

PLC 내장형 무인 반송차(AGV) 제어기 설계

이주원¹, 이병로^{2*}

¹안동과학대학교 전기자동화과, ²경남과학기술대학교 전자공학과

Design of Automatic Guided Vehicle Controller with Built-in Programmable Logic Controller

Ju-Won Lee¹, Byeong-Ro Lee^{2*}

¹Department of Electric and Automation Engineering, Andong Science College

²Department of Electronics Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology

요 약 최근 산업현장에서는 생산성, 품질, 고객 만족도를 향상시키기 위해 정보통신기술(ICT)을 기반으로 한 스마트 팩토리 체제로 전환하고 있다. 스마트 팩토리를 실현함에 있어 가장 중요한 장치는 무인 반송차(AGV)이며, AGV의 도입이 증가하고 있다. 일반적으로 AGV는 범용 PLC를 이용하여 개발하고 있으나, 범용 PLC로 개발된 AGV의 가격은 고가이며, 부피 또한 크다. 한편, 산업현장에서는 작업장의 공간적 제약 때문에 소형화, 용이한 재구성 등이 가능한 저가의 AGV를 요구하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 PLC 내장형 AGV 제어기의 설계법을 제안하고, 그 성능을 평가하였다. 그 결과, 우수한 속도제어와 주행 정밀도(속도제어 오차=0.021[m/s], 주행자세제어의 평균오차 = 2.1[mm])를 보였다. 이와 같이 제안된 AGV 제어기를 산업현장에 적용한다면, 저비용으로 소형화와 재구성 등이 가능할 것이다.

• 주제어 : 무인 반송차, 프로그래머블 로직 제어기, PD 제어기, 가이드 센서, 자세제어

Abstract Recently, the industrial field has been changed to the smart factory system based on information and communication technology (ICT) in order to improve productivity, quality and customer satisfaction. The most important machine to realize the smart factory is the AGV(automatic guided vehicle) and the adoption of AGV is increasing. Generally, AGV is developed using general purpose PLC(Programmable Logic controller), but the price of AGV is expensive and its volume is large. On the other hand, the industrial field due to space constraints in the workplace is required the low cost AGV which can be minimization, expansion of function, and easily reconfiguration. Therefore, in order to solve these problems, this study is proposed a design method of AGV controller with built-in PLC, and evaluated its performance. In the results of the experimentation, it showed good performance (speed control error = 0.021[m/s], posture control error=2.1[mm]) for the speed and posture control. In this way, when applying the proposed AGV controller in this study to the industrial filed, it is possible to reduce the size and reconfigure at low cost.

• Key Words : Automatic Guided Vehicle, Programmable Logic Controller, PD Control, Guide Sensor, Posture Control

Received 24 June 2019, Revised 24 September 2019, Accepted 30 September 2019

* Corresponding Author Byeong-ro Lee, Department of Electroincs Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Dongjin-ro 33, Jinju-si, Korea. E-mail: voyager@gntech.ac.kr

I. 서론

현재 산업현장은 생산의 유연성과 생산 효율성, 고객 만족도 등을 향상시키기 위해 스마트팩토리(smart factory) 체계로 전환하고 있다. 스마트팩토리 체계를 실현하기 위해 대표적으로 도입되는 기기가 무인반송차(AGV: automatic guided vehicle)이며, AGV의 도입이 점차적으로 증가하고 있다[1]~[3]. 이 AGV를 도입함에 있어 현장에서는 작업 공간과 취급자재의 다양성 등을 고려하여 그에 적합한 형태와 기능을 가진 AGV를 개발한다. 일반적으로 AGV 개발은 산업현장에서 널리 쓰이고 범용 PLC(Programmable Logic Controller)를 이용하여 개발하고 있으나[4]~[7], 범용 PLC를 이용하여 AGV 개발을 할 때 PLC CPU 모듈, 2-채널 모터드라이버 모듈, 다채널 입출력 모듈, 통신 모듈, 아날로그 디지털 변환 모듈 등의 별도의 단위 장치가 필요하며 가격 또한 고가이다.

