



이동식 전기차충전시스템의 주차장 내 자율주행알고리즘 연구

A Study for Autonomous Driving Algorithm of a Mobile Electric Charging System in Parking Area

김다영¹, 최정섭², 유승열^{1,#}
Dayoung Kim¹, Jungsub Choi², and Seong-yeol Yoo^{1,#}

¹ 계명대학교 로봇공학과 (Department of Robot Engineering, Keimyung University)
² (주)에너캠프 (ENERCAMP Inc.)
Corresponding Author / E-mail: usyeol@kmu.ac.kr, TEL: +82-53-580-5226
ORCID: 0000-0003-4755-8223

KEYWORDS: Autonomous driving algorithm (자율주행알고리즘), Electric charging system (전기 충전 시스템), Mobile robot (이동로봇), A-star algorithm (A* 알고리즘), Dynamic Window Approach (동적 창 접근법)

With the increasing severity of global warming, there is a growing need for eco-friendly vehicles to reduce greenhouse gas emissions. However, the expansion of charging infrastructure is struggling to keep up with the rising number of electric vehicles due to space constraints and installation costs. This paper aims to address this issue by proposing an autonomous driving algorithm for a mobile robot-based movable charging system for electric vehicles, as an alternative to traditional stationary charging stations. Our paper introduces a rule-based path planning algorithm for autonomous robot-based charging systems. To achieve this, we employ the A (A-star) algorithm for global path planning towards the charging request position, while utilizing the Dynamic Window Approach (DWA) algorithm for generating avoidance paths around obstacles in the parking lot. The avoidance path generation algorithm differentiates between dynamic and static obstacles, with specific algorithms formulated for each type of obstacle. Finally, we implement the suggested algorithm and verify its performance through simulation.*

Manuscript received: February 29, 2024 / Revised: June 18, 2024 / Accepted: July 04 2024
This paper was presented at KSPE Autumn Conference in 2023

1. 서론

전 세계적으로 배출된 온실가스에 따른 지구온난화가 심각해지고 있으며, 이에 대응하기 위하여 교토의정서, 파리협정 등의 채택을 통해 대책을 논의해 왔고[1,2], 우리나라도 기후위기에 대응하고, 지구온난화를 늦추기 위해 2050년 탄소중립을 선언하였다. 2020년 기준 우리나라에서 배출된 온실가스 중 91%는 이산화탄소(CO₂)이며, 온실가스 감축 기준연도로 설정한 1990년 대비 6억 5,620만톤을 배출하면서 125% 증가하였지만, 2019년 대비 온실가스 배출량이 6.4% 감소하면서 기후변화에 대한 대응노력이 효과를 나타내기 시작했다[3]. 2018년을 기준으로 우리나라의 온실가스 배출량 중 수송분야 배출량은 9,810만톤으로

전체 배출량의 15%를 차지하고 있으며, 2050년까지 전기, 수소차 보급을 97%까지 확대하여 온실가스 배출을 감소시킬 계획을 가지고 있다[4]. 이에 맞추어 전기차의 보급률도 대폭 확대되고 있는데, 국토교통부에 따르면 등록된 전기차의 수가 2019년도(12월) 기준 89,918대에서 2023년도(5월)에는 450,731대로 늘어 500% 증가하였다[5]. 하지만, 단기간 급격히 늘어난 전기차의 증가속도를 관련 인프라의 확충속도가 따라가지 못하면서 여러 가지 문제가 발생하고 있다. 관련 인프라 중 충전시설은 전기차 운용 및 보급확대에 직접적으로 영향을 미치는 요소이며, 설치된 전기차 충전기는 2019년도 44,792대에서 2022년도 194,081대로 전기차 시장의 성장 속도(증가율 433%)를 따라가지 못하고 있어 전기차 이용자들의 충전 인프라에 대한 불편함이

예상된다[5]. 현재 신축 건물의 경우 충전기 의무 설치 비율을 주차장 면수 대비 2020년에는 0.5%, 2022년 5%, 2025년 10% 까지 확보하도록 하고 있지만[6,7], 주차 공간 부족 문제가 심각한 현 상황에서 전기차 충전소를 확보하는 것이 갈수록 어려울 수 있다.

