

레이저 유도 시스템을 이용한 AGV의 경로추적

Path Tracking for AGV using Laser guidance system

박 정 제¹, 김 정 민², 도 주 철¹, 김 성 신[†], 배 선 일³

Jungje Park¹, Jungmin Kim², Joocheol Do¹, Sungshin Kim[†], Sunil Bae³

Abstract This paper presents to study the path tracking method of AGV(autonomous guided vehicle) which has a laser guidance system. An existing automatic guided vehicles(AGVs) which were able to drive on wired line only had a automatic guidance system. However, the automatic guidance systems that those used had the high cost of installation and maintenance, and the difficulty of system change according to variation of working environment. To solve such problems, we make the laser guidance system which is consisted of a laser navigation and gyro, encoder. That is robust against noise, and flexible according to working environment through sensor fusion. The laser guidance system can do a perfect autonomous driving. However, the commercialization of perfect autonomous driving system is difficult, because the perfect autonomous driving system must recognize the whole environment of working space. Hence, this paper studied the path tracking of AGV using laser guidance system without wired line. The path tracking method is consisted of virtual path generation method and driving control method. To experiment, we use the fork-type AGV which is made by ourselves, and do a path tracking experiments repeatedly on same experimental environment. In result, we verified that proposed system is efficient and stable for actual fork-type AGV.

Keywords : AGV, Path Tracking, Guidance System, Driving Control, Autonomous

1. 서론

유연 생산 시스템(flexible manufacturing system: FMS)은 일반적으로 다수의 자동작업장으로 구성되어 작업장간의 다양한 공정순서를 가능하게 하는 시스템이다. 이는 다시 말해 다양한 기술을 하나의 고도로 자동화된 시스템에 집약시킨 시스템을 말한다. FMS는 1960년대 중반에 고안되었으며 1985년경까지 전 세계의 FMS 수는 약 300대까지 증가하였다. 생산 시스템에서 유연성에 대한 중요성이 점점 증가함에 따라 FMS는 더욱 증가할 것으로 예측되고 있고 최근에는 저가형의 소형 FMS에 대한 관심이 커지고 있다^[1].

소형 FMS의 주요 기술들 중에서도 하역, 보관, 운송 작업의 자동화는 매우 중요하며 이들을 자동화하기 위한

일환으로 1990년대부터 무인운반차(automatic guided vehicle: AGV)에 관심이 집중 되고 있다. 이러한 무인운반차는 기존의 conveyor나 rail 방식으로 유도되어지는 시스템과는 달리 주변 이동 물체와의 공존이 가능하고 목적에 맞는 이제 장치를 쉽게 결합 할 수 있으며 주변기기와와의 연결 및 시스템의 확장이 비교적 용이한 장점을 지니고 있다^[2].

무인운반차의 타입은 유도 시스템과 운반 시스템에 따라 달라진다. 유도 시스템은 무인운반차의 위치측정과 주행제어를 담당하고, 운반 시스템은 적재물을 운반하는 구동부를 말한다. 이 중에서도 유도시스템은 무인운반차의 핵심 기술이며 기존의 무인운반차의 유도 시스템에는 유선 유도(wire guidance) 시스템과 자기-자이로 유도(magnet-gyro guidance) 시스템이 있다. 유선 유도는 2개의 안테나가 바닥에 매설된 유도선을 중심으로 양쪽 측면에 위치하여 발생하는 전압 차에 의해 제어되는 시스템이고, 자기-자이로 유도 시스템은 무인운반차의 자기 센서(magnet sensor)가 바닥의 자기장(magnetic field)을 감지하여 제어하는 시스템이다^[3-5]. 하지만 이러한 유도 시스템들은 모두 주어진 작업에 맞게 작업환경을 구축하여 정해진 경로로만 주행이 가능하고, 센서들을 바닥에

Received: Feb. 19, 2010; Reviewed: May. 12, 2010; Accepted: May. 15, 2010

※ 본 연구는 (부산대학교 특수환경 Navigation/localization 로봇기술 연구센터를 통한) 지식경제부/한국산업기술진흥원 융복합형로봇전문인력양성사업의 지원으로 수행되었음