한편, 산업현장에서는 공정 작업장의 공간적 제약으로 소형화와 재설계/재구성의 용이성, 간편한 유지보수 기능 등을 요구하고 있다. 그러나 범용 PLC로 개발된 AGV는 부피가 커서 산업현장에서 활용함에 공간적으로 제약을 받는다. 이러한 단점 속에서도 범용 PLC 제어기를 이용하여 AGV를 개발하는 이유는 현장 기술자들에 의해 AGV의 기능(컨베이어 연동기능, 적재 리프트 기능 등)을 추가하는 재구성/재설계가 용이하기 때문이다. 최근에는 이러한 문제점을 해결하기 위해 AGV용 주행제어기가 개발되어 산업현장에 적용하고

있지만 별도 PLC를 추가적으로 구비하여 AGV를 개발하고 있다[4][7]. 따라서 본 연구에서는 재설계/재구성의 유연성과 AGV의 소형화 문제를 해결하기 위해 PLC 내장형인 On-Board 타입의 AGV 제어기 설계법을 제안한다. 제안된 AGV 제어기는 PLC 제어부와 AGV 주행/자세 제어부, 외부센서 인터페이스부 등으로 이루어져 있으며, PLC 제어부는 전/후방 센서, 범퍼 스위치, 출발/정지, 분기와 속도조절 등을 관장하는 주(main) 제어기로 시스템 전체를 제어하도록 하였으며, AGV 주행/자세 제어부는 내장된 PLC 제어기로부터 제어 명령을 전송받아 AGV의 주행과 자세를 제어하도록 하였다. 그리고 제안된 AGV 제어기를 구현하고 실제의 AGV에 장착하여 그 성능평가 결과를 제시하였다.

II. PLC 내장형 AGV 제어기 설계

본 연구에서는 기존의 범용 PLC를 사용한 AGV 제어기 대신에 그림 1과 같이 PLC를 내장한 AGV 제어기의 구조를 제안한다. 제안된 AGV 제어기 구조는 PLC 제어부, AGV 주행자세 제어부, 조이스틱부, 외부센서 입력부, RFID 입력부, 디지털 입출력부, 마그네틱 가이드 센서부 등으로 이루어져 있으며, 각 부분의 대한 세부적인 설계 내용은 다음과 같다.

