

## 자율 주행을 위한 주행 시스템 개발

박경섭  
제어계측공학과

### <요 약>

본 논문에서는 저 가격으로 실내에 쉽게 장착할 수 있는 자율 주행 로보트의 주행 유도 시스템을 고안하고 이를 구현하였다. 본 시스템의 구조는 선박이나 항공기의 항법 유도 방식인 GPS(Global Positioning System)과 거의 유사한 방식이다.

자율 주행 로보트의 위치를 결정하기 위해서 적외선 센서와 초음파 센서를 이용하였다. 세 개 이상의 주행 유도 시스템으로부터 자율 주행 로보트로 송신된 두 매체의 전달 시간차를 이용하여 이들 간의 거리를 계산할 수 있다. 이 데이터를 이용하여 현재 자율 주행 로보트의 좌표를 계산하였다.

실험 결과는 비교적 실제치와 일치했으며, 본 시스템을 개선한다면 보다 단순한 형태로도 더 정확한 좌표를 계산할 수 있을 것으로 보인다.

---

## Development of a New Navigation System for Automatic Guided Vehicle

Park, Kyung-Sup  
Dept. of Control and Instrumentation Engineering

### <Abstract>

We designed and implemented a new navigation system which is economic and can be used indoor, for Automatic Guided Vehicle(AGV).

The structure of this system is similar to that of GPS which aircraft and ship use in navigation. The system used infrared and ultrasonic sensors to determine the position of the vehicle.

The AGV find its position by detecting transmission time difference between

infrared and ultrasonic signal from more than three guidance system.

Even though experimental results is to close to those we exected, the system is required to improve the accuracy.

## 1. 서 론

기존의 자율 주행 로보트(AGV:Automatic Guided Vehicle)의 유도 장치에는 주로 영상 처리 기법[1][2][5]이나 고정된 유도로에 의해 주행함으로서 주행에 있어 가격과 주행 경로 변경에 많은 어려움을 가지고 있었다. Signed Post[1]나 Land Mark [2]를 사용한 유도 장치의 경우에 로보트는 부가적인 기능이 없는 주행 경로 인식용의 영상 처리기를 가짐으로 해서, 로보트 제어 컴퓨터가 높은 연산 능력을 가져야 하며, 고가의 영상 처리 장비를 가져야 한다. 물론 영상 처리의 기법이 앞으로의 발전성에 거는 기대는 다분히 크다고 할 수 있으나 현실적으로 실용화에 많은 어려움을 가지고 있다.

본 연구의 목적은 저가격의, 실내에서 사용 가능한 항법 유도 장치의 개발에 있다. 개발에 사용되는 장치의 기본적인 구성은 인공위성을 이용한 GPS(Global Positioning System)와 거의 유사한 모델이 되지만, 실내에서 사용하는 관계로 위치 정밀도를 향상 시켜야 하며 건물 내에 마스크각 영역(유도 장치와의 직접교신이 되지 않는 사각지대)이 많은 관계로 해서, 위성 항법 유도 장치에서의 위성의 역할을 하는 항법 유도 장치의 수가 많아진다. 이러한 이유로 해서 가격, 또는 설치 비용을 고려하였을 때, 가능하면 단순한 주행유도기가 요구된다.

인공위성을 이용한 GPS의 경우, 선박이나 항공기에서 삼각 도법으로 자신의 위치를 지도상에서 찾기 위해서 서로 다른 3개 이상의 인공위성으로부터 거리 정보를 받아야 한다. 각 위성으로부터의 거리 정보는

전송매체인 마이크로파의 위성과 수신국과의 전달 지연시간을 이용하고 있다. 반면 AGV의 주행유도기는 초음파의 지연 시간을 이용하여 거리 정보를 구하게 된다.

