

技術論文

위성항법 기반 AGV(Autonomous Guided Vehicle)의 조향 성능 시험

강우용*, 이은성*, 김정원*, 허문범*, 남기욱*

Steering Performance Test of Autonomous Guided Vehicle(AGV)
Based on Global Navigation Satellite System(GNSS)

Woo-Yong Kang*, Eun-Sung Lee*, Jeong-Won Kim*, Moon-Beom Heo* and Gi-Wook Nam*

ABSTRACT

In this paper, a GNSS-based AGV system was designed, and steering tested on a golf cart using electric wires in order to confirm the control efficiency of the low speed vehicle which used only position information of GNSS. After analyzed the existing AGVs system, we developed controller and steering algorithm using GNSS based position information. To analyze the performance of the developed controller and steering algorithm, straight-type and circle-type trajectory test are executed. The results show that steering performance of GNSS-based AGV system is $\pm 0.2m$ for a reference trajectory.

초 록

본 논문에서는 위성항법 기반의 위치 정보만을 이용하여 저속으로 운행하는 이동체의 제어 성능을 확인하기 위해서 골프장에 무인으로 운행하는 AGV(Autonomous Guided Vehicle)를 위성항법 기반의 AGV로 구성하여 조향 시험을 수행하였다. 이를 위해 기존 AGV 시스템의 구성에 대한 분석을 수행한 후 위성항법 기반의 위치 정보를 이용하여 조향 제어가 가능하도록 제어기 및 조향 제어 알고리즘을 개발하였다. AGV의 조향 성능을 알기 위해서 직선과 원형으로 이루어진 기준궤적을 생성하여 시험을 수행하였으며 시험 결과 기준궤적에서 $\pm 0.2m$ 범위 안으로 조향 제어가 가능함을 확인하였다.

Key Words : Global Positioning System(GPS), Autonomous Guided Vehicle(자율주행차량), Heading angle(방위각), Target angle(목표지점 지향각), Steering angle(조향 입력)

1. 서 론

GPS(Global Positioning System)로 대표되는 위성항법시스템(GNSS: Global Navigation Satellite System)은 우주공간의 위성을 이용하여 사용자에게 위치와 함께 시각 정보를 제공해 준다 [1,2]. 위성항법시스템은 항법 분야 뿐 아니라 측량, 측지를 비롯하여 정밀 시각 동기 및 시각 변동

의 측정까지 다양한 분야에서 활용되고 있다[3]. 항법분야에 있어서 위성항법시스템의 오차를 제거한 정밀한 위치 정보를 이용하여 자율주행차량(AGV: Autonomous Guided Vehicle)에 활용하는 연구가 활발히 진행되고 있다[4,5]. 기존의 연구는 위성항법 뿐 아니라 다른 부가적인 위치제어 센서를 사용하여 제어 성능을 향상 시키는 방향으로 진행되었다. 그러나 이러한 연구 결과들은 다양한 위치센서를 이용하여 제어성능을 측정하였으므로 위성항법만을 사용한 제어 성능에 대한 명확한 연구 결과를 제시하지 못한다. 그러므로 본 논문에서는 위성항법 기반의 위치정보 만

† 2009년 10월 12일 접수 ~ 2009년 12월 29일 심사완료

* 정회원, 한국항공우주연구원 위성항행항법팀

교신저자, E-mai : kang79@kari.re.kr

대전시 유성구 어은동 45번지

을 이용한 AGV의 조향 제어 성능에 대한 시험을 수행하여 그 결과를 분석하였다. 이를 위해 현재 골프장에서 운영되고 있는 AGV(전자유도 골프카트)의 시스템 구성 및 조향부에 대한 분석을 수행한 후 위성항법 기반의 위치 정보를 이용하여 조향 제어가 가능하도록 제어기 및 조향 제어 알고리즘을 개발하였다.

