

중량물 운송을 위한 AGV의 주행 제어 방법

Velocity Control Method of AGV for Heavy Material Transport

우승범¹ · 정경훈¹ · 김정민² · 박정제² · 김성신^{2*}

Seungbeom Woo, Kyunghoon Jung, Jungmin Kim, Jungje Park, and Sungshin Kim

¹부산대학교 로봇협동과정

E-mail: {rhei, hooraring}@pusan.ac.kr

²부산대학교 전자전기공학과

E-mail: {parkjj, kjm16, sskim}@pusan.ac.kr

요 약

본 논문은 중량물 운송을 위한 AGV(autonomous guided vehicle)의 주행 제어 방법에 관한 연구이다. 일반적으로 실제 산업 현장에서 하루 20시간 이상 작업하는 경로 추적 방식의 fork-type AGV는 팔레트 하역 작업 시에 목표 지점에 대한 높은 정지 정밀도와, AGV의 정지 정밀도를 높이기 위해 저속으로 주행 하는 기술이 요구 된다. 따라서 본 논문에서는 엔코더의 데이터를 계속 받아 AGV의 주행 속도를 측정 및 분석하여 AGV의 최저 주행 속도 유지 및 AGV의 정지 정밀도를 높이는 주행 제어 방법을 연구 하였다. 본 논문에서 제안한 주행 제어 방법의 실험은 팔레트 앞 4m 지점부터 직선 주행 후에 팔레트 하역 작업을 수행하도록 하였고, 총 10회 실험 후에 이들의 정밀도를 분석하였다. 그 결과, 팔레트 하역 시 목표 지점에 대한 정지 정밀도의 최대 오차가 18.64mm이내로 높은 정지 정밀도의 안정적인 주행 제어가 가능함을 확인 할 수 있었다.

키워드 : 중량물 운송, AGV, 주행 제어, 속도 제어, 팔레트

Abstract

This paper presents to study the velocity control method of AGV for heavy material transport. Generally, in the industries, fork-type AGV using path tracking requires high stop-precision with performing operations for 20 hours. To obtain the high stop-precision of AGV for heavy material transport, AGV requires driving technic during low speed. Hence, we use encoder with keeping the speed of AGV and study the velocity control method to improve for the stop-precision of AGV. To experiment the proposed the velocity control method, we performed the experiments engaging the pallet located 4m in front of the AGV. In the experimental result, the maximum error of stop-precision was less than 18.64mm, and we verified that the proposed method is able to control stable.

Key Words : heavy material, AGV, driving control, velocity control, pallet

1. 서 론

1980년대 이후 산업 현장에서는 생산성을 향상하기 위해 유연 생산 시스템을 구성하는 사례가 늘어나고 있으며, 다양한 공간에서 작업이 가능하고, 작업 환경의 변화에 따른 적응성이 뛰어난 자율 주행 운송 차량인 AGV의 수요가 증가되고 있다. 특히 작업 환경이 복잡한 FMS의 특성 때문에 다양한 작업 용도로 활용 가능한 fork-type AGV에 대한 관심이 높아지고 있다[1-3].

접수일자 : 2010년 4월 3일

완료일자 : 2010년 5월 14일

"본 논문은 본 학회 2009년도 추계 학술대회에서 선정된 우수논문입니다."

* Corresponding Author : sskim@pusan.ac.kr

본 연구는 (부산대학교 특수환경 Navigation/localization 로봇기술연구센터를 통한) 지식경제부/한국산업기술진흥원 융복합형로봇전문인력양성사업의 지원으로 수행되었음