기존의 고정식 전기차 충전소는 공간확보 문제뿐만 아니라 막대한 설치비용도 단점으로 부각되고 있다. 고정식 전기차 충전소는 특정 위치에 고정되어 있어 해당 위치에서만 전기차를 충전할 수 있고, 전기차 충전소의 개수를 늘리려면 고비용의 설치비용을 투자해야 할 뿐만 아니라 주차장의 구조를 변경하여 전기차 주차 공간을 마련해야 하는 문제가 발생한다.

이에 대한 대안으로 이동로봇 기반 전기차 충전 시스템이 최근에 주목받고 있으며 관련된 연구가 진행되고 있다. 주차장 내에서 미리 설정된 경로를 따라 주차된 차량으로 이동하여 충전하는 방식을 설계한 연구가 진행되었으며[8], 이동로봇에 장착된 카메라를 이용하여 주차된 차량에 도착하면 카메라를 이용해 전기차의 충전구를 찾는 연구도 진행되었다[9]. 또한, 이동식 충전 시스템을 효율적으로 관리하기 위해 클라우드 기반 시스템을 도입하여, 충전 시스템이 신고 있는 배터리의 전력 부족 시 자동으로 충전소로 복귀하는 방안을 제시하고 실험한 연구도 진행되었으며[10] 이동식 충전 시스템의 전체적인 내부 구조를 설계하고 소켓을 최적으로 배치하는 방법 및 효율적인 전력 공급에 관한 연구도 진행되었다[11].

이동로봇 기반 전기차 충전 시스템은 원하는 위치로 이동이 가능하다는 특징을 가지고 있다. 이 특징은 충전이 필요한 차량이 주차된 위치로 시스템이 직접 이동할 수 있게 함으로써 일반 주차 공간을 별도의 구조변경 없이 활용할 수 있으며, 설치 비용과 공간확보 문제를 해결할 수 있고, 여러 대의 로봇을 이용할 경우 복수의 전기차를 충전할 수 있기 때문에 충전 대기 문제를 해결할 수 있다. 그러나 실제 주차장 환경은 주차된 차량과 같은 정적 장애물과 이동하는 차량이나 보행자와 같은 동적 장애물이 다수 존재하는 특수한 환경이므로 이에 대한 연구도 필요하다.

본 연구에서는 주차장 내에서 이동로봇 형태의 충전 시스템이 충전 차량이 있는 목적지까지 자율 주행하기 위한 경로계획(Path Planning) 알고리즘과 장애물을 안전하게 회피할 수 있도록 이동성을 보장하는 장애물 회피 알고리즘에 대해 기술하고자 한다.

경로계획이란 자율이동 로봇이 작업공간 내의 장애물 및 작업자를 피하면서 목표 지점까지 빠르고 안전한 경로를 찾는 것이다[12]. 경로계획은 전역 경로계획(Global Path Planning)과 지역 경로계획(Local Path Planning)으로 나눌 수 있는데, 전역 경로계획은 지형정보를 기반으로 비교적 넓은 지역을 대상으로 출발점으로부터 목표점까지 최적 경로를 생성하는 것이다. 대표적으로 A*(A-star), D*(D-star), Dijkstra 알고리즘 등이 있다. 지역 경로계획은 실시간으로 센서를 통해 획득한 정보를 기반으로 국소적인 경로를 계획하는 방식으로, 대표적으로 DWA



Fig. 1 Concept figure of mobile charging system for EVs [18] (Adapted from Ref. 18 on the basis of OA)

(Dynamic Window Approach), VFH (Vector Field Histogram) 알고리즘 등이 있다.

본 연구에서는 주차장 내에서 목적지까지 최적 경로를 생성하기 위한 전역 경로계획에서는 A* 알고리즘을 적용하였다. A* 알고리즘[13]은 주차장 환경과 같이 단순로운 환경에서 빠르고 메모리 측면에서 효율성을 가지는 알고리즘이다[14-16]. 또한 주차장 내에서 주행 중 발생할 수 있는 정적 장애물과 동적 장애물에 대한 회피 알고리즘을 제안하여 차량 및 보행자와의 충돌을 효과적으로 방지하도록 하였다. 동적 장애물로 인한 회피 경로를 실시간으로 수정하기 위한 지역 경로계획 방법으로 DWA (Dynamic Window Approach) 알고리즘[17]을 활용하였다. 최종적으로, 제안한 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 MATLAB 시뮬레이션을 통해 주차장 환경을 구축하였고, 전역 경로계획 알고리즘 및 지역 경로계획 알고리즘을 포함하는 회피 알고리즘을 구현하여 그 성능을 확인하였다.

