

퍼지와 비례 제어를 이용한 지게차 AGV의 주행제어

Fuzzy and Proportional Controls for Driving Control of Forklift AGV

김정민 · 박정제 · 전태룡 · 김성신*

Jungmin Kim, Jungje Park, Taeryong Jeon and Sungshin Kim*

부산대학교 전자전기공학과

요 약

본 논문은 지게차 AGV(autonomous ground vehicle)의 자율주행을 위한 제어 방법에 관한 연구이다. 기존에 개발된 지게차 AGV의 위치추정 방법으로는 자기-자이로 유도(magnet-gyro guidance) 방식과 유선 유도(wire guidance) 방법이 있지만, 유지보수에 대한 지속적인 노력과 비용문제가 있으며, 작업 환경의 변화에 따라 작업 환경을 재구성해야하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 외란에 강인하고 작업 환경 및 작업 내용의 변경에 유연한 시스템을 구축하기 위해 레이저 내비게이션 센서와 엔코더, 자이로 센서의 센서융합을 통한 위치추정 시스템을 개발하였다. 또한 팔레트를 하역·운송해야하는 지게차 AGV의 주행제어를 위해 팔레트와 지게차 AGV 사이의 거리 차와 각도 차를 바탕으로 퍼지 제어 및 비례 제어를 이용한 주행제어를 설계하였다. 본 연구에서 제안한 지게차 AGV를 위한 제어 시스템의 성능 분석을 위해 물류 운송 작업이 가능한 작업공간에서 동일한 하역 작업을 10회 반복 하였다. 그 결과, 시뮬레이션에 의해 생성된 경로와 실제 주행 경로의 최대 평균 오차가 87.77mm를 가짐을 확인하였다.

키워드 : 지게차 AGV, 주행제어, 센서융합, 위치추정

Abstract

This paper is represented to research of driving control for the forklift AGV. The related works that were studied about AGV as heavy equipment used two methods which are magnet-gyro and wire guidance for localization. However, they have weaknesses that are high cost, difficult maintenance according to change of environment. In this paper, we develop localization system through sensor fusion with laser navigation system and encoder, gyro for robustness. Also we design driving controller using fuzzy and proportional control. It considers distance and angle difference between forklift AGV and pallet for engaging work. To analyze performance of the proposed control system, we experiment in same working condition over 10 times. In the results, the average error was presented with 54.16mm between simulation of control navigation and real control navigation. Consequently, experimental result shows that the performance of proposed control system is effective.

Key Words : Forklift AGV, Driving control, Sensor fusion, Localization

1. 서 론

자율주행 장치(autonomous ground vehicle: AGV)은 로봇 분야에 하나로, 이는 최근 신성장 동력 산업으로 선정되어 활발히 연구되고 있는 분야이다. 자율주행 장치 기술은 일반적으로 하역, 보관, 운송 활동 등을 원활하게 진행하기 위해 스스로 판단하고 자율적으로 작업하는 기술으로써, 생산 시스템 관리에서 매우 중요한 이슈가 되고 있다[1-3]. 이러한 자율주행 장치를 개발하기 위해서는 자율주행 장치의 위치를 계산하기 위한 위치추정(localization), 자율주행을 위

한 주행제어(driving control), 효율적이고 안전한 이동을 위한 경로계획(path-planning), 그리고 장애물 회피(obstacle avoidance) 등의 기술이 필요하다[4]. 그 기술 중에서도 위치추정과 주행제어 기술은 자율주행 기술의 기반 기술이다. 따라서 자율주행 장치는 강인하고 정밀한 위치추정 기술과 작업 특성에 맞는 주행제어 기술이 요구되어진다[5-8].

최근, 위치추정 기술에 대한 관련 연구들로는 지역위치추정 센서들과 특징 추출 센서를 이용한 SLAM(simultaneous localization and mapping) 기술과 전역위치추정이 가능한 센서와 지역위치추정 센서들을 융합한 형태의 위치추정 기술들이 있다[4,9]. SLAM 기술은 특징 위치들의 상관관계를 확률적으로 갱신하며, 지도생성(map-building)을 하는 기술로 많은 연구가 이루어지고 있지만, 아직은 중장비인 지게차에 적용하기에는 성능 상에 무리가 있다. 기존의 지게차 AGV의 자율주행을 위해 사용된 위치추정 기술들로는 유선 유도(wire guidance) 방식과 자기-자이로 유도(magnet-gyro guidance) 방식이 있다. 유선 유도는 AGV에 장착된 안테나의 2개의 코일이 바닥에