II. 기존 AGV 시스템 분석

2.1 시스템 구성

본 논문에서 사용한 AGV는 (주)CT&T에서 제작한 5인승 전자유도 골프카트로서 수동 및 무인 자동운전이 가능하며 무인자동운전을 위해서 그림 1과 같은 시스템 구성을 가진다[6]. 자동운전을 위한 시스템 구성은 크게 주행을 위한 기준궤적 생성, 기준궤적의 곡률에 따른 주행 속도 제어 그리고 기준궤적의 추종을 위한 위치 정보 생성 및 안전을 위한 충돌 방지장치, 주행 및 조향 모터 제어를 위한 제어부로 나누어지며 구성품의 분류 및 기능은 표 1과 같다.



그림 1. 전자유도 골프카트의 시스템 구성

표 1. 구성품의 분류 및 기능

분류	구성품	기능
기준 궤적 생성	전자유도 발전기	유도선으로 일정한 크기와 주파수를 가지는 교류 전류를 흘려주는 역할
	유도선	일정한 굵기의 전선으로 주행 경로에 설치되며 AGV 주행의 기준궤로를 제공
주행 속도 제어	자기 센서	바닥에 설치되어 있는 자석을 통하여 주행 속도 명령을 전송 받음
위치 정보 생성	전자유도 센서	유도선과 AGV의 상대적인 거리에 비례하는 전압 값 생성
	충돌회피 센서	자동주행 중 앞·뒤 AGV의 충돌을 막기 위한 장치
충돌 방지	초음파 센서	전방 5m 이내의 장애물 감지를 위한 센서
	AGV 제어기	주행과 관련된 데이터 처리 및 AGV를 제어하는 역할을 수행

2.2 조향부 분석

AGV 조향을 위한 조향부는 기준궤적인 유도선, 전자유도 센서 그리고 AGV 제어기, 조향모터로 구성된다. 전자유도 센서는 좌·우 2개가 한 세트의 구성되며 그림 2와 같이 AGV의 전방 중심부에서 좌·우 0.3m 간격으로 장착되어 유도선으로부터 전류를 감지한다. 이를 바탕으로 유도선과 AGV의 상대적인 거리 정보에 비례하는 아날로그 출력을 AGV 제어기로 전송한다. AGV의 조향을 위한 제어 입력으로 이용되므로 고속(100Hz)으로 전압 값을 출력한다.

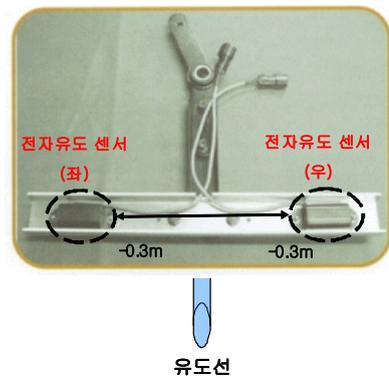


그림 2. 전자유도 센서

AGV 제어기는 좌·우 2개의 전자유도 센서의 아날로그 출력 값을 비교하여 유도선과 AGV의 위치 오차(position error)를 계산한다. 그리고 일정하게 설정된 주행속도(직선 주행 6km/h, 곡선 주행 4km/h)와 계산된 위치 오차를 이용하여 조향 모터 제어를 위한 조향 입력 값을 생성한다. 조향 모터는 AGV 제어기에서 받은 입력 값을 이용하여 모터를 구동하며 AGV가 유도선을 추종할 수 있는 역할을 수행한다.

AGV의 자동 주행을 위해서는 좌·우 전자유도 센서 중간에 AGV를 위치시킨 후 주행을 시작한다. 주행 중 좌·우 전자유도 센서를 벗어나게 되면 고장 모드로 시스템이 바뀌고 AGV는 정지한다. 그러므로 기존 시스템의 경우 유도선을 중심으로 ±0.3m 조향 제어 성능으로 놓을 수 있다.

III. 위성항법 기반 AGV 시스템 구성

기존 AGV 시스템의 분석 결과 조향 제어는 유도선, 전자유도 센서, AGV 제어기 및 조향 모

표 2. 시스템 구성 비교

항목	기존 AGV	위성항법 기반 AGV
위치 정보 생성	전자유도 센서	단일차분기반의 위치결정기법을 사용한 위치정보 생성
기준 궤적 생성	유도선	주행궤적을 측정하여 기준궤적으로 저장
조향 입력 생성	AGV 제어기	위성항법 기반 AGV 제어기

터 를 통하여 이루어진다. 위성항법 기반 AGV의 조향 제어 시스템을 구성하기 위해서 표 2와 같이 기존 시스템을 변화시켰다.