산업 현장에 적용되는 AGV의 주행 제어는 크게 AGV의 전역 위치를 계측하여 제어 하는 방법과 AGV가 이동하게 될 전체 공간에서의 상대적 지역 위치를 계측하여 제어하는 방법 두 가지로 구분된다. 전자의 경우 유도선에 의한 유도 방식과 레이저 내비게이션에 의한 유도 방식 등이 연구되고 있다. 유도선 유도 방식은 대표적으로 자기-자이로 유도(magnet-gyro guidance) 방식과 유선 유도(wire guidance) 방식으로 나뉜다. 하지만 유도선 유도 방식은 설치 및 유지 보수에 따른 비용이 높고, 환경에 따른 제약이 크다. 이러한 문제를 해결하기 위해 레이저 내비게이션에 의한 유도 방식이나 초음파 위성 유도 방식 등이 연구되고 있지만 센서들의 느린 반응 속도로 인하여 고속 주행 시에 위치 측정이 어려운 문제점이 있다. 그리고 AGV가 이동 하게 될 전체 공간에서의 상대적인 위치를 계측하는 방법은 SLAM(simultaneous localization and mapping) 이라는 특수한 분야로 현재 활발히 연구되고 있다[4-6].

AGV의 제어 방법 중, AGV의 전역 위치를 계측하여 제

어하는 방법의 경우 본 논문에서 적용된 레이저 내비게이션에 의한 위치 측정 방식은 유도선 유도 방식보다 위치 측정 정밀도가 낮고 위치 측정 센서의 느린 응답 속도 때문에 고속 주행 시에 정확한 위치를 측정하는 것이 어렵다. 따라서 팔레트를 하역하는 특성으로 인해 AGV를 정확한 위치에 정지시키는 기술을 요구하는 fork-type AGV에 적용하는 것은 비효율적이다. 그리고 정확한 위치 측정을 위해 낮은 전압을 출력 시켜도 주변 작업 환경에 따라 AGV의 속도는 불규칙 적으로 변화하며 AGV가 멈추거나 출력 전압에 대한 속도보다 빠른 속도로 주행하는 경우가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 AGV를 주행 가능한 최저 속도로 주행하여 정확한 위치 측정 정보를 측정할 수 있고, 팔레트 하역을 위해 정확한 작업 위치에 정지시킬 수 있는 속도 제어 방법을 제안한다.

제안된 방법은 AGV가 주위 환경의 영향을 받아 주행 시에 예측 불가능한 상황이 발생하는 실제 산업 현장을 목표로 한다. 그러므로 정확한 실험을 위해 AGV 개발 전문 업체인 ㈜ATIS와 함께 실제 주행 가능한 fork-type AGV를 제작하였다. 제작된 AGV는 전역위치 측정을 위한 레이저 내비게이션 센서인 SICK사의 NAV200과, 지역위치 측정을 위한 엔코더와 자이로 센서를 융합하여 AGV의 위치를 측정하며, AGV의 속도는 포크 하단에 위치한 구동 바퀴 앞에 설치된 엔코더를 이용하여 측정한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제작된 fork-type AGV의 시스템에 대하여 소개하고, 3장에서는 AGV의 자율 주행을 위한 제어부에 대하여 기술한다. 4장에서는 제안된 방법을 설명하고, 5장에서는 제안된 방법의 검증에 위한 실험 및 결과 분석을 보인다.

2. 제작된 fork-type AGV

본 논문에서는 제안된 속도 제어 방법의 실험을 위해 ㈜ATIS와 함께 AGV를 제작하였다.