접수일자 : 2009년 7월 13일

완료일자 : 2009년 9월 30일

* Corresponding Author : sskim@pusan.ac.kr

본 연구는 (부산대학교 특수환경 Navigation/localization 로봇기술연구센터)를 통한

지식경제부/한국산업기술진흥원 융복합형로봇전문인력양성사업의 지원으로 수행되었음

매설된 유도선을 중심으로 양쪽 측면에 위치하여 발생하는 전압 차에 의해 제어되는 방식이다[10-11]. 이 방식은 설치 시 바닥의 손상을 최소화 할 수 있고 순간적으로 유도선 또는 제어선을 분리하여 시스템을 정지시킬 수 있다는 장점이 있다. 하지만 유도선의 유지·보수에 대한 지속적인 노력과 비용의 문제가 있다. 전기-자이로 유도 방식은 AGV의 자기 센서(magnet sensor)가 바닥의 자기장(magnetic field)을 감지하여 제어하는 방식이다[12-15]. 이 방법은 유선 유도 방식에 비해 설치가 용이하고 제어가 간단한 장점을 가진다. 하지만 바닥에 2인치 바닥에 자기 센서를 설치해야 하고, 다른 자성 물체에 의해 영향을 받을 수 있다. 또한, 두 가지 방식 모두 주어진 작업에 맞게 작업환경을 구축하고 정해진 경로에 따라 주행이 함으로 작업 환경의 변화나 경로의 손상으로 인한 제한이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 현재는 레이저 내비게이션 시스템을 이용하여 주행하는 연구가 주로 이루어지고 있다. 하지만, 이는 평균 400ms의 늦은 반응속도와 외란에 약한 단점을 가지고 있으며, 회전 주행 또는 고속 주행 시 주위의 반사체를 제대로 인식하지 못해 부정확한 데이터가 송신되는 경우가 발생한다. 중장비인 지게차의 경우, 부정확한 데이터는 심각한 문제를 야기하고, 이에 강인하고 정밀한 위치측정 기술이 필요하다. 본 논문에서는 전역 위치측정 센서인 레이저 내비게이션 시스템과 지역위치측정 센서인 엔코더와 자이로 센서들을 융합한 위치측정 시스템과 팔레트 위치 및 각도를 고려한 제어 방법에 대해 이야기한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제한한 지게차 AGV 제어 시스템의 기구부와 구동부 분석, 위치측정 시스템에 대한 설명이 이루어지며, 3장에서는 지게차 AGV의 실제 주행을 제어하는 알고리즘에 대해 설명한다. 4장에서는 지게차 AGV 제어 시스템의 성능 실험 및 결과에 대해 다루고, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대하여 기술하였다.

2. 지게차 AGV

본 연구에서는 지게차 AGV를 개발하기 위해, 클라크 머티리얼 핸드링(CLARK material handling) 사의 CRX-10 모델(그림 1)을 사용하였다. 이는 전동 타입으로 전동조향 장치에 장착된 모터를 이용하여 동력을 보조하는 반전동식 조향장치(half electric power steering: half-EPSS)를 가졌고, 이를 해결하기 위해 클라크사를 통해 full-EPSS 시스템으로 개조하여 연구하였다.

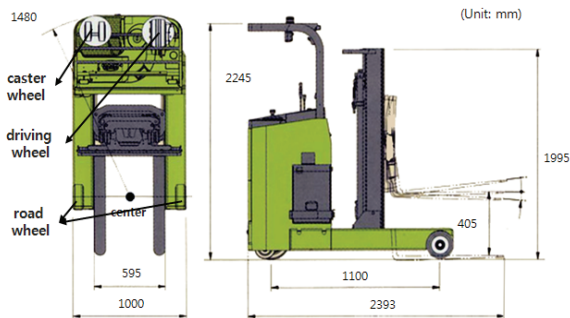


그림 1. 사용된 지게차
Fig. 1. Used forklift

2.1 측정 시스템

지게차 AGV를 제어하기 위한 위치측정 시스템은 레이저 내비게이션과 엔코더, 자이로이고, 제어를 위해 DAQ (data acquisition)를 이용하였다. 또한 빠른 개발을 위해 산업용 PC 기반으로 지게차 AGV를 구현하였으며, 그림 2는 지게차 AGV에 사용된 전체 시스템 구성을 보여준다.

