

論 文
2-1

조향 함수를 고려한 UCT/AGV 설계 및 구현

윤 경 식* · 이 동 훈* · 강 진 구* · 이 권 순** · 이 장 명***

UCT/AGV Design and Implementation using
steering function in automizing port system

K.S. Yun · D.H. Lee · J.G. Kang · K.S. Lee · J.M. Lee

Key Words : 지능형항만하역장비(Intelligent Port Loading Equipment), 자동무인차량(Automatic Guided Vehicle, AGV), 조향함수(Steering Function)

Abstract

In this study, as the preliminary step for developing an unmanned vehicle to deliver a container-box, we designed and implemented Automatic Guided Vehicle(AGV) Simulator for the purpose of Port Facilities Automation. It is preferable to research the intelligent AGV for delivery all day long. For complementing AGV simulator driving, we used multiple-sensor systems with vision, ultrasonic, IR and adapted the high-speed wireless LAN that satisfies the IEEE 802.11 Standard for bi-directional communication between main processor in AGV and Host computer. Here, we mounted on bottom frame in AGV Pentium-III processor, which combine and compute the information from each sensor system and control the AGV driving, and used the 80C196KC micro-controller to control the actuating and steering motors.

1. 서 론

산업기술의 발기술의 발전과 더불어 화물 운송은 큰 비중을 차지하게 되었다. 이에 일반화물

(General Cargo)의 컨테이너(Container) 전환 추세에 따라 컨테이너선의 수송 비중이 절대적인 양을 차지하고 있다[1]. 그러나 국내 항만 시설은 수출입

* 정회원, 부산대학교 대학원
** 정회원, 동아대학교 교수
*** 정회원, 부산대학교 교수

컨테이너의 물동량이 급증함에 따라 전용 항만의 사용 밀도가 이미 포화 상태에 도달하였다. 따라서, 컨테이너 전용 부두 확충, 배후 수송도로 건설 및 24시간 하역 체제 등으로 화물 처리능력 극대화를 도모하여 시설 능력 이상의 많은 물량을 처리하고 있는 실정이다. 그러므로 한정된 항만 부지에서 더 많은 물량을 처리하고 급증하는 인건비를 절약하는 여러 가지 방법이 제안되고 있다. 기존 트레일러 운송에서 AGV(Automatic Guided Vehicle) 기술을 이용한 무인반송시스템도 그 중의 한 방법이다. 세계적으로 네덜란드, 독일, 싱가포르 등에서는 항만 내에서의 물류자동화(Logistics Automation)에 많은 연구가 진행되고 있다. 대표적 예로서 네덜란드의 ECT항은 이미 상당한 수준의 무인 자동화 시스템을 가동하고 있다. 컨테이너로 이송하던 기존 트레일러의 역할을 대신할 AGV의 도입은 항만 내 물류관리의 자동화를 이룩할 수 있다. 또한 효율적인 작업 절차 관리가 가능해져 비용 절감과 24시간 하역 체제에 적용이 용이하며 최소한의 인력 투입으로 운영되고있으며 이에 따라 인건비의 획기적인 절감과 더불어 안전 사고의 발생도 최소화 할 수 있다는 간접적인 효과도 기대 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 항만자동화 시스템 구현의 첫 단계로서 AGV 시뮬레이터를 축소 모델로 설계, 제작하고 그 가능성을 제시하였다. 또한 회전 주행 성능을 시뮬레이션하고 평가하였다.

2. AGV 설계

본 연구에서 설계, 제작된 AGV는 실제 지능형 통합항만관리 시스템의 시뮬레이터 환경에서 사용된다. 시뮬레이션을 위한 환경에 적합하도록 컨테이너 수송차량을 20:1로 축소하여 설계하였다. AGV의 모델은 그림 1과 같다.

