

회피 벡터를 이용한 위성항법 기반 AGV의 장애물 회피

강우용*, 이은성*, 천세범*, 허문범*, 남기욱*

Obstacle Avoidance of GNSS Based AGVs
Using Avoidance Vector

Woo-Yong Kang*, Eun-Sung Lee*, Sebum Chun*, Moon-Beom Heo* and Gi-Wook Nam*

ABSTRACT

The Global Navigation Satellite System(GNSS) is being utilized in numerous applications. The research for autonomous guided vehicles(AGVs) using precise positioning of GNSS is in progress. GNSS based AGVs is useful for setting driving path. This AGV system is more efficient than the previous one. Especially, the obstacle is positioned the driving path. Precious AGVs which follow marker or wires laid out on the road have to stop the front of obstacle. But GNSS based AGVs can continuously drive using obstacle avoidance. In this paper, we developed collision avoidance system for GNSS based AGV using laser scanner and collision avoidance path setting algorithm. And we analyzed the developed system.

초 록

위성항법시스템은 다양한 분야에서 활용되고 있으며 정밀한 위성항법 위치 정보를 이용하여 자율주행차량(AGV: Autonomous Guided Vehicle)에 활용하는 연구가 진행되고 있다. 위성항법을 이용하여 AGV를 제어하는 경우 지상 시설의 설치 없이 위성항법 기반의 위치 정보를 저장하여 주행 경로를 설정하므로 기존 AGV에 비해 주행 경로 설정이 효율적이다. 특히 주행 경로 상에 장애물이 감지된 경우 기존 AGV의 경우 정해진 경로만을 주행하므로 정지해야만 한다. 그러나 위성항법 기반 AGV는 장애물을 피할 수 있는 주행 경로를 설정할 수 있으므로 연속적인 주행이 가능하다. 본 논문에서는 레이저 스캐너와 회피 벡터를 이용한 회피 경로 설정 알고리즘을 이용하여 위성항법 기반 AGV의 충돌 회피 시스템을 구성한 후 그 성능을 분석하였다.

Key Words : Global Navigation Satellite System(위성항법시스템), Autonomous Guided Vehicle(자율주행차량), Obstacle(장애물), Collision Avoidance(충돌 회피), Avoidance Vector(회피 벡터)

1. 서 론

† 2011년 2월 18일 접수 ~ 2011년 5월 30일 심사완료

* 정희원, 한국항공우주연구원 우주응용·미래기술센터
위성항행항법팀

교신저자, E-mail : kang79@kari.re.kr

대전시 유성구 어은동 45

GPS(Global Positioning System)로 대표되는 위성항법시스템(GNSS: Global Navigation Satellite System)은 우주공간의 위성을 이용하여 사용자에게 위치와 함께 시각 정보를 제공해 준다. 위성항법시스템은 항법 분야뿐 아니라 측량, 측

지를 비롯하여 정밀 시각동기 및 지각변동의 측정까지 다양한 분야에서 활용되고 있다[1,2,3]. 항법분야에 있어서 위성항법시스템의 오차를 제거한 정밀한 위치 정보를 이용하여 자율주행차량(AGV: Autonomous Guided Vehicle)에 활용하는 연구가 활발히 진행되고 있다[4,5]. 위성항법을 이용하여 AGV를 제어하는 경우 지상 시설의 설치 없이 위성항법 기반의 위치 정보를 저장하여 주행 경로를 설정하므로 기존 AGV에 비해 주행 경로 설정이 효율적이다[6].

특히 주행 경로상에 장애물이 감지 되었을 경우 기존의 AGV는 지상의 설치된 장비를 따라 주행해야 하므로 장애물 전방에서 정지한 후 장애물이 사라지고 난 후 주행해야 한다. 그러나 위성항법 기반 AGV는 주행 경로를 지상의 장비에 의존하지 않으므로 장애물을 회피할 수 있는 새로운 주행 경로를 생성한 후 주행 할 수 있다. 그러므로 기존 AGV 보다 운행의 효율성 및 에너지 소모량을 줄일 수 있다.