3.1 위치정보 생성

위치정보 생성을 위해서는 단일차분 기반(SD: Single Difference)의 위치 결정기법을 이용하며 그림 3과 같이 기준국과 이동체인 AGV에 장착된 이동국으로 구성한다. 기준국에서는 기준국의 좌표 및 수신한 항법 신호를 무선 모뎀을 이용하여 AGV에 장착되어 있는 모뎀으로 전송한다. 기준국과 이동국 구성에 사용한 위성항법 수신기 및 무선 모뎀의 사양은 표 3과 같다.

AGV에서는 기준국에서 받은 위성항법 정보와 자신이 수신한 위성항법 정보를 차분하여 기준국에 대한 상대거리를 2Hz 주기로 계산한다[7].

표 3. 정밀위치 정보 생성 시스템 사양

항목	사양
위성항법 수신기	DL-V3(노바텔) · GPS L1/L2 신호 수신
무선모뎀	Pacific Data Modem(노바텔) · 전송대역 : 450-470MHz · 전송속도 : 9600bps

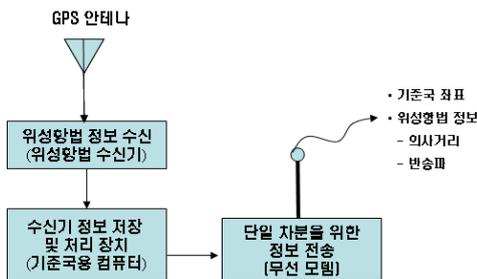


그림 3a. 기준국

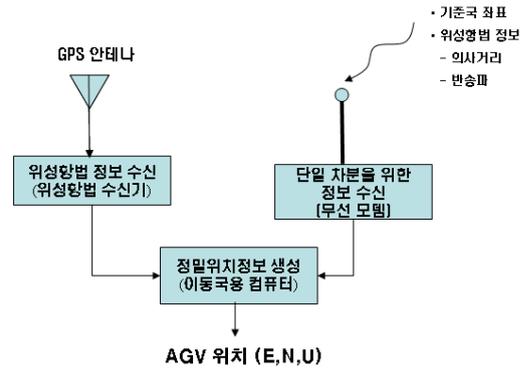


그림 3b. 이동국

AGV에서 계산되는 위치정보는 기준국을 중심으로 하는 상대위치이므로 본 논문에서는 기준국을 원점으로 하는 ENU 좌표계를 위성항법 기반 AGV의 기준 좌표계로 정의한다. 그러므로 위성항법기반 AGV의 위치정보는 기준국을 원점으로 하는 (E,N,U) 좌표값으로 계산된다.

기존 AGV 시스템의 경우 전자유도 센서를 이용하여 유도선과 AGV의 상대적인 거리를 위치정보로 사용한다. 그러나 위성항법 기반 AGV의 경우 기준국을 원점으로 하는 (E,N,U) 좌표계 상에서 AGV의 위치 정보와 기준궤적을 이용하여 상대적인 거리를 계산하는 과정이 필요하다.

3.2 기준궤적 생성

기준점 및 항법좌표계가 설정되고 나면 기준 유도선을 대신하여 그림 4와 같이 위성항법 기반의 기준궤적을 생성한다. 기준궤적은 주행 경로를 잘 반영할 수 있는 지점의 위치를 측정하여 생성한다. 기존의 유도선은 연속적인 선으로 기준궤적이 구성되나 위성항법 기반 AGV에서는 기준궤적의 저장 공간 및 계산량에 한계가 있으므로 이를 고려하여 0.05m 간격의 이산적인 값을 이용하여 기준궤적을 생성한다.

기준궤적 생성을 위해서 먼저 주행 경로를 잘 반영하는 지점의 위치를 측정한다. 주행 경로를 측정하고 나면 식 (1)을 이용하여 인접한 두 측정치 사이에서 0.05m 크기의 E,N,U 방향의 증가량인 $i(E,N,U)$ 를 구한다.

$$i(E,N,U) = 0.05 \times \frac{(m_{k+1}(E,N,U) - m_k(E,N,U))}{dis} \quad (1)$$

여기서, $m_k(E,N,U)$ 는 k번째 기준궤적 측정치, dis 는 측정된 두 측정치 사이의 거리를 의미한다.