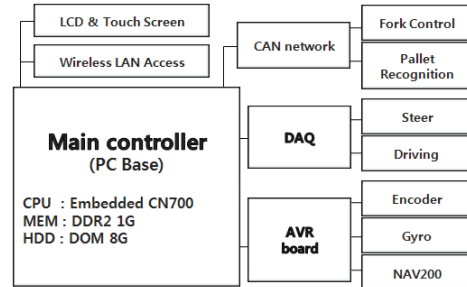
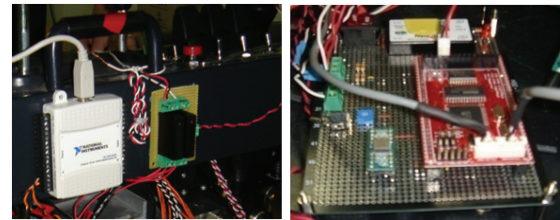


그림 2. 지게차 AGV의 시스템 구성
Fig. 2. System configuration of forklift AGV

위치측정에 사용된 센서들은 ATmega128를 이용하여 계측하였으며, 주행과 조향 구동부의 제어는 NI-USB6008 모델을 사용하였다. 또한 DAQ를 이용하여 24V 시스템인 지게차의 플래그를 제어하기 위해 릴레이를 이용하였다. 제작된 지게차 AGV 제어를 위한 시스템들은 그림 3과 같다.



a. 구동 제어부 b. 위치측정 시스템
a. Driving control system b. Localization system

그림 3. 지게차 AGV 제어를 위한 시스템들
Fig. 3. Systems for control of forklift AGV

위치측정을 위해 사용된 전역위치측정인 레이저 내비게이션 시스템과 지역위치측정 센서인 엔코더, 자이로 센서들의 주요 사양은 표 1과 같다.

표 1. 사용된 센서들의 주요 사양
Table 1 Spec. of used sensors

Item (model)	Specification
Navigation (NAV200)	Voltage : 24
	Resolution : approx. 15mm
	Typ. Range : 1.2m to 28.5m
Encoder (Built-in)	Voltage : 12
	Resolution : 64 pulse
Gyro (ADXRS75)	Voltage : 5
	sensitivity : $\pm 75^\circ/s$

전역위치측정 센서인 레이저 내비게이션 시스템의 성능은 인식된 반사체의 개수와 반사체와의 거리에 따라 정밀도가 달라지며, 스펙 상에는 평균 $\pm 15mm$ 의 높은 정밀도를

가진다. 하지만 회전 주행을 하거나 빠르게 움직이는 상황에서는 부정확한 데이터 혹은 오류를 송신하게 되는 문제점을 가지고 있으며, 400ms의 늦은 반응속도를 가진다. 이에 본 논문에서는 레이저 내비게이션 시스템과 엔코더, 자이로 센서들의 융합을 통해 강인한 위치추정이 가능하도록 하였다. 그림 4는 센서융합 알고리즘 순서도를 보여준다.

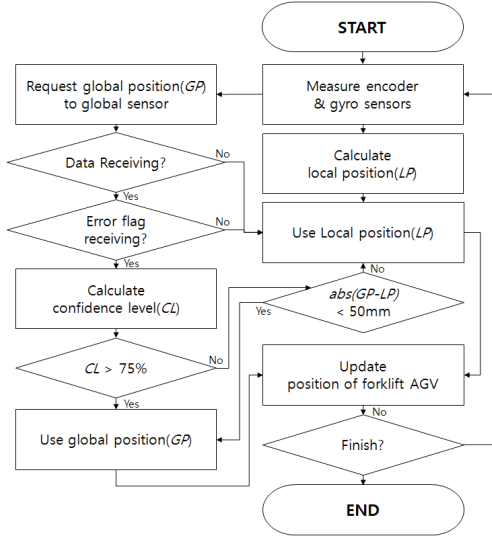


그림 4. 센서융합 알고리즘
Fig. 4. Algorithm of sensor fusion

그림 4에서 중요한 점은 레이저 내비게이션 시스템이 계산한 전역위치 에러 플래그를 통해 신뢰도를 계산하고, 확률적으로 지역위치 값을 통해 보정하는 것이다.