2.1 PLC 제어부 설계

PLC 제어부는 컴파일 테크놀로지사의 CB405 PLC Engine CPU[8]를 선정하여 그림 2와 같이 전/후방 센

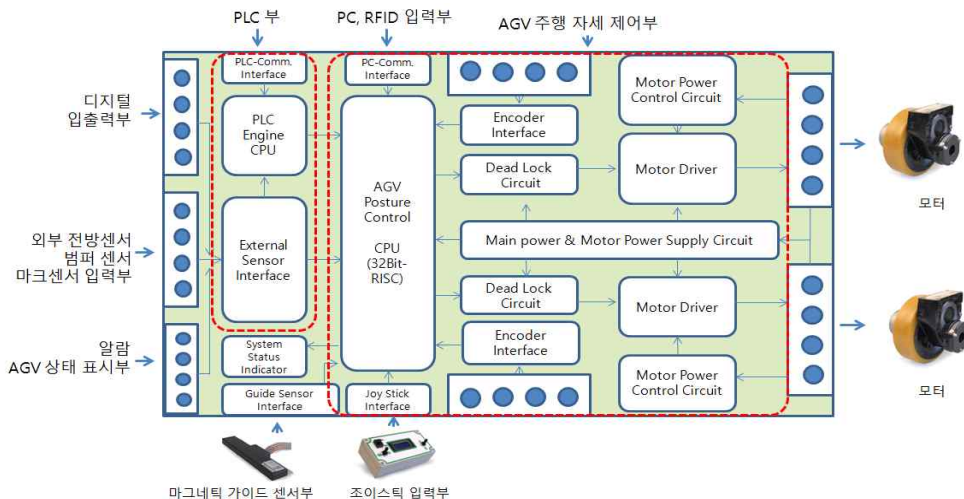


Fig. 1. Structure of the proposed AGV controller with built-in PLC

서, 범퍼 스위치, 기타 입/출력(출발, 정지), 분기 및 속도 조절 등을 위한 주(main) 제어기로 전체시스템 제어를 담당하도록 설정하여 설계하였다. 그리고 PLC와 Leader 프로그램(PC) 간의 접속을 위해 시리얼 통신 포트, 분기 및 속도 제어를 위한 RFID 인터페이스, PLC 제어 부와 AGV 모션 제어부 간의 통신을 19200[bps] 비동기 직렬통신으로 명령(모션제어 명령)을 송수신하도록 하였으며,)와 같이 PLC 프로그래밍용 GUI-인터페이스를 사용할 수 있도록 하였다. 현장에서 재설계와 재구성이 용이하도록 PLC 제어부에 출발신호, 주행 정지, 비상정지, 전방센서, 범퍼센서, 경고, 리프트, 컨베이어 모터제어 등을 처리할 수 있는 16-채널 입출력 인터페이스를 추가하였다.

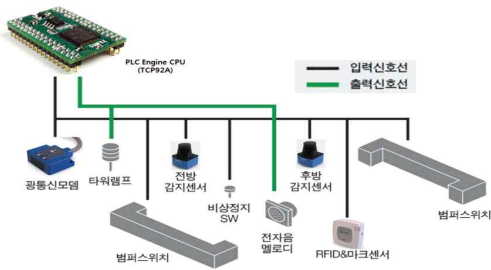


Fig. 2. Device interface structure of the proposed AGV controller

2.2 AGV 주행자세 제어부 설계

AGV 주행자세 제어부는 메인 CPU부, 모터 드라이버부, 과전류 검출부, PD 제어 알고리즘 등으로 구성되어 설계하였다. AGV 주행자세 제어부의 메인 CPU부는 PLC로부터 AGV 주행 명령을 수신함 동시에 두개 모터의 속도제어가 이루어져야 한다. 따라서 50[MIPS] 이상의 처리속도와 2-채널의 엔코더 입력처리가 가능한 T1사의 Tiva-C(TM4C123 BH6PZ, Cortex-M4)를 CPU 선정하여 설계하였다. 모터 제어를 위해서는 2채널-PWM 출력과 정/역 제어 신호를 출력하도록 하였으며, 모터의 과전류 측정과 배터리 전압 등을 측정하기 위한 12-Bit ADC 입력 단과 PLC CPU와 조이스틱간의 통신을 위해 2채널 USART 인터페이스, AGV 제어를 위한 PID 제어기의 파라미터를 저장하기 위한 외부 메모리 인터페이스를 포함하였다. 그리고 AGV 주행자세 제어에 있어 마그네틱 로드(road)를 인식하는 가이드 센서

인터페이스는 일반 산업현장에서 가장 많이 사용하는 16bit 디지털 센서로 선정하고 AGV의 전/후진 주행이 가능하도록 하였다. 모터 드라이버부는 DC-모터 1개당 최대 100[A]의 순간 구동전류가 흐를 수 있도록 설계하였다. 설계된 모터 드라이버 회로는 CPU로부터 출력되는 20[Khz] PWM 신호와 정역제어 신호에 의해 정역제어가 가능하도록 FET 드라이버와 MOS-FET(최대전류 170[A]) 4개를 사용하여 Full-Bridge로 구성하였으며, 모터에 과전류가 흐를 시에 전원을 차단할 수 있도록 전류센서를 추가하였다.

2.3 AGV 주행/자세 제어기 설계

설계된 하드웨어를 토대로 AGV의 주행과 자세제어를 위해 AGV 자세 제어용인 PD 제어기[9]와 주행속도 제어용인 PD 제어기 2개를 사용하였으며, 제어 구조는 그림 3과 같다. 여기서 AGV 자세 제어용 PD 제어기는 식(1), 식(2)와 같이 마그네틱 가이드 센서로부터 현재의 AGV 자세 $s(k)$ 를 관측하고, AGV 주행속도와 자세 보정을 위한 좌/우측 모터속도의 기준(reference) 값($V_L(k)$, $V_R(k)$)을 그림 4와 같이 분배하였다.