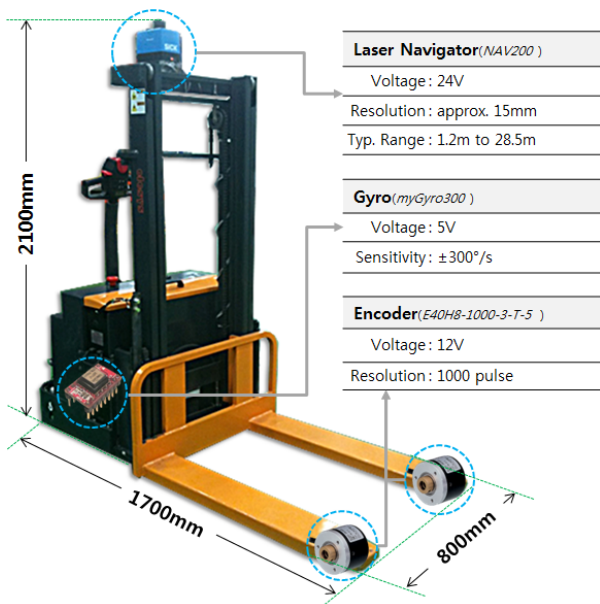


그림 1. 제작된 fork-type AGV
Fig. 1. Designed fork-type AGV

제작된 fork-type AGV는 전동 리치 스택커 타입을 원형으로 하며, 주행 구동부는 차축 구동 방식을 이용한다. 제작된 fork-type AGV의 외형은 그림 1과 같다.

그림 1에서 AGV의 원형이 되는 전동 리치 스택커의 최대 운송 중량은 1000kg 이며 실제 1000kg의 중량물을 운송할 경우 AGV의 무게가 더해져 AGV의 주행 모터는 최대 2000kg의 무게를 운송하게 된다. 중량물은 부피에 비하여 무거운 운송물을 말하며, 일반적으로 수 백 kg에서 수 만 kg까지의 운송물을 뜻한다. fork-type AGV의 주요 요소인 포크의 경우 유압으로 동작하며 포크 상승 및 하강 위치는 포크의 리프트에 위치한 근접 센서를 이용하여 제어한다. 하지만 본 논문에서는 AGV의 정지 정밀도만을 측정하므로 포크 제어에 따른 제반 사항은 고려하지 않는다. 제작된 fork-type AGV에 적용된 시스템 구성은 그림 2와 같다.

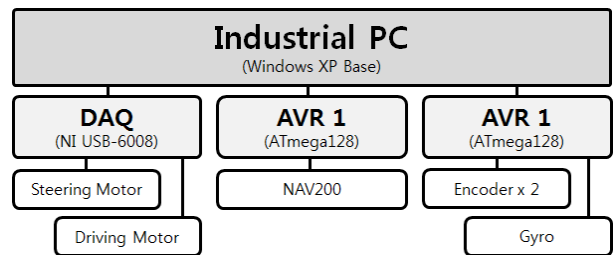


그림 2. AGV의 시스템
Fig. 2. System of AGV

그림 2에서 NAV200의 계측 값은 500ms 마다, 엔코더 및 자이로의 계측 값은 100ms 마다 AVR을 이용하여 RS-232 통신을 통해 PC의 메인 제어부로 전달된다. 이때 메인 제어부에서는 각각의 계측 정보를 융합하여 AGV의 실제 위치를 측정한다. 그림 2에서 DAQ는 메인 제어부로부터 주행 및 조향 제어부를 제어 하기 위한 신호 전달에 이용한다. AGV의 메인 제어부에 적용된 센서 융합 알고리즘은 그림 3과 같다[7,8].