Main Controller는 PC(Personal Computer)를 기반으로 구성하였으며 Main Controller는 Vision정보, RF(Radio Frequency)정보, 초음파 및 적외선 센서로부터 수집된 정보를 처리한다. 전방에는 Vision

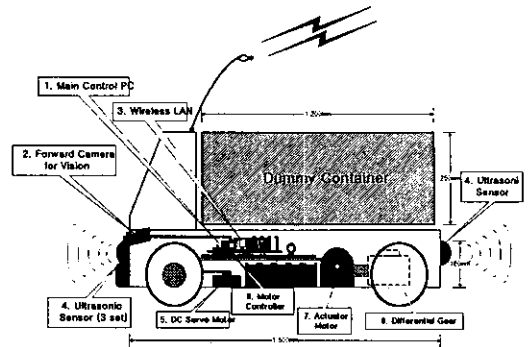


Fig. 1 AGV epitome.

정보를 획득하기 위한 Gray scale의 CCD (Charge-Couple Device) Camera가 설치되었고, 이로부터 전방영역의 영상을 취득하여 Frame Grabber를 통해 Main Controller로 전달, 처리할 수 있다. Wireless LAN Module은 상위의 AGV Controller와의 각종 운행 정보 교환을 위한 부분이다. 8Mbps의 전송속도를 가지는 스펙트럼 확산방식 Wireless LAN을 이용한다. 데이터 처리를 위한 프로토콜은 AGV Controller와 Main Controller에서 관장하도록 구성하였다. 제작된 총 3대의 AGV에 각기 1기씩 사용하였으며, AGV Controller PC에 유/무선 접합 장치를 사용하였다. Vision에서 획득한 정보만으로는 장애물 회피나 감지가 원활하지 않을 뿐 아니라 전방의 정보 밖에 얻을 수 없다. 이에 4조의 초음파 센서를 장착하여 영상 정보를 보조하고 측면과 후방의 장애물을 감지한다. 초음파 센서는 장거리 정밀 센서를 채용 신뢰도를 높임과 동시에 타 AGV와의 간섭을 방지토록 구성하였다. 양측면(45°) 및 후방의 센서는 각기 근거리의 장애물을 감지하도록 하였으며 정보 융합(Data Fusion)은 Main Controller에서 처리하도록 하였다. AGV의 전륜 조향을 위하여 DC Servo Motor를 이용하였다. 자동차와 동일한 원리의 링크를 구성하여 모터의 회전운동을 직선운동으로 바꿔 조향을 가능하게 구성하였으며 전륜의 회전각 피드백을 위해 Potentiometer를 이용하였다. Motor Controller는 DC Servo Motor 및 Actuator Motor를 구동하기 위해 마이크로 프로

세서를 이용한 Motor Driver부이다. 이는 Main Controller와 연결되어 있어 이동 거리나 속도에 대한 정보를 얻을수 있다. Motor Controller는 모터 Encoder 신호 처리부와 DIO를 가지며 LCD/LED 인터페이스가 있는 자체 설계, 제작한 통합 80C196KC Board를 이용하였다. Battery는 재충전이 가능한 납 전자를 이용하였으며 전용의 Charger를 제작하였다. 각 부분의 Controller, 두 개의 Motor, 각종 센서, Wireless LAN 모듈의 소비 전력에 의거 충분한 구동 시간을 갖도록 패키지로 구성하고 Logic 부분과 Motor 부분은 독립적으로 구성되었다. 이와 함께 충전 보호 회로와 Negative Voltage 공급을 위한 DC/DC Converter 모듈도 함께 제작하였다. AGV에서 전송되는 각종 운행 정보의 분석 처리, 작업 순서 지시를 위한 주 제어기의 역할은 별도의 AGV Control PC가 담당하여 수행토록 구성하였다[7][8]. 그림 2는 AGV에 대한 각 모듈의 배치와 투시도이다. 이후 구현된 AGV의 측면은 그림 3에 나타내었고, 전면은 그림 4에, 후면은 그림 5에 나타내었고, 각각의 모듈을 표시하였다. 실제 축소로 구현된 하역장에서의 하역작업 후의 이동을 위해서는 그 구조 자체가 다른 하역 시스템과의 하드웨어적인 충돌이나 외란을 발생시키는 요인이 없도록 축소비와 외형, 그리고 사용되는 센서들의 배치와 크기에 유념하여 설계하였다.