2.2 기구학

CRX-10 모델의 구동부는 크게 조향부와 주행부로 구분되어진다. 이 중 조향부는 주행 바퀴(driving wheel)와 보조 바퀴(caster wheel)로 구성되어 있으며, 주행 바퀴의 위치는 지게차의 중심축이 아닌 왼쪽에 위치해 있다. 그림 5는 지게차 AGV의 회전주행에 대한 기구학 모델을 나타낸 것이며, 절대좌표계 $O-X-Y$ 와 상대좌표계 $o-x-y$ 보여준다.

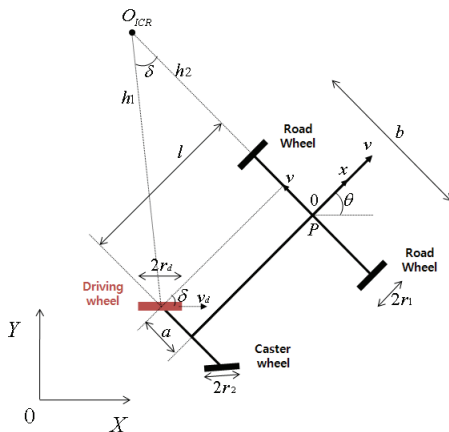


그림 5. 지게차 AGV의 기구학
Fig. 5. Kinematics model of forklift AGV

지게차 AGV의 주행은 주행 바퀴의 각도 및 속도 그리고 로드 휠의 속도에 의해 이루어진다. 그림 5에서 h_1 은 지게차의 회전중심축 O_{ICR} 과 드라이빙 휠의 중심과의 거리를 나타내며, 식 (1)과 같이 계산된다.

$$h_1 = \frac{l}{\sin\delta} \quad (1)$$

또한, a 와 l 은 각각 주행 바퀴의 중심과 차체의 중심 사이의 거리와 포크 부분을 제외한 차체의 길이를 나타내며, 드라이빙 휠의 각도 변화량 $\dot{\delta}$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\dot{\delta} = \frac{v_d}{h_1} = \frac{v}{h_1 \cos\delta + a} \quad (2)$$

식 (2)에서 v_d 는 드라이빙 휠의 각속도를 의미하며, 이는 식 (3)과 같다.

$$v_d = r_d w_d \quad (3)$$

위의 수식에서 r_d 와 w_d 는 각각 드라이빙 휠의 반지름과 주행 바퀴의 각속도를 나타낸다. 따라서 지게차 AGV의 선속도는 다음과 같이 계산된다.

$$v = r_d w_d \left(\cos\delta + \frac{a \sin\delta}{l} \right) \quad (4)$$

지게차 AGV의 주행 바퀴에 대한 각속도와 선속도가 계산되면, 좌표값과 방향각으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{X} &= v \cos\theta = r_d w_d \left(\cos\delta + \frac{a \sin\delta}{l} \right) \cos\theta \\ \dot{Y} &= v \sin\theta = r_d w_d \left(\cos\delta + \frac{a \sin\delta}{l} \right) \sin\theta \\ \dot{\theta} &= \frac{r_d w_d \sin\delta}{l} \\ \dot{\delta} &= w_s \end{aligned} \quad (5)$$

2.2 구동부 및 센서 분석

지게차 AGV 개발을 위해 사용된 CRX-10 모델은 AGV 용으로 제작된 것이 아니기 때문에 센서와 구동부 분석이 필요하다. 주행 구동부 특성은 입력 신호가 2.5~5V 일 때, 전진 주행을 수행하고, 2.5~0V 일 때, 후진 주행을 수행한다. 그림 6과 7은 각 입력 신호에 따라 5m를 주행하는 동안에 가속도 구간을 제외한 엔코더와 레이저 내비게이션 시스템의 선속도 최소값, 평균값, 최대값을 보여준다.

