

경로 추적 방식의 AGV를 위한 경로 계획

Path Planning for AGVs with Path Tracking

도 주 철¹, 김 정 민², 정 경 훈³, 우 승 범³, 김 성 신[†]

Joocheol Do¹, Jungmin Kim², Kyunghoon Jung³, Seungbeom Woo³, Sungshin Kim[†]

Abstract This paper presents a study of path-planning method for AGV(automated guided vehicle) based on path-tracking. It is important to find an optimized path among the AGV techniques. This is due to the fact that the AGV is conditioned to follow the predetermined path. Consequently, the path-planning method is implemented directly affects the whole AGV operation in terms of its performance efficiency. In many existing methods are used optimization algorithms to find optimized path. However, such methods are often prone with problems in handling the issue of inefficiency that exists in system's operation due to inherent undue time delay created by heavy load of complex computation. To solve such problems, we offer path-planning method using modified binary tree. For the purpose of our experiment, we initially designed a AGV that is equipped with laser navigation, two encoders, a gyro sensor that is meant to be operated within actual environment with given set of constrictions and layout for the AGV testing. The result of our study reflects the fact that within such environments, the proposed method showed improvement in its efficiency in finding optimized path.

Keywords: AGV, path tracking, path planning, binary tree, depth first search

1. 서 론

최근 운송 작업의 효율을 높이고 비용을 줄이기 위한 수단으로 자율주행 운송 차량인 AGV가 주목 받고 있다. AGV는 유연한 생산 시스템을 구축하는 기반 요소로써 활발히 연구가 진행되고 있으며 그 수요가 점진적으로 증가하고 있다^{1,2}. AGV 기술에 있어서 유도 시스템(guidance system)은 주요 기반기술로써 위치추정 기술과 주행제어 기술을 합성한 기술을 의미한다³. 위치추정 기술은 이전 지점에서 상대적으로 얼마나 이동하였는지 측정하는 지역 위치추정 기술과 절대 좌표계에서 현재 좌표를 측정하는 전역 위치추정 기술로 나뉜다. 여기서 지역 위치추정 기술은 일반적으로 엔코더, 자이로 등의 센서를 이용하여 이동 거리 및 방향을 측정하는 방법이 있으며, 전역 위치추정 기술은 대표적으로 GPS를 이용하여 좌표 및 방향을 측정

하는 방법이 있다.

주행제어 기술은 완전 자율주행 방식과 경로추적 방식으로 나눌 수 있다. 완전 자율주행 방식은 목표 지점까지 임의의 경로를 생성해서 주행하는 방식으로 다양한 환경에서도 유지 보수에 유연하며 완전한 자율주행이 가능하다. 하지만 완전 자율주행 방식은 안전을 위해 작업장의 모든 환경을 인지해야 하는 어려움 때문에 실제 산업 현장에서는 정해진 경로를 따라 주행하는 경로추적 방식을 사용한다^{4,5}. 이러한 경로추적 방식은 경로계획 방법에 따라 그 성능이 좌우된다. 기존의 경로계획 방법은 유전자 알고리즘^{6,7}, 확률론에 기반을 둔 gradient 탐사⁸ 등을 이용하였으나 연산량이 많아 시간적인 측면에서 효율이 떨어지는 단점이 있었다. 또한 여러 대의 AGV가 한 공간에서 작업을 할 경우 트래픽 제어를 고려하지 않은 경로 계획은 충돌이나 교착상태를 야기할 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 양방향 단방향 주행 구간을 설정하는 방법과 수정된 2진 트리를 이용하여 AGV의 최적 경로를 탐색하는 방법을 제안한다. 일반적으로 기존에 사용되던 경로추적 방식인 마그네틱 유도 방식이나 유선 유

Received : Jul. 28. 2010; Reviewed : Oct. 15. 2010; Accepted: Nov. 05. 2010

※ 이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)로부터 지원받아 수행된 연구임 (지역거점연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)