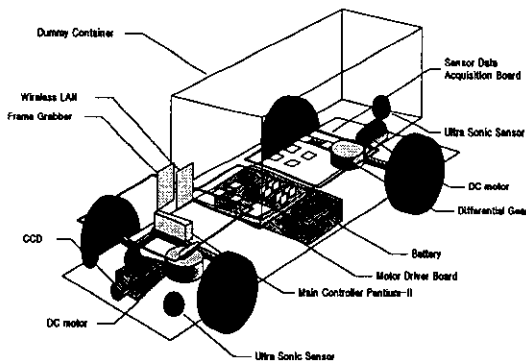


Fig. 2 AGV module arrangement and opened-up view.

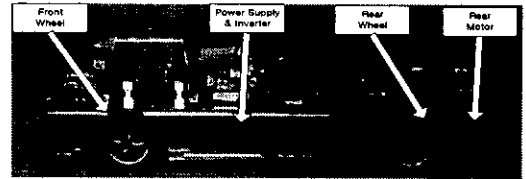


Fig. 3 AGV left side and each module.

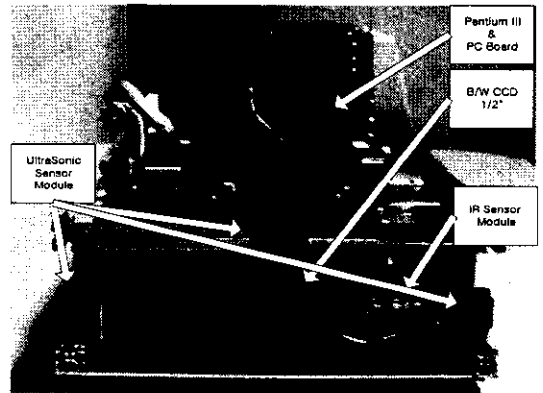


Fig. 4 AGV front side and each module.

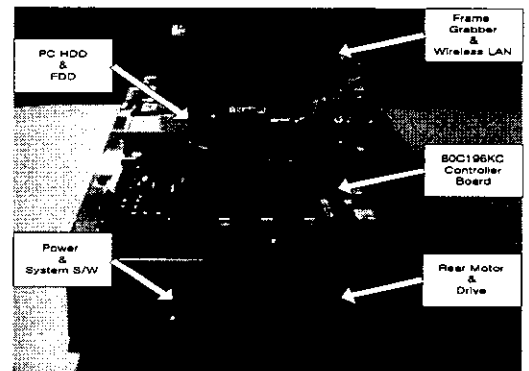


Fig. 5 AGV rear side and each module.

3. AGV 기구학과 모델링

AGV의 모델링은 전륜 조향바퀴와 AGV의 무게 중심점의 방향에 대한 관계를 알기 위하여 그림 6과 같이 2륜 자전거로 모델링을 하였다 [4].

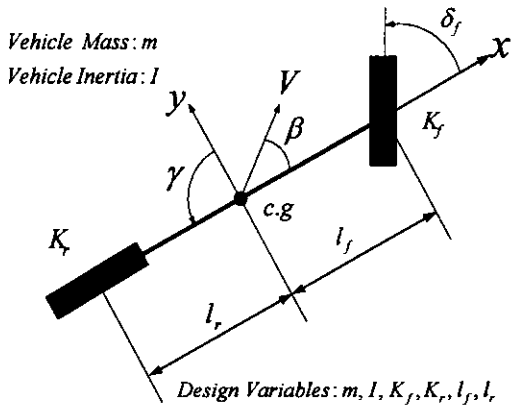


Fig. 6 Simple modeling of AGV.

AGV의 회전에 대한 상태변수를 식(1)과 같이 설정한다.

$$z = |\beta \ \gamma|^T \quad (1)$$

여기서 β 는 AGV의 Side Slip Angle이고, γ 는 AGV의 Yawing Rate이다. 전체 시스템의 시스템 변수는 다음 식(2)과 같이 설정한다.

$$b = |m \ I \ K_f \ K_r \ l_f \ l_r|^T \quad (2)$$

그림 3의 모델을 2차 평면에서의 운동을 수학적으로 표현하면 식(3), 식(4)과 같이 나타난다.

$$mV \frac{d\beta}{dt} + 2(K_f + K_r)\beta + \left[mV + \frac{2}{V} + (l_f K_f + l_r K_r) \right] \gamma = 2K_f \delta_f \quad (3)$$

$$2(l_f K_f - l_r K_r)\beta + I \frac{d\gamma}{dt} + \left[\frac{2(l_f^2 K_f - l_r^2 K_r)}{V} \right] \gamma = 2l_f K_f \delta_f \quad (4)$$

식(3)과 식(4)의 우변은 AGV의 입력인 전륜 조향바퀴의 각 (δ_f)을 나타내고, 좌변은 그에 따른 AGV의 운동을 나타낸다.