## 2. 주행 위치 보정법

본 논문에서 설계한 주행 유도장치의 전체 시스템의 구조는 그림1과 같이 구성되어 있다. 주행 로보트의 제어 컴퓨터에서 송신 용의 트리거 신호를 출력하고 이 신호에 의해 그림1의 (2)의 적외선 송신부가 외부의 복수개의 유도기를 향하여 적외선 신호를 송신한다. 이 신호는 그림1의 유도기 적외선 수신부(6)로 수신되어 유도기 제어부(5)의 동기 시간 제어용의 시간 지연 회로를 동작시키고, 이 신호의 출력에 의해 적외선 송신부(8)와 초음파 송신부(7)가 동작하여 초음파와 적외선을 동시에 송신하게 된다. 이 신호는 로보트 센서부의 초음파 수신부와 적외선 수신부를 동작시키게 된다.

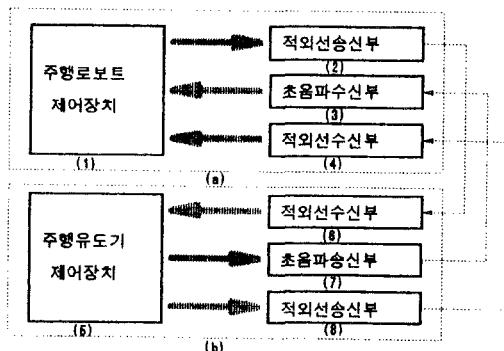


그림 1 주행 유도장치와 주행체의 전체 시스템의 구조도

광속은 대기중에서 약  $3 \times 10^8 \text{ m/sec}$ 로서 온도나 기타 다른 외란에 거의 영향을 받지 않지만, 대기중에서 초음파의 음속은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_s = 3.15 + 0.6 \times t \quad (1)$$

여기서  $t$ 는 현재의 온도이다. 따라서, 초음파를 이용한 거리 측정은 온도에 따른 오차를 가지게 되는데 상용 온도 범위 ( $-20^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ )에서 약 6%의 오차를 포함함으로 온도 보상이 필요하다.

두 매체의 속도 차이로 인해 먼저 도달한 적외선 신호를 시작 신호로 하여 타이머가 동작하게 되며, 그 뒤 초음파 신호가 도달하면 그 신호를 정지신호로 하여 타이머의 동작을 끌내게 된다. 이 타이머의 값은 거리 정보로 환산되어 진다.

인지된 유도기와의 거리를 이용하여 그림 2와 같은 원리로 자신의 위치를 인식한다.

그림2에서 주행 로보트 M은 A, B, C 각각의 유도기로부터 자신의 위치를 알기 위해 수신 가능한 유도기를 향해 주행 로보트 적외선 신호를 송신한다. 이 신호를 수신한 각 유도기는 거리 정보를 알려주게 될 적외선과 초음파 신호가 여러 유도기들의 신호가 겹쳐져서 충돌이 발생하게 되는 것을 방지하기 위해 각기 서로 다른 지연 시간을 가지고 대기하게 된다.

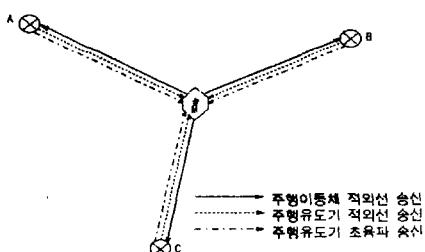


그림 2. 주행 로보트의 주행 위치 보정방법

### 3. 주행 로보트 센서부의 구성 및 동작 특성

주행 로보트의 위치 제어 중에 현재의 절대 위치 값이 필요하게 되면, 주행 로보트 제어 컴퓨터는 정보 요구 신호를 로보트 센서부로 출력한다. 이 신호는 적외선 송신부에 입력되어 40mSec동안 700Hz의 적외선 신호를 발생시켜 주위의 유도기들을 향해 송신한다.

그림3은 컴퓨터의 트리거 펄스에 의한 원샷 출력과 적외선 송신부의 출력펄스이다.