† 교신저자: 부산대학교 전자전기공학과 교수

¹ 부산대학교 전자전기공학과 석사과정

² 부산대학교 전자전기공학과 박사과정

³ 부산대학교 로봇협동과정 석사과정

도 방식과 같은 방법은 위치측정^{9,10)}에 있어서 설치 및 유지 보수가 어려운 단점이 있다. 따라서 제안된 방법의 실험을 위해 기존 유도 방식의 단점을 해결할 수 있는 레이저 내비게이션과 자이로, 엔코더의 센서융합을 이용한 위치측정 방식을 통해 경로추적 방법과 같은 주행제어를 하였다. 다시 말해, 완전 자율주행이 가능한 AGV 시스템을 가상의 경로를 추적하는 시스템에 관해 연구하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 실험을 위해 사용한 AGV 시스템에 대하여 소개하고, 3장에서 제안된 2진 트리를 이용한 경로설정 및 탐색 방법을 설명한다. 4장에서는 제안된 방법을 검증하기 위해 실험을 수행하고 그 결과를 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 차후 연구 방향에 대해 언급한다.

2. 시스템 구성

본 논문에서는 실험을 위해 AGV 개발 전문 업체인 (주) ATIS와 함께 설계·제작한 fork-type AGV(그림 1)를 사용하였다. 제작된 AGV는 조향과 구동이 같은 위치에서 이루어지는 차축 구동방식을 사용한다.

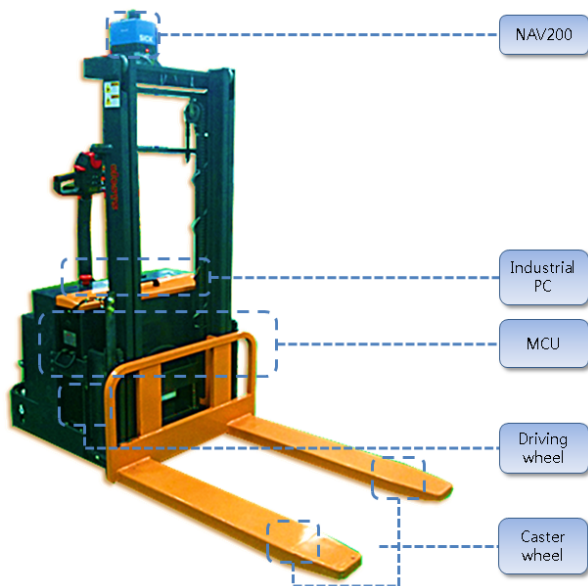


그림 1. Fork-type AGV used for experiment

2.1 기구학 분석

제작된 AGV의 주행 장치는 크게 구동부와 조향부로 구성되며, AGV의 이동 중심축에 위치하고 있는 구동 바퀴에

구동부와 조향부가 함께 있으며, 두 개의 보조바퀴가 구동 바퀴의 움직임에 따라 회전한다. 그림 2는 AGV의 주행에 대한 기구학 모델을 나타낸 것이다.

위 그림에서 O_{ICR} 은 AGV의 회전 주행 시에 회전의 중심점을 나타내며 이 때 회전 중심으로부터 구동축의 중심까지의 거리 h 는 다음과 같이 계산된다.

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

δ 와 v 는 각각 구동바퀴의 조향 각도와 AGV의 선속도를 나타내며 l 은 포크를 제외한 차체의 길이이다. 이때, 구동바퀴의 조향 각도 변화량 $\dot{\delta}$ 과 선속도 v_d 및 AGV의 선속도 v 는 다음과 같이 계산된다.

$$\dot{\delta} = \frac{v_d}{h} = \frac{v}{h \cos\delta}, \quad v_d = r_d \omega_d, \quad v = v_d \cos\delta \quad (2)$$

위 수식에서 r_d 와 ω_d 는 각각 구동 바퀴의 반지름과 각속도를 나타내며, 수식 (1), (2)를 이용해 AGV의 좌표값과 각도의 변화량을 계산할 수 있다.