[†] 교신저자: 부산대학교 전자전기공학과 교수

¹ 부산대학교 전자전기공학과 석사과정

² 부산대학교 전자전기공학과 박사과정

³ ㈜아티스 대표

매설해야하므로 설치 및 유지 보수에 따른 비용 문제와 작업 환경의 변화나 센서의 손상으로 인한 문제가 발생된다⁶⁾. 이러한 기존의 유도 시스템들의 문제들로 인해 최근에는 레이저 유도 시스템을 이용한 AGV에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

레이저 유도 시스템은 AGV가 작업하는 공간에 반사체를 부착하고 레이저 헤더가 360° 회전을 하면서 부착된 반사체를 읽어 삼각측량법을 통해 위치를 측정하는 시스템이다. 이는 센서들을 바닥에 매설해야할 필요가 없어 설치나 유지 보수가 쉽고 비용이 적다는 장점을 가진다. 하지만 425ms의 늦은 반응속도와 회전 주행 또는 고속 주행 시에 주위의 반사체를 제대로 인식하지 못해 위치 데이터의 손상 및 손실이 발생하는 등 외란에 약한 단점을 가지고 있다. 또한 완전 자율주행이 가능하기 때문에 효율적인 주행으로 작업을 수행할 수 있지만 작업장 주변 환경을 모두 인지하고 있어야하는 문제점이 있다.

이에 본 논문은 중장비인 AGV에 레이저 유도 시스템을 적용하기 위해 레이저 내비게이션과 엔코더, 자이로, 전자 나침반을 함께 이용하여 100ms의 빠른 위치측정 속도와 외란에 강인한 레이저 유도 시스템을 제안하고, 제안된 유도 시스템을 이용하여 개발된 AGV를 정해진 경로로 주행시키기 위한 경로추적 주행제어 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제안한 방법을 실험하기 위해 개발된 AGV를 소개하고, 3장에서는 경로추적 주행제어 방법에 대해 소개한다. 4장에서는 실험 및 결과에 대해 다루고, 마지막으로 5장에서는 결론에 대하여 기술한다.

2. Fork-type AGV

본 연구에서는 레이저 유도 시스템을 가지는 완전 자율주행이 가능한 fork-type AGV의 경로추적 방법을 개

Unit: [mm]

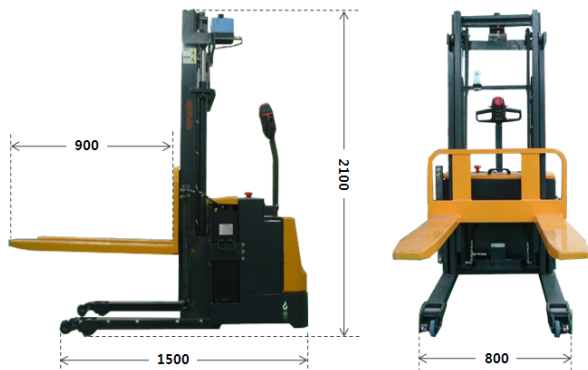


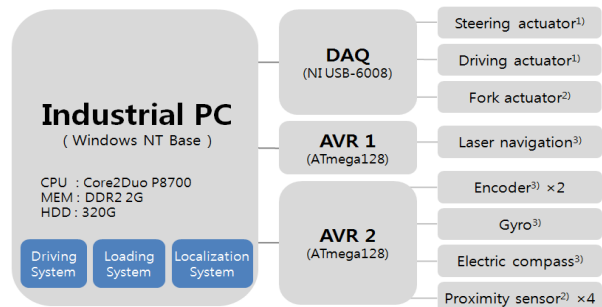
그림 1. Used fork-type AGV

발하기 위해, AGV 개발 전문 업체인 (주)아티스(ATIS)와 함께 fork-type AGV를 직접 설계 및 제작하였다. 제작된 fork-type의 크기는 1500×800×2100mm이며 주행 구동부는 주행과 조향이 같은 위치에서 이루어지는 차축 구동 방식을 이용하였다. 제작된 차축 구동방식의 fork-type AGV는 그림 1과 같다.

