



# 서비스로봇을 위한 보급형 위치정보시스템

정학영\*, 박규철\*\*

\*서울산업대학교 제어계측공학과, \*\*(주)마이크로인포니터

## 1. 서론

이동로봇이 상용화되기 위하여 해결되어야 할 중요한 제약조건 중 하나는 이동로봇의 위치보정에 대한 것이다. 이는 이동로봇이 자신에 대한 위치 및 방향을 정확하게 모르는 경우에는 주어진 임무를 수행할 수 없기 때문이다. 이동로봇을 위한 위치보정시스템은 크게 상대 위치보정(relative positioning system)과 절대위치보정(absolute positioning system)으로 구분할 수