본 논문에서는 위성항법 기반 AGV의 장애물 회피를 위하여 레이저 스캐너(LMS: Laser Measurement Scanner)를 이용하여 충돌 회피 시스템을 구성하였다. 그리고 충돌 회피 시스템에 적합한 장애물 회피 알고리즘을 개발하여 충돌 회피 시험을 수행하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 충돌 회피를 위한 장애물 회피 알고리즘에 대해서 설명하고, 3장에서는 충돌 회피에 사용된 위성항법 기반 AGV 시스템과 충돌 회피 시스템에 대해 소개하며 4장에서는 실 주행 시험 결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺도록 하겠다.

II. 장애물 회피 알고리즘

본 논문에서 사용하는 충돌 회피 알고리즘은 장애물 검출 과정과 회피 경로 설정 과정으로 구성되며 그림 1과 같다. 장애물 검출은 레이저 스캐너를 이용하여 인식된 장애물 중 주행에 영향을 미치는 장애물을 판단하는 과정이며 회피 경로 설정은 검출된 장애물을 회피 할 수 있도록 새로운 주행 경로를 설정하는 과정이다.

2.1 장애물 검출

장애물 검출은 장애물 인식과 주행에 영향을 주는 지를 판단하는 과정으로 구성된다. 장애물 인식은 AGV 전방에 장착되어 있는 레이저 스캐너 출력 값을 이용하여 장애물의 위치를 계산하는 과정을 의미한다. AGV 전방에 장착되어 있는

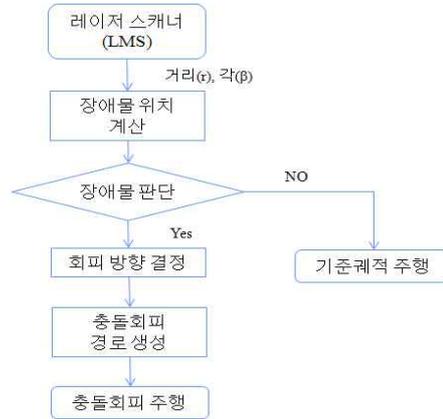


그림 1. 장애물 회피 알고리즘

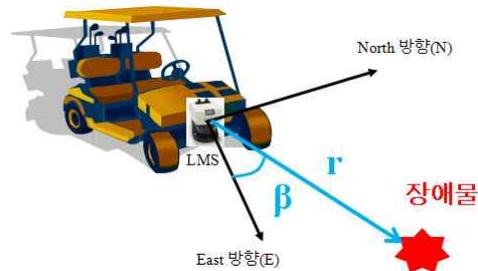


그림 2. 장애물 위치 결정

레이저 스캐너는 장애물의 위치를 그림 2와 같이 장애물까지의 거리(r)와 레이저 스캐너 전방을 기준으로 좌우 수평면 각(β) 정보를 알려준다. 그러므로 레이저 스캐너 출력 값은 레이저 스캐너를 기준으로 한 장애물의 거리와 각 정보이므로 AGV가 사용하는 좌표계로 변환해주어야 한다. AGV가 사용하는 좌표계인 ENU 좌표계로 장애물의 위치($C_k(E), C_k(N)$)를 변환시키기 위해서는 식(1)과 같이 변환하는 과정이 필요하다.

$$\begin{aligned} C_k(E) &= P(E) + r \times \sin(\phi + \beta) \\ C_k(N) &= P(N) + r \times \cos(\phi + \beta) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, $P(E), P(N)$ 는 기준국을 원점으로 하는 E, N, U 좌표계상에서의 AGV의 동쪽(East), 북쪽(North) 위치, k 는 검출된 장애물의 순서, ϕ 는 AGV의 방위각을 의미한다.