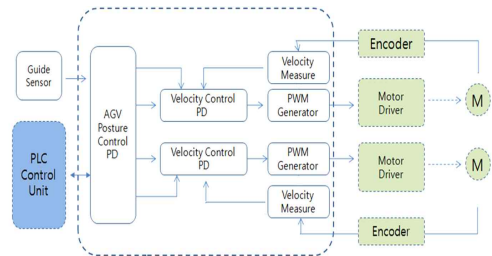


Fig. 3. Structure to control the AGV Driving

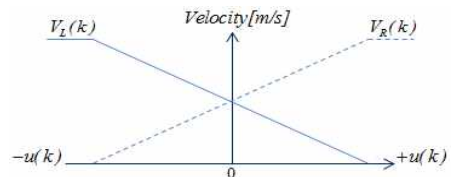


Fig. 4. Relation between velocities of left/right motors

모터 속도 제어용인 PD 제어기에서는 식(3), 식(4)와 같이 엔코더로부터 측정된 현재 속도 $v(k)$ 와의 오차 $e(k)$ 가 최소화되도록 피드백(feedback) 제어를 하였다. 여기서 주행자세 제어주기와 모터속도 제어주기는 각각 10[ms]와 1[ms]로 설정 하였으며, PD 제어기 계수

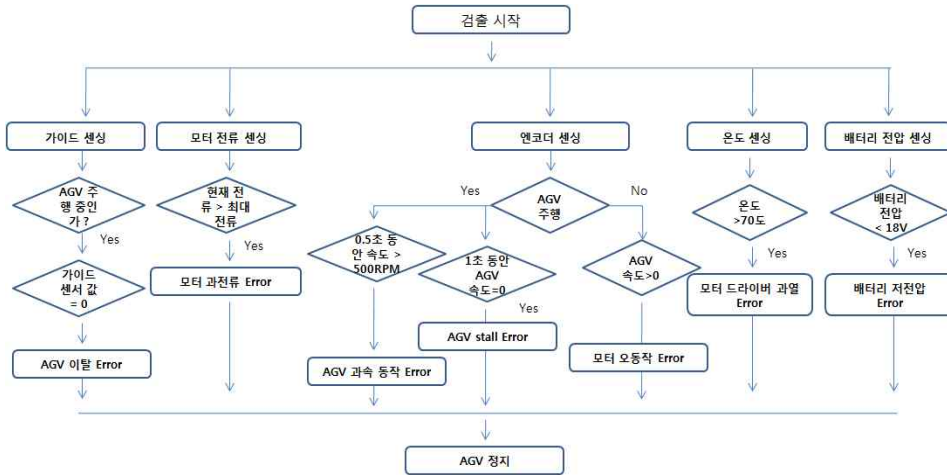


Fig. 5. Algorithm to detect the faults of the AGV Controller

K_{p1} , K_{d1} , K_{p2} , K_{d2} 는 AGV 자체 제작의 무게와 모터의 특성에 따라 변동되기 때문에 실험을 통해 설정하였다.

$$u(k) = K_{p1}e(k) + K_{d1}[e(k) - e(k-1)] \quad (1)$$

$$e(k) = 0 - s(k) \quad (2)$$

$$\mathbf{e}(k) = \begin{bmatrix} e_L(k) \\ e_R(k) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$= \mathbf{V}(k) - \mathbf{v}(k) = \begin{bmatrix} V_L(k) \\ V_R(k) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} v_L(k) \\ v_R(k) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u_L(k) \\ u_R(k) \end{bmatrix} = K_{p2}\mathbf{e}(k) + K_{d2}[\mathbf{e}(k) - \mathbf{e}(k-1)] \quad (4)$$

설정된 제어 값을 토대로 AGV 주행함에 있어 예기치 않은 오류가 발생한다. 이에 따라 AGV 동작의 안정성을 확보하기 위해 모터 과전류, 모터 오동작, 모터 드라이버 과열, 배터리 저전압, 주행 경로 이탈 등에 관한 각각의 상태를 센싱하여 그림 5의 오류처리 과정으로 알고리즘을 구성하여 처리하였다.