식(3)과 식(4)을 정리하면 AGV의 상태변수 z 는 다음 식(5)와 같이 나타난다.

$$z = \begin{bmatrix} -\frac{2(K_f + K_r)}{mV} \beta - \left[1 + \frac{2}{mV^2} (l_f K_f - l_r K_r) \right] \gamma + \frac{2K_f}{mV} \delta_f \\ -\frac{2(l_f K_f + l_r K_r)}{I} \beta - \frac{2}{IV} (l_f^2 K_f - l_r^2 K_r) \gamma + \frac{2l_f^2 K_f}{I} \delta_f \end{bmatrix} \quad (5)$$

후륜 구동바퀴의 선속도와 전륜 조향바퀴의 각으로 AGV의 기구학을 구할 수 있다.

그림 7은 AGV 구동륜 전체 모델링을 나타낸다. 여기서 R 은 후륜 구동바퀴의 중심점이고, F 는 전륜 구동바퀴의 중심점이다.

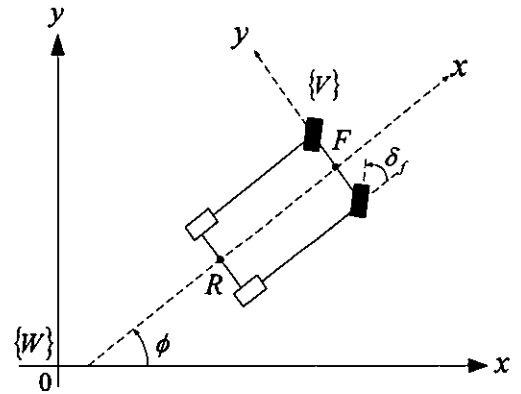


Fig. 7 Modeling of AGV wheel.

Cartesian Space에서 World Frame을 $\{W\}$ 로 정하고, x 축과 AGV가 이루는 각을 θ 로 나타낸다. AGV의 기구학 벡터를 식(6)과 같이 정의한다[5][6].

$$p = |x_f \ y_f \ \phi|^T \quad (6)$$

Cartesian Space에서 후륜 구동바퀴는 식(7)과 같이 나타난다.

$$\dot{x}_r = \lambda \cos \phi \quad (7a)$$

$$\dot{y}_r = l \sin \phi \quad (7b)$$

AGV는 Non-Holonomic 시스템이므로, *Pure Rolling Condition* 을 만족한다는 가정하에, 후륜 구동바퀴에 대하여 표현하면 식(8)을 만족한다.

$$\dot{x}_r \sin \phi - \dot{y}_r \cos \phi = 0 \quad (8)$$

후륜 구동바퀴 좌표에서 전륜 조향바퀴의 좌표를 표현하면 식(9)과 같이 나타난다.

$$x_f = x_r + l \cos \phi \quad y_f = y_r + l \sin \phi \quad (9)$$

전륜 조향바퀴의 선속도는 식(9)에 의해 식(10)과 같이 나타난다.

$$\dot{x}_f = \dot{x}_r + l \dot{\phi} \sin \phi \quad \dot{y}_f = \dot{y}_r + l \dot{\phi} \cos \phi \quad (10)$$

식(10)을 행렬식으로 나타내면 식(11)과 같다.

$$\begin{bmatrix} \sin \phi & -\cos \phi & l \end{bmatrix} \dot{p} = 0 \quad (11)$$