장애물을 인식한 후 주행에 영향을 주는 장애물인지에 대한 판단 과정이 필요하다. AGV는 미리 정해진 기준궤적을 주행하므로 기준궤적 상에 위치한 장애물을 회피 장애물로 판단해야 한다. 그러므로 그림 3과 같이 AGV의 차폭을 고려하여 장애물 판정거리(D_0)를 설정 한 후 이 지점 이내에 위치하는 장애물을 식 (2)를 이용하여 회

여기서, AGV_w 는 AGV의 차폭, D_s 는 회피 시작 거리, DP_i AGV와 장애물 사이에 위치하는 미래지향점 사이의 거리를 의미한다.

$$\begin{bmatrix} V_i(N) \\ V_i(E) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(R) & -\sin(R) \\ \sin(R) & \cos(R) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Safe_d \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서, 회전량 R 은 회피방향이 오른쪽인 경우 $\frac{\pi}{2} + \alpha$, 왼쪽인 경우 $-\frac{\pi}{2} + \alpha$ 이다.

III. 시스템 구성

충돌회피 시험을 위하여 본 논문에서는 그림 6과 같이 위성항법 기반 AGV 시스템과 충돌 회피 시스템으로 구성되는 시스템을 제작하였다. 위성항법 기반 AGV 시스템은 이동체인 AGV의 위치 및 자세 계산을 담당하는 항법모듈과 계산된 위치를 바탕으로 AGV의 주행 제어를 위한 출력 값을 제공하는 제어모듈로 구성된다. 충돌회피 시스템은 AGV 전방에 장착되어 물체를 감지하는 레이저 스캐너와 주행 경로내의 장애물을 인식하고 회피 궤적을 생성하는 충돌 회피 제어기로 구성하였다.

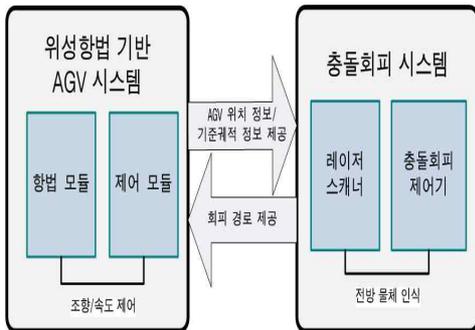


그림 6. 시스템 구성

3.1 위성항법 기반 AGV 시스템

위성항법 기반 AGV 시스템은 현재 골프장에서 사용되고 있는 AGV(제조사 : CT&T, 제품명 : 전자유도 5인승 골프카트)를 개조하여 제작하였다[7]. 기존 AGV는 표 1과 같이 구성되며 AGV 전방에 장착되어 있는 전자유도센서가 유도선에 흐르는 전류를 감지하여 유도선 위를 주행한다. 위성항법 기반 주행을 위하여 기존 AGV 구성 요소를 개조하여 표 2와 같은 기능을 담당하는 항법모듈과 제어모듈을 제작하였다[6].

표 1. AGV 구성 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 주行的 기준경로를 제공
위치 정보 생성	전자유도 센서	유도선과 AGV의 상대적인 거리에 비례하는 전압 값 생성
제어	AGV 제어기	주행과 관련된 데이터 처리 및 AGV 를 제어하는 역할을 수행

표 2. 항법모듈 및 제어모듈 기능

구 성	기 능
항법모듈	<ul style="list-style-type: none"> 정밀위치정보 생성 기준궤적 저장 조향입력 생성
제어모듈	<ul style="list-style-type: none"> 차량장착 센서 입/출력 제어 주행모터 및 조향모터 제어 DR(Dead Recknoing)주행 제어

3.1.1 항법모듈

항법모듈은 위성항법 반송파(Carrier phase)를 사용하여 이동체의 정밀위치정보 생성, 기준궤적 저장, 조향입력 생성을 담당한다. 정밀위치정보생성은 단일차분 기반(SD: Single Difference)의 위치 결정기법을 이용한다. 단일 차분을 위하여 기준국에서는 기준국의 좌표 및 수신한 항법 신호를 무선 모뎀을 이용하여 AGV에 장착되어 있는 모뎀으로 전송한다. AGV에서는 기준국에서 받은 위성항법 정보와 자신이 수신한 위성항법 정보를 차분하여 측정치(Z_1, Z_2)를 식(8),(9)와 같이 생성한 후 실수해 영역에서 단일 차분된 미지정수와 기준국과 이동체의 상대거리를 추정한다[6,8].