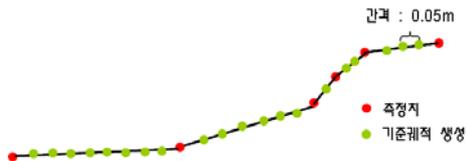


그림 4. 기준궤적 생성

E, N, U 방향의 증가량을 계산하고 나면 식 (2),(3)를 이용하여 두 측정치 사이에 0.05m 이산적인 간격을 가지는 기준궤적($r(E,N,U)$)을 생성한다.

$$r_j(E,N,U) = m_k(E,N,U) \quad (2)$$

$$r_{j+1}(E,N,U) = r_j(E,N,U) + i(E,N,U) \quad (3)$$

여기서, j는 생성되는 기준궤적의 순서를 의미한다.

3.3 위성항법 기반 AGV 제어기

위성항법 기반 AGV 제어기는 정밀위치 정보와 기준궤적을 바탕으로 조향 입력 값을 생성하는 조향 모듈과 조향 모듈의 출력 값을 바탕으로 AGV를 제어하는 제어 모듈로 구성된다. 조향 모듈의 경우 정밀위치정보와 저장된 기준궤적을 입력으로 상용 컴퓨터에서 조향 입력 값을 계산하며 그림 5와 같이 구성된다.

제어 모듈의 경우 조향 모듈에서 제공하는 조향 입력 값을 이용하여 AGV 핸들의 조향각과 비교하여 조향 모터를 구동하는 기능을 담당하며 향후 시스템의 확장성을 고려하여 그림 6과 같이 3장의 보드(메인, 인터페이스, 모터 드라이브)로 구성하였다.

메인 보드의 경우 항법 모듈과의 통신 및 조향 모터 제어를 위한 PWM 출력 기능을 담당하

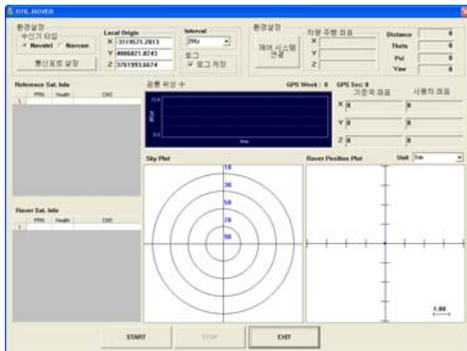


그림 5. 조향 모듈



그림 6a. 메인 보드



그림 6b. 인터페이스 보드



그림 6c. 모터 드라이브 보드

다. 아날로그 보드는 AGV에 달려있는 각종 아날로그 센서의 입력을 메인 보드로 보내고 메인 보드에서 지정한 각종 출력을 처리한다. 모터 드라이브 보드는 조향 모터를 직접 제어하는 출력을 제공한다. 각 보드의 주요 기능 및 사양은 표 4와 같다.

표 4. 제어 모듈의 사양

항목	주요 기능	비고
메인 보드	데이터 처리 PWM 출력 디지털 입·출력 SPI/RS 232 통신	DSP(TMS320F2812)
인터페이스 보드	아날로그 입·출력	ADC : 12bit DAC : 16bit
모터 드라이브 보드	조향 모터 제어	6A 모터

IV. AGV 조향 제어 알고리즘

AGV 조향제어 알고리즘은 위성항법 기반 AGV 제어기 내에 탑재되며 AGV의 현재 위치에서 가장 가까운 기준궤적을 찾고 AGV의 속도를 고려하여 기준궤적상의 목표지점을 설정한 후 이 지점을 향하도록 조향 입력을 생성한다. 기존 AGV에서는 기준궤적인 유도선의 위치 차이 값이 100Hz 이상으로 처리하므로 위치 차이 값만으로 조향 입력 생성이 가능하였다. 그러나 위성항법 기반 AGV의 경우 2Hz 주기의 위치 정보만을 이용하여 조향 입력을 생성해야 하므로 미리 정해진 속도에 따른 조향 제어 알고리즘이 필요하다.