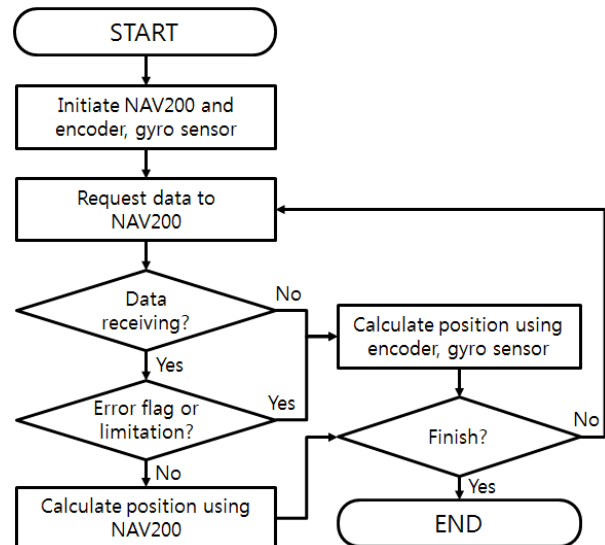


그림 3. 센서 융합 흐름도
Fig. 3. Flowchart of sensor fusion

그림 3에서, 시스템이 시작되면, 각 센서들을 초기화 한

다. 시스템 시작 후 NAV200에 좌표 값을 요청하면 425ms마다 데이터를 AVR1로 전달하고, AVR2에서 100ms마다 엔코더와 자이로 데이터를 계측하여 메인 제어부로 전달 하므로, 시스템의 동기화를 위해 AVR1에서는 500ms 마다 메인 제어부로 NAV200의 계측 데이터를 전달한다. NAV200으로부터 데이터를 전달 받으면, 에러 플래그를 검사하게 되고 에러가 없는 데이터인 경우 NAV200의 좌표 데이터를 AGV의 위치 값으로 이용한다. 그리고 NAV200으로부터 데이터를 받지 못하는 시간 간격과 에러 플래그를 받은 경우 엔코더와 자이로 센서 데이터를 AGV의 위치 값으로 이용한다.

3. 주행 제어부

본 논문에서는 전역 위치 측정 센서인 NAV200과 지역 위치 측정 센서인 엔코더와 자이로를 융합하는 방법을 이용하여 위치 측정을 하고, 측정된 위치 정보를 이용하여 AGV의 주행 제어를 한다. 실험에 사용된 AGV는 정밀한 방향 제어를 위해 퍼지 제어와 비례 제어 기법을 적용한다[9].

실험에 사용된 AGV의 제어기는 조향 구동부의 스트레스를 줄이기 위해 곡선 구간 내에서 AGV와 AGV가 향하는 목표 지점과의 각도차가 $-15^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 인 경우에만 퍼지 제어를 적용하지만, 팔레트 하역 작업 공간에서 목표 지점에 AGV가 도착 하였을 시에 AGV의 각도 오차를 최소화하기 위해 작업 공간 내에서의 주행 제어는 퍼지 제어 기법을 적용한다[9].

4. 제안된 속도 제어 방법

fork-type AGV의 경로 추적 방식은 그림 4과 같이 각각의 경유 지점(via-point)과, 경유 지점을 연결하는 가상의 라인을 따라가는 방식으로 주행한다[8].

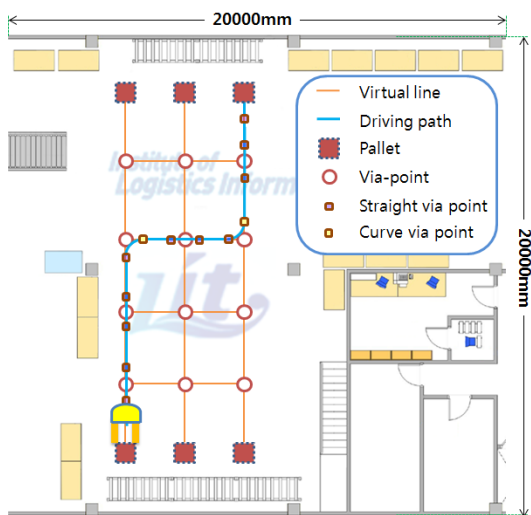


그림 4. 경로 추적에 의한 주행 방법
Fig. 4. Driving method by path tracking

전역 위치 측정을 위해 이용하는 NAV200은 500ms마다 AGV의 위치 측정이 가능하고, AGV의 전역 위치가 측정되지 않는 시간 동안 엔코더와 자이로 센서의 지역 위치 측정

데이터를 이용하여 100ms마다 AGV의 위치 측정이 가능하다. 하지만 엔코더와 자이로 센서는 외란에 의한 오차가 누적되어 신뢰성이 낮은 문제점이 있어, 엔코더와 자이로 센서를 이용하여 AGV를 팔레트 하역 위치에 정확히 정지시키는 것은 부정확하며, 위치 측정 오차가 4~5mm 이하이고 외란에 강인한 NAV200의 위치 측정 데이터를 이용하는 것이 정확하다. 특히 본 논문에서 사용된 fork-type AGV는 완전한 자율 주행이 아닌 가상의 라인을 추적하는 경로 추적 방식을 이용한다.

