

## 초음파와 적외선 센서를 이용한 AGV 위치 보정

박진모 · 박경섭

제어계측공학과

### <요약>

본 논문은 고정된 경로를 가지지 않는 자율 주행 방식 AGV 위치 보정에 관한 내용이다. 자율 주행 방식에서 AGV가 좌표상의 주어진 경로를 주행하려면 작업 공간 상에서 현재 자신의 위치를 파악할 수 있어야 하며, 바퀴의 회전량을 휠 엔코더로 측정하여 위치를 계산하는 방법이 널리 사용된다. 그러나 이 경우 주행 경로가 길어질수록 오차가 계속 누적되며 이러한 오차는 AGV 자체의 내부 센서만으로는 확인할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

이러한 내부 센서의 단점을 보완하기 위해 외부 센서가 필요하며, AGV의 위치를 측정하고 보정하기 위한 방법으로 비전 센서와 PSD 센서, 초음파 센서등을 이용한 방법들이 제시되고 있다. 또한 이러한 외부 센서와 내부 센서를 서로 보완하기 위한 방법으로 데이터 융합이 시도되고 있다.

본 논문에서는 외부 센서로 적외선과 초음파 센서를 사용하여, 두 매체간의 전달 시간차를 측정하고 이를 이용하여 AGV의 위치를 구하였다. 그리고 외부 센서로부터 구한 데이터와 내부 센서 데이터를 칼만 필터를 이용하여 데이터 융합을 시도하였다. 데이터 융합을 한 경우가 내부 센서만을 이용하는 것보다 유용하다는 것을 실험 결과를 통해 보였다.

---

## Position Compensation for Automatic Guided Vehicle Using Ultrasonic and Infrared Sensors

Jin-Mo Park · Kyung-Sup Park

Dept. of Control and Instrumentation Engineering

### <Abstract>

In this paper, we proposed a new method of position compensation for AGV navigation. When the AGV run along a desired trajectory, the AGV must recognize current position. The simple method, taking current position, is to count the rotation frequency of driving motors or wheels. But this method has weak point that as path longer, errors are accumulated. Therefore external sensor is required for compensation of the position measured by internal sensor. In example of external sensor that are vision sensor, psd sensor and ultrasonic sensor.

We use infrared and ultrasonic sensors as external sensor and encoder as internal sensor. We measured AGV's position by using external and internal sensors and used data fusion technique to compensate errors of the datum.

Experimental results show that the presented method is useful for position compensation of AGV.

## 1. 서 론

산업 현장에서 AGV(Automatic Guided Vehicle)를 이용한 물류 운반은 기존의 컨베이어 벨트와 같이 고정된 방식에 비하여 공정 라인의 변화에 따른 큰 유연성을 가진다는 장점을 가지고 있다. 따라서 물류 운반의 유연성이 필요한 공장 자동화 시스템에 적용되어지고 있는 추세이다.

현재 실용화 되어 있는 AGV 경로 유도 방식은 유도 테이프와 같이 고정된 경로를 따라 운행하는 고정 궤도 방식이 널리 이용되고 있다. 이와 같은 방법은 위치 제어 특성이 우수하여 정확한 작업의 수행이 가능하고 신뢰성이 크다는 장점을 가진 반면, 라인 변경에 따른 궤도의 재 설치로 인하여 시간과 비용이 많이 소모되며 공정의 변화에 대한 즉각적인 대응이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 따라서 고정된 궤도를 가지지 않고 보다 유연성을 가지는 자율 주행 방식의 AGV 시스템 개발이 진행되고 있다.

자율 주행 방식에서 AGV가 좌표상의 주어진 경로를 주행하려면 공간상에서의 현

재 위치를 파악할 수 있어야 한다. 현재 위치를 파악할 수 있는 간단한 방법으로는 바퀴의 회전량을 휠 엔코더(Wheel Encoder)로 측정하는 것을 들 수 있다. 그러나 이 경우 주행 경로가 길어질수록 오차가 계속 누적되게 되며 이러한 오차는 AGV 자체의 내부 센서(Internal Sensor)만으로는 확인할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

이를 보완하기 위해 외부 센서(External Sensor)가 필요하며, 현재 AGV의 위치 오차량을 측정하고 보정하기 위한 방법으로 비전 센서(Vision Sensor)[1][2]와 PSD(Position Sensitive Detector)센서[3], 초음파 센서(Ultrasonic Sensor)[4-6]을 이용한 방법들이 연구되고 있다. 비전 센서의 경우 아직 실제 응용에 있어서 고가이며 신뢰성이 부족하다는 단점을 가지고 있으며, 이에 비해 초음파 센서는 작고 가벼우며 가격이 싸다는 장점을 가지고 있다.