2.4 통신 프로토콜 설계

일반적으로 AGV 제어는 자동제어, 수동제어로 이루어진다. 자동 제어는 AGV 주행 제어가 PLC 제어부로부터 명령을 받아 주행과 자세제어를 하고, 수동제어는 조이스틱으로부터 명령을 받아 AGV의 자세제어가 되도록 한다. 이에 따라 표 1과 같이 데이터 프로토콜과 프레임은 설계하였다.

Table 1. Structure of data send-receive frame

통신방향	데이터 프레임				
PLC → 주행자세 제어기	2byte	2byte	4byte	1byte	1byte
	STX	PL	주행 코드	Check Sum	ETX
주행자세 제어기→ PLC	2byte	2byte	4byte	1byte	1byte
	STX	MC	주행 코드	Check Sum	ETX
조이스틱 → 주행자세 제어기	2byte	2byte	2byte	1byte	1byte
	STX	좌 모터 속도	우 모터 속도	Check Sum	ETX
주행자세 제어기→ 조이스틱	2byte	2byte	2byte	1byte	1byte
	STX	배터리 전압	전/후방 가이드 센서	Check Sum	ETX

표 1의 통신 프로토콜과 데이터 프레임은 주행자세 명령을 PLC CPU부가 마그네틱 로드에서 부착된 RFID로부터 주행코드 수신하여 주행자세 제어기로 전송한 다음, AGV가 직진, 좌회전, 우회전, 스펜-턴 등을 할 수 있도록 한 것이며, 수동제어는 단지 조이스틱으로부터 주행자세 제어가 명령을 수신 받아 자세제어를 하도록 한 것이다.

III. 실험 및 성능평가

본 연구에서 제안된 설계방법과 구조를 토대로 AGV

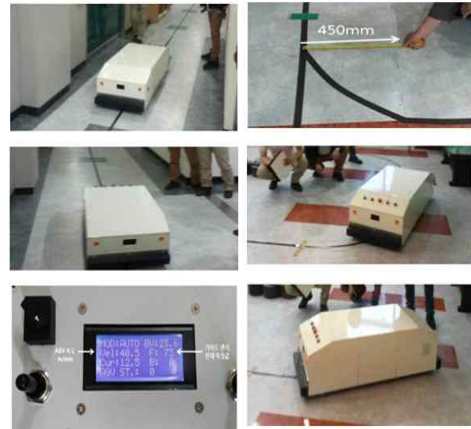
제어기를 그림 6과 같이 구현하고 그 성능을 평가하였다. 성능 평가는 모터드라이버 성능, AGV 주행제어 성능(직선 주행, 곡선 주행, 루프경로 주행), 배터리 전압 변동에 따른 속도제어 성능 등을 평가하였다.