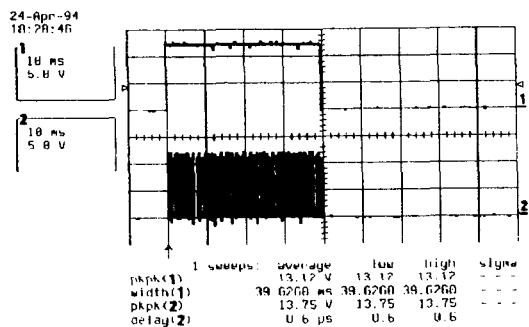


그림 3. 원샷 출력과 적외선 다이오드 송신 출력 펄스

유도기로 송신된 적외선 신호의 일부는 로보트 센서부에 장착되어 있는 적외선 수신부로 수신되어 센서부 오동작을 유발하게 되므로, 컴퓨터의 거리 정보 요구 신호는 동시에 지연시간 측정 및 오동작 방지부로 입력되어, 적외선 신호가 송신되는 동안 주행 로보트 센서부가 적외선 신호를 무시하도록 제어한다. 이 회로는 2개의 Retriggable One Shot을 사용하여 구성하였다.

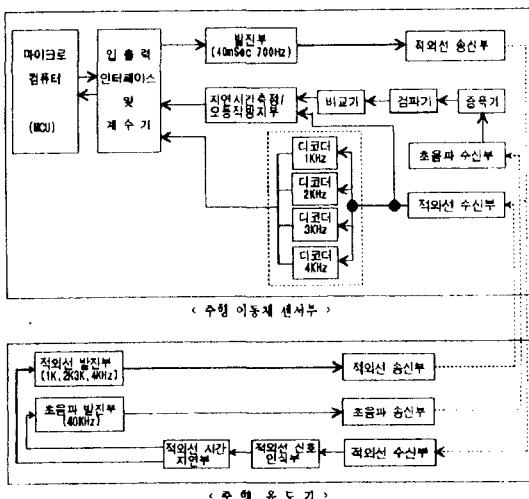


그림 3. 주행 로보트 센서부와 유도기의  
상세 블럭도

유도기의 동작에 의해 동시에 송신된 적외선 및 초음파 신호는 그 중 적외선 신호가 먼저 주행 로보트 센서부에 도달하게 된다. 이 적외선 신호는 적외선 수신부에서 신호 처리를 거친 후, 지연 시간 측정/오동작 방지부와 디코더 뱅크로 입력된다.

그림4은 유도기의 적외선 출력과 주행 로보트 수신장치의 적외선 수신 신호이다. 적외선 수신 모듈의 주파수 특성에 의해 수신 신호의 전반부는 유도기 코드 주파수가 나타나지 않고 있다. 이 시간대는 설계시에는 없던 것이었으나 수신 센서의 주파수 특성에 의해서 포함되는 것이다. 이 신호를 입력받은 카운터 신호 발생기의 동작에는 전혀 영향을 미치지 않는다. 다만 Tone Decoder의 응답 시간이 길어져서 동작의 전체 반응 시간을 지연시키는 요인이 된다. 적외선 신호의 수신시 초기 지연시간이 거의 없음을 확인할 수 있다.

초음파 신호의 계수 주파수가 40KHz (25uSec) 인것을 고려해 보면 이는 전혀 고려의 대상이 아니다. 따라서 거의 실시간으로 수신된 신호에 동기되는 카운터 제어 출력은 유도기의 초음파가 송신되는 시점에

동시에 출력되기 시작한다고 볼 수 있다.