$$Z_1 = \Phi_{RA}^i \quad (8)$$

$$Z_2 = \lambda \Phi_{RA}^i - \rho_{RA}^i \quad (9)$$

여기서, Φ_{RA}^i, ρ_{RA}^i 는 i 번째 위성에 대한 기준국과 AGV의 단일 차분된 반송파 및 의사거리 성분을 의미하며 λ 는 L1 반송파의 파장을 의미한다.

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.

기준점 및 항법좌표계가 설정되고 나면 기준 유도선을 대신하여 위성항법 기반의 기준궤적을 생성한다. 기준궤적은 주행 경로를 잘 반영할 수 있는 지점의 위치를 측정하여 생성한다. 기준의 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.

기준궤적을 생성하고 난 후 위성항법 기반으로 AGV가 주행하기 위해서는 기준궤적을 추종할 수 있는 조향입력을 생성해야 한다[6]. 조향입력 생성은 그림 7에서와 같이 현재 AGV 위치 ($P_i(E,N,U)$)에서 가장 가까운 기준궤적상의 점 ($r_m(E,N,U)$)을 찾은 후 목표지점 지향각(ψ)과 AGV의 방위각(θ)을 계산한다. AGV의 현재 위치에서 가장 가까운 기준궤적상의 거리(D)는 위성항법 기반 AGV의 위치오차로 정의하며 주행 성능 평가에 활용한다. 목표지점 지향각은 AGV의 속도를 고려하여 기준궤적상의 미래지점을 목표지점($r_{target}(E,N,U)$)으로 계산한다. 이와 함께 움직이는 이동체를 제어하기 위해서는 방위각 정보가 필수적이다. 그러나 위성항법 기반 AGV에서는 방위각을 측정할 수 있는 장치가 없으므로 현재 AGV의 위치와 이전 AGV의 위치 ($P_{i-1}(E,N,U)$)를 차분하여 AGV의 방위각을 생성하였다.

조향입력은 목표지점 지향각과 AGV의 방위각의 차분을 통하여 계산한다. 두 각의 차분은 조

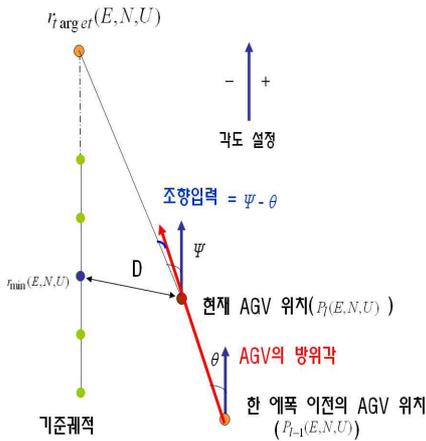


그림 7. 조향입력 생성[6]

표 3. 항법모듈 통신 메시지

항목	패킷수 (Byte)	설명
Week	2	GPS 위성 시간(주)
Sec	4	GPS 위성 시간(초)
AGV _P	12 (3×4)	AGV의 현재 위치 $P_i(E,N,U)$
D	2	기준궤적과 가장 가까운 거리
ψ	2	목표지점 지향각
θ	2	AGV의 방위각 (기준궤적 기준)
ϕ	2	AGV의 방위각 (N 방향 기준)
Ref _P	240 (3×4×20)	현재의 위치기준 1m 간격으로 20개의 미래 기준 궤적 ($R_1(E), R_1(N), R_1(U) \sim R_{20}(E), R_{20}(N), R_{20}(E)$)