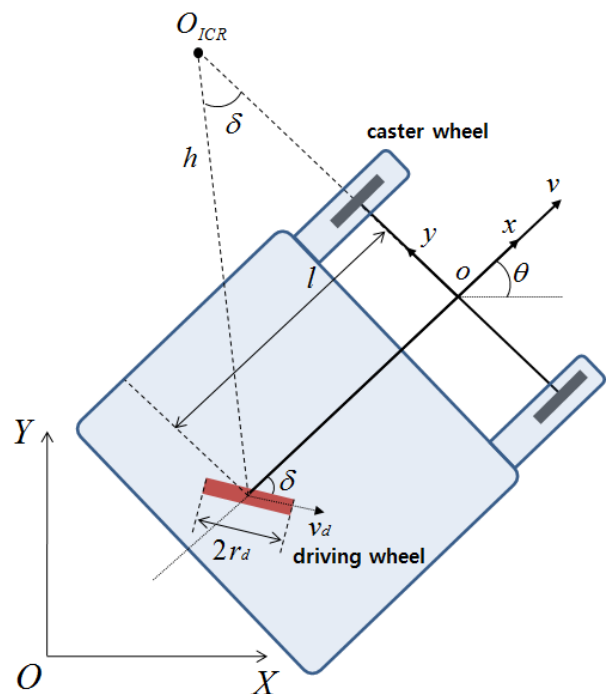


그림 2. Kinematics of AGV

$$\begin{aligned} \dot{X} &= (v_d \cos \delta) \cos \theta = v \cos \theta \\ \dot{Y} &= (v_d \cos \delta) \sin \theta = v \sin \theta \\ \dot{\theta} &= \frac{v_d \sin \delta}{l} \end{aligned} \quad (3)$$

2.2 구동 및 위치측정 시스템

AGV의 시스템은 지역위치 측정부와 전역위치 측정부, 구동 제어부로 나눌 수 있으며 AGV의 제어를 위한 메인 제어부로는 산업용 PC를 사용하였다. 그림 3은 AGV의 전체 시스템 구성을 간략히 보여주며 표 1은 AGV에 사용된 주요 센서들의 사양이다.

전역 위치측정부는 ATmega128 MCU를 통해 레이저 내비게이션인 NAV200에 425ms마다 AGV의 전역 위치를 요청하고 NAV200으로부터 전달받은 위치 데이터를 메인 제어부로 전달한다. 지역 위치측정부는 엔코더와 자이로 센서의 계측 데이터를 ATmega128을 이용하여 이루어지며

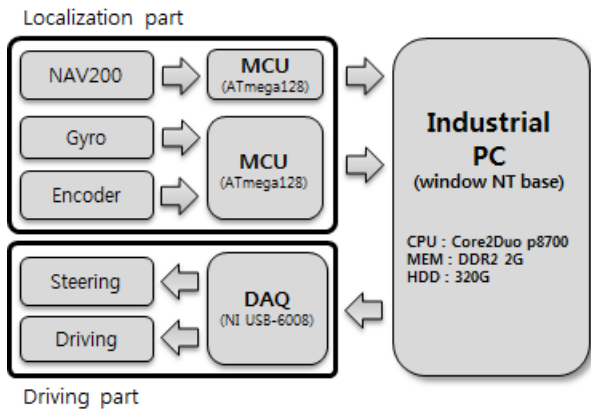


그림 3. System configuration of AGV

표 1. Specification of sensors used

Item (model)	Specification	
Laser Navigation (NAV200)	Voltage	24V
	Interface	RS244
	Resolution	Approx. 15m
	Range	1.2m to 28.5m
Encoder (LIB-49B)	Voltage	12V
	Resolution	1000pulse
	Voltage	5V
Gyro (myGyro300SPI)	Interface	SPI
	Sensitivity	±300°/S

NAV200과 마찬가지로 메인 제어부로 100ms마다 계측 데이터를 전달한다. NAV200에 의한 전역 위치측정의 경우 매우 정밀한 계측이 가능하지만 느린 반응 속도와 AGV가 회전하거나 빠르게 이동하는 경우 에러가 발생하는 단점이 있다. 반면, 엔코더와 자이로 센서에 의한 지역 위치측정은 빠른 반응속도와 외란에 강인하지만 엔코더의 슬립이나 자이로의 적분 오차와 드리프트 현상으로 인해 오차가 누적된다는 단점이 있다. 메인 제어부에서는 지역 위치측정과 전역 위치 측정 데이터를 융합하여 강인하고 정밀한 위치 측정을 가능하게 한다. 그림 4는 전역 위치측정 데이터와 지역 위치측정 데이터를 융합하는 알고리즘의 순서도를 보여준다.