4.1 기준궤적과의 위치 오차 계산

AGV를 기준궤적 위로 주행시키기 위해서는 기존 AGV와 동일하게 주행궤적과의 위치 오차를 이용하여 이에 비례하는 조향 입력을 생성해야 한다. 이를 위해 식 (4)와 같이 AGV의 현재 위치에서 인접한 기준궤적과의 거리(d)를 계산한 후 거리가 가장 최소가 되는 기준궤적 상의 점 ($r_{\min}(E, N, U)$)을 찾는다. 그리고 이 지점과의 거리를 식 (5)와 같이 위치 오차(D)로 정의 한다. 위치 오차는 시스템의 성능 평가에 사용한다.

$$d = \sqrt{(P_i(E, N, U) - r_j(E, N, U))^2} \quad (4)$$

$$D = \sqrt{(P_i(E, N, U) - r_{\min}(E, N, U))^2} \quad (5)$$

여기서, $P_i(E, N, U)$ 는 AGV의 현재위치이다.

4.2 목표지점 지향각 계산

위성항법 기반 AGV의 조향 제어를 위해서 먼저 AGV가 기준궤적을 추종할 수 있도록 목표지점 지향각(ψ)을 계산해야 한다. 일반적으로 AGV와 같은 이동체의 경우 기준궤적과 이동체의 위치 오차를 최소화시켜 주는 유도기법을 사용하여 조향 제어를 수행한다[8]. 이를 위해 이동체의 속도를 고려하여 기준궤적상의 미래지점을 목표지점으로 하는 지향각을 계산해야 한다.

목표지점 지향각 계산을 위해서 먼저 식 (6)을 이용하여 기준궤적상의 목표 지점($r_{\text{target}}(E, N, U)$)을 설정한다. 목표지점은 AGV의 속도를 고려하여 일정거리 앞의 지점을 목표 지점으로 설정한다. 설정된 목표지점은 일정한 속도를 가지며 주행하는 AGV가 기준궤적을 추종하기 위한 최적의 유도 값으로 정의할 수 있다. 실험결과 통신

지연 및 계산지연 오차를 고려하여 AGV의 속도가 6km/h인 경우 4m 앞의 지점이 최적의 값이다. 6km/h를 기준으로 속도가 더 빠른 경우는 4m 이상을 목표지점으로 설정하며 속도가 느린 경우는 4m 이하의 지점을 목표지점으로 설정한다.

$$r_{\text{target}}(E, N, U) = r_{\min + f(v)}(E, N, U) \quad (6)$$

여기서, $f(v)$ 는 이동체의 속도를 고려한 미래 지점을 의미한다.

AGV를 목표지점으로 조향시키기 위한 지향각은 AGV의 현재 위치와 기준궤적상의 목표 지점을 이용하여 식 (7)과 같이 계산한다. 그리고 목표 지향각 계산 시 시계방향으로 각이 향하는 경우는 양의 부호로 반시계 방향으로 향하는 경우 음의 부호로 정의한다.

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{P_i(E) - r_{\text{target}}(E)}{P_i(N) - r_{\text{target}}(N)} \right) \quad (7)$$

여기서, $P_i(N)$, $P_i(E)$ 는 AGV의 현재위치에서의 N, E 방향의 값을 의미하며 $r_{\text{target}}(N)$, $r_{\text{target}}(E)$ 는 목표지점의 N, E 방향 값을 의미한다.