초음파 센서를 이용한 위치 측정 방법으로는 통로의 벽, 모퉁이 등을 향해 초음파 신호를 발사하고 반사된 초음파의 신호를 이용하여 위치를 측정하는 방법[4], AGV의 활동 공간에 여러 개의 초음파 송신 장치를 설치하여 주기적으로 일정한 간격의 초음파를 발생시키고 AGV에서 이를 수신하여 위치를 측정하는 방법[6], 주위에 설치된 유도기들에게 위치 요구 신호를 주고 이에 응답해 발생한 적외선과 초음파의 공기 중 전달 속도차를 이용한 위치 측정 방법[5] 등이 제시되었다.

본 논문에서는 적외선과 초음파의 전달 속도차를 이용하여 AGV의 위치를 측정하고 이를 보정하고자 한다. 기존의 방법[5]에 있어서 AGV가 유도기들에게 적외선과 초음파의 동작 요구 신호를 준 후, 이에 응답하는 유도기들의 대기 시간이 일률적으로 부여되어 있어 위치를 구하기까지 걸리는 시간이 많았다. 이 시간 간격을 줄이기 위해 각각의 유도기들에게 개별 인식 코드(Identification Code)를 부여하고 AGV가 필요로 하는 유도기만 동작 하도록 구성하였다. 이 과정에서 원 칩 마이크로 컨트롤러인 Intel 8051를 이용하여 회로적인 부담을 프로그램으로 보완했으며 보다 안정적인 동작을 취할 수 있도록 하였다.

유도기에서 발생한 적외선과 초음파가 AGV까지 도달한 시간차를 측정하면 서로 간의 거리를 구할 수 있으며, 복수 개의 유도기들로 부터 현재 AGV의 위치를 측정할 수 있다. 여기서 구한 데이터와 AGV 내부 센서인 엔코더를 이용하여 구한 데이터

를 칼만 필터(Kalman Filter)를 이용하여 데이터 융합을 시도하였으며, 이를 기초로 AGV를 주행시켜 주행 거리가 늘어나더라도 정확하게 주행 경로를 이동해 갔음을 보이고자 한다.

## 2. AGV 위치 측정

### 2.1. 초음파와 적외선을 이용한 위치측정

#### 2.1.1. 위치 측정 방법

3차원 공간상에서 평면을 이동하고 있는 AGV의 위치를 초음파를 이용하여 찾아내기 위하여 다음과 같은 방법[5][9]이 제시되었다.

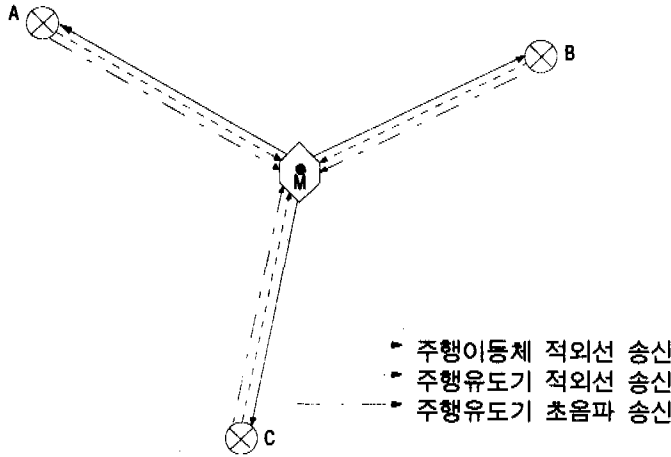


그림 1. 초음파의 지연 시간을 이용한 AGV의 위치 측정방법

AGV는 미리 좌표를 알고 있는 A, B, C의 각 유도 장치의 동작을 요구하면 각 유도 장치(주행 유도기)들은 차례대로 자신의 설정된 지연 시간마다 적외선 신호와 초음파 신호를 동시에 송신하게 된다. AGV는 적외선과 음파의 전달 시간 차이를 이용하여 유도기와의 거리를 차례로 알아 낸 후 AGV 자신의 좌표를 찾게 된다.

여기서 구성한 AGV 센서부는 아래의 블럭 다이어그램에서와 같이 센서 제어 회로부와 적외선 송신부, 적외선 수신부, 초음파 수신부로 구성되며, 주행 유도기는 유도기 제어 회로와 적외선 송신부, 적외선 수신부, 초음파 송신부로 구성된다. 블럭도

는 다음과 같다.