구동 제어부에는 제어 신호 전달을 위해 DAQ가 사용되었다. DAQ는 메인 제어부로부터 조향과 구동에 관한 신호를 받아 조향장치와 구동장치에 제어 신호를 전달하며 AGV의 정밀한 제어를 위해 퍼지 제어와 비례 제어 기법을 적용 하였다^[11].

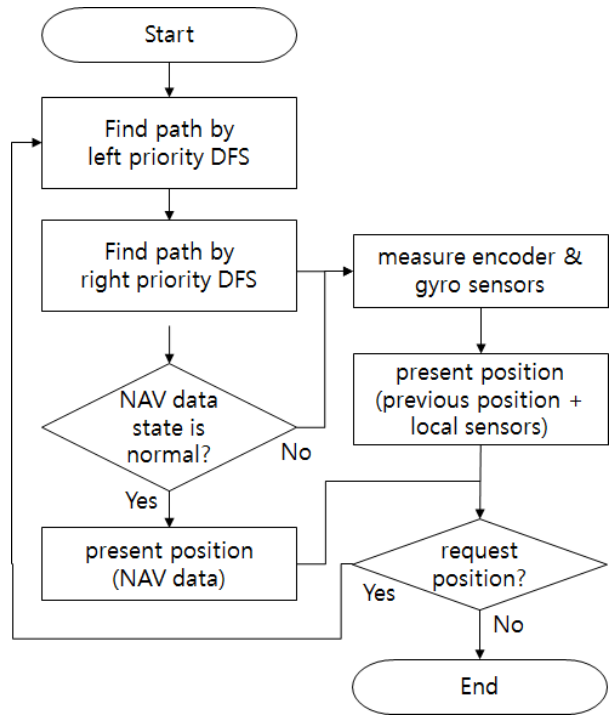


그림 4. Flow-chart of localization system

3. 경로 계획

이 장에서는 경로추적 방식의 AGV를 위한 경로를 계획하기 위해 노드 설정 및 2진 트리를 이용한 경로탐색 방법

을 설명한다.

3.1 양방향 단방향 주행구간 설정

여러 대의 AGV가 같은 공간에서 작업을 할 경우 교차 상태나 충돌이 일어날 수 있는데, 이는 대부분 물품을 하역하기 위해 이동하는 경유 지점에서 일어난다. 기존의 충돌회피 방법으로는 센서를 이용한 탐지^[12]나 이동 경로를 수학적으로 계산하여 회피하는 방법^[13] 등이 있다. 하지만 본 논문에서는 그림 5와 같이 적재 구역 이외의 구간을 단방향 구간으로 정의함으로써 인접 노드에 AGV가 있을 경우 이동을 제한하여 AGV의 충돌이나 교착이 일어날 수 있는 경로를 미리 배제하고, 또한 경로탐색의 연산량도 줄일 수 있도록 한다.

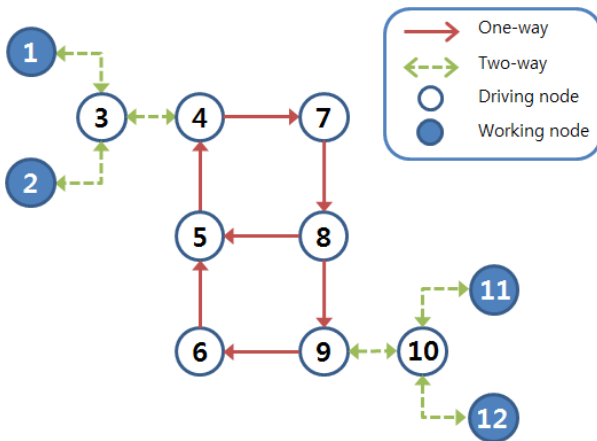


그림 5. Direction settings between each nodes

3.2 수정된 2진 트리

그림 5와 같이 단방향 구간과 양방향 구간으로 설정한 작업환경에 대한 경로를 자료구조로 나타내기 위해 수정된 2진 트리를 사용하였다. 수정된 2진 트리는 각 노드에서 이동 가능한 인접 노드를 해당 노드의 자식 노드로 표현하며 새로운 위치에서 경로를 탐색 할 때 마다 트리를 재구축 하는 문제를 해결하기 위해 루트를 없애고 순환(cycle)을 허용한다.