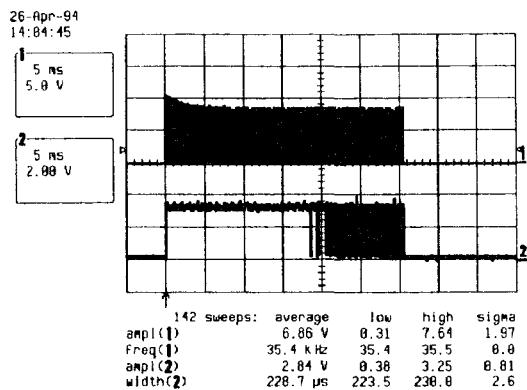


그림 4. 유도기의 적외선 출력과 주행  
로보트수신장치의 적외선 수신 신호

지연시간 측정/오동작 방지부는 이 적외선 신호에 동기되어 Low로 되어 있던 출력 선을 High로 바꾸게 된다. 마이크로 컴퓨터의 계수기는 이 순간부터 40KHz를 계수하기 시작한다. 디코더 뱅크로 입력된 신호는 각 유도기들의 고유 코드인 주파수를 구분한다. 디코드 뱅크에는 유도기의 고유 코드 수 만큼의 Tone Decoder가 포함되어 있다. Tone Decoder뱅크의 출력은 입출력 인터페이스 및 계수기를 통하여 컴퓨터로 입력되어 유도기를 확인하는데 사용된다. 이는 적외선이나 초음파가 장애물이나, 외부 잡음, 또는 다른 주행 로보트와의 혼선 등의 요인들로 인해 오동작하는 것을 판별하기 위해 사용된다.

적외선 신호를 수신한 후 상대적으로 뒤에 수신된 초음파는 동조 증폭기와 겹파 회로 및 비교기를 거쳐 TTL신호로 변환되어 지연시간 측정/오동작 방지부로 입력된다. 적외선 신호에 의해 High로 되어 있던 출력은 초음파 신호에 의해 Low로 바뀌게 된다. 마이크로 컴퓨터의 계수기는 이 신호에 의해 지금까지 계수하던 40KHz의 계수를 끌내게 된다. 이 계수된 값은 앞의 디코드 뱅크에 의해 컴퓨터로 입력되었던 값과 함

께 컴퓨터의 기억장소에 저장된다.

그림5는 이동 로보트 수신장치의 적외선 수신 신호와 초음파 수신신호를 비교 측정한 것이다. 두 신호간의 시간 지연차를 확인할 수 있다.

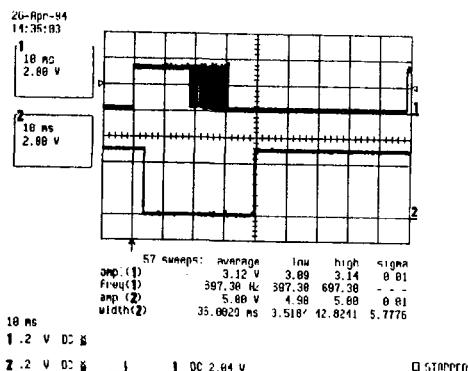


그림 5. 이동 로보트 수신장치의 적외선수신 신호와 초음파 수신신호

이 파형은 1.4m거리에서 송신한 신호를 측정한 것으로 4mSec의 펄스 폭을 확인할 수 있다.

그림6은 계수기의 입력 신호로서 이 신호가 high인 동안에 카운터가 40Khz를 계수 한다.

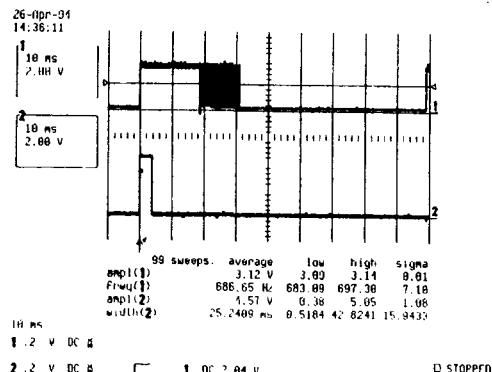
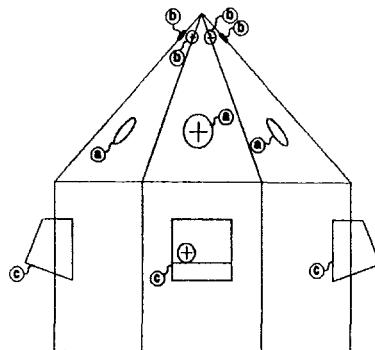


그림 6. 이동 로보트 수신장치의 적외선 수신 신호와 카운터 신호

위의 설명에서 적외선 수신에서부터의 일련의 과정이 100mSec동안에 일어나는 것으로서, 이 과정이 끝이나면 로보트 제어 컴퓨터는 이후에 연속해서 들어오게 될 다음 유도기의 신호를 기다리게 된다.