2. 전기차 충전을 위한 이동식 충전시스템

Fig. 1은 본 논문에서 개발하는 알고리즘을 적용하려는 전기차 충전시스템을 보여준다. 수동형으로 개발된 (주)에너캠프(社)의 이동식 충전시스템[18]이며 현재 서울시에서 서비스 중에 있다. 그림에서 볼 수 있듯이, 충전시스템은 4개의 바퀴가 장착되어 있어 이동이 가능하며, 내부에는 40 kW 충전용량을 가지는 배터리가 장착되어 있어 전기차 충전을 수행할 수 있다. 전기차 충전은 케이블을 통해 이루어지며, 사용자가 직접 전기차의 충전 포트에 꽂아 충전해야 한다. 본 연구에서 개발한 자율주행 알고리즘은 이동식 충전시스템에 모바일로봇 주행장치가 부착된 후 적용되어 주차장에서 사용자의 호출 신호를 받아 충전 위치로 자율주행으로 이동하여 충전서비스를 제공하게 된다. 모바일로봇 기반의 이동식 충전시스템에는 주변환경인식을 위한 LiDAR 센서가 장착되며, 환경 및 장애물 인식 정보가 알고리즘으로 전달되는 것을 전제로 본 논문의 알고리즘을 개발하였다.

3. 경로계획 알고리즘

본 연구에서 대상으로 하는 주행 환경은 주차장이며, 주차면은 차량이 주차되어 있는 공간이므로 이동식 충전시스템의

주행가능 공간에서 제외가 가능하다. 또한, 차량과 보행자, 충전 시스템이 움직이는 주행공간을 주차장 내 도로로 한정하여 경로계획 수립의 효율성을 높이며, 주차장 맵은 사전에 확보된 정보로 간주한다. 이러한 전제 조건 아래 경로계획을 수립한 후 주행 공간에서 발생할 수 있는 장애물에 대한 회피 알고리즘을 설계하였다.

3.1 A*알고리즘을 이용한 전역 경로 생성

A* 알고리즘은 출발점과 목표 지점까지의 비용함수 계산을 통해 총비용이 최소화되는 경로를 찾는 알고리즘으로 전역 경로계획을 위해 널리 사용된다. 총비용 함수를 수식으로 표현하면 식(1)과 같다.

$$F(n) = G(n) + H(n) \tag{1}$$

$G(n)$ 은 출발점에서 현재 위치까지 이동한 총비용을 의미하며 $H(n)$ 은 현재 위치에서 도착점까지 예상 비용을 의미한다. 이때, 둘 사이에 장애물이 있더라도 무시하고 맨해튼 방법으로 아래와 같이 계산한다.

$$H(n) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| \tag{2}$$

즉, 현재 위치에서 도착점까지 거리를 가로와 세로로 이동하는 거리로 측정한다. $F(n)$ 은 두 함수의 합으로 최종적인 비용을 나타낸다. 현재 위치에서 인접한 노드 중 가장 낮은 비용을 갖는 노드를 선택하는 과정을 반복하며 최적의 경로를 찾는다.

3.2 장애물 회피 규칙

이동로봇 기반 충전시스템이 주차장 내 도로를 이동할 경우 여러 장애물을 만날 수 있다. 로봇은 빈 주차장의 지도는 확보하고 있지만, 주차장 내를 움직이는 보행자나 주차를 하기 위해 움직이는 차량, 잠시 정차하고 있는 차량 등 다양한 종류의 장애물에 대한 정보는 가지고 있지 않는다. 그렇기 때문에, 장애물이 나타날 경우 대기하거나 회피하는 등 장애물에 대한 대응 알고리즘이 필요하다. 장애물은 정적 장애물과 동적 장애물로 분류하고, 각각에 맞는 회피 알고리즘을 설계하였다. 먼저 정적 장애물은 지도상에는 없지만, 이동 중 경로상에서 LiDAR 센서에 의해 감지되었고, 일정 시간 동안 움직이지 않는 장애물로 정의하였다. 동적 장애물의 경우 로봇의 이동경로 상에서 움직이는 장애물로 정의하였고, 동적 장애물이 일정 시간 동안 멈춘 후 정지하여 있으면, 이를 정적 장애물로 간주한 후 정적 장애물 회피 알고리즘을 동작시키도록 하였다.