여기서 $\dot{p} = [\dot{x}_f \ \dot{y}_f \ \dot{\phi}]^T$ 의 Cartesian Space의 속도벡터이다. 따라서 전륜 조향바퀴에 대하여 AGV의 속도는 조향각을 고려한 식은 식(12)과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_f &= v \cos(\phi + \delta_f) \\ \dot{y}_f &= v \sin(\phi + \delta_f) \\ \dot{\phi} &= \frac{v}{l} \sin \delta_f \end{aligned} \quad (12)$$

식(8)과 같이 *Pure Rolling Condition* 을 만족한다는 가정하에 식(13)이 나타나고,

$$\dot{x}_f \sin(\phi + \delta_f) - \dot{y}_f \cos(\phi + \delta_f) = 0 \quad (13)$$

식(12)과 식(13)에 의해 속도 v 와 조향각 γ_f 는 식(14)와 같이 나타난다.

$$v = \pm \sqrt{\dot{x}_f^2 + \dot{y}_f^2}, \quad \gamma_f = \sin^{-1} \left[\frac{\pm \dot{\phi} l}{v} \right] \quad (14)$$

4. AGV 제어

AGV Controller와 AGV에 장착된 Wireless 모듈을 통하여 3대의 AGV와 통신을 하며 규정된 프로토콜을 이용하여 다음 작업, 주행, 위치 지시 등을 하고 각각의 AGV간의 간섭 및 충돌을 방지하도록 구현하였다.

신속한 처리와 지속적인 정보를 교환하기 위해 필요한 정보들만을 최적화된 프로토콜에 의해 처리한다. Operating을 위한 Application Program은 MS-Windows 기반의 프로그램으로 작성하며, 비전 정보의 전송으로 주행 및 작업에 대한 모니터링까지 가능하도록 다양한 인터페이스가 구축되었다. 상위 AGV Controller에서 주어지는 정보는 목적지, 작업 순서, 경유점(via point), 최종 기착지 등의 광역정보이고 이를 전달받은 Main Controller에서 각 모듈 별로 분산 실행시키게 되는데 세부적인 주행 특성은 AGV의 자율 주행 알고리즘에 최대한 의존한다. 그림 8은 AGV 시스템 전체의 기능별 블록선도를 나타내었다.

그림 9는 AGV의 구동 모듈의 흐름도를 나타내었다. 각종 센서에서 온 데이터를 80C196KC 통합 보드에 전달하고, 1차 가공된 data는 Main Controller에 전달된다. 후륜 구동모터는 80C196KC의 PWM으로 전/후로 구동하고, 위치신호는 엔코더를 통하여 피드백을 받아 16Bit Counter로 전달한다. 전륜 조향 모터는 L298을 이용하여 좌우 회전을 구현하고, Potentiometer를 사용하여 회전 정도에 대한 정보를 얻고, 이 신호를 10bit A/D를 통하여 받고, 제어한다. 그리고, 모든 경로 데이터와 센서 데이터의 전달을 위하여 Main Controller와 직렬 통신을 이용한다.

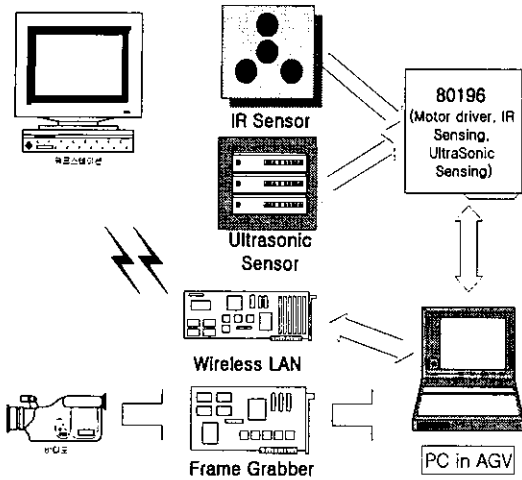


Fig. 8 Structure diagram of AGV system.

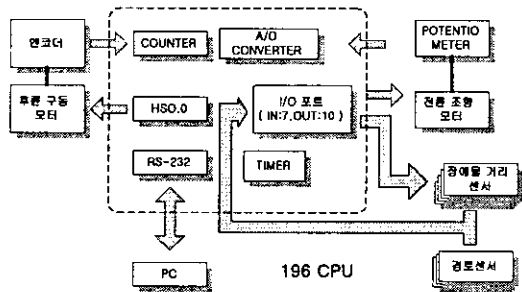


Fig. 9 Flow chart of AGV control module.