이러한 과정을 2회를 더하게 되며 이 정보를 이용하여 2차원 평면상에서의 자신의 위치를 판별할 수 있는 정보가 모였으므로 주행 로보트 컴퓨터는 이 값을 이용해 현재의 위치를 계산하게 된다.



a : 초음파 수신 센서  
b : 적외선 송신 센서  
c : 적외선 수신 센서 모듈

그림 7. 주행 이동체 센서부의 측면도

앞의 설명에서 초음파 수신부는, 그림7의 센서부 구조도에 도시한 것과 같이 6개의 초음파 수신 센서가 6각형의 센서부 몸체에 부착되어 있다. 초음파를 수신할 때 주행 로보트의 위치에 따라 수신하는 신호의 감도에 영향을 받지 않도록 하기 위해 6개의 센서를 병렬로 사용하였다.

Tone Decoder는 PLL(Phase Locked Loop) 기법을 이용하여, 외부에서 설정해 주는 저항과 콘덴서의 RC 시정수 값으로, 자기 주파수를 밟진 할 수 있으며, 또한 자기 동기 주파수와 일치하는 주파수가 입력되면 그 주파수에 동기 되어 동기 펄스 (Lock pulse)를 출력 할 수 있는 소자로서 본 설계에서는 LM567을 사용하였다.

각 유도기는 모두 주변광의 잡음 주파수 보다 먼 38kHz를 캐리어 주파수로 하여 적외선 송신을 한다. 센서 모듈에서 유도기

의 캐리어 주파수는 제거되고, 유도기 코드 주파수만을 Tone Decoder로 보낸다. 유도기에서 송신한 코드 주파수인 1kHz, 2kHz, 3kHz, 4kHz 적외선 신호를 수신하면, 각각의 주파수로 중심 주파수가 설정된 Tone Decoder가 응답을 하게 된다.

Tone Decoder인 LM567이 응답하는데 걸리는 시간은 약 10mS-12mS 정도로 측정되었다.

#### 4. 주행 유도기의 동작 특성

유도기의 구성 요소로는 적외선 수신부, 초음파 송신부 그리고 적외선 송신부로 구성된다.

로보트 센서부의 적외선 신호를 받아서 증폭, 검파등의 신호처리부를 거친 신호는 잡음에 의한 오동작을 방지하기 위하여 Tone Decoder로 입력되어 로보트 센서부에서 송신된 신호인지를 확인하는 과정을 거친다. Tone Decoder인 LM567이 1kHz, 2kHz, 3kHz, 4kHz의 코드 주파수를 가진 적외선을 수신하여 Lock하는데 걸리는 시간은 약 10mS-12mS 정도였다.

그림8은 유도기가 로보트 센서부로부터 수신한 적외선 신호의 센서 모듈 출력과 Tone Decoder의 출력으로 주행 로보트의 신호에만 반응하는 것을 확인할 수 있다.

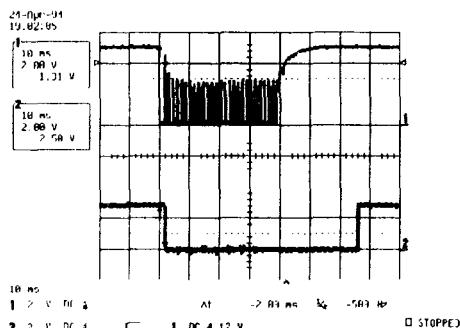


그림 8. 주행유도기의 적외선 신호의 센서모듈 출력과 Tone Decoder 출력신호

Tone Decoder의 출력신호는 타이머로 입력되어 유도기마다 할당되어 있는 고유지연 시간 동안 대기하기 위하여 타이머로 입력된다. 이러한 지연은 각 유도기간의 출력신호의 충돌을 피하기 위하여 유도기의 설치시에 각 구간마다 다르게 설정되는 시간이다. 타이머의 시간지연이 끊나면, 이 타이머의 출력펄스에 동기되어 적외선 변조기와 초음파 변조기가 동작하게 되고, 이 각 변조기의 출력에 의해 적외선 구동회로와 초음파 구동회로가 동작하게 된다.