A* 알고리즘을 통해 도출한 최적경로를 따라 이동로봇 기반 충전 시스템이 목표지점을 향해 주행 하는 도중 LiDAR 센서 반경 내에서 장애물이 감지되면 회피 알고리즘을 적용하게 되고, 회피 알고리즘은 다음과 같은 시나리오를 통해 작동한다.

1) 동적 장애물이 LiDAR 센서 범위 내에서 감지 시 충전 시스템은 우선 정지한다.

2) 동적 장애물이 이동식 충전 시스템의 진행 방향에서(전방) 접근할 경우 후진을 통해 충돌을 회피한다.

3) 동적 장애물이 이동식 충전 시스템의 진행 방향 측면에서(전방 기준 $\pm 45^\circ$) 동적 장애물이 접근할 경우 후진을 통해 충돌을 회피한다.

4) 만약 동적 장애물을 회피한 후, 장애물이 일정 시간 동안 정지상태를 유지하고 있으면, 정적 장애물로 전환/판단하여 회피 경로를 탐색하여 장애물 회피주행을 수행한다.

5) 정적 장애물에 대한 회피주행이 완료되면 전역 경로로 복귀하여 목표 지점까지 주행을 계속한다.

이와 같은 회피 알고리즘을 통해 장애물이 발생할 시 충돌을 방지 및 회피할 수 있도록 설계하였다.

3.3 장애물 회피를 위한 DWA (Dynamic Window Approach) 알고리즘

이동식 충전시스템이 기존에 없던 정적 장애물에 대한 회피 주행경로를 탐색하여 회피주행을 할 경우 지역 경로계획을 수행한다. 이 때 DWA 알고리즘을 적용하였다.

DWA (Dynamic Window Approach) 알고리즘은 로봇이나 자율주행 차량과 같은 이동체가 동적 환경에서 지역 경로계획을 수립할 때 사용하는 알고리즘이다[19-23]. DWA 알고리즘은 이동체의 속도, 방향 및 센서 정보를 활용하여 장애물과의 거리를 고려하여 최적의 선속도와 각속도를 도출하고 로봇이 장애물을 회피하여 목적지에 도달하도록 한다. 이때 장애물을 회피하기 위한 새로운 지역 경로(회피 경로)의 최종 목적지는 회피 경로가 주차된 차량에 근접하거나, 차량의 길이가 끝나는 지점에서 사선으로 본 경로로 복귀하여 이동시간을 단축할 수 있도록 회피 경로의 시작 위치에서 주차차량 길이의 2배 거리로 지정하였다.

$$X_{goal} = X_{robot} + 2X_{car} \tag{3}$$

이동식 충전시스템의 현재 상태에서 특정 시간 동안 가질 수 있는 가능한 모든 속도와 방향 조합을 고려하여 동적 윈도우를 생성하고, 동적 윈도우 내에서 각 바퀴의 속도 정보로 예상가능한 지점을 찾아 목표점 사이에 방향, 속도 및 충돌 관련된 함수들로 목적함수를 구성하였다[17].

$$O = \alpha_{head} \omega_{head} + \beta_{speed} v_{speed} + \gamma_{clear} d_{clear} \tag{4}$$

이때, ω_{head} 는 주행할 때 목표 지점과의 방향각, v_{speed} 는 로봇의 이동속도, d_{clear} 는 장애물까지의 충돌거리를 의미하며, α_{head} , β_{speed} , γ_{clear} 는 로봇의 방향, 속도, 장애물과의 충돌거리에 대한 가중치를 의미한다. α_{head} 와 나머지 두 가중치와의 비율은 목표 지점과 로봇의 정렬에 관여하는데, α_{head} 가 낮으면 로봇은 장애물 주변에서 자유도가 높아지고, 반대로 높으면, 장애물 가까이까지 방향각을 유지하는 경향을 가진다. α_{head} 값이 높으면 좁은 환경에서 유리하며, 낮은 값은 넓고 사람이 많은 복도에서 더 적합하다[17].