4.3 AGV의 방위각 계산

AGV와 같은 이동체의 조향 입력을 위해서는 기준궤적상의 목표지점 지향각과 함께 AGV의 방위각(θ)을 계산해야 한다. 움직이는 이동체를 제어하기 위해서는 방위각 정보가 필수적이며 이를 계산하기 위해서 자이로 또는 GPS가 제공하는 방위각 정보를 사용하였다. 그러나 본 논문에서 사용한 위성항법 기반의 AGV는 방위각을 측정할 수 있는 장치가 없으며 저속으로 운행하므로 GPS가 주는 방위각 정보를 이용하기에는 한계가 있다. 그러므로 정밀한 위치정보를 차분하여 식 (8)과 같은 방법으로 AGV의 방위각을 생성하였다. AGV 방위각 계산도 목표지점 지향각과 마찬가지로 시계 방향으로 향하는 경우 양의 부호, 반시계 방향으로 향하는 경우를 음의 부호의 값으로 생성하였다.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{P_i(E) - P_{i-1}(E)}{P_i(N) - P_{i-1}(N)} \right) \quad (8)$$

여기서, $P_{i-1}(N)$, $P_{i-1}(E)$ 는 AGV의 현재위치에서 한 예폭 이전의 N, E 방향 값을 의미한다.

4.4 조향 입력 계산

AGV의 조향 입력 값(S_{Input})은 목표지점 지향각에서 AGV의 방위각을 차분하여 식 (9)와 같이 계산하였다.

$$S_{input} = \psi - \theta \quad (9)$$

목표지점 지향각과 AGV 방위각의 차분은 조향 입력 계산에 있어서 피드백(Feedback) 제어와 같은 기능을 수행하며 AGV가 기준궤적을 안정적으로 추정할 수 있도록 한다. 이는 목표 지향각과 방위각은 같은 기준점을 가진 좌표계상의 위치를 기반으로 계산한다. 그러므로 목표지점 지향각과 방위각 모두 같은 방향에 대해서 동일한 부호의 값으로 정의하였다. 기준궤적과 AGV의 상대적인 위치 및 동역학적 움직임을 고려할 경우 AGV의 움직임을 표 5와 같이 나타낼 수 있다.

즉, AGV가 기준궤적에서 멀어지는 방향으로 주행하는 경우 목표 지향각보다 큰 조향 입력 값이 생성되어야 하며 이와 반대의 경우에는 목표 지향각 보다 작은 조향 입력을 생성해야 한다. 이를 도시화하여 설명하면 그림 7, 8과 같다.

먼저 그림 7에서와 같이 AGV가 기준궤적에서 멀어지는 방향으로 주행하는 경우 AGV가 기준궤적에서 오른쪽에 있으므로 목표 지향각은 음의 부호가 나온다. 그리고 AGV의 방위각은 양의 부호로 나와서 부호가 반대가 된다. 부호가 반대이므로 두 값을 차분하는 경우 큰 조향 입력이 생성되는 것을 확인 할 수 있다. AGV의 현재 위치만을 고려하여 목표 지점으로 유도하는 지향각에 방위각을 더하여 조향 입력을 생성함으로써 기준궤적에 더 빨리 추종할 수 있도록 한다.

다음으로 그림 8에서와 같이 AGV가 기준궤적을 향하는 경우 AGV가 기준궤적에서 오른쪽에 있으므로 목표 지향각은 음의 부호가 나온다. 그러나 그림 7의 경우와는 달리 AGV의 방위각도 음의 부호로 나온다. 부호가 같으므로 두 값을 차분하는 경우 두 값보다는 작은 조향 입력이 생성된다. AGV가 이미 기준궤적을 향하여 조향을 하므로 AGV의 현재 위치만을 고려한 목표 지향각 보다는 작은 입력을 주어야 기준궤적을 추종할 수 있다. 만약 목표 지향각을 줄 경우 필요한 조향 입력보다 큰 값이 들어가므로 기준궤적을 벗어나서 조향이 이루어진다.

표 5. AGV의 동적 움직임

AGV 위치	동역학적 움직임	목표 지향각	방위각
기준궤적 오른쪽	기준궤적 방향	(-)	(-)
	기준궤적 반대방향	(-)	(+)
기준궤적 왼쪽	기준궤적 방향	(+)	(+)
	기준궤적 반대방향	(+)	(-)