그림9에서 초음파 출력과 적외선 출력이 함께 송신되는 것을 확인할 수 있다. 이 신호의 출력은 완전히 동일시점에서 송신됨을 확인할 수 있다.

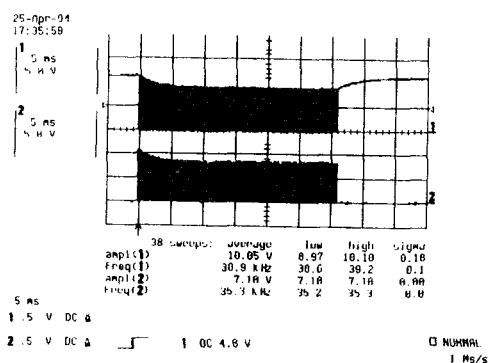


그림 9. 유도기의 초음파 출력과 적외선 출력

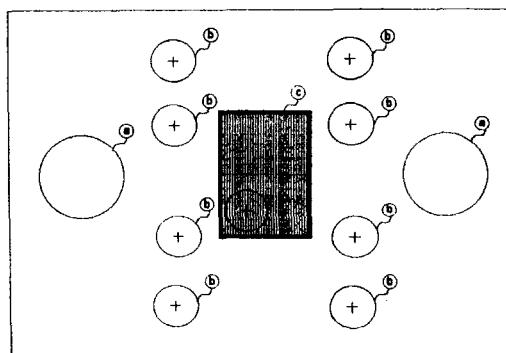
이 때, 적외선 신호는 각 유도기마다 서로 다른 주파수로 변조된다. 신호의 서로 다른 주파수 변조에 의해 주행 로보트가 유도기를 구분하는 것이 가능해 진다. 따라서 주행 로보트는 자신이 있는 곳의 구역과 그 구역 내에서의 정확한 이동 좌표를 계산해 낼 수 있다.

초음파 센서 송신부에서 센서 구동용의 주파수는 송신센서의 내부 공진주파수와 같을 때 최고 음압을 송신할 수 있다. 초음파 송신센서는 무라다의 MA40L1S를 사용하였다. 로보트 센서부의 수신감도와 수신 가능 영역을 넓게 하기 위하여 센서는 그림5

와 같이 각 유도기에 병렬로 2개씩 장착 되었다.

적외선 신호는 유도기의 고유 코드 주파수를 함께 실어 송신하게 되는데, 코드주파수는 각 유도기마다 1KHz 단위씩 차이가 나게 설정되어 있다. 유도기 1번은 1KHz, 유도기 2번은 2KHz, 유도기 3번은 3KHz 등으로 설정되어 있다. 이러한 유도기의 고유 코드를 38KHz의 주파수로 변조하여 전류 증폭을 거친 후 적외선 다이오드 4개씩 8개를 통해 로보트 센서부로 송신된다.

로보트의 절대 좌표를 계산할 때, 주행로보트의 센서 제어부는 모든 주행유도기의 절대 좌표를 가지고 있어야 한다. 모든 유도기의 절대 좌표는 주행로보트가 자신의 위치를 계산할 때 뿐만 아니라 자신이 주행하고 있는 구간을 구분하는데도 사용된다. 각 구간의 유도기는 서로 다른 코드 주파수의 조합과 순서로 되어 있기 때문에, 적은 수의 코드 주파수로도 많은 유도기를 구분할 수 있다. 코드는 단일 주파수의 신호가 되며, 가능한 주파수의 수는 Tone Decoder의 중심 주파수 풀에 의존한다. 유도기를 설치할 때 구역과 유도기를 구분할 수 있는 조합의 수는 주파수의 채널 수에 의존하는 값으로 식 2와 같이 구해진다.



a : 초음파 송신 센서  
b : 적외선 송신 센서  
c : 적외선 수신 센서 모듈

그림 10. 주행유도기의 정면도.