3.4 자율주행 알고리즘

본 논문에서는 이동식 충전시스템의 자율주행을 위해 목적지까지의 전역 경로를 A* 알고리즘을 이용해 최초 1회에 한하여 전역 경로를 수립한다. 이때, 주차장 내 주행 도로에는 장애물이 존재하지 않는 것으로 간주한다. 주차장 내 주행 도로는 차량을 기준으로 구축되어 있기 때문에, 로봇의 크기(폭)에 비해 크다. A* 알고리즘을 통해 경로를 수립할 경우, 주행 도로 내 모든 지점에 대한 비용을 모두 계산하기 때문에, 경로계산 시간이 오래 소요된다. 이를 개선하기 위하여, 주차장의 주행 도로에서 로봇의 이동경로는 항상 주행 도로의 중간지점을 지나도록 설정하여 비용계산 시간을 줄일 수 있도록 하였다. A* 알고리즘을 통해 산출된 최적경로로 시스템이 주행하는 도중 LiDAR 센서의 측정 범위 내에 장애물이 발생 할 시 회피 알고리즘을 실행시킨다. 정적 혹은 동적 장애물이 감지되면, 로봇은 우선 정지하도록 하고 일정 시간 동안 대기한다. 일정 시간 동안 대기하며 정적 장애물로 판단되면, 회피경로를 생성하여 회피주행을 수행한다. 장애물 감지 후 대기 중 장애물이 로봇에게 접근하면, 동적 장애물로 정의하고 후방으로 회피하도록 한다. 동적 장애물이 로봇의 측면(전방 기준 $\pm 45^\circ$)에서 접근할 경우와 전방에서 접근할 경우, 모두 후방으로 우선 회피하여 충돌을 예방한다. 동적 장애물에서 정적 장애물로 전환/판단 후에는 정적 장애물을 회피하기 위한 회피경로를 생성하며, 회피경로는 DWA 알고리즘을 통해 도출한다. 새로이 생성된 회피경로를 추종하며 정적 장애물을 안전하게 회피한 후, 회피경로의 최종점에 도착하면, 기존에 수립해 놓은 인접한 전역 경로의 경로점으로 돌아가 다시 최종 목적지까지 자율주행을 수행한다. Fig. 2는 이동식 충전시스템의 자율주행 및 회피알고리즘에 대한 알고리즘 순서도를 나타낸다.

4. 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 환경 설정

시뮬레이션은 MathWorks(社)의 MATLAB을 사용하여 진행하였다[24]. 알고리즘 검증에 위해 실제 주차장 환경과 유사한 20×30 m 규모의 주차장 시뮬레이션 맵을 구축하였고, 로봇의 대기 지점(Home Position)은 원점(0,0) 근처에 설정하였다. 로봇의 크기는 0.6×0.6 m로 설정하였고, 이동하는 통로는 폭이 3-5 m로 하고 주차면을 제외한 부분을 차량 통로로 설정하였다. 로봇의 대기 지점(붉은색*, (1.3,0)) 및 호출 위치(파란색*)로 표시하였다. 전역 경로계획에 의해 생성된 경로는 파란색 실선으로 표현하였고, 지역 경로계획에 의해 생성된 경로는 빨간색 선으로 표현하였다. 로봇의 주위에는 LiDAR 센서의 장애물 검출 범위를 원으로 나타냈다. 이동식 충전시스템은 파란색 사각형으로 표시하였으며 주차장 내 정적/동적 장애물인 자동차는 노란색 사각형으로 표시하였다.