그림 10과 같이 제어칙은 IR(Infrared)센서와 초음파센서에서 획득한 경로 데이터와 장애물 데이터를 이용하여 회전과 정지를 결정하고, 비전 정보를 더하여 모터의 위치와 속도를 결정한다. 그리고 CPU Idle Time에 데이터를 PC와 주고받도록 제어한다. 구동Motor 및 조향을 위한 Motor의 제어알고리즘은 고전적 알고리즘인 PID 알고리즘을 적용하였다. Sampling Time은 조향은 1 msec 이며 구동을 위한 모터는 2 msec 이다.

5. 조향함수를 이용한 회전 주행

그림 11은 GP(GuidePoint) 즉, 주행경로와 AGV

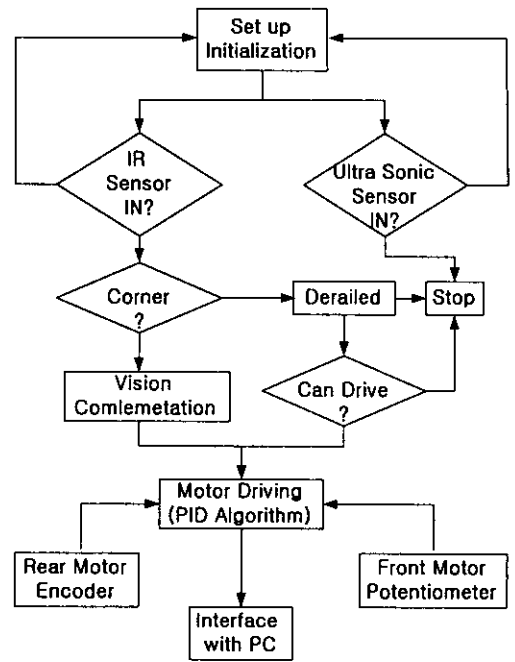


Fig. 10 Flow chart of system control law.

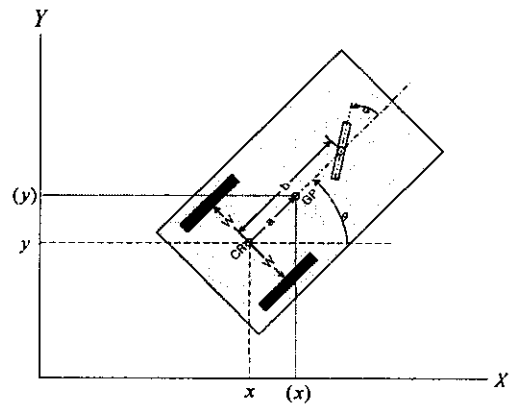


Fig. 11 Configuration & coordinates considering guidepoint

내의 일치되는 점을 고려한 좌표계이다. 여기에서, GP를 선정함에 있어서 그 위치가 AGV 내의 어느 곳에 위치하느냐에 따라 조향각의 분포가 연속적이냐 불연속적이냐를 결정하게 된다[2]. 만약, 조향각

이 불연속이 되면 이는 주행시 곡선 경로에서 복구할 수 없는 오차를 발생하므로, 이를 방지하기 위해서는 조향각을 연속적으로 만들 필요가 있다. 따라서 조향각의 분포를 조향함수로 정의하고, GP의 위치 선정 및 조향함수의 선정을 통하여 곡선 주행 시 부드러운 주행이 가능하도록 한다. 아래 그림들은 조향각의 불연속과 연속의 대표적 예를 나타내고 있다. 그림 12는 GP를 그림 11을 참고할 때 CR(Center of Rotation)에 일치시켰을 때의 조향각을 나타내고, 그림 13은 이 때의 앞바퀴와 CR 점의 궤적을 나타낸 것이다. 그림 14는 GP를 조향바퀴축 사이의 중심점을 했을 때의 조향각을 그림 15는 그 때의 CR 점과 앞바퀴의 궤적을 나타낸 것이다.