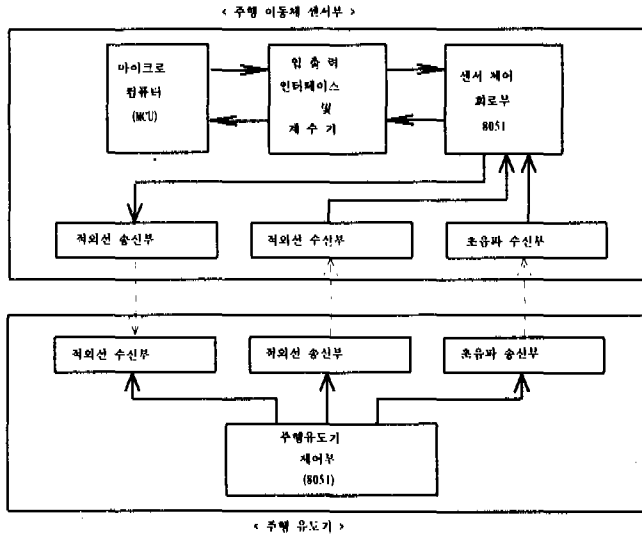


그림 2. AGV 와 주행 유도장치의 구조도

AGV 센서부는 Intel 8051 로 구성되어 있으며 입출력 인터페이스부로 부터 8 Bit I/O Port 를 통해 거리 정보가 필요한 유도기의 ID 코드를 받게 된다. 8051 은 외부로부터 원하는 유도기의 ID 코드를 입력받게 되면 이 데이터를 8051 의 시리얼 채널을 통해 보내게 된다. 이 신호는 8051 이 만들고 있는 38kHz 신호를 캐리어 주파수로 하여 외부 적외선 송신 회로에 의해서 유도기들을 향해 적외선을 송신하게 된다.

AGV 의 작업 공간에 배치된 주행 유도기들을 AGV 가 송신한 적외선 신호를 적외선 수신부에서 수신하여 주행 유도기 제어 회로를 보내게 된다. 주행 유도기 제어회로는 8051 로 구성되어 있으며 적외선 수신부에서 수신된 적외선 신호가 자신이 부여 받은 8 Bit ID 코드와 일치 하는지를 비교하게 된다.

일치하지 않은 경우 다시 자신의 ID 코드가 수신될 때까지 대기하게 되며, 만약 수신된 신호가 자신의 ID 코드와 일치할 경우 시리얼 채널과 연결되어 있는 적외선 송신부를 통해 자신의 인식 코드를 AGV 로 송신함과 동시에 초음파 송신부를 구동하여 초음파를 발생시킨다.

주행 유도기에서 동시에 송신된 두 신호를 AGV 센서부의 적외선 수신 회로와 초

음파 수신 회로에서 검출하게 된다. 초음파는 광속에 비해 매우 느리므로, 서로 시간차를 두고 감지된다. 광속과 초음파의 진행 속도는 다음과 같이 나타내어 진다.

$$V_{\text{infra}} = 300 * 10^6 \text{ m/sec} \quad (1)$$

$$V_{\text{ultra}} = 331.5 + 0.6 * t \text{ m/sec (t: 섭씨온도)} \quad (2)$$

두 신호의 시간차는 센서 제어 회로부에서 펄스 신호로 나타내 주고 이를 계수기에서 계수하여 거리 정보로 나타내어지게 된다. 이 과정에서 적외선 코드의 수신 여부와 자신이 유도기로 송신한 코드와 유도기에서 수신한 코드가 일치하는지 또한 초음파 신호의 수신 여부를 체크하여 에리 코드를 입출력 인터페이스부를 통하여 제어 컴퓨터로 보내어 거리 정보가 정확한 것인지의 여부를 검증 가능 하도록 하였다.

### 2.1.2. 좌표 계산

일 차원 평면 위에서 세 개의 임의의 기준 좌표로부터의 길이를 알 수 있다면, 현재의 위치를 파악할 수 있다. 여기서는 계산의 편의성을 위하여 세 개의 유도기를 직각이 되도록 설치하고, 한 개의 유도기는 원점, 나머지 두 개의 유도기는 각각 X-축과 Y-축상에서 NavZ 높이 위에 두었다.