2.1 시스템

완전 자율주행 방식의 AGV 시스템은 기본적으로 주행 시스템, 이재 시스템, 위치측정 시스템으로 구성된다. 주행 시스템은 AGV의 주행을 담당하는 것으로 조향과 주행 구동부와 제어부를 말하며, 이재 시스템은 적재물을 하역하기 위한 이재 구동부와 제어부를 말한다. 위치측정 시스템은 완전 자율주행이 가능한 AGV의 위치를 측정하는 것으로 기존의 AGV에 사용되는 유도 시스템이라는 용어와 유사하지만, 유도 시스템은 주로 주행과 위치측정이 함께 이루어지는 시스템을 일컫는 점에서 위치측정 시스템과 차이가 있다. 그림 2는 fork-type AGV의 전체 시스템 구성을 간략히 보여준다.

제작된 fork-type AGV의 구동부들을 제어하기 위해 NI사의 DAQ인 USB-6008을 이용하였고 레이저 유도 방식을 이용하기 위해 SICK사의 NAV200을 사용하였다. 또한 레이저 유도 방식의 문제를 해결하기 위해서 엔코더 2개와 자이로, 전자 나침반을 이용하였으며 포크의 높이를 알기 위해 근접 센서 4개를 포크 옆면에 격자 선반(rack) 높이에 부착하여 이용하였다.



- 1) Driving System
- 2) Loading System
- 3) Localization System

그림 2. System configuration of fork-type AGV

2.1.1 위치측정 시스템

본 연구에서는 레이저 유도 방식의 문제점인 425ms의 늦은 반응속도와 외란에 의한 회전 주행 또는 고속 주행 시에 주위의 반사체를 제대로 인식 못하는 것을 해결하기 위해 레이저 내비게이션과 엔코더, 자이로, 전자 나침반을 함께 이용하여 100ms마다 위치측정이 가능하게 하

였다[7-8]. 레이저 내비게이션은 포크 대에 2m 높이에 설치하였으며 엔코더는 두 보조 바퀴(road wheel) 앞에 기구부를 제작하여 2개를 설치하였다. 레이저 내비게이션을 2m 높이에 설치한 이유는 외부 환경에 의한 간섭을 최소화하기 위해서이며 엔코더를 주행 바퀴(driving wheel)에 설치하지 않고 보조 바퀴 앞에 기구부로 엔코더를 장착한 이유는 미끄러짐(slip)과 수학적 계산에 의한 오차를 최소화하기 위해서이다. 그림 3은 위치추정 시스템의 순서도를 보여준다.

AGV의 시스템이 켜지게 되면 주 제어기는 레이저 내비게이션과 전자 나침반에 데이터를 요청하고 데이터를 통해 위치를 초기화하고 나침반을 조절하게 된다. 이 때, 운영 PC에 의해 AGV에 작업 명령이 내려지게 되면 AGV는 주행을 시작하게 된다. 데이터 요청에 의해 레이저 내비게이션의 위치 데이터와 에러 플래그를 받게 되면 에러 플래그와 이동 한계를 통해 레이저 내비게이션의 데이터 사용 유무를 결정하게 되고, 데이터를 받지 못하거나 에러가 발생되면 엔코더와 자이로를 이용하여 위치를 계산하도록 하였다. 여기서 에러 플래그는 0~100 사이의 숫자로 표현되는 데이터의 신뢰도를 보고 일정 수치 이하이면 위치추정 데이터가 에러라는 것을 나타내는 플래그이다.

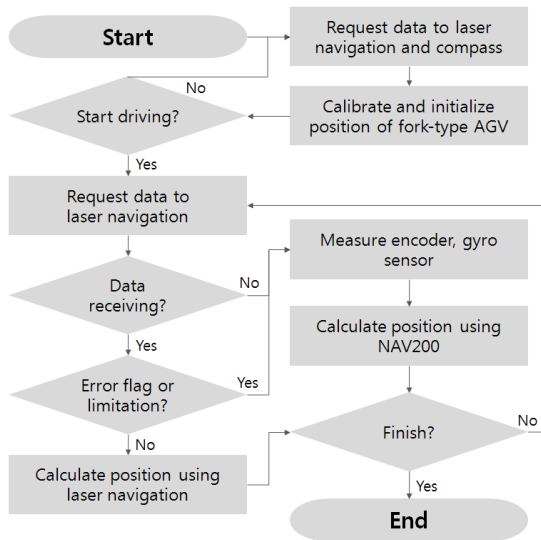


그림 3. flow chart of localization system

2.2 기구학

제작된 fork-type AGV의 주행 바퀴의 위치는 AGV의 중심 축 아래에 위치하고 있으며, 보조 바퀴는 포크의 양쪽 리치 캐리지의 앞에 위치하고 있다. 보조 바퀴는 주행 바퀴의 움직임에 따라 회전을 하게 된다. 그림 4는 차축