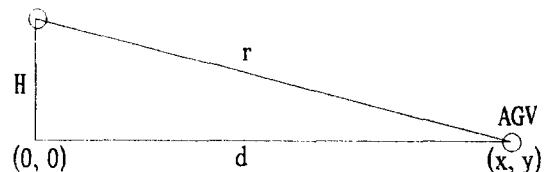
$$Gn = Fn(Fn-1)(Fn-2) \quad (2)$$

여기서  $Gn$ 은 구분 가능한 유도기의 수이고,  $Fn$ 은 사용 가능한 주파수의 채널 수이다.

## 5. 실험 및 평가

일 차원 평면 위에서 세 개의 임의의 기준 좌표로 부터의 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 H 높이 위에 두었다. 이와 같이 두었을 때 주행로보트의 위치를 파악하기 위한 계산 과정은 다음과 같다.

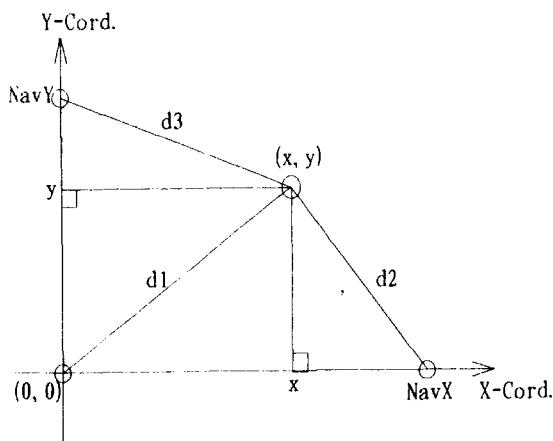
유도기와 AGV 센서와의 직접 거리를  $r$ , 높이를  $H$ 라고 두었을 때, AGV 센서에서 유도기를 향해 바라본 수평거리  $d$ 는 식 3과 같이 구할 수 있다.



$$r^2 = d^2 + H^2$$

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

식(3)에 의해 AGV와 유도기들 간의 수평거리  $d$ 를 구했을 때, X-Y 좌표상에서 AGV의 위치( $x, y$ )는 아래 식(4)와 식(5)를 통하여 구할 수 있다.



$$d2 = d1^2 + NavX^2 - 2 \cdot d1 \cdot NavX \cdot \cos\alpha$$

$$d3 = d1^2 + NavY^2 - 2 \cdot d1 \cdot NavY \cdot \cos\beta$$

$$\cos \alpha = \frac{NavX^2 + d1^2 - d2^2}{2 \cdot d1 \cdot NavX}$$

$$\cos \beta = \frac{NavY^2 + d1^2 - d3^2}{2 \cdot d1 \cdot NavY}$$

$$x = d1 \cdot \cos \alpha = \frac{NavX^2 + d1^2 - d2^2}{2 \cdot NavX} \quad (4)$$

$$y = d1 \cdot \cos \beta = \frac{NavY^2 + d1^2 - d3^2}{2 \cdot d1 \cdot NavY} \quad (5)$$

1kHz의 적외선을 송신하는 유도기는 원점, 2kHz의 적외선을 송신하는 유도기는 원점으로 부터 X-축으로 5520mm 떨어진 점에 위치하는 NavX점, 3kHz의 적외선을 송신하는 유도기는 원점으로 부터 Y-축으로 4500mm 떨어진 점에 위치하는 NavY의 좌표 상에서 1890mm의 높이 위에 설치되었다.

각각의 유도기는 AGV로 부터 거리 정보 요구 신호를 받게 되면 서로 100mS의 간

격으로 적외선과 초음파 신호를 보내게 된다.