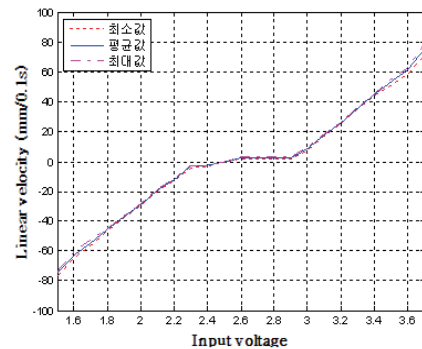


그림 6. 입력 신호에 따른 엔코더 결과
Fig. 6. encoder results according to input

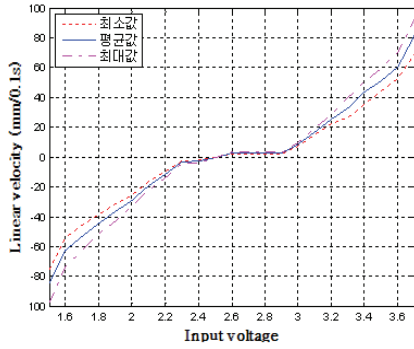


그림 7. 입력 신호에 따른 NAV200 결과
Fig. 7. NAV200 results according to input

그림 6과 7에서 볼 수 있듯이, 엔코더 정보는 각 입력 신호에 따른 선속도의 최소값과 최대값의 차이가 적지만, 레이저 내비게이션 시스템의 경우에는 속도가 빨라짐으로 인해 최소값과 최대값의 차이가 점점 커짐을 알 수 있다. 또한 2.5V를 중심으로 2.5~2.9V와 2.3~2.5V의 전·후진 구간에서는 매우 저속으로 주행하고 2.9V와 2.3V부터 실제 주행이 시작되는 것을 확인 할 수 있다. 또한 2.3~2.9V를 제외한 전·후진 영역에서 선형적인 특징을 찾을 수 있고, 이에 주행제어기를 설계하기 위해 주행 구동부의 특성을 선형화시켜 구현하였다.

조향 구동부의 분석에 사용된 센서는 엔코더, 자이로이다. CRX-10 모델은 전동조향장치에 장착된 모터를 이용하여 동력을 이용하는 전동식 조향장치로 이루어지고, 이는 기어를 통해 주행 구동부를 26의 기어비로 조향하게 된다. 조향 구간은 -85° ~ +85°를 가지며, 입력 신호는 0.3~4.7V이다. 조향 구동부 분석은 지게차 AGV가 1.5km/h의 속도로 주행하는 동안 입력 신호에 따른 조향 구동부의 조향각을 분석하였고, 그 결과는 그림 8과 같다.

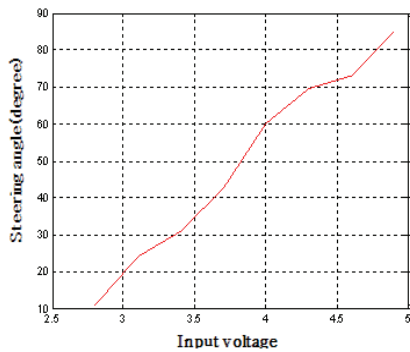


그림 8. 입력 신호에 따른 조향각
Fig. 8. Steering angle according to input

레이저 내비게이션 시스템의 위치정보를 토대로 역기구학을 수행하였을 때, 헤더가 회전하며 반사체를 인식하는 위치추정 방식에 의해 빠른 주행과 회전 운동에서 극심한 위치추정 오차를 보였다. 이에 그림 8은 엔코더와 자이로를 이용해 계산된 지게차 AGV의 위치를 토대로 역기구학을 수행한 결과이다. 입력 신호에 따른 조향 구동부의 각도는 선형적인 특징을 띄고 있었지만, 26의 적은 기어비로 조향되는 특성에 의해 2~3° 가량의 오차가 발생함을 확인하였고, 앞선 정보들을 토대로 제어기를 설계하였다.

3. 주행제어

3.1 주행제어 방법

일반적인 주행제어는 목표지점을 향해 주행하는 것이 목표이지만, 지게차 AGV의 주행제어는 목표지점의 팔레트 각도를 고려해야 한다. 즉, 지게차 AGV는 하역 작업을 위해 필요한 최소 간격이 확보되는 목표지점의 위치에 팔레트 각도로 주행제어가 이루어져야 한다. 본 논문에서는 90cm의 지게차 포크 길이와 함께 하역작업의 안정성과 팔레트 인식을 고려하여 팔레트 앞 2m 지점을 목표지점으로 설정하도록 하였다. 그림 9는 목표지점에 목표 각도로 주행하는 방법을 보인다.