일반적으로 경로 추적 방식의 AGV는 물리적인 라인을 추적하는 유도선 방식을 주로 적용한다. 그러나 본 논문에서 사용된 fork-type AGV는 레이저 내비게이션 센서를 사용하기 때문에 완전한 자율 주행이 가능하다. 즉, 자율 주행이 가능한 AGV를 정해진 경로를 따르게 하는 것은 정해진 경로가 없는 일반적인 자율 주행보다 정밀도가 낮다. 그림 4와 같은 형태의 작업 공간에서, AGV는 일정한 구간에서 최대한 많은 위치 측정 정보를 얻는 것이 높은 위치 측정 정밀도를 얻을 수 있다. 따라서 정지 정밀도를 높이기 위해서는 AGV가 주행 가능한 최저 속도로 주행해야 한다. 그리고 최저 속도로 주행하기 위해서는 주행을 위한 최저 전압이 아닌 주행 가능한 최저 속도로 AGV를 제어해야 한다. 일정한 전압만을 이용하여 제어 할 경우 그림 5와 같이 AGV의 속도가 불규칙적으로 변하는 것을 알 수 있다. 그림 5에서 그래프 상의 점은 100ms마다 측정된 AGV의 좌표 값이고, 각 점의 간격은 AGV의 속도 변화를 의미 한다.

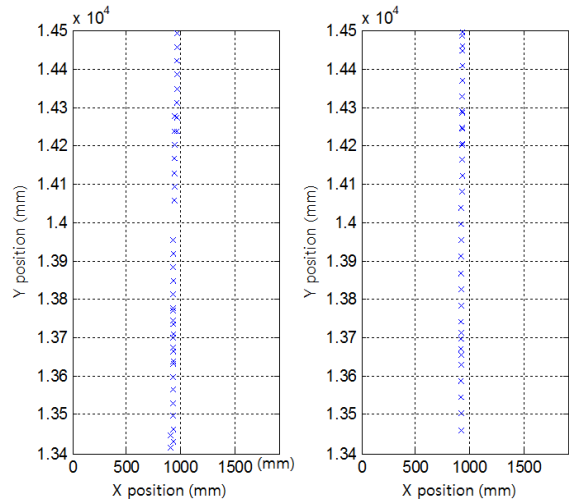


그림 5. 일반적인 주행 방법의 속도 변화
Fig. 5. Velocity change of general method

그림 5와 같이 속도가 불규칙적으로 변하는 것은 AGV 주행 모터의 출력이 낮거나 바닥 환경이 고르지 못한 것에 기인한다. 즉 AGV의 바퀴에서 슬립 현상이 발생 하거나 동일한 전압에서 주행 모터의 낮은 출력으로 모터 구동이 전혀 이루어지지 않는 것을 의미 한다. 일반적인 산업 현장의 경우 AGV는 운송물을 적재한 상태와 적재하지 않은 상태로 주행하게 되며, 작업 환경이 균일하지 못하다. 그러므로 AGV의 속도를 계측하여 출력 전압을 조절하는 것이 효율적이다. 본 논문에서는 속도 제어를 위한 방법으로 AGV의 속도에 따라 출력 전압을 비례적으로 제어하는 방법을 적용하여 AGV의 속도를 제어하였다. 그림 6은 제안된 속

도 제어 방법의 흐름도이다.

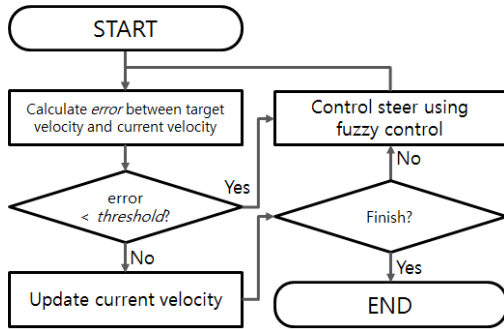


그림 6. 속도 제어 방법의 흐름도
Fig. 6. Flowchart of velocity control method

그림 5에서 오차(error)는 목표 속도와 현재 속도의 차이이고, 임계값(threshold)은 목표 속도 도달 여부를 판단하는 임계값이다. 본 논문에서는 반복적인 실험을 통해 얻어진 값인 0.05를 임계값에 적용한다. AGV의 속도는 포크 앞 부분에 설치된 엔코더를 이용하여 100ms마다 계측한다. 계측된 속도는 목표 속도 V 에 가까워지도록 비례적으로 가속 및 감속 시킨다. 본 논문에서 적용된 속도 제어 방법에서 AGV의 다음 속도 V_{t+1} 는 식 1에 의해 계산된다.