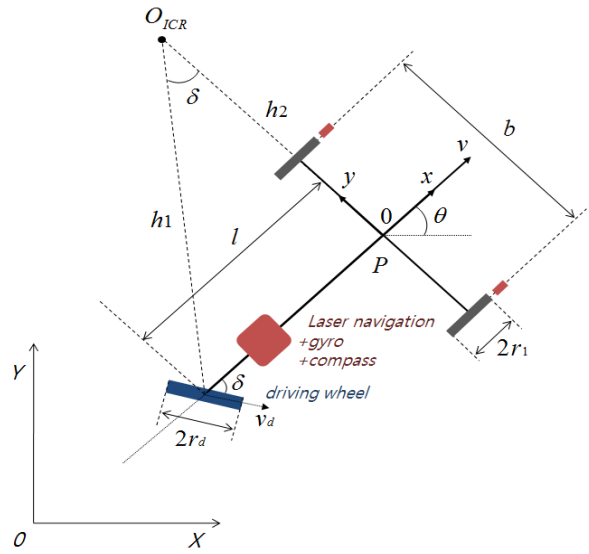


그림 4. Kinematics of fork-type AGV

구동방식 AGV의 회전 주행에 대한 기구학 모델을 나타낸 것이며 절대좌표계 O-X-Y와 상대좌표계 o-x-y를 보여준다.

위 그림에서 h_1 은 AGV의 회전중심축 OICR과 주행 바퀴의 중심과의 거리를 나타내며 다음과 같이 계산 된다.

$$h_1 = \frac{l}{\sin \delta} \tag{1}$$

l 은 포크 부분을 제외한 차체의 길이를 나타내며 주행 바퀴의 각도 변화량 δ 과 선속도 v_d , 그리고 AGV의 선속도 v 는 다음과 같이 계산 된다.

$$\dot{\delta} = \frac{v_d}{h_1} = \frac{v}{h_1 \cos \delta}, \quad v_d = r_d \omega_d, \quad v = v_d \cos \delta \tag{2}$$

위의 수식에서 r_d 와 ω_d 는 각각 주행 바퀴의 반지름과 주행 바퀴의 각속도를 나타내며, 이는 다음 식과 같이 AGV의 좌표 값과 방향각으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{X} &= v \cos \theta = r_d \omega_d \cos \delta \cos \theta \\ \dot{Y} &= v \sin \theta = r_d \omega_d \cos \delta \sin \theta \\ \dot{\theta} &= \frac{r_d \omega_d \sin \delta}{l} \end{aligned} \tag{3}$$

3. 제안된 경로추적

경로추적 주행 방법에 관한 연구는 꾸준히 이루어져

왔으며 많은 경로추적 주행 방법들이 존재한다^[9]. 하지만 하루에 20시간 이상을 작업해야 하는 AGV의 경로추적을 위해서는 조향 구동부와 주제어기의 스트레스를 고려해야 한다. 또한, 운반물을 하역해야 하는 특수한 작업을 고려한 주행제어 기술이 필요하다.

3.1 가상 경로 설정

가상 경로는 AGV가 운반물의 하역을 수행해야 하는 지점을 운영 PC로부터 받을 때 생성하게 된다. 이 때, 생성되는 가상 경로의 주행 경유 지점들은 정해져있으며 가상 경로를 설정할 때에는 AGV의 조향 구동부와 주제어기의 스트레스를 최소화하기 위해 직진 경유 지점과 회전 경유 지점으로 나누어 가상 경로를 설정한다. 그림 5는 가상 경로를 설정하는 순서도를 보여준다.