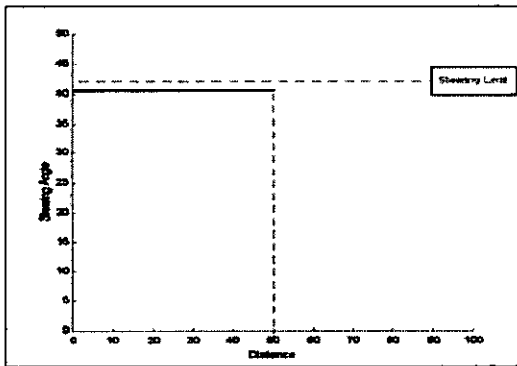


Fig. 12 Steering function in the case of GP positioned to CR

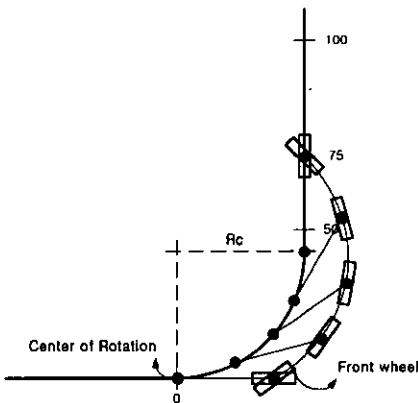


Fig. 13 CR point and front wheel trajectories (GP=CR)

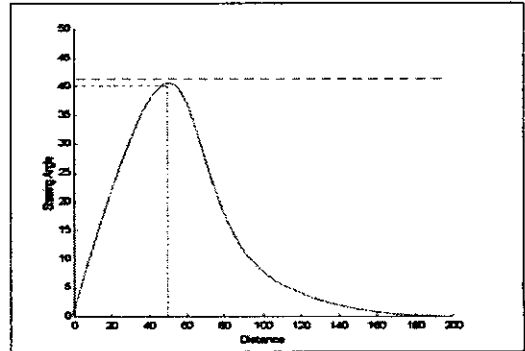


Fig. 14 Steering function When the front wheel is designated as GP

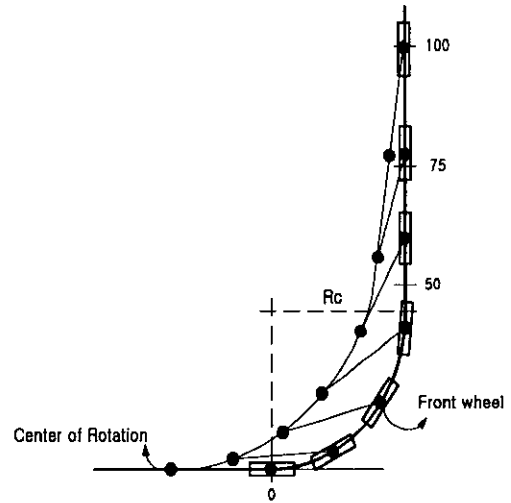


Fig. 15 Front wheel and CR point trajectories (a=b)

AGV가 주행중 회전을 할 경우를 계산해보면, 회전반경을 위한 시스템 변수는 AGV 조향바퀴와 구동바퀴와의 거리, 속도, 및 원심력 등 다양한 변수가 있다[3]. 본 연구를 위한 AGV 회전 주행 결과는 그림 8과 같다. 시스템 변수는 조향바퀴와 구동바퀴와의 거리는 550mm, 중심축과의 거리는 150mm 일 때 중심축에서의 회전반경은 600mm 임을 알 수 있다. 그림 8에서 AGV의 전륜 형태와 회전 시 관계를 보였다. AGV는 4축의 구동으로 주행한다. 따라서 속도가 1일 때의 궤

적은 그림 9와 같으며 시뮬레이션은 MATLAB을 이용하였다.

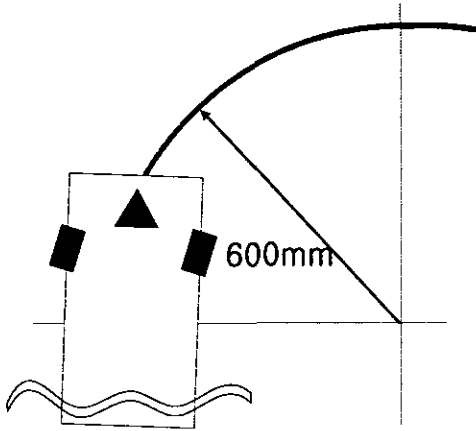


Fig. 16 Radius of gyration of AGV.