Fig. 6. Implemented AGV Controller

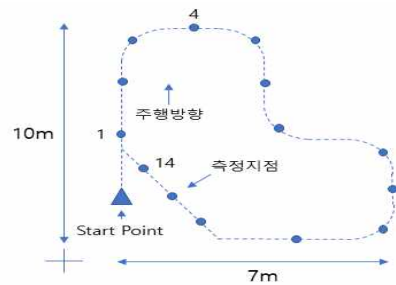
모터 드라이버의 정역제어 기능을 평가하기 위해 AGV오류 검출기능을 차단한 뒤, 4000 [rpm]의 30:1 기어비를 가진 DC24V/300[W] 브러쉬-Wheel 모터 2개를 부하로 연결하고, 주파수 20[Khz]-듀티비 25[%]의 PWM 신호와 정/역 제어 명령을 조이스틱으로 입력한 다음, 모터 정/역 제어기능 분석하였다. 그 결과, 정/역 제어가 원활하게 이루어짐을 확인하였으며, 드라이버 과열 평가에서는 실온 22.5[°C]일 때 1[kw] 모터를 부착하여 듀티비 90[%]로 1시간 동안 모터를 구동한 후, 드라이버부의 온도를 측정된 결과, 35.52[°C]로 측정되어 과열되지 않음을 확인하였다. FET 스위칭에 따른 모터의 Back-EMF가 다소 발생하였으나 서지 흡수용 TNR을 추가하여 개선하였다. AGV의 주행제어의 성능평가 위해서 그림 7과 같이 중량 250[Kg], 75cm×120cm×40cm인 크기의 소형 AGV에 제어기를 장착하여 실험하였으며, 자세제어용 PD계수와 모터속도 제어용 PD계수를 여러 실험을 통하여 $K_p=30$, $K_d=2.5$ 와 $K_p=5.0$ 와 $K_d=1.6$ 로 설정하여 직선주행 안정도 및 곡선주행 이탈유무, 루프경로 주행 등을 평가하였다. 직선주행 정밀도 평가에서는 그림 7(a)와 같이 폭 30[mm]인 마그네틱테이프를 노면에 25[m] 길이로 설치하여 분당 40[m/min] 속도로 AGV를 주행하게 하였으며, 경로의 시작점과 끝점까지 0.1[ms] 간격으로 가이드 센서 중심 값(75[mm])과의 평균편차를 5회 주행하여 측정하였다. 그 결과, 최대 5[mm], 최소 2[mm], 평균 2.2[mm] 변화 폭으로 측정되어 안정적인 주행제어가 이루어짐을 확인하였다. 곡선주행의 평가에서는 그림 7(b)와 같이 450[mm] 회전 반경으로 마그네틱테이프

프를 노면에 부착하여 AGV를 20[m/min] 속도로 20회 주행을 하였으며, 주행 중에 이탈은 발생하지 않았다. 전체적인 주행 성능평가에서는 그림 8(a)와 같은 총길이 39[m] 정도의 루프경로에 AGV를 20[m/min] 속도로 주행하게 하여 14의 지점 각각에서 가이드 센서 오차를 측정하여 그림 8(b)에 나타내었다.

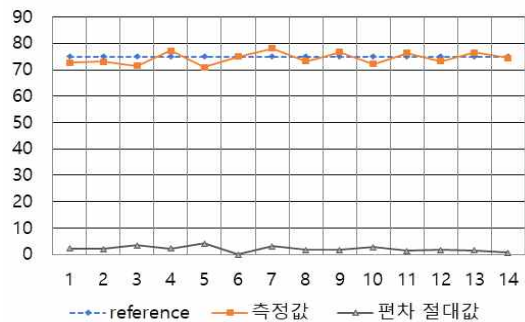


(a) 직선주행 (b) 곡선 주행

Fig. 7. Results of driving and posture control of AGV



(a) Measurement points



(b) Error of AGV

Fig. 8. Error of AGV Control

그 결과, 가이드센서 중심값 대비 평균오차가 2.1[mm], 최대오차는 4.1[mm]로 발생되었으며, 최대오차는 대부분 곡선주행에서 발생되었다. 이러한 문제점은 주행 노면과 모터 휠 타이어 간의 마찰력이 낮아 발생한 것으로 분석되었으며, AGV의 하중에 따른 모터의 부착 높이를 조정함으로써 해서 개선될 것으로 사료된다. 한편, AGV 주전원은 납축전지를 사용하기 때문에 배터리 방전과 충전이 되었을 때, AGV주행 속도 변화가 없어야 한다. 이러한 전압변동에 따른 모터 속도 제어 성능을 평가하기 위해 배터리 전압이 최소 15[V]와 최대 32[V]라고 가정하고 직류전원 공급기로 각각의 전압 입력하여 속도제어 성능을 타코미터로 측정하였다. 그 결과, 그림 9과 같이 전압 변동에도 최대 0.021[m/s]의 속도오차가 측정되어 전압변동에도 속도 제어가 안정적으로 이루어짐을 확인하였다.