주행 경유 지점 설정은 실험을 통해 최적의 값을 찾았으며 그 중 직진 경유 지점은 선택된 주행 지점을 기준

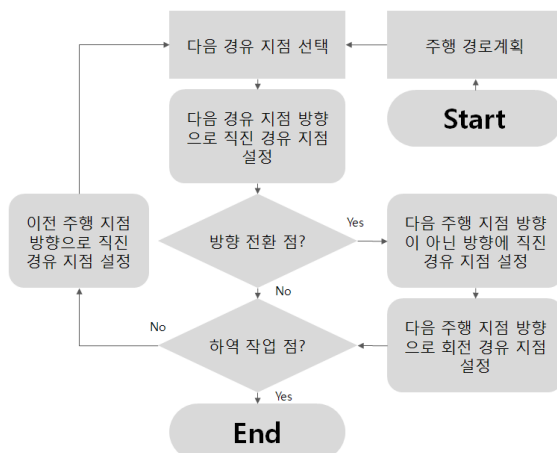


그림 5. flow chart of virtual path-generation



그림 6. key map of virtual path-generation

으로 AGV의 최소 회전 반경 길이의 절반 길이로 설정되고, 회전 경유 지점은 AGV의 속도를 고려하여 절반 길이보다 작게 설정하였다. 그림 6은 가상 경로를 설정 방법을 이용해 설정된 경유 지점의 개념도이다.

3.2 주행 제어기

경로추적 주행 제어기는 각도 오차가 $+15^\circ \sim -15^\circ$ 일 때는 퍼지 제어를 이용하고, 그 이외의 구역에서는 비례 제어로 구성하였다. 이는 구동부의 스트레스를 최소화하면서 정확한 제어가 되도록 하기 위해서이다. 그림 7은 주행 제어기의 순서도를 보여준다.

퍼지 제어를 위해 구동부의 특성을 실험을 통해 분석하여 소속도 및 룰을 정하였다^[6]. 이용된 파라미터는 AGV와 다음 경유 지점의 거리 차 e_d 와 각도 차 e_a 이고, 회전 주행 시에는 경유 경로를 벗어 나가지 못하도록 다음과 그 다음 경유 지점 간의 각도 차 e_w 를 이용하여 다음 경유 지점을 비례적으로 주행선 안쪽으로 이동시키도록 하였다.

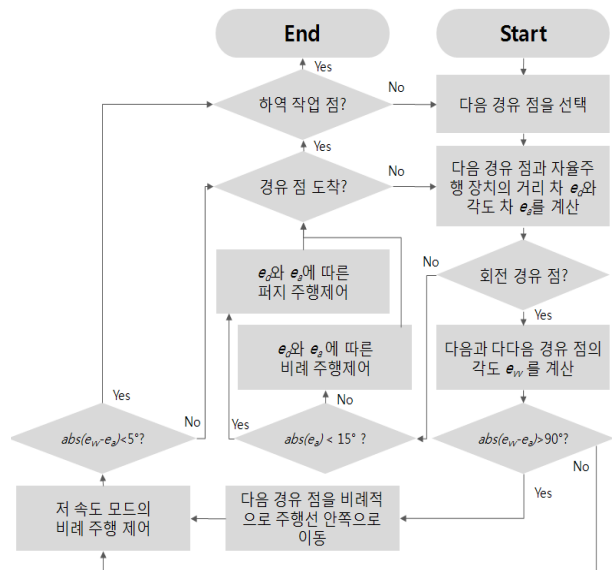


그림 7. flow chart of driving control

4. 실험 및 결과

이번 장은 완전 자율주행 방식 AGV의 경로추적 방법의 성능을 분석하기 위한 실험 환경과 실험 방법, 결과에 대해 서술한다.

4.1 실험 환경

본 연구에서 경로추적 방법의 성능 평가 분석을 위한 실험환경은 그림 8과 같다.



그림 8. experimental environment for path tracking

실험 환경은 총 8400×20100mm 크기의 공간에 19개의 반사체를 설치하여 실험하였다. 실험 방법은 그림 8에 표시된 AGV 위치에 실제 AGV를 두고 주행 경유 끝 지점의 하역 팔레트를 적재한 후, 처음에 AGV가 있던 위치에 팔레트를 내려놓을 때에 생성된 주행 경로와 실제 AGV의 오차를 5회 분석하였다. 이 때, 위치 데이터는 위치측정 시스템의 주기인 100ms로 측정하였다. 그리고 실제 AGV의 주행 평균 속도는 0.97m/s이며, 하역 시에는 속도를 0.28m/s로 줄였다. 또한, 팔레트를 하역해야하는 주행 구간에서만 포크 방향으로 주행을 하였고, 하역 구간이 아닌 지역에서는 포크 반대 방향으로 주행을 하였다. 이는 주행 구동부가 포크 반대에 설치되어 있어 포크 방향으로 주행 시에 포크가 주행 경로를 크게 벗어나기 때문이다.