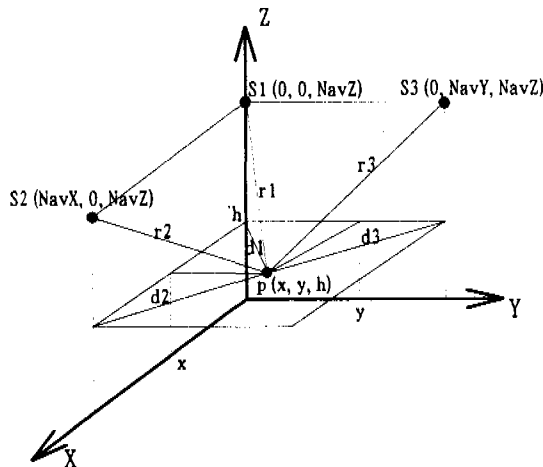


그림 3. 유도기 설치 좌표

유도기의 좌표값 NavZ, NavX, NavY 와 AGV 의 높이 h 는 이미 알고 있는 값이므로, 적외선과 초음파를 이용하여 유도기와 AGV 와의 거리  $r_1, r_2, r_3$  를 구하면, X-Y 좌표상에서 AGV 의 위치(x, y)는 아래 식(3), (4), (5)를 통하여 구할 수 있다.

$$d = \sqrt{r^2 - H^2} \quad (H = \text{NavZ} - h) \quad (3)$$

$$d_2 = d_1^2 + \text{NavX}^2 - 2 \cdot d_1 \cdot \text{NavX} \cdot \cos\alpha \quad (4)$$

$$d_3 = d_1^2 + \text{NavY}^2 - 2 \cdot d_1 \cdot \text{NavY} \cdot \cos\beta \quad (5)$$

$$x_u = d_1 \cdot \cos\alpha = \frac{\text{NavX}^2 + d_1^2 - d_2^2}{2 \cdot \text{NavX}} \quad (6)$$

$$y_u = d_1 \cdot \cos\beta = \frac{\text{NavY}^2 + d_1^2 - d_3^2}{2 \cdot \text{NavY}} \quad (7)$$

여기서 식(6),(7) 에서 구한 위치  $J_{k+1} = [x_u \ y_u]^T$  를 측정 오차  $v_{k+1}$  를 고려하여 실제 위치  $x_k = [x \ y]^T$  에 대하여 나타내면 식(8)과 같다.

$$J_{k+1} = x_{k+1} + v_{k+1} \quad (8)$$

여기서  $v_k$  는 센서들이 가지는 측정 오차와 주행 중 차체의 흔들림등으로 인한 오차를 나타낸다.

## 2.2. 엔코더에 의한 위치 측정

엔코더에 의한 위치 측정 방법은 현재 샘플링한 AGV 의 위치와 방향( $X_k, Y_k, \theta_k$ ) 을 직전 샘플링한 위치와 방향( $X_{k-1}, Y_{k-1}, \theta_{k-1}$ )과 엔코더로 측정한 두 시간 사이의 AGV 의 이동 거리를 이용하여 계산하는 방법이다[2]. 그림 4 는 AGV 의 기하학을 나타낸다.

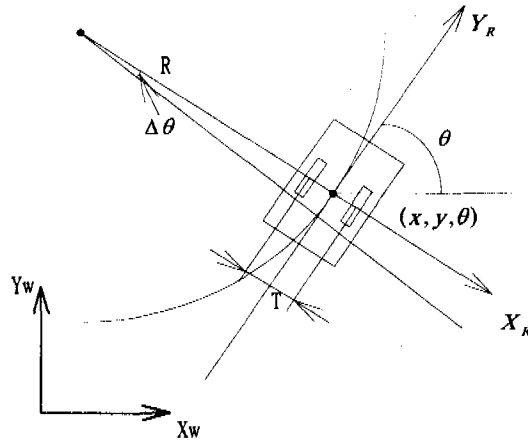


그림 4. AGV의 기하학

AGV의 작업 공간을 평면으로 가정하면 바닥 평면 좌표  $x, y$ 와 주행 회전각  $\theta$ 의 3 자유도로 표시된다. 여기서 방향각  $\theta$ 는 X 축에서 반시계 방향으로 취해진 값이다.

주행하고 있는 AGV의 양 바퀴의 회전 양은 인터럽트에 의한 펄스 수로 계산이 되고, 이를 이용하여 경로 좌표계에 대한 AGV의 위치 표시와 방향을 다음과 같이 계산할 수 있다.  $k-1$  번째 제어 주기에서, 양 바퀴의 펄스 증분을 각각  $P_L^k, P_R^k$ 라 하고 제어 주기 동안 바퀴 속도의 변화를 무시할 만하다고 가정하면, 양 바퀴의 이동량  $L_L^k, L_R^k$ , 방향의 변화량  $\Delta\theta_C^k$ 와 회전 반경  $R_k$ 는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$L_R^k = H_R \cdot P_R^k \quad (9)$$

$$L_L^k = H_L \cdot P_L^k \quad (10)$$

$$\Delta\theta_C^k = \frac{L_R^k - L_L^k}{T} \quad (11)$$

$$R_k = \frac{T(L_R^k + L_L^k)}{2(L_R^k - L_L^k)} \quad (12)$$

여기서  $H_L$  및  $H_R$ 은 각각의 바퀴의 단위 펄스에 따른 주행 거리를 나타내며,  $T$ 는



양 바퀴 사이의 거리를 나타낸다.