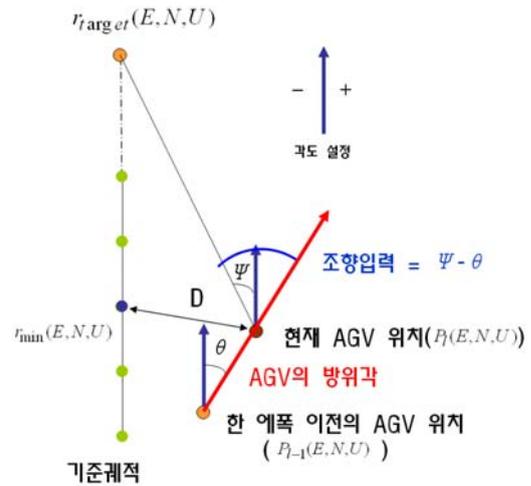


그림 7. 기준궤적 반대 방향으로 AGV 진행

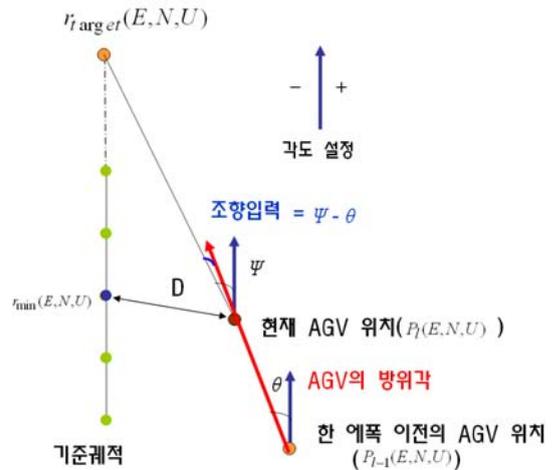


그림 8. 기준궤적 방향으로 AGV 진행

V. 시험 결과

위성항법을 활용한 정밀위치 정보만을 사용한 AGV의 조향 제어 성능을 알아보기 위해서 직선 궤적과 20m의 지름을 가지는 원형 궤적에서 시험을 수행하였다. 시험의 구성은 정밀위치 정보를 생성하기 위한 기준국을 가시성이 좋은 지역에 설치하였으며 이동국은 AGV에 설치하였다. AGV의 속도는 기존의 전자유도 골프카트의 운행 속도와 같이 직선 궤적에서는 6km/h, 원형 궤적에서는 4km/h로 유지하였다.