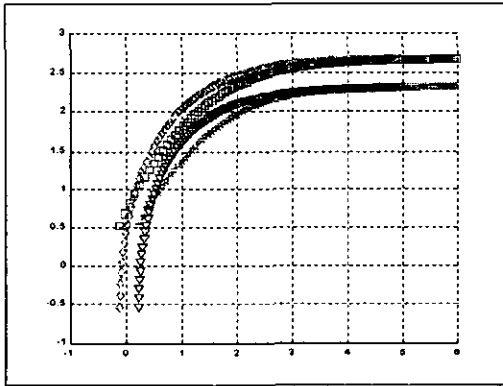


Fig. 17 loci of 4 wheels when AGV turns round.

6. 결 론

본 연구에서는 항만자동화를 위한 컨테이너 운반용 무인자동차 개발의 사전 단계로서 AGV 시뮬레이터를 설계하고 제작하였다. 제작에 이용된 기술은 1)비전정보, 초음파 센서, 적외선 센서 등의 인터페이스 및 융합(fusion), 2)IEEE 802.11 표준을 만족하는 wireless LAN을 이용한 통신,

3)16bit MCU(80C196KC)를 이용한 구동 및 전륜 조향 모터 제어, 4)PC 기반의 운영체제를 탑재 등이다. 다양한 센서를 부착함으로써 외부 데이터에 대한 신뢰는 높이고 조향 정밀도를 높이기 위해서 곡선 주행시 조향함수를 고려하고, GuidePoint의 위치 또한 고려하였다. 이로써 어느 정도의 정밀도는 확보할 수는 있지만, 이것은 부하(Load)가 없는 상태에서 행해진 실험이므로, 부하의 변화량에 강인한 정밀도를 유지할 수 있도록 선행 연구 필요하다. 향후 과제로서는 현재 구해진 기구학 해석과 제어 기법을 바탕으로 주행의 안정성, 정지 정밀도, 가감속 성능, 정밀 조향 등의 연구가 필요하며 PID 알고리즘적용을 위한 Auto Gain tuning방법들의 연구가 필요하다. 또한 장애물 회피 및 충돌 방지, 수송 능력 향상, wireless LAN 통신 신뢰도 향상 등의 부문도 아울러 연구 될 것이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 동아대학교 지능형 통합항만관리연구센터(CIIPMS)의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

- [1] 허 남 "컨테이너 트랜스포터의 무인 주행 제어" 2000, 부산대학교 대학원 석사 학위논문
- [2] Nelson, W.L. "Continuous steering-function control of robot carts", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 36, no. 3, pp. 330-337, 1989
- [3] M. Aicardi, G. Casalino, A. Bicchi, and A. Balestrino, "Closed loop steering of unicycle-like vehicles via Lyapunov techniques", *IEEE Robotics & Automation Mag.*, vol. 2, no. 1, pp 27-35 1995

- [4] J. C. Alexander and J. H. Maddocks, "On the kinematics of wheeled mobile robots", *Int. J. of Robotics Research*, vol. 8, no. 5, pp. 15-27, 1989
- [5] Jin-Hee Jang and Chang-Soo Han, "Sensitivity Analysis of Side Slip Angle for a Front Wheel Steering Vehicle : a Frequency Domain Approach", *KSME International Journal*, Vol. 11, No. 4, pp. 367-378, 1997.
- [6] Jin-Hee Jang and Chang-Soo Han, "Sensitivity Analysis of the Front Wheel Steering Vehicle : In the Time Domain", *KSME International Journal*, Vol. 11, No. 6, pp. 595-604, 1997.
- [7] Homayoun Seraji, "A Unified Approach to Motion Control of Mobile Manipulators", *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 17, No. 2, pp. 107-118, 1998.
- [8] Kun-Hsiang Wu, Chin-Hsing Chen and Juing-Ming Ko, "Path Planning and Prototype Design of an AGV", *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 30, pp. 147-167, 1999.