엔코더에 의해 측정되는 이동 변위  $L_R$ ,  $L_L$ 는 시스템 입력으로 식(9)(10)(11)(12)을 사용하면 AGV의 절대 위치는 다음과 같이 유도된다[8].

$$x_{k+1} = x_k + R_k [\cos\theta_k \sin\Delta\theta_k + \sin\theta_k (\cos\Delta\theta_k - 1)] \quad (13)$$

$$y_{k+1} = y_k + R_k [\sin\theta_k \sin\Delta\theta_k - \cos\theta_k (\cos\Delta\theta_k - 1)] \quad (14)$$

$$\theta_{k+1} = \theta_k + \Delta\theta_k \quad (15)$$

식(16)을 이용하여 근사화하면 다음과 같이 얻어진다.

$$\cos\Delta\theta \cong 1 - \frac{1}{2}\Delta\theta^2, \quad \sin\Delta\theta \cong \Delta\theta \quad (16)$$

$$x_{k+1} = x_k - \frac{1}{4T} AB \sin\theta_k + \frac{1}{2} A \sin\theta_k \quad (17)$$

$$y_{k+1} = y_k + \frac{1}{4T} AB \cos\theta_k + \frac{1}{2} A \sin\theta_k \quad (18)$$

$$\theta_{k+1} = \theta_k + \frac{1}{T} B \quad (19)$$

여기서  $A = L_R + L_L$ ,  $B = L_R - L_L$  이다.

식(17)(18)을  $x_k = [x_k \ y_k]^T$ 로 하여 선형 방정식으로 유도한 후 오차를 고려하면 다음과 같다.

$$x_{k+1} = x_k + F_k u_k + w_k \quad (20)$$

여기서  $w_k$ 는 엔코더의 측정 오차로 엔코더에 의한 위치 모델링이 근사식이라는 점과 바퀴의 미끄러짐 등의 여러 오차에 비롯하며,  $u_k$ 는 샘플링 시간 동안 좌우 바퀴의 이동량으로서

$$u_k = \begin{bmatrix} L_R^k \\ L_L^k \end{bmatrix} \text{ 이고,}$$

$$F_k = \begin{bmatrix} -\left(\frac{1}{2T}\right)R\sin\theta_k + \left(\frac{1}{2}\right)\cos\theta_k & \left(\frac{1}{2T}\right)L\sin\theta_k + \left(\frac{1}{2}\right)\cos\theta_k \\ \left(\frac{1}{2T}\right)R\cos\theta_k + \left(\frac{1}{2}\right)\sin\theta_k & -\left(\frac{1}{2T}\right)L\cos\theta_k + \left(\frac{1}{2}\right)\sin\theta_k \end{bmatrix}$$

이다.

그러나 이런 경우 먼 거리를 주행할수록 센서가 가지는 오차의 누적으로 인하여 오차가 증가하게 되므로, 이를 초음파와 적외선 센서로 부터 구한 위치값을 이용하여 서로 보정하고자 한다.

### 2.3. 데이터 융합에 의한 위치 보정

두 개의 위치값을 융합하기 위하여 칼만 필터(Kalman Filter)를 사용하였다. AGV가 자율 주행하고자 할 때 위치 정보 $\{x_k, y_k\}$ 와 방향 정보 $\{\theta_k\}$ 를 알아야 한다. 휠 엔코더를 이용할 경우 AGV의 위치와 방향을 알 수 있으나 초음파로 부터는 위치 정보만 구할 수 있다. 그러므로 칼만 필터에서 현 위치  $x_k = [x \ y]^T$ 만 상태 변수로 놓고, 회전량은 엔코더로 부터 얻은 각도 정보를 그대로 사용하였다. 본 논문에서 사용하고 있는 시스템의 상태 방정 식은 식(20)에서 측정 방정식은 식(8)으로 부터 구할 수 있다.

$$x_{k+1} = x_k + F_k u_k + w_k$$

$$y_{k+1} = x_{k+1} + v_{k+1}$$

측정 오차  $v_k, w_k$ 는 기대값  $E\{v_k\} = 0, E\{w_k\} = 0$ , 공분산  $E\{v_k v_k^T\} = R_k, E\{w_k w_k^T\} = Q_k$ 의 가우시안 분포를 가진다고 가정한다. 상태 변수  $x_k$ 에 대한 최적 추정값과 오차 공분산 행렬  $P_k$ 는 식 (21)(22)(23)과 같이 유도된다.