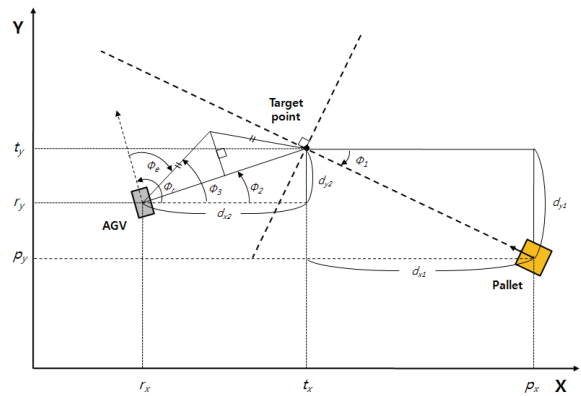


그림 9. 지게차 AGV를 위한 주행제어
Fig. 9. Driving control for forklift AGV

위의 그림에서 팔레트와 목표지점의 위치는 각각 (p_x, p_y) , (t_x, t_y) 이며, ϕ_3 는 지게차 AGV가 목표각도를 고려하여 목표지점으로 주행하기 위한 각도이다. ϕ_3 는 목표지점과 팔레트의 각도 차이 ϕ_1 , 지게차 AGV와 목표점과의 각도 차이 ϕ_2 에 의해 계산되어지며 각각의 각도는 아래의 수식에 의해 계산된다.

$$\begin{aligned} \phi_3 &= 2\phi_2 - \phi_1 \\ \phi_1 &= \tan^{-1}\left(\frac{dy_1}{dx_1}\right) \\ \phi_2 &= \tan^{-1}\left(\frac{dy_2}{dx_2}\right) \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)에 의해 매 시간 지게차 AGV가 향해야 할 각도가 계산되어지면 현재 지게차 AGV의 각도 θ_r 과의 오차 θ_e 를 식 (7)과 같이 계산한다.

$$\theta_e = \phi_3 - \theta_r \quad (7)$$

지게차 AGV의 제어기는 지게차 AGV와 목표지점과의 거리 및 각도 차를 입력 받아 속도와 조향각을 제어하게 된다. 정밀한 제어가 필요한 구간인 목표지점과의 각도 차가 -30° ~ 30°일 때는 퍼지 제어를 하고, 그 외의 상황에서는 비례 제어를 하였다. 퍼지 제어는 MATLAB을 이용하여 룩업 테이블(lookup table)로 구현하였다. 이는 모든 경우에 대해 퍼지 제어를 사용하였을 때의 발생하는 계산량을 줄이고, 제어 신호를 출력하는데 요구되는 시간을 최소로 하여 실시간으로 제어하는 지게차 AGV의 안정과 효율성을 높이기 위함이다.

두 실험 시나리오를 하나의 실험으로 총 10회 반복 수행하였을 때, 지게차 AGV의 시뮬레이션 이동 경로와 실제 지게차 AGV의 주행 오차를 비교 분석하였다. 실험 결과, 10회 모두 팔레트 하역 작업을 성공적으로 수행하였으며, 각각의 결과는 그림 15와 16과 같다.

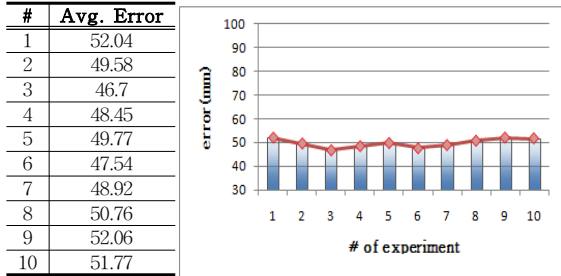


그림 15. 첫 번째 실험의 결과
Fig. 15. Results of first experiment

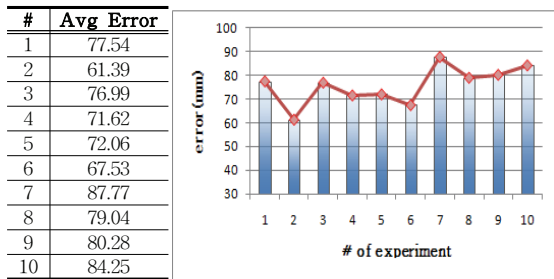


그림 16. 두 번째 실험의 결과
Fig. 16. Results of second experiment

첫 번째 실험에서 시뮬레이션과 실제 주행 경로와의 평균 오차는 49.76mm, 분산은 3.23mm을 나타냈으며, 최소 46.70mm와 최대 52.06mm의 오차를 나타냈다. 두 번째 실험의 평균 오차는 75.85mm, 분산은 55.72mm을 나타냈으며, 최소 61.39mm와 최대 87.77mm의 오차를 나타냈다. 두 번째 실험의 오차가 큰 이유는 반사율이 높은 설치물에 의한 영향이었다. 그림 17과 18은 각각 오차가 가장 적은 결과와 가장 큰 결과를 보여준다.