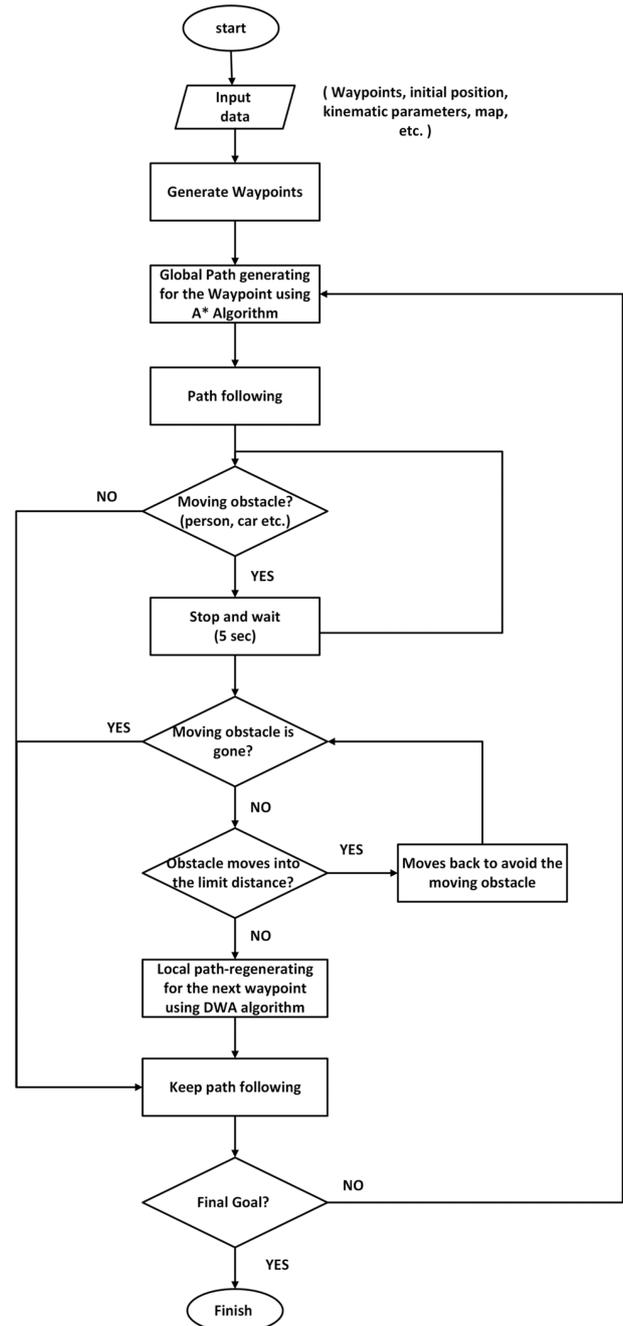


Fig. 2 Flow chart of autonomous driving algorithm for mobile charging system for EVs

4.2 시뮬레이션 결과

Fig. 3은 본 연구에서 설계한 이동식 충전시스템의 자율주행 알고리즘을 구현하여 수행한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 이동 목표 지점이 설정되면, 충전시스템은 대기 위치(Home Position)로부터 목적지까지 A* 알고리즘을 이용하여 전역 경로를 생성한다(Fig. 3(a)). 생성된 전역 경로를 추종하며 주행을 하는 도중 동적 장애물이 로봇에게 접근한다. 처음에 LiDAR 센서의 범위 안에 장애물이 감지되면 우선 정지하여 대기한다. 장애물이

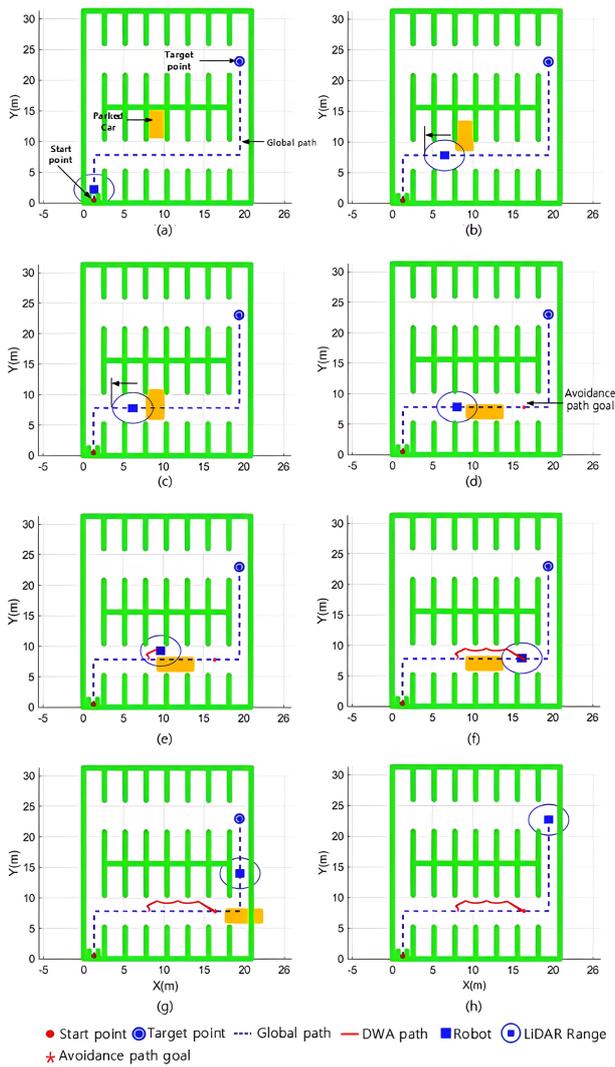


Fig. 3 Simulation results for autonomous driving algorithm; (a) global path generation, (b) dynamic obstacle detection and robot stop, (c) avoid backward and stop robot, (d) avoidance route goal generation, (e),(f) avoidance path from DWA, and (g),(h) driving to the target point