$$K_{k+1} = -(P_k + Q_k)(P_k + Q_k + R_{k+1})^{-1} \quad (21)$$

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_k + F_k u_k - K_{k+1} [y_{k+1} - (\hat{x}_k + F_k u_k)] \quad (22)$$

$$P_{k+1} = (I + K) (P_k + Q_k) \quad (23)$$

이러한 보정 알고리즘은 외부 센서인 초음파 신호의 수신 지역일 경우만 가능하며 초음파 신호의 수신 지역을 벗어난 경우 초음파 센서에 의한 위치 보정을 포기하고 내부 센서인 엔코더에 의해서만 주행하게 된다. 이와 같이 칼만 필터에 의한 위치 보정 방법을 이용할 경우 정확도는 각 센서의 오차를 얼마나 정확히 파악할 수 있는가에 달려 있다. 여기서 내부 센서와 외부 센서의 오차는 공분산 행렬  $Q_k$  와  $R_k$  로 표현하였으며 이값은 실험적인 방법에 의하여 구하였다.

### 3. AGV 시스템 개요

AGV의 하드웨어 구조는 그림 5 과 같이 구성되어 있다.

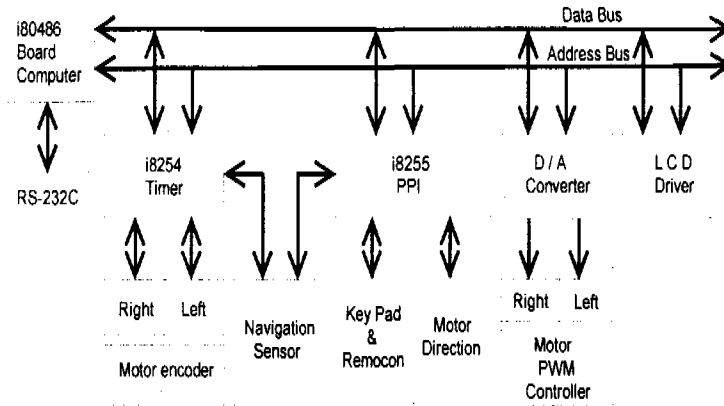


그림 5. AGV의 하드웨어 구성도

AGV 제어부는 Intel 80486을 사용한 CPU B/D를 사용하였다. 개발의 편의성을 위하여 허큘리스 그래픽 카드를 가지도록 하여 흑백 모니터와 연결이 가능하며, 하드 디스크와 플로피 디스크 드라이브를 내장하여 기본적인 데이터 교환이 쉽게 가능하도록 하였다.

AGV의 제어 컴퓨터와 각종 장치들 간의 제어 신호는 로봇트 입출력 제어부를 통하여 이루어진다. 입출력 제어부는 i8255, i8254, i8253 등으로 구성되어 있고, 도시바(Toshiba)의 20x4의 액정 디스플레이와 5개의 입력 키를 통하여 외부 조작자의 조작을 받을 수 있다. 또한 입출력 제어부는 주행 유도 장치와 모터 제어부와도 연결되어 있어 이들에게 제어 신호를 주게 된다. 모터 제어부는 직류 모터로써 PWM(Pulse

Width Modulation)방식을 이용하여 구동하고 있다.

## 4. 실험 결과 및 평가

### 4.1. 주행 유도기의 거리 측정 실험

아래의 그림 6은 적외선과 초음파의 전달 시간차를 40kHz로 계수하여 AGV 센서부와 유도기간의 거리를 제어 본 결과이다. X축은 실제 거리이며 Y축은 계수한 결과이다.

횟 수	실 측 치 ( mm )	계 수 값
1	100mm	17
2	500mm	63
3	1000mm	126
4	1500mm	178
5	2000mm	244
6	2500mm	295
7	3000mm	359
8	3500mm	417
9	4000mm	446

표 1 거리에 따른 계수값

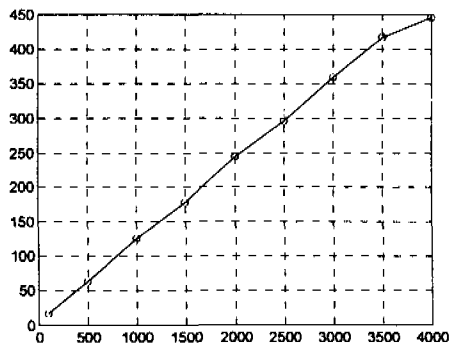


그림 6. 실제 거리와 초음파를 이용한 거리 측정

각각의 유도기들은 원점과 원점으로 부터 X-축으로 5545mm 떨어진 점, 원점으로 부터 Y-축으로 2980mm 떨어진 점에 놓이게 되는데 Z-축으로 1885mm의 높이 위에

설치 되었다. 다음 표는 실내에서 위와 같은 과정을 통하여 AGV의 제어 컴퓨터가 유도기로 부터 받은 정보들을 이용하여 좌표를 추정 한 값들이다.