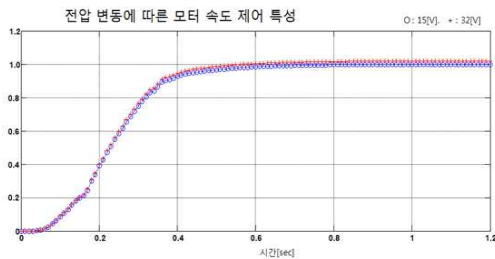


Fig. 9. Characteristics of motor speed control by battery voltage variations

IV. 결론

본 연구에서는 PLC 기반의 AGV를 개발함에 있어서 문제점인 고비용, 소형화, 재설계/재구성의 용이성 등을 해결하기 위해 PLC 내장형 AGV 제어기 설계법을 제안하고 구현하여 그 성능을 평가하였다. 성능평가의 결과에서 주행자세 제어의 정밀도가 평균 2.1[mm], 배터리 전압 변동에 따른 속도제어 오차가 0.021[m/s]인 우수한 성능을 보였으며, 이는 제안된 PLC 내장형 AGV 제어기를 산업현장에 적용 가능함을 확인하였다. 이와 같은 결과로부터 본 연구에서 제안한 제어기를 산업현장의 AGV 개발에 적용한다면, 저비용으로 AGV의 소형화와 산업현장의 환경조건에 따라 재설계/재구성 등이 쉽게 가능할 것이라 사료된다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 논문은 2018년도 경남과학기술대학교의 연구지원을 받아 수행된 것임.

REFERENCES

- [1] S. Butdee, A. Suebsomran, F. Vignat, P.K.D.V. Yarlafadda, "Control and path prediction of Automate Guided Vehicle", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Eng.*, vol. 31, issue 2, pp. 442-448, Dec., 2008.
- [2] H. Martinez-Barbera, Humberto, D. Herrero-Perez, "Autonomous navigation of an automated guided vehicle in industrial environments," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 26, no.4, pp. 296-311, 2010.
- [3] X. Wu, P. Lou, Q. Cai, C. Zhou, K. Shen, "Design and control of material transport system for automated guided vehicle," in *Processings of UKACC International Conference on Control*, Sept, 2012, pp. 765-770.
- [4] M. Kajan, L. Mrafko, F. Duchon, P. Hubinsky, J. Sovcfik. "Control of Automated Guided Vehicle with PLC SIMATIC ET200S CPU," *American Journal of Mechanical Engineering*, vol. 1, no. 7, pp. 343-348, 2013.
- [5] P. Parikh, S. Sheth, R. Vasani, J. Gohil, "Implementing Fuzzy Logic Controller and PID Controller to a DC Encoder Motor-A case of an Automated Guided Vehicle," *Procedia Manufacturing*, vol. 20, pp. 219-226, 2018.
- [6] A. Kumar, "Development of an automated guided vehicles in industrial environment." *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, vol. 3, no. 1, pp. 377-391, 2014.
- [7] K. S. Margaret, G. Sathish Kumar, J. Narendiran, M. Raman. "PLC Based Sub-Assembly Station with Automated Guided Vehicle," *International Journal of Emerging Research in Management & Technology*, vol. 6, no. 7, pp. 256-261, 2017.
- [8] <http://comfilewiki.co.kr/en/doku.php?id=cublocindex>
- [9] H. H. Tack, S. G. Kwon, "Driving Control of Automated Guided Vehicle Using Centroid of Gravity Method,"

Journal of the Korea Industrial Information Systems
Research, vol. 19, no. 2, Apr., pp. 59-66, 2014.

저자 소개

이 주 원 (Ju-Won Lee)



2003년 2월 : 경상대학교
전자공학과(공학박사)
2009년 9월~현재 : 안동과학대학교
전기자동화과 부교수
관심분야 : 시스템 신호처리,
영상처리, 전자응용 시스템

이 병 로 (Byeong-Ro Lee)



1999년 2월 : 경상대학교
전자공학과(공학박사)
2000년 3월~현재 :
경남과학기술대학교 전자공학과
교수
관심분야 : 시스템 신호처리,
영상처리, 전자응용 시스템