$$V_{t+1} = V_t + (V - V_t) \times C \quad (1)$$

식 (1)에서 V_t 는 AGV의 현재 속도 이고, V 는 목표 속도 이다. C 는 속도를 비례적으로 가속 또는 감속하기 위한 상수이며 논문에서는 반복적인 실험을 통해 얻어진 값인 0.1 을 C 에 적용한다.

5. 주행 실험 및 결과 분석

5.1 실험 환경

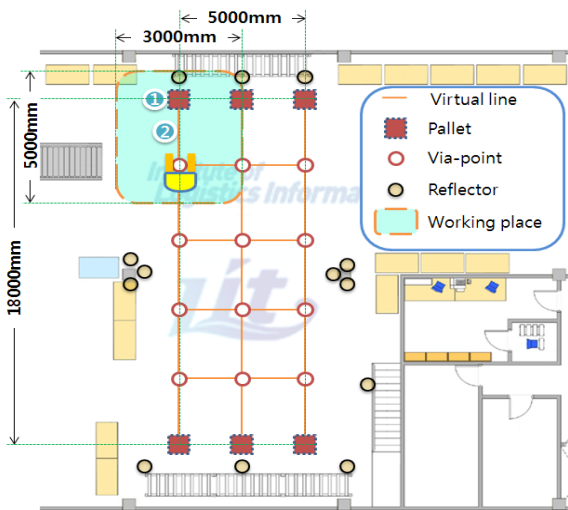


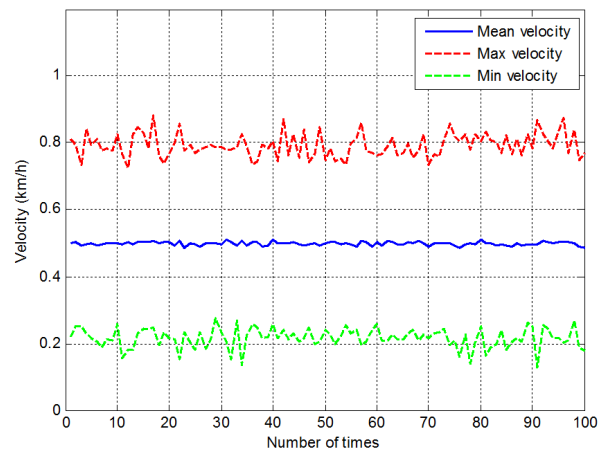
그림 7. 실험 환경
Fig. 7. Experimental environments

본 논문에서 제안된 주행 제어 방법을 실험하기 위해 가로, 세로 각각 3m, 5m인 공간에서 직접 제작한 fork-type AGV를 실제로 반복 주행 하였다.