단방향 구간에서는 한 노드에서 이동 가능한 노드의 개수를 2개로 제한함으로써 2진 트리 구조를 만족한다. 반면, 양방향 구간에서는 한 노드에서 이동 가능한 노드의 개수가 3개 이상이 되는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 그림 6과 같이 적재할 노드에 들어갈 경우와 나올 경우를 각각 하나의 단방향 노드로 나누어 표현 하였다.

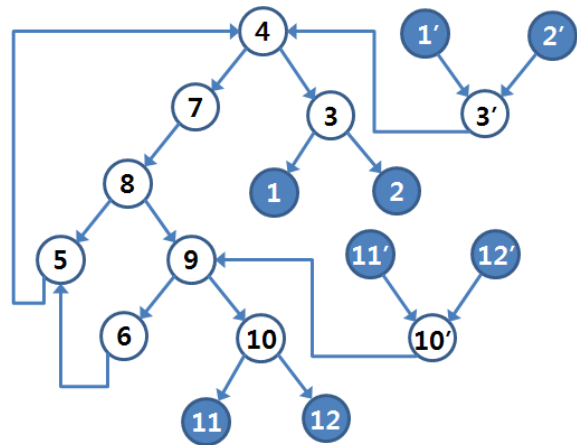


그림 6. Modified binary tree

3.3 최적 경로 탐색

AGV의 작업 경로를 탐색하기 위해 미리 생성한 2진 트리에서 AGV의 현재 위치에 해당하는 노드를 검색한다. 현재 위치에 해당하는 노드를 기준으로 목표 노드까지 깊이 우선 탐색(depth first search)을 수행한다. 탐색을 할 때 2진 트리의 두 개의 노드 중 왼쪽 자식 노드를 우선으로 탐색을 수행하여 하나의 경로를 찾은 후, 다시 오른쪽 자식 노드를 우선으로 탐색하여 총 두 개의 경로를 찾는다. 이렇게 찾아진 두 개의 경로 중 짧은 쪽이 최적경로가 된다. 이 때, 노드의 수에 따른 탐색 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 시간 복잡도(time complexity)를 계산하면 다음과 같다.

$$1 + b + b^2 + \dots + b^d = \frac{b^{d+1} - 1}{b - 1} \quad (4)$$

수식 (4)에 따라 시간 복잡도는 $O(b^d)$ 가 되는데 여기서 b 는 자식 노드의 개수이고, 트리의 깊이인 d 는 n 개의 노드에서는 $\log_b n$ 이므로 사용된 2진 트리에 적용하면 시간 복잡도는 $O(n)$ 이 된다.

4. 실험 및 결과

이번 장에서는 제안된 방법을 실제 AGV에 적용시켜 성능을 실험하고 그 결과에 대해 서술한다.

4.1 실험 환경

제안한 최적 경로탐색 방법의 성능 평가 실험을 위해 그림 7과 같은 환경에서 실험하였다. 실험 공간은 실제 AGV

가 운용되고 있는 환경으로 70 × 36m의 넓이에 147개의 양방향 노드와 69개의 단방향 노드가 존재한다. 실험은 AGV 한 대를 사용하여 총 10개의 서로 다른 출발점과 도착점을 지정하여 경로탐색을 하였다.