단위 mm

X 좌표	Y 좌표	X 좌표 측정값	Y 좌표 측정값
2900	2625	2939	2633
2900	2015	2899	1982
2900	795	2900	793
2290	795	2329	821
2290	2015	2329	2024
2290	2625	2319	2612
1680	2625	1727	2621
1680	1405	1766	1387
1680	795	1693	775

표 2. AGV의 실제 좌표와 유도기들을 이용하여 측정 한 좌표

#### 4.2. 보정 알고리즘에 의한 위치 보정 결과

내부 엔코더에 의한 자기 유도 주행에 의한 주행과 엔코더와 외부 센서인 초음파 센서에서 얻은 정보를 서로 융합하여 추측한 값을 바탕으로 주행했을 때의 성능을 비교하기 위하여 다음 그림 7와 같은 주행 경로를 20회 주행해 보았다.

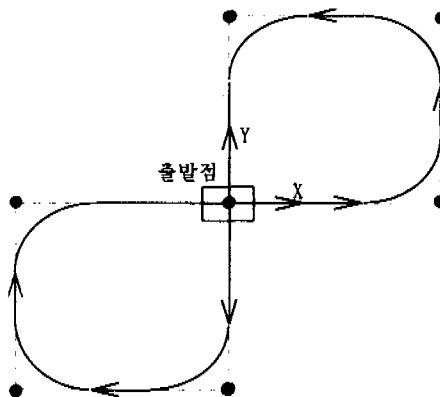


그림 7. 성능 비교를 위한 주행 경로 설정

다음 표는 위 그림 7의 주행 경로를 20회 반복하여 주행을 하면서 다시 출발점을 지나갈 때 원 출발점과의 Y축과 벌어진 오차를 측정하여 정리한 것이다.

횟 수	보정하지 않았을때 y 축 통과좌표	보정하였을때 y 축 통과좌표
시작점	(3200.0, 1097.0)	(3200.0, 1097.0)
1	1091.0	1102.5
2	1085.0	1090.0
3	1055.5	1077.5
4	1035.5	1095.0
5	1049.0	1087.0
6	1035.0	1091.0
7	1065.0	1085.0
8	1056.0	1090.0
9	1059.5	1102.5
10	1052.5	1114.5
11	1050.5	1109.0
12	1046.5	1119.0
13	1025.5	1117.5
14	1025.0	1054.0
15	1022.5	1043.5
16	1010.5	1068.5
17	999.5	1070.5
18	1019.0	1095.0
19	1017.0	1113.0
종료점	(3021.5, 1046.0)	(3194.5, 1080.5)

표 3. 주행 횟수 증가에 따른 Y축 오차 변화

그림 8은 측정 횟수가 많아짐에 따라 점점 오차가 벌어지고 있음을 보여 준다. 마지막 정지했을 때의 오차는 X축으로 -178mm, Y축으로 -51mm가 발생하였다.

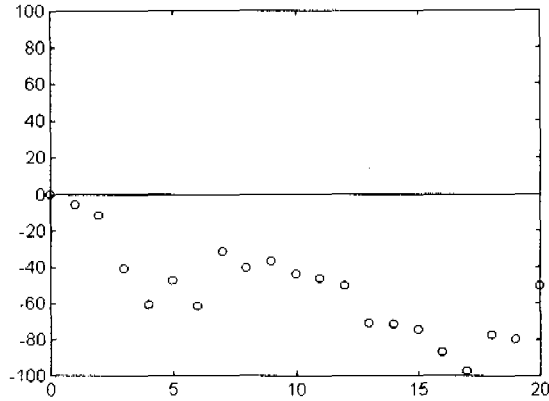


그림 8. 엔코더만을 이용하여 주행했을 때의 오차발생

그림 9는 두 센서를 서로 보정하여 주행하였을 때의 오차를 보여준다. 주행 거리가 증가 하더라도 원래 출발한 위치에서 크게 벗어나지 않음을 보여준다. 마지막 정지하였을 때의 X 축 오차는  $-5.5\text{mm}$ , Y 축 오차는  $-16.5\text{mm}$ 가 발생하여 엔코더만을 이용하여 주행하였을 경우보다 정확한 주행이 되고 있음을 보여주고 있다.