향 입력 계산에 있어서 되먹임 (Feedback) 제어와 같은 기능을 수행하며 AGV가 기준궤적을 안정적으로 추종할 수 있도록 한다[6]. 이는 목표지향각과 방위각은 같은 기준점을 가진 좌표계상의 위치를 기반으로 계산된다. 그러므로 목표지점 지향각과 방위각 모두 같은 방향에 대해서 동일한 부호의 값으로 정의하였으므로 AGV가 기준궤적에서 벗어나는 방향으로 주행하는 경우 목표지점 지향각과 방위각의 부호가 반대가 되어 큰 조향입력이 생성되며 반대의 경우 작은 조향입력이 생성된다. 이러한 과정을 거쳐서 항법모듈에서 생성되는 정보는 표 3과 같다.

2.1.2 제어모듈

제어모듈의 경우 차량 장착센서의 입·출력의 제어와 함께 항법모듈에서 AGV의 위치정보와 조향 입력 값이 전송되는 경우 이를 이용하여 주행 및 조향 모터 등을 제어한다. 또한 항법모듈에서 AGV의 위치정보 및 조향입력이 전송되지 않는 경우 AGV에 장착된 엔코더와 조향각 센서출력을 이용한 DR 기반의 주행시스템을 통하여 일정시간 AGV가 기준궤적을 추종할 수 있도록 한다. 본 논문에서 사용한 DR 알고리즘은 식 (10)과 같고 방위각 추정을 위하여 차량 모델을 이용한 식 (11)을 추가적으로 사용하였다[9].

$$\begin{aligned}
 E_{k+1} &= E_k + V_k \times \sin(\phi_{k+1}) \times t \\
 N_{k+1} &= N_k + V_k \times \cos(\phi_{k+1}) \times t \\
 \phi_{k+1} &= \phi_k + \Delta\phi_{k+1}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

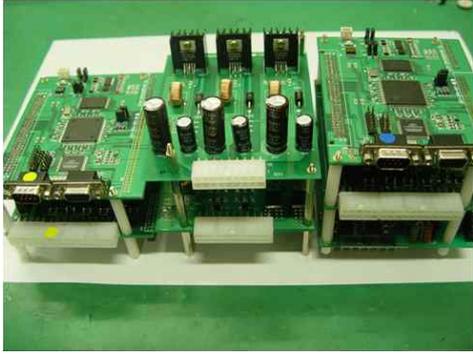


그림 8. 제어모듈 하드웨어

여기서, V_k 는 엔코더를 이용하여 구한 AGV의 속도, $\Delta\phi_{k+1}$ 는 AGV의 방위각 변화량, t 는 적분구간, k 는 계산 순서를 의미한다.

$$\Delta\phi_{k+1} = \frac{V_k \times \Delta\delta_{k+1}}{L} \times t \quad (11)$$

여기서, L 은 AGV의 축간 거리(2.15m), $\Delta\delta_{k+1}$ 는 앞 바퀴의 조향각의 변화량(조향각 센서 출력의 변화량)을 의미한다.

또한, 제어모듈은 충돌 회피시스템에서 제공하는 회피 경로로의 주행을 담당한다. 이를 위해 충돌 회피시스템에서 제공하는 장애물 위치 정보를 바탕으로 기준궤적 상에 장애물이 존재하는 경우 회피를 위한 주행지점을 설정한 후 주행 및 조향모터 제어를 통하여 충돌 회피 제어를 수행한다.

제어모듈은 그림 8과 같이 5장의 보드(메인, 인터페이스, 모터 드라이브, 파워, 릴레이 보드)로 구성하였다. 메인 보드의 경우 항법모듈과의 통신 및 조향 모터 제어를 위한 PWM(Pulse Width Modulation) 출력 기능을 담당하다. 인터페이스 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. 또한 파워보드는 각 보드에 안정된 전압을 제공하며 릴레이 보드는 수동과 자동 주행 기능의 전환을 해주는 기능을 담당한다.