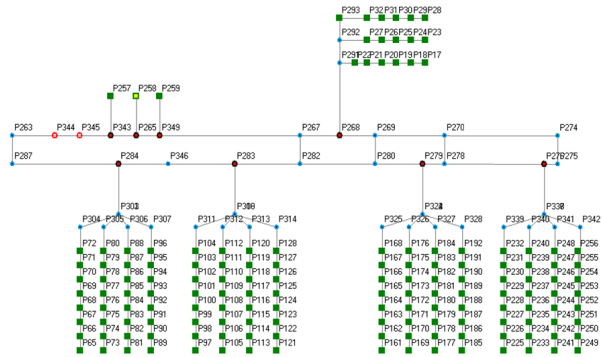


그림 7. Experimental environment

4.2 실험 결과

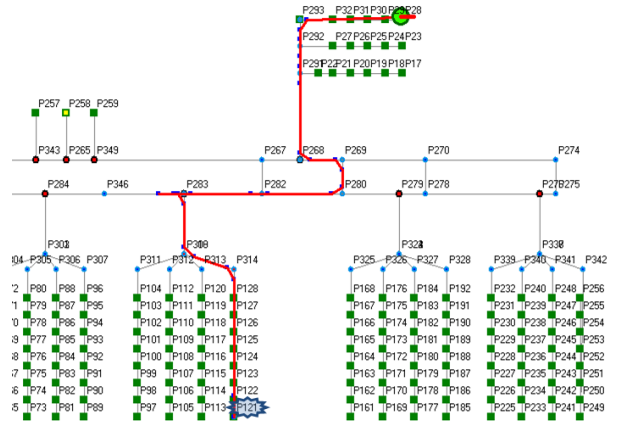
그림 8은 (P28) 위치에서 (P121) 위치로 경로계획을 한 결과로 각각 2진 트리에서 오른쪽 우선순위를 두고 검색한 경로와 왼쪽 우선순위를 두고 검색한 결과이다.

3장 3절에서 설명된 방법에 따라 둘 중 더 짧은 경로인 그림 8-a를 선택하며 이는 주어진 두 점 사이의 최적 경로임을 확인할 수 있다.

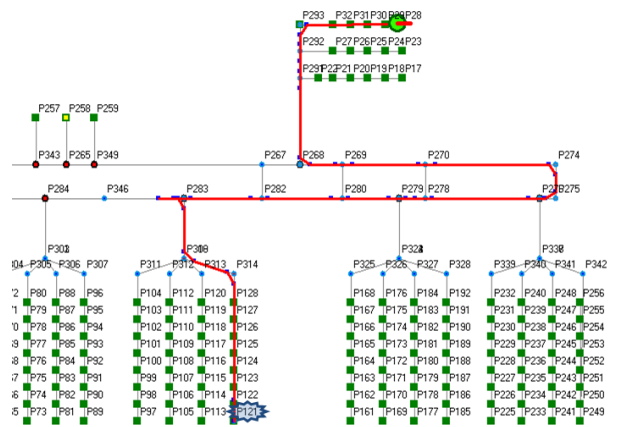
표 2는 같은 방법으로 서로 다른 임의의 지점에서 총 10회의 경로 계획 수행한 후, 최단경로와 그렇지 않은 경로의 경유지점의 개수를 각각 나타낸 표이다. 실험 결과, 임의의 모든 경로에서 1ms 이하의 속도로 경로가 계획되었고, 계획된 경로가 두 점 사이의 최적경로로 나타남을 확

표 2. Results of experiment

Path Plan Pt.		Number of Nodes	
From	To	Short	Long
13	33	29	40
2	225	27	27
23	81	26	37
106	129	34	45
257	57	28	39
41	261	25	25
262	259	22	22
28	121	25	36
249	17	29	38
17	1	27	38



(a) Left-priority DFS



(b) Right-priority DFS

그림 8. Results of path search

인할 수 있었다. 본 논문에서 제안된 방법을 실제 산업현장에서 사용되는 AGV의 운용을 통해 테스트해 본 결과, 효율적인 경로계획으로 유용성이 높아 실제 산업현장에 적용 가능함을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 경로 추적 방식의 AGV에 최적화된 작업 경로를 탐색하기 위해 수정된 2진 트리를 이용한 방법을 제안하였다. 기존의 경로탐색 방법은 연산량이 많고 교착 상태나 충돌에 대한 고려가 부족한 단점이 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 노드간 단방향 주행구간과 양방향 주행 구간을 설정하였으며 경로를 표현하기 위한 자료구조로 수정된 2진 트리를 사용하였다. 또한 수정된 2진 트리로 구축된 작업공간에서 깊이 우선 탐색을 통해 최단 경