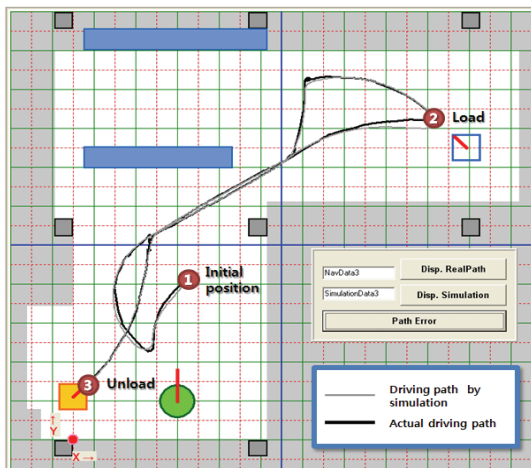


그림 17. 오차가 가장 적은 실험결과
Fig. 17. Result of best-case

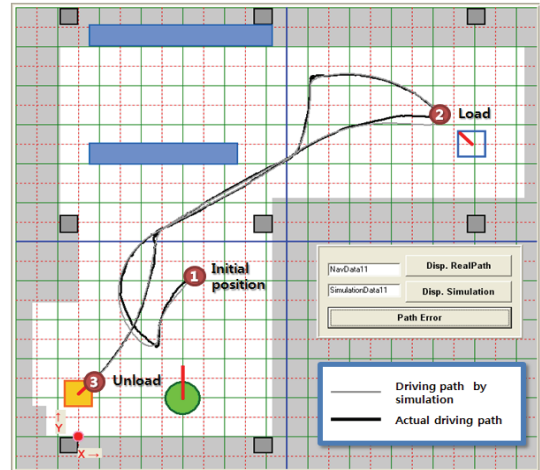


그림 18. 오차가 가장 큰 실험결과
Fig. 18. Result of worst-case

전역위치측정 센서인 레이저 내비게이션 시스템은 지게차 AGV의 회전 주행 시와 반사율이 높은 설치물에 의해 반사체를 제대로 인식을 못하여 발생하는 문제가 발생하였고, 이는 엔코더와 자이로 센서와의 센서융합을 통해 오차를 최소화할 수 있었다. 실험 결과, 센서융합을 통한 위치측정의 최대 평균 오차는 약 ±90mm을 가짐을 확인할 수 있었고, 실시간 계산을 필요로 하는 AGV들의 특성에 맞추어 계산량을 최소화함으로써, 실제 지게차 AGV가 성공적으로 자율주행 및 작업이 가능함을 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 레이저 내비게이션 시스템과 엔코더와 자이로 센서들을 융합한 위치측정 시스템과 팔레트 위치 및 각도를 고려한 제어 방법에 대해 이야기하였다. 지게차 AGV 개발을 위해 사용된 지게차는 클라크 사의 CRX-10 모델을 대상으로 하였으며, 물류 하역이라는 특수한 작업을 수행하기 위해 목표지점의 위치 및 각도까지 고려하여 주행이 이루어지도록 주행제어기를 구현하였다. 개발한 주행제어 기법은 퍼지와 비례 제어를 이용하여 목표지점과 지게차 AGV의 거리 및 각도 차에 따라 효율적인 주행이 가능하도록 하였다. 또한 모든 자율주행 장치의 주행은 위치측정 기술과 연관되기 때문에 레이저 내비게이션 시스템과 엔코더, 자이로 센서의 융합을 통해 강인하고 정밀한 위치측정 시스템을 개발하였다. 제안한 지게차 AGV 제어 시스템의 성능 분석을 위해, 실제 물류 운송 작업이 가능한 작업 공간에서 반복 주행제어 실험을 하였으며, 지게차의 기구학적 특성이 반영된 시뮬레이션 결과와 비교 분석하였다. 그 결과 최대 평균 87.77mm의 오차를 가지며 벽이나 기타 환경상의 장애물과의 충돌 없이 안정적으로 주행이 이루어짐을 확인할 수 있었다. 이는 제안한 센서융합 시스템인 레이저 내비게이션 시스템과 엔코더, 자이로 센서의 장·단점을 상호 보완하여 정밀성과 안정성을 갖춘 효과적인 위치측정 시스템임을 확인할 수 있었다. 향후 연구과제로 지게차 AGV 한 대가 아닌 여러 대의 동시 작업을 위한 전체 시스템 구축과 다양한 환경에서 연구를 진행하여 환경 적응성이 높은 유연한 시스템 개발에 관한 연구를 진행할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] A. Dogandzic, J. Riba, G. Seco, and A. Lee Swindle-hurst, "Positioning and Navigation with Applications to Communications," *IEEE Signal Proc. Magazine*, vol. 22, no. 4, pp. 10-11, 2005.
- [2] I. A. Vis, "Survey of Research in the Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems," *European Journal of Operational Research*, vol. 170, no. 3, pp. 677-709, 2006.
- [3] Le-Anh T, Koster, "A review of design and control of automated guided vehicle system," *Eur J Oper Res*, vol. 171, pp. 1-23, 2006.
- [4] 김정민, 김연태, 김성신, "확장 칼만 필터를 이용한 로봇의 실내위치추정," *한국지능시스템학회*, vol.18, no. 5, pp. 706-7011, 2008.
- [5] Dirk de Bruin, "Lateral Guidance of All-Wheel Steered Multiple-Articulated Vehicles," *Unpublished doctoral dissertation*, 2001.
- [6] Crowley, J.(1985). "Navigation for an intelligent mobile robot," *IEEE Journal of Robotics and Automation*, JRAI(1), 31-41.