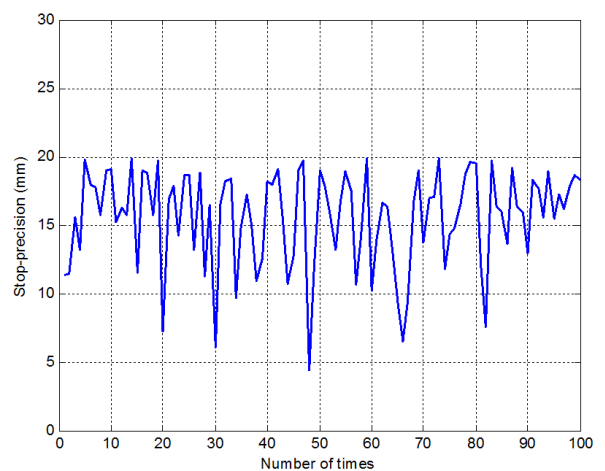
주행 제어 실험을 수행하기 위해 가상으로 설정한 작업 공간은 그림 7과 같다. 그림 7에서 전체 실험 환경은 가로, 세로 각각 5m, 18m이고, 13개의 반사체는 13를 설치하였다. 반사체의 위치와 설치 개수는 반복적으로 레이저 내비게이션 센서의 위치 인식 실험한 후 결정하였다. 실험 환경은 임의로 설정한 작업 공간(working place)이며, 작업 공간에서 AGV 앞 4m 지점을 목표 지점으로 설정하여, 시뮬레이션으로 100회 실험을 반복하였다. 그리고 실제 제작된 fork-type AGV에 제안된 방법을 적용하여 10회 반복 실험 하였다.

실험 방법은 그림 7에서 ① 위치에 대한 정지 정밀도를 분석 하고, ② 구간에서 팔레트 작업을 위한 정지 전까지 AGV가 안정적인 속도로 주행 하는지 분석하였다.

5.2 시뮬레이션 실험



a. 평균, 최대, 최소 속도
a. Mean, Max, Min velocity



b. 정지 정밀도
b. Stop-precision

그림 8. 시뮬레이션 실험 결과
Fig. 8. Result of simulation

시뮬레이션 실험은 제안된 방법을 실제 AGV에 적용 하기 전에 제안된 방법의 안정성을 확인하기 위하여 수행 하였다. 시뮬레이션 상의 AGV의 주행 속도는 실제로 계측된 AGV의 출력 전압에 대한 주행 속도를 비례적으로 적용 하였고, 실제 현장과 비슷한 조건으로 실험하기 위해 작업 공간 내에 굴곡과 모래 등이 존재하는 것으로 가정하여 그림 7의 ② 구간에서 가우시안 오차를 적용하였다. 그리고 AGV의 좌표 측정 오차는 NAV200의 좌표 측정 오차인 $\pm 4\sim 5\text{mm}$ 로 설정 하였다. 그림 8은 100회의 시뮬레이션 실험 결과이다.

그림 8에서 8(a)는 AGV의 속도에 대한 최대, 최소, 평균 을 나타내고, 8(b)는 정지 정밀도를 나타낸다. 제안된 방법 을 시뮬레이션 실험에 적용한 결과 평균 속도가 안정적으로 제어되고, 정지 정밀도가 20mm 이하로 높은 정지 정밀도를 나타내는 것을 그림 8에서 확인 할 수 있다.

5.3 주행 실험

표 1은 제작된 fork-type AGV에 제안된 방법을 적용하여 반복 주행 실험을 수행한 결과이다.

표 1에서, 그림 7의 ① 위치에서 AGV의 정지 정밀도는 목표 지점과 AGV 사이의 거리 오차와 각도 오차이고, 그림 7의 ② 구간에서 AGV의 직선 주행 결과는 구간 별 최저 속도와 최대 속도, 그리고 평균 속도이다. 직선 주행 구간에서는 AGV가 항상 비슷한 속도로 주행 하는 것을 표 3 에서 확인 할 수 있다. 그리고 AGV의 정지 정밀도가 최대 18.63mm와 1.88°로 정밀한 정지가 가능한 것을 확인 할 수 있다.