로를 생성할 수 있는 방법을 제안하였다. 실제 AGV가 운용되고 있는 환경에서 제안된 방법을 적용하기 위해 각기 다른 출발 지점에서 실험을 한 결과 최적 경로 계획을 수행하는 것을 확인할 수 있었고, 실제 산업현장에 사용되는 AGV의 운용을 통해 제안된 방법이 실제 산업 현장에 적용 가능함을 확인하였다. 향후 연구 과제로는 제안된 경로 탐색 방법을 여러 대의 AGV에 적용하여 트래픽 제어를 통한 동시 작업을 연구 진행할 예정이다.

참고문헌

[1] 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.

[2] T. Le-Anh. "A review of design and control of automated guided vehicle system", *Eur J Oper Res*, Vol.171, pp.1-23, 2006.

[3] R. M. Iñigo, D. Alley, "Algorithms for path planning, navigation and guidance of an AGV", *Robotics and Autonomous Systems*, Vol.7, issue4, pp.309-326, 1991.

[4] 정경훈, 김정민, 박정제, 김성신, 배선일, "센서융합을 이용한 AGV의 라인 트래킹 방법", *한국지능시스템학회논문지*, Vol.20, No.1, pp.54-59, 2010.

[5] 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.

[6] 김정민, 허정민, 김성신, "수정된 유전자 알고리즘과 퍼지 추론 시스템을 이용한 무인 자율주행 이송장치의 다중경로계획", *한국해양 정보통신학회 논문지*, Vol.13, No.8, pp.1483-1490, 2009.

[7] Khanmohammadi, S. Mirnia, M.K. Rezvani, K. Badamchizadeh, "Multi AGV hybrid path planning using fuzzy inference systems", *2010 The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering*, Vol.1, pp.789-792, 2010.

[8] 배정연, 이수용, 이범희, "효율적 환경탐사를 위한 이동로봇 경로 계획기", *로봇공학회 논문지*, Vol.1, No.1, pp.9-16, 2006.

[9] J. 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.

[10] M. J. Caruso, T. Bratland, C. H. Smith and R. Schneider, "A New Perspective on Magnetic Field Sensing", *Sensor Magazine*, Vol.15, No.12, pp.34-46, 1998.

[11] 박정제, 김정민, 도주철, 김성신, 배선일, "레이저 유도 시스템을 이용한 AGV의 경로추적", *한국로봇학회 논문지*, Vol.5, No.2, pp.120-126, 2010.

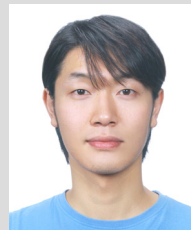
[12] 강재구, 이중재, 지민석, 유범재, "퍼지 위험지수에 의한 이동로봇의 물체 추적 및 장애물 회피 주행 제어기", *로봇공학회 논문지*, Vol.2, No.3, pp.212-220, 2007.

[13] 윤영환, 최정식, 이범희, "확장충돌맵의 수학적 분석을 이용한 다개체의 충돌탐지", *로봇공학회 논문지*, Vol.2, No.3, pp.234-241, 2007.



도 주 철

2010 부산대학교 정보컴퓨터 공학과(공학사)
 2010~현재 동대학원 전자전 기공학과 석사과정
 관심분야: 신호처리, 영상처리, 지능제어, 로봇



김 정 민

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



정 경 훈

2008 신라대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
2009 부산대 로봇대학원 로봇협동과정 석사과정
관심분야: 신호처리, 지능제어, 지능형 로봇



김 성 신

1986 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
1996 Georgia Inst. of Technology, 전기및컴퓨터공학과 (공학박사)
1998~현재 부산대학교 전자전기공학과 교수
관심분야: 지능 시스템, 지능형 로봇, 고장 예측 및 진단



우 승 범

2009 신라대학교 컴퓨터정보공학부 (공학사)
2010 부산대 로봇대학원 로봇협동과정 석사과정
관심분야: 지능 제어, 지능형 로봇