움직여 위험범위 안으로 접근하면, 로봇은 후방으로 회피하여 충돌을 방지한다. Figs. 3(b)-3(c)는 주차 공간에서 차량이 출발하여 로봇에 접근하는 상황을 보여주며, 회피 알고리즘이 제시된 규칙에 따라 동적 장애물 감지 시 로봇이 뒤로 물러나며 충돌을 회피하는 것을 알 수 있다. Fig. 3(d)에서는 출차된 차량이 주행 도로에 정차되어 있는 경우를 보여주고 있으며, 로봇은 일정 시간(5 sec) 동안 대기하며, 장애물이 사라지기를 기다린다. 대기 시간을 넘어 장애물이 지속적으로 움직이지 않고 존재하면, 이 장애물을 정적 장애물로 전환하여 인식하고, DWA 알고리즘을 이용하여 회피경로 생성을 수행한다(Figs. 3(e)-3(f)). 기존에 없던 정적 장애물을 회피하기 위해 경로를 실시간으로 새로 탐색하며 회피경로의 목표지점까지 주행한다. Figs. 3(e)-3(f)에서 붉은색으로 표시된 경로는 장애물을 회피하기 위해 생성된

회피 경로를 의미한다. 회피 목표지점에 도달하면 기존에 생성했던 전역 경로로 돌아가 목표지점까지 주행을 계속하게 된다 (Figs. 3(g)-3(h)).

5. 결론

본 논문에서는 부족한 전기차의 충전 인프라 문제를 해결하기 위해 도입되고 있는 이동식 충전 시스템을 위한 자율주행 알고리즘 및 주차장 내 동적 장애물 회피 알고리즘에 대하여 제안하고 시뮬레이션을 통해 성능을 검증하였다. 이동로봇 기반 충전 시스템은 일반 주차장에서도 운용이 가능하여 충전인프라를 별도로 구축할 필요가 없어 비용 및 공간적 효율성을 가진다. 그러나 동적 장애물이 다수 존재하는 특수한 주차장 환경에서 효율적인 운용을 위해서는 회피 알고리즘이 필수적이다.

본 논문에서는 상황에 따른 동적 장애물을 회피하기 위한 알고리즘을 설계하였다. 전역 경로계획은 A* 알고리즘을 통해 목적지까지의 최적의 경로를 생성하였고, 주행 도중 발생하는 장애물로 인한 경로 수정을 위해 지역 경로계획으로 DWA 알고리즘을 적용시켜 회피경로를 동적으로 재생성하도록 알고리즘을 구성하여 충전 시스템과 장애물의 충돌을 방지할 수 있도록 설계하였다. 알고리즘 성능 검증은 MATLAB 시뮬레이션 환경에서 진행하였다. 주차장 환경을 구축한 후 제안된 알고리즘 실험을 진행시켜 충전시스템의 회피 및 주행 결과를 검증하였다. 현재 개발된 알고리즘에는 차량 두 대가 서로 오가는 상황이나, 복수의 동적 장애물에 대한 알고리즘이 반영되어 있지 않다. 향후 여러 가지 발생 가능한 상황을 반영하고, 제안된 알고리즘을 실제 이동식 충전 시스템에 적용하여 주차장 환경에서 실험을 진행하여, 알고리즘의 타당성 및 효율성을 검증할 예정이다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학연협력 선도대학 육성사업(LINC 3.0)의 연구결과입니다.

REFERENCES

1. United Nations Climate Change, Kyoto protocol. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/what-is-the-kyoto-protocol/kyoto-protocol-targets-for-the-first-commitment-period>
2. World Laws Information Center, Paris agreement. https://world.moleg.go.kr/web/wli/lgsInfoReadPage.do?l=1&searchPageRowCnt=10&A=A&AST_SEQ=309&searchType=all&CTS_SEQ=44466&ETC=8