- [7] Majdi. M, Deldar. M, Barzamini. R, Jouzdani. J, "AGV Path Planning in Unknown Environment Using Fuzzy Inference System," *2006 1ST IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics*, pp. 64-67, 2006.
- [8] Meng Wang, Liu. J.N.K, "Fuzzy Logic Based Robot Path Planning in Unknown Environment," *Proceedings of International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, vol. 2, pp. 813-818, 2005.
- [9] 김정민, 허정민, 정승영, 김성신, "자율주행 장치를 위한 수정된 유전자 알고리즘을 이용한 경로계획과 특징 맵 기반 SLAM," *한국지능시스템학회*, vol. 19, no. 3, pp. 381-387, 2009.
- [10] Johann Borenstein, "The OmniMate: A Guidewire-and Beacon-free AGV for highly Reconfigurable Applications," *International Journal of Production Research*, vol. 38, no. 9, pp. 1993-2010, 2000.
- [11] Michael J. Caruso, Tamara Bratland, C. H. Smith and Rober Schneider, "A New Perspective on Magnetic Field Sensing," *Sensor Magazine*, Vol. 15, No. 12, pp. 34-46, 1998.
- [12] Ching-Yao Chan, "A System Review of Magnetic Sensing System for Ground Vehicle Control and Guidance," California PATH Research Report, UCB-ITS-PRR-2002-20, 2002.
- [13] C. Y., Chan, and H. T., Tan, "Evaluation of Magnetic as a Position Reference System For Ground Vehicle Guidance and Control," California PATH Research Report, March, 2003.
- [14] Y. J., Ryoo, E. S., Kim, and Y. C., Lim "Intelligent Positioning System for Magnetic Sensor Based Autonomous Vehicle," *SCIS & ISIS*, 2004.
- [15] Yusong Pang, Lopez De La Cruz, A.; Lodewijks,

G, "Bipolar magnetic positioning system for automated guided vehicles," *Intelligent Vehicles Symposium 2008 IEEE*, pp. 883-888, 2008.

저 자 소 개



김정민(Jungmin Kim)

2006년 : 신라대학교 컴퓨터공학과(공학사)
 2008년 : 부산대학교 전기공학과(공학석사)
 2008년~현재 : 동대학원 전자전기공학과 박사과정

관심분야 : 신호처리, 영상처리, 지능제어, 로봇
 E-mail : kjm16@pusan.ac.kr



박정제(Jungje Park)

2009년 : 부산대학교 정보컴퓨터공학부 (공학사)
 2009년~현재 : 동대학원 전자전기공학과 석사과정

관심분야 : 지능제어, 로봇
 E-mail : parkjj@pusan.ac.kr



전태룡(Taeryong Jeon)

2007년 : 신라대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2008년 : 부산대 전자전기공학과 석사과정

관심분야 : 신호처리, 지능제어, 로봇
 E-mail : jtr@pusan.ac.kr



김성신(Sungshin Kim)

1986년 : 연세대학교 전기공학과(공학석사)
 1996년 : Georgia Inst. of Technology, 전기및컴퓨터공학과(공학박사)
 1998년~현재 : 부산대학교 전자전기통신공학부 교수

관심분야 : 지능시스템, 지능형로봇, 고장예측및진단
 Phone : +82-51-510-2374
 Fax : +82-51-513-0212
 E-mail : sskim@pusan.ac.kr