먼저 직선의 주행 결과인 그림 9를 보게 되면 주행을 위한 기준궤적은 오른쪽 상단에서 출발하

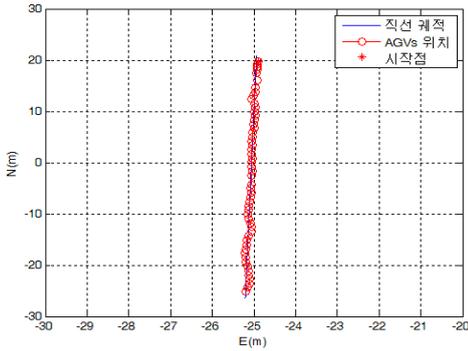


그림 9. 직선 기준궤적 및 AGV 주행 결과

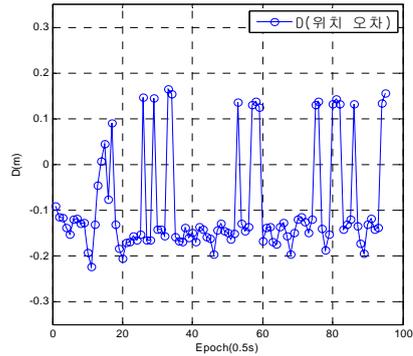


그림 12. 원형 시험 시 위치 오차

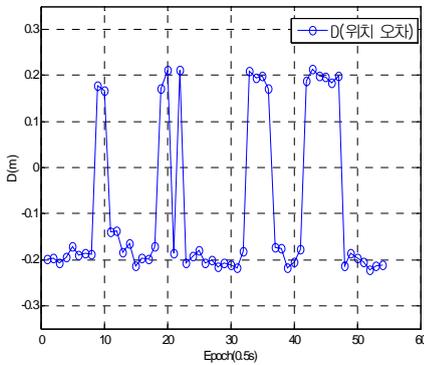


그림 10. 직선 시험 시 위치 오차

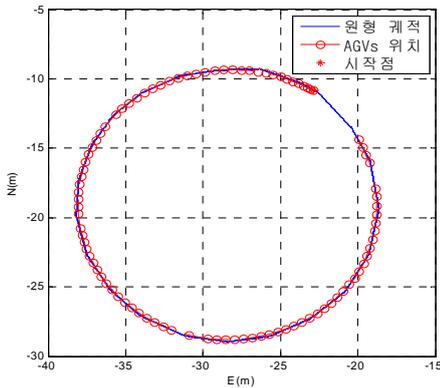


그림 11. 원형 기준궤적 및 AGV 주행 결과

여 남쪽 방향으로 약 40m이며 직선으로 표시되어 있다. 그리고 시험하는 동안의 AGV의 위치는 원으로 표시하였다. 그림 9에서 AGV가 기준궤적을 중심으로 좌·우로 일정 범위 안에서 움직이는 것을 확인 할 수 있다. 이는 반송파를 이용한 정밀한 위치결정기법을 사용하더라도 수 cm 이상의 위치 오차를 가지므로 조향 입력 생성에 있

어서 오차 요인이 된다. 또한 위치 오차 이외의 정밀위치 계산 과정에서 통신지연 및 계산 지연으로 인한 오차가 존재하게 되므로 위치 값만을 사용한 조향 입력 생성은 일정한 오차 범위를 가지게 된다[9].

직선주행 결과 0.5초 마다 위치 오차는 그림 10에서와 같이 $\pm 0.2\text{m}$ 임을 확인 할 수 있으며 위치 오차 값의 RMS(root mean square) 오차를 계산하면 0.156m로 계산 된다. 직선 시험 주행 결과 기존의 AGV의 목표 성능인 $\pm 0.3\text{m}$ 이내로 주행함을 확인 할 수 있다.

다음으로 원형 시험 결과인 그림 11을 보게 되면 오른쪽 상단에서 출발하여 원형 궤적으로 주행함을 확인 할 수 있다. 또한 그림 12의 원형 시험에서의 위치 오차에서 직선 궤적 시험에서와 동일한 결과를 확인 할 수 있으며 원형 주행 위치 오차의 RMS 값은 0.157m로 직선 궤적과 비슷한 결과를 확인 할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 전자 유도를 이용한 기존 AGV를 위성항법 기반의 AGV로 구성하여 시험을 수행하였다. 이를 위해 위성항법 기반의 위치 정보를 이용할 수 있는 AGV 제어기를 개발하였으며 위치 정보를 이용하여 조향 제어를 할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 조향 입력 값을 이용한 AGV의 조향 성능 시험 결과 주행경로인 기준궤적에서 $\pm 0.2\text{m}$ 이내로 주행함을 확인하였다. 따라서 부가적인 장비 없이 위성항법을 이용한 정밀한 위치정보만을 이용하여 저속으로 주행하는 이동체의 조향 제어가 가능함을 확인하였다.

후 기

본 연구는 “재난예방 및 국민 안전제고를 위한 위성기반 위치추적기술”의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) Bradford W. Parkinson, James J. Spiker Jr., “Global Positioning System : Theory and Applications”, AIAA, Washington, DC., 1996.
- 2) B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins., “Global Positioning System: Theory and Practice”, Springer-Verlag, Wien, 1997.
- 3) ABI research, "Satellite Positioning Systems and Devices", 2005.
- 4) Mathieu Joerger, "Development of a GPS-based navigation and guidance system for an automated ground vehicle", Chicago, Illinois, 2002.
- 5) Michael Lee O'Connor., "Carrier-phase differential GPS for automatic control of land vehicles", Standford university, 1997.
- 6) <http://www.ctnt.co.kr/>.
- 7) Moon-Beom Heo, Pervan. B, Gautier, J. Pullen, S. Enge, P. Gebre-Egziabher, “Robust airborne navigation algorithms for SRGPS”, PLANS, 2004.
- 8) 송택렬, “호밍유도 기술”, 한국항공우주학회지, 제23권 제6호, 1995, pp.178~182.
- 9) 강우용, 이은성, 이연규, 허문범, 남기욱, “위성항법 기반 지상이동로봇의 주행 성능 분석”, 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, 2009.