3.2 충돌 회피 시스템

충돌 회피 시스템은 AGV 전방의 사물의 움직임이나 형상 등을 측정하는 레이저 스캐너와 충돌 회피 알고리즘이 들어있는 충돌 회피 제어기로 구성되며 그림 9와 같다. 본 연구에서 사용한



그림 9. 충돌 회피 시스템 구성

표 4. 레이저 스캐너 사양[10]

항 목	사 양
감지 거리 (m)	80
감지 각도 (°)	180
거리 분해능 (mm)	1
각도 분해능 (°)	0.25/0.5/1
반응 속도 (ms)	53.33/26.33/13.33
정확도 (mm)	±15~35

레이저 스캐너는 무인 자동차에 많이 사용되고 있는 독일 SICK사의 LMS 291로서 야외에서 원거리 측정이 가능하며 높은 분해능과 빠른 스캔 성능을 가지고 있으며 성능사양은 표 4와 같다.

충돌 회피 제어기는 Texas Instrument사의 DSP(TMS320F2812)를 사용하여 제작하였으며 충돌 회피와 관련된 데이터를 처리한다. 그리고 충돌 회피 알고리즘을 이용하여 회피궤적을 생성한다. 충돌 회피 알고리즘은 레이저 스캐너 출력값과 AGV의 위치 및 기준궤적을 이용하여 장애물을 인식하는 장애물 검출모듈과 기준궤적 상에 장애물이 발견되었을 경우 장애물을 피할 수 있도록 하는 회피 경로 설정 모듈로 구성된다.

IV. 시험 결과

4.1 시험 조건

시험에 사용된 AGV는 그림 10과 같으며 위성항법 기반 주행을 위한 시스템은 표 5와 같은 사양의 GPS 수신기 및 무선 모뎀을 사용하였다. AGV 전방에 레이저 스캐너를 설치하였으며 주행 속도는 위성항법 기반 주행인 경우 6km/h, 충돌 회피 주행인 경우 3km/h로 설정하였다. 그리고 장애물은 그림 11과 같이 주행궤적 상에 직

표 5. GPS 수신기 및 모뎀 사양

항 목	사 양
위성항법 수신기(노바텔)	DL-V3 · GPS L1/L2 신호 수신
무선 모뎀 (Pacific Crest)	Pacific Data Modem · 전송대역 : 450-470MHz · 전송속도 : 9600bps



그림 10. AGV 구성



그림 11. 장애물 배치

선으로 25m의 간격으로 두 개의 장애물을 설치하였다. 그리고 1.425m인 AGV의 차폭을 고려하여 장애물 판정거리와 이격거리를 2m로 하였으며 기준궤적 상에 장애물이 위치하는 경우 이 거리를 기준으로 회피하도록 시험 조건을 설정하였다. 그리고 장애물 회피 시작 거리를 10m로 설정하였다.

4.1 충돌 회피 결과

충돌 회피 시험 결과 그림 12와 같이 AGV가 장애물을 회피하여 주행함을 확인하였다. 그림에서 파란색은 AGV의 기준궤적이며 녹색 및 빨간색은 GPS 기반의 정밀위치 정보, 빨간색은 제어 모듈에서 계산한 위치이다. AGV는 오른쪽 위에서 출발하여 왼쪽 아래 방향으로 주행을 하였으며 주행궤적 상의 E, N 방향에 (22,0), (19,-22)에