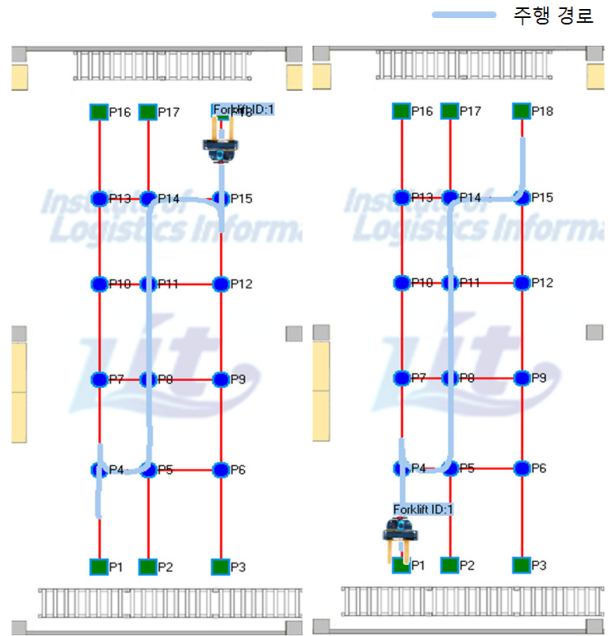
4.2 실험 결과

표 1은 각 실험들의 평균 오차 값을 보여주며, 그림 9는 표 1의 평균 오차 중 최대 오차를 가진 실험의 주행 결과를 보여준다.

실험 결과, 총 5회의 실험에서 팔레트의 하역 작업은 실패 없이 모두 정확히 이루어졌으며 주행 평균 오차는 54.56mm로 확인 할 수 있었다^[10]. 하지만 AGV가 회전 주행 중에 발생한 오차는 계산상의 어려움으로 인한 오차와 레이저 유도 시스템의 특성에 따른 위치 오차에 의해 더욱 크게 발생된다. 또한, 포크로 팔레트를 하역하는 fork-type AGV의 특성상 회전 중에 오차는 큰 의미가 없다. 따라서 직진 상의 오차가 중요하며 직진 상의 오차는 표 2와 같다.

표 1. average errors of each experiment

Unit: [mm]					
	exp-1	exp-2	exp-3	exp-4	exp-5
Avg. error	56.56	50.57	48.96	57.83	58.90



(a) loading work (b) unloading work

그림 9. experimental results of worst case

표 2. average errors of each experiment on straight section

Unit: [mm]					
	exp-1	exp-2	exp-3	exp-4	exp-5
Avg. error	8.99	13.27	12.52	8.65	13.32

직진 구간에서의 오차는 평균 11.35mm로 확인하였으며 fork-type AGV가 팔레트를 하역하기 위해서는 AGV의 포크 크기와 팔레트의 구멍 크기로 인해 최대 25mm의 오차 이내의 정밀도를 가져야하므로 제안된 경로추적 방법이 fork-type AGV에 적합함을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 증장비인 AGV에 레이저 유도 시스템을 적용하기 위해 레이저 내비게이션과 엔코더, 자이로, 전자 나침반을 함께 이용하는 방법과 완전 자율주행 AGV이 안전한 작업을 수행하도록 하기 위해 정해진 경로로 주행을 하는 경로추적 주행제어 방법에 대해 이야기 하였다. AGV 개발을 위해 개발 전문 업체인 ㈜아티스(ATIS)와 함께 fork-type AGV를 직접 설계 및 제작하

