확인할 수 있다. 낮시간에 촬영된 데이터를 보면 주차되어있는 차량의 모습과 바닥의 균열 등을 확인할 수 있지만 밤시간에 촬영된 영상의 결과에서는 바로 앞에 있는 장애물과 표지판만 인식 가능하였다. 빛이 충분한 낮시간에는 인식 정확도가 92.4%로 90%이상의 정확도를 보였지만 같은 자리에서 빛이 부족한 상황에는 71.5%의 정확도를 보였다. 인식 가능 거리 또한 빛이 충분한 시간대에는 50m 이상의 먼 거리까지 인식할 수 있고, 빛이 부족한 시간대에는 10m 정도로 낮은 인식 거리하의 조건속에서도 비교적 높은 인식률을 가진 것으로 실생활에 적용가능 한 정도의 성능을 보여주고 있다.

〈표 2〉 15시와 21시 상황인식 결과

비고	15시	21시
인식 정확도	92.4%	71.5%
인식가능거리	62m~105m	7m~12m
인식 대상	장애물, 균열, 자동차 등	장애물, 표지판



〈그림 13〉 15시경 카메라를 이용한 캠퍼스 상황인식 실험결과 (위)
21시경 카메라를 이용한 캠퍼스 상황인식 실험결과 (아래)

4. 결 론

본 논문에서 제안하는 캠퍼스 시설관리를 위한 자율주행 플랫폼은 이동하며 카메라로 캠퍼스의 시설상황을 촬영하며 AI를 활용해 시설물의 특이사항을 판별할 수 있다. 새로 개발한 모바일 플랫폼은 측면에 각 3개씩 총 6개의 바퀴를 장착하였으며, 기어박스를 이용해 4개의 바퀴에 동력전달이 가능하도록 설계하였다. 본 플랫폼은 자율주행이 캠퍼스에서 자율주행이 가능하도록 RTK GPS를 활용해 정밀한 GPS 위치 데이터 수집이 가능하도록 하였고 측면에 라이다를 각 1개씩 장착해 좁은 길도 통과 가능하게 하였다. 최전방에 2개의 라이다로 돌발 장애물에 대한 거리 데이터를 수집해 긴급정지 및 속도제어 등 모터 제어가 가능하도록 하였으며 상단에 위치한 360 라이다를 이용해 주변상황을 인식하고 회피주행이 가능하도록 하였다. 플랫폼 최상단에 카메라를 장착하고 실시간으로 캠퍼스 상황을 촬영해 AI를 활용해 시설의 문제를 찾고, 캠퍼스 관리팀에 데이터를 전송함으로써 최대한 빨리 문제에 대한 조치를 취할 수 있도록 돕는다. 사람이 주기적으로 점검하며 차량 주행로의 돌발 장애물과 1년에 한번하는 건물 안전점검으로 찾을 수 없는 시설 훼손을 빠른 시일에 찾아 조치를 취할 수 있다. 본 논문에서 설명한 AI를 활용한 시설관리 자율주행 플랫폼은 위에서 설명한 프로세스를 통해 자율주행하며 캠퍼스의 상황을 분석하고 문제점을 찾아 캠퍼스 관리인력이 조치를 취할 수 있게 도울 수 있으며 플랫폼을 활용해 캠퍼스 내 서면자료 배달 등 다양하게 활용 가능하다.

[참 고 문 헌]

[1] 박찬희, 김성진, 김철생 양균의, “Graphical System Design을 이용한 장애물 회피 알고리즘 검증 및
Rapid Control Prototyping 플랫폼 개발”, 한국방위산업학회, 제 18권 제 1호, 85-100, 2011.06