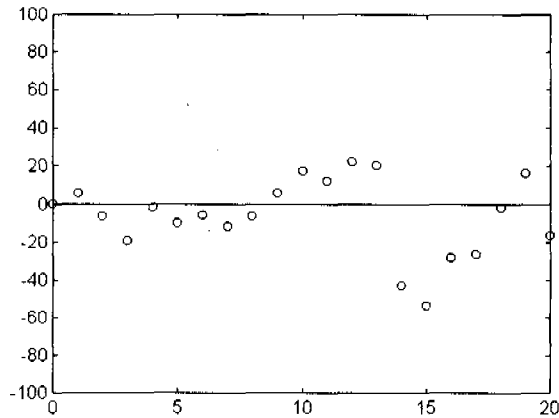


그림 9. 두 센서를 보정해 주었을 때의 오차 발생

## 5. 결 론

본 논문에서는 초음파와 적외선을 이용하여 자율 주행 AGV의 위치를 측정하고, 여기서 구한 위치값과 내부 센서인 엔코더에서 구한 값을 서로 융합하여 보정한 데이터를 토대로 주행하여 보았다.

외부 센서에 대한 보정이 없이 자체 엔코더만으로 주어진 경로를 20바퀴 반복 주행하였을 때 X축으로 -178mm, Y축으로 -51mm의 오차를 보였고, 이에 대한 개선으로 칼만 필터를 이용하여 내부 엔코더 센서와 외부 초음파 센서간의 데이터 융합을 시도하여 주행해 보았을 때의 오차는 X축으로 -5.5mm, Y축으로 -16.5mm로 엔코더의 누적 오차가 보정됨을 보였다.

개선점으로 초음파와 적외선을 이용하는 외부 센서 실험에서 AGV가 정지하였을 경우 정확한 위치 측정이 가능하였으나 주행시엔 AGV의 기울임등으로 인하여 초음파 수신 센서가 AGV의 정확한 중심에 오지 않아 오차의 큰 요인이 됨을 확인할 수 있었다. 계산상으로 만약 AGV의 차체가 3° 기울었다면 약 40mm의 오차를 가지게 되어 가장 큰 오차의 요인이 되므로 기구적으로 보다 안정하게 보완할 필요성이 있었다.

현재 외부 센서로부터 직접 얻을 수 있는 정보는 AGV의 위치 정보이며, AGV의 방향은 직접적으로 구하지 못하고 있다. 앞으로 보다 정확한 주행을 위하여 외부 센서로부터 AGV의 방향도 같이 알 수 있는 방법을 찾아야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Satoshi Murata, Takeshi Hirose 'Onboard Location System of Autonomous Vehicle' IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and System '89. Sep.4-6,1989.Tsukuba Japan pp 228 - 234
- [2] Hyung-Woo Yoon, Gun-Woong Bae, Sung-kwun Kim, Jin -ho Bae 'A Study on the Fuzzy Navigation Control of a Mobile Robot Using a Vision Camera' Trans. KIEE, Vol. 43. No.4 Apr.1993.



- [3] Young-Sik Ro, Kyung-Sup Park 'Position Compensation for Mobile Robot Using Position Sensitive Detectors' Trans. KIEE, Vol. 44. No. 8. Aug. 1995
- [4] Masaharu Takano, Shumichi Odaka, Takahiro Tsukishima, Ken Susak 'Study on Mobile Robot Navigation Control by Internal and External Sensor Data with Ultrasonic Sensor' IEEE.RSJ International Workshop on Intelligent Robot and Systems Sep. 4-6. 1989. Tsukuba. Japan 456-463
- [5] 천종현 '자율 주행을 위한 주행 유도기 및 AGV 에 관한 설계 및 제작' 울산대학교 석사학위 논문 1994.6.
- [6] Lindsay Kleeman 'Optimal Estimation of Position and Heading for Mobile Robots Using Ultrasonic Beacons and Dead-reckoning' Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation May 1992 pp2582 - 2587
- [7] 이운근 '자율 AGV 를 위한 이동 명령 시스템에 관한 연구' 울산대학교 석사학위 논문, 1992
- [8] Young-Hoon Joo, Kwang-Bang Woo, kwang-Bea Kim 'Study on Position Estimation for Mobile Robot Navigation' Trans.KIEE Vol.44 No.4 Spr. 1995
- [9] 천종현, 박경섭 '자율 주행 로봇에서의 자율 주행을 위한 항법 유도기에 관한 설계 및 제작' 대한전자공학회 부산경남지부 춘계 합동 학술논문발표회 논문집 제 1 집 1994.6
- [10] Robert grover Brown, patrick Y.C.Hwang 'Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering' 2'nd Ed John Wiley & Sons. inc pp 356-37