표 1. 주행 실험 결과

Table 1. Result of driving test

차수	②직선 주행(km/h)			①정지 정밀도	
	최대	최소	평균	거리(mm)	각도(°)
1	0.53	0.30	0.41	12.95	-0.05
2	0.52	0.27	0.44	7.77	1.88
3	0.59	0.26	0.41	4.20	-0.78
4	0.59	0.36	0.46	5.40	0.34
5	0.59	0.44	0.50	7.45	-0.14
6	0.59	0.26	0.42	6.83	-0.79
7	0.59	0.31	0.42	15.72	-1.77
8	0.59	0.25	0.41	17.47	0.55
9	0.57	0.32	0.43	18.63	-1.02
10	0.59	0.27	0.54	5.17	-0.74

6. 결 론

본 논문에서는 중량물 운송을 위한 fork-type AGV의 주행 제어 방법을 연구하였다. 일반적으로 fork-type AGV는 안정적인 주행 제어와 함께 팔레트 하역 작업을 위한 높은 정지 정밀도를 요구하기 때문에 AGV의 정지정밀도를 높이기 위해 AGV가 주행 가능한 최저 속도로 주행 시키는 주행 제어 방법에 대하여 이야기 하였다. 실험에 사용된 AGV는 개발 전문 업체인 (주)ATIS와 협력하여 제작하였으며, 제작된 AGV는 레이저 내비게이션 센서를 이용한 전역 위치

측정 데이터와 엔코더/자이로 센서를 이용한 지역 위치 측정 데이터를 융합하여 측정된 위치 측정 데이터를 이용하여 주행 제어를 하였다. AGV의 속도는 엔코더를 이용하여 측정하고, 측정된 거리 데이터를 분석하여 AGV가 주행 가능한 최저 속도를 유지하는 속도 제어 방법을 연구 하였다. 팔레트 앞 4m 지점에서 팔레트 하역 위치에 정지시키는 실험을 10회 반복 수행 한 결과, AGV 정지 정밀도의 최대 오차가 18.63mm로 제안된 주행 제어 방법이 fork-type AGV의 팔레트 하역 작업에 적합한 것을 확인하였다.

향후 연구 과제로는 직선 및 곡선 구간 주행 시 안정적인 주행 속도 제어 방법에 관한 연구를 진행 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] K. S. Kim, B. D. Chung, "Design for a tandem AGV system with two-load AGVs," *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 53, pp. 247-251, 2007.
- [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] 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.
- [4] E. Asadi, M. Bozorg, "A Decentralized Architecture for Simultaneous Localization and Mapping," *IEEE Transactions on Mechatronics*, Vol. 14, No. 1, 2009.
- [5] Y. J. Ryoo, E. S. Kim, and Y. C. Lim "Intelligent Positioning System for Magnetic Sensor Based Autonomous Vehicle," *SCIS & ISIS*, 2004.
- [6] 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.
- [7] A. Dogandzic, J. Riba, G. Seco, and A. L. Swindlehurst, "Positioning and Navigation with Applications to Communications," *IEEE Signal Proc. Magazine*, Vol. 22, No. 4, pp. 10-11, 2005.
- [8] 정경훈, 김정민, 박정제, 김성신, 배선일, "센서융합을 이용한 AGV의 라인 트래킹 방법," *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 20, No. 1, pp. 54-59, 2010.
- [9] 김정민, 박정제, 전태룡, 김성신, "퍼지와 비례 제어를 이용한 지게차 AGV의 주행제어," *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 19, No. 5, pp. 699-705, 2009.

저 자 소 개



우승범(Seungbeom Woo)
2009년 : 신라대학교 컴퓨터정보공학부 (공학사)
2010년 : 부산대 로봇대학원 로봇협동과정 석사과정

관심분야 : 지능 제어, 로봇
E-mail : rhei@pusan.ac.kr



정경훈(Kyunghoon Jung)
2008년 : 신라대학교 컴퓨터공학과(공학사)
2009년 : 부산대 로봇대학원 로봇협동과정 석사과정

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



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

관심분야 : 신호처리, 지능 시스템, 지능형 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



김성신(Sungshin Kim)
1986년 : 연세대학교 전기공학과(공학석사)
1996년 : Georgia Inst. of Technology, 전기및컴퓨터공학과 (공학박사)
1998년~현재 : 부산대학교 전자전기통신 공학부 교수

관심분야 : 지능 시스템, 지능형 로봇, 고장 예측 및 진단
Phone : +82-51-510-2374
Fax : +82-51-513-0212
E-mail : sskim@pusan.ac.kr