였으며, 레이저 내비게이션의 문제점인 425ms의 늦은 반응속도와 외란에 약한 단점을 해결하기 위해 레이저 유도 시스템과 엔코더, 자이로를 함께 이용하여 레이저 유도 시스템을 개발하였다. 또한, 개발된 레이저 유도 시스템을 가지는 AGV의 안정된 작업을 위해 경로추적 방법을 개발하였다. 5회의 실험 결과, 평균 오차는 54.56mm로 나타났다. 하지만 회전주행에 대한 오차는 위치측정 시스템이 여전히 회전주행에 영향을 받는다는 점과 정확한 오차 계산에 대한 어려움이 존재하므로 회전주행을 제외한 직진 구간에서의 평균 오차는 11.35mm로 나타남을 확인하였다. 하지만 두 결과 모두 중장비인 AGV의 이동시 오차라는 것을 감안하면 제안된 경로추적 방법이 fork-type AGV에 적합하다고 할 수 있다. 향후 연구로는 위치측정 시스템의 정밀도를 더욱 높이고, 여러 대의 AGV를 위한 경로계획 방법과 트래픽 제어에 관한 연구를 진행 할 것이다.

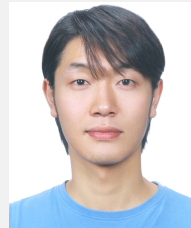
참고문헌

- [1] M. P. Groover, "Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing", sigma press, 2002.
- [2] 김정민, 허정민, 김성신, "수정된 유전자 알고리즘과 퍼지 추론 시스템을 이용한 무인 자율주행 이송장치의 다중경로계획," 한국해양정보통신학회, 제13권, 제8호, pp. 1483-1490, 2009.
- [3] J. Borenstein, "The OmniMate: A Guide wire-and Beacon-free AGV for highly Reconfigurable Applications," *International Journal of Production Research*, Vol.38, No.9, pp.1993-2010, 2000.
- [4] C. Y. Chan, "A System Review of Magnetic Sensing System for Ground Vehicle Control and Guidance," California PATH Research Report, UCB-ITS-PRR-2002-20, 2002.
- [5] Y. Pang, "Bipolar magnetic positioning system for automated guided vehicles," *Intelligent Vehicles Symposium 2008 IEEE*, pp.883-888, 2008.
- [6] 김정민, 박정제, 전태룡, 김성신, "퍼지와 비례 제어를 이용한 지게차 AGV의 주행제어," 한국지능시스템학회, 제19권, 제5호, pp. 699-705, 2009.
- [7] 김용식, 이재훈, 김봉근, 오바 코타로, 오야 아키히사, "바이어스추정을 기반으로 한 위치추정의 오차회복," 로봇공학회 논문지, 제4권, 제2호, pp. 112-120, 2009.
- [8] 송종화, 김광훈, 지규인, 이연석, "차량 움직임 정보를 이용한 GPS/DR 차량항법시스템 성능향상," 로봇공학회 논문지, 제5권, 제1호, pp.55-63, 2010.
- [9] E. Shi, J. Guo, C. He, T. Cai, "Experiment Study of Multi-Step Predictive Control in AGV Path Tracking," *Automation and logistics conference*, pp.531-535, 2007.
- [10] YouTube, http://www.youtube.com/watch?v=wel4tBmmf_E&feature=related



박 정 제

2009 부산대학교 정보컴퓨터공학부(공학사)
2009~현재 동대학원 전자전기공학과 석사과정
관심분야: 지능제어, 로봇



김 정 민

2006 신라대학교 컴퓨터공학과(공학사)
2008 부산대학교 전기공학과(공학석사)
2009~현재 동대학원 전자전기공학과 박사과정
관심분야: 신호처리, 영상처리, 지능제어, 로봇



도 주 철

2010 부산대학교 정보컴퓨터공학부(공학사)
2010~현재 동대학원 전자전기공학과 석사과정
관심분야: 지능제어, 로봇



김 성 신

- 1986 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1996 Georgia Inst. of Technology, 전기및컴퓨터공학과(공학 박사)
- 1998~현재 부산대학교 전자전기통신공학부 부교수

관심분야: 지능 시스템, 지능형 로봇, 고장 예측 및 진단



배 선 일

- 1979 경동공대 기계공학과 (공학사)
- 1999 디잔테크 경영
- 2007 금성자동차주식회사 재직
- 2007~현재 주식회사 아티스 경영

관심분야: 무인 물류 이송 시스템, 자동화 시스템