다음 표는 실내에서 위와 같은 과정을 통하여 AGV의 제어 컴퓨터가 유도기로부터 받은 정보를 이용하여 좌표를 추정한 값들이다.

단위: mm

실제값		AGV 측정값	
X	Y	x	y
1472	765	1404	894
1472	1665	1478	1793
1472	2265	1462	2395
2072	765	2002	922
2072	1665	2053	1736
2072	2265	2106	2371
2672	765	2544	744
2672	1665	2639	1781
2672	2265	2646	2346
3272	765	3257	892
3272	1665	3231	1800
3272	2265	3185	2424

현 실험에서 AGV와 독립된 센서 시스템 자체만으로는 감도와 성능은 매우 우수함을 볼 수 있었지만, 위와 같은 좌표값을 구하기 위해 AGV의 전체 시스템과 결합되어 유발된 잡음으로 인하여 센서 거리 감도가 떨어짐과 동시에 상당한 오차를 유발하고 있음을 관측할 수 있었다. 위에서 발생한 오차는 잡음에 대한 대책과 함께 잡음에 대한 필터링을 통하여 보정함으로 보다 정확한 값을 얻을 수 있을 것으로 보인다.

## 6. 결 론

본 논문에서는, 자율 주행 로보트의 경로 변경이 쉽고 저 가격의 이동 유도 장치를 설계하고 실험하였다.

본 장치의 단점으로서 주행유도기가 주는

정보가 간접 정보라는 것이다. 이동 로보트에 있어서의 직접 정보는 이동 방향에 대한 정보이다. 본 장치의 사용에 의해 2차 정보로서 주행시의 위치 변동량 만으로 이동 방향을 알 수 있다는 것이다.

개선점으로는 AGV가 초음파를 감지하는 위치가 유도기의 초음파 송신각에 따라 상당히 민감하다는 점이다. 이것은 다수 개의 초음파를 이용하여 여러 방향으로 송신하는 방법과 초음파 송신 센서에 흔을 설치하여 음파를 사방으로 퍼지게 하는 방법을 사용함으로서 개선이 가능할 것으로 보인다.

음파의 반향을 막기 위해 100mSec의 지연 시간을 두었으나 약 10~20mSec정도의 시간이면 반향이 거의 사라지고 약간의 잡음만이 남게 되므로 신호 처리부의 설계에 주의를 기울인다면, 한 좌표를 계산하기 위해 약 0.4초가 소요되는 응답 시간을 단축할 수 있을 것이다.

## 후 기

본 연구는 울산대학교 지역 공동연구 센터의 우신 공업 연구과제 기금에 의하여 수행된 연구 결과이며 지역 공동 연구센터 및 우신 공업 관계자 여러분께 감사 드립니다.

## 참고문헌

- [1] Satoshi Murata and Takeshi Hi

rose, "Onboard Locating System of Autonomouse Vehicle", IEEE / RSJ International Workshop on Intelligent Robots and System, pp. 228~234, Sep. 16, 1989.

- [2] Hyung-Woo Yoon, Gun-Woong Bae, Sung-Kwun Kim and Jin-ho Bae, "A study on the Fuzzy Navigation Control of a Mobile Robot Using a Vision Camera", Trans. KIEE, Vol. 42, No. 4 Apr, 1993.
- [3] Lindsay Kleeman, "Optimal Estimation of Position and Heading for Mobile Robots Using Ultrasonic Beacons and Dead-reckoning", in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 2, pp. 2582~2587, May, 1992.
- [4] M. Okazaki, H. Tomikawa, M. Sudare and k.Terada, "New Guidance System for Automated Navigational Vehicle", Japen U.S.A Symposium on Flexible Automation, pp. 321~329, 1986.
- [5] David J. Kriegman, Ernst Triendl, and Thomas O. Binford, "Stereo Vision and Navigation in Buildings for Mobile Robots", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.5, NO.6, Dec, 1989.