3. Carbon Neutral Policy Portal, 2050 Carbon neutral education reference collection. https://www.gihoo.or.kr/board.es?mid=a30402000000&bid=0007&tag=&act=view&list_no=992
4. Carbon Neutral Committee, Carbon neutral scenario 2050. <http://webarchives.pa.go.kr/19th/www.2050cnc.go.kr/base/board/read?boardManagementNo=4&boardNo=101&searchCategory=&page=1&searchType=&searchWord=&menuLevel=2&menuNo=15>
5. Korea Energy Agency, (2023), KEA Energy Issues Briefing, (Report No. 221), https://www.energy.or.kr/energy_issue/mail_vol221/pdf/issue_324_01_all.pdf
6. Ministry of Trade, Industry and energy, new industry and distributed energy division. <https://www.korea.kr/common/download.do?fileId=197226052&tblKey=GMN>
7. The Korean Law Information Center, Enforcement decree of the act on promotion of development and distribution of environmentally friendly vehicles. <https://www.law.go.kr/>
8. Kong, P. Y., (2019), Autonomous robot-like mobile chargers for electric vehicles at public parking facilities, IEEE Transactions on Smart Grid, 10(6), 5952-5963.
9. Behl, M., DuBro, J., Flynt, T., Hameed, I., Lang, G., Park, F., (2019), Autonomous electric vehicle charging system, Proceedings of the Systems and information engineering design symposium (SIEDS), 1-6.
10. Zhang, Z., Dong, Z. Y., Yip, C., (2024), A new charging scheme based on mobile charging robots cluster: A three-level coordinated perspective, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 20(4), 1-13.
11. Fang, Y., Cao, Y., Hong, Y., Zhang, F., (2020), The design of electric vehicle charging robot for the parking lots of the community, Proceedings of the International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS), 48-50.
12. Zhang, H.-y., Lin, W.-m., Chen, A.-x., (2018), Path planning for the mobile robot: A review, Symmetry, 10(10), 450
13. Hart, P. E., Nilsson, N. J., Raphael, B., (1968), A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths, IEEE Transactions of Systems Science and Cybernetics, 4(2), 100-107.
14. Setiawan, Y. D., Pratama, P. S., Jeong, S. K., Duy, V. H., Kim, S. B., (2013), Experimental comparison of A* and D* lite path planning algorithms for differential drive automated guided vehicle, Proceedings of the AETA 2013: Recent Advances in Electrical Engineering and Related Sciences, 555-564.
15. Reeves, M. C., (2019), An analysis of path planning algorithms focusing on A* and D*, M.Sc. Thesis, University of Dayton.
16. Braun, J., Brito, T., Lima, J., Costa, P., Costa, P., Nakan, A., (2019), A comparison of A* and RRT* algorithms with dynamic and real time constraint scenarios for mobile robots, Proceedings of the 9th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, 398-405.
17. Fox, D., Burgard, W., Thrun, S., (1997), The dynamic window approach to collision avoidance, IEEE Robotics & Automation Magazine, 4(1), 23-33.
18. ENERCAMP, Enercamp product. <https://enercamp.kr/product>
19. Sun, Y., Wang, W., Xu, M., Huang, L., Shi, K., Zou, C., Chen, B., (2023), Local path planning for mobile robots based on fuzzy dynamic window algorithm, Sensors, 23(19), 8260.
20. Chung, W., Kim, S., Choi, J., (2006), High-speed navigation of a mobile robot based on robot's experiences, Proceedings of Japan Society of Mechanical Engineers annual Conference on Robotics and Mechatronics (Robomec) 2006, 2424-3124.
21. Li, X., Liu, F., Liu, J., Liang, S., (2017), Obstacle avoidance for mobile robot based on improved dynamic window approach, Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 25(2), 666-676.
22. Seder, M., Petrovic, I., (2007), Dynamic window-based approach to mobile robot motion control in the presence of moving obstacles, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1986-1991.
23. Yoon, H.-S, Park, T.-H., (2011), Path planning for autonomous mobile robots by modified global DWA, The Korean Institute of Electrical Engineers, 60(2), 26-34.
24. MathWorks, MATLAB. <http://www.mathworks.com>



Dayoung Kim

Senior Student in the Department of Robot Engineering, Keimyung University. Her research interest is Autonomous Mobile Robot.

E-mail: tmanf3983@gmail.com



Jungsub Choi

Founder and CEO of Enercamp Inc. Developing and commercializing smart chargers, modular batteries, and mobile electric vehicle chargers.

E-mail: jschoi@enercamp.com



Seong-yeol Yoo

Associate Professor in the Department of Robot Engineering, Keimyung University. His research interest is Autonomous Mobile Robot, Walking Robot, Manipulator and reinforcement Learning for robotics.

E-mail: usyeol@kmu.ac.kr