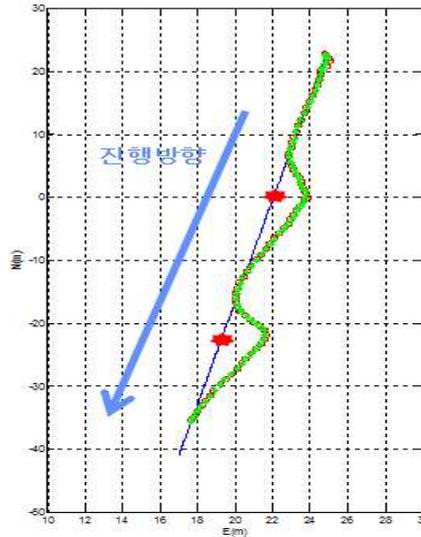


그림 12. 충돌 회피 결과

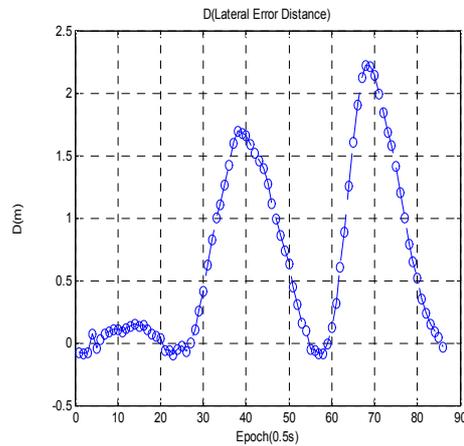


그림 13. 횡방향 이격 거리(D)

위치하고 있는 장애물을 오른쪽 방향으로 회피하여 주행함을 확인 할 수 있다.

회피 성능을 확인하기 위해서 기준궤적과 AGV의 현재 위치에서 가장 가까운 기준궤적상의 거리(D)를 비교하면 그림 13에서와 같은 결과를 확인할 수 있다. 그림에서 장애물이 발견되기 전인 27 Epoch까지는 위성항법 기반 위치 정보를 이용하여 주행하였으며 기준궤적과의 오차는 0.2m 이내임을 확인할 수 있다. 첫 번째 장애물이 발견된 27 Epoch 부터 회피를 위한 주행을 시작하였으며 장애물이 위치한 40 Epoch에서 약 1.7m의 간격을 두고 회피를 하였다. 회피 이후 미리 정해진 기준궤적으로 주행을 하였으며 두

번째 장애물이 발견된 58 Epoch에서 다시 회피를 시작하여 2.2m 의 간격으로 회피를 하였다. 장애물과 AGV의 차폭을 고려하여 설정한 장애물 판정거리에 2m에 근접하여 충돌 회피를 수행함을 확인 할 수 있다.

V. 결 론

기존의 AGV는 지상에 설치된 장비를 따라 주행하므로 장애물이 주행 경로상에 위치할 경우 정지해야 한다. 그러나 위성항법 기반 AGV는 주행 경로 전방에 장애물이 존재하더라도 이를 회피할 수 있는 주행 경로 설정이 가능하므로 새로운 주행 경로를 생성한 후 주행 할 수 있다. 이를 확인하기 위하여 주행 경로 상에 장애물을 설치한 후 장애물 회피 시험을 수행하였다. 시험 결과 장애물이 위치하는 지점에서 회피 경로 설정을 통하여 미리 정해진 장애물 판정거리에 근접하여 장애물을 회피할 수 있음을 확인하였다. 이러한 연구 결과는 위성항법 기반으로 주행하는 지상 이동체의 안전성 향상을 위한 알고리즘 개발에 활용될 수 있다.

후 기

본 연구는 국토해양부 위성항법기반 교통인프라 기술개발의 연구비지원(06교통핵심A03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) Bradford W. Parkinson, James J. Spiker Jr., Global Positioning System : Theory and Applications, AIAA 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, December 2002.
- 5) Michael Lee O'Connor. "Carrier-phase differential GPS for automatic control of land vehicles", Standford university, December. 1997
- 6) 강우용, 이은성, 허문범, 남기욱. "위성항법 기반 AGV의 조향성능 시험", 한국항공우주학회지 제38권 제 2호, pp. 180~187, 2010.
- 7) <http://www.ctnt.co.kr/>
- 8) Moon-Beom Heo Pervan, B. Gautier, J. Pullen, S. Enge, P. Gebre-Egziabher, D. "Robust airborne navigation algorithms for SRGPS", PLANS 2004.
- 9) J.Y.Wong. F.I.Mech.E, F.A.S.M.E,F.C.S.M.E "Theory of Ground Vehicle, Third Edition,," JOHN WILEY&SONS,INC, 2001.
- 10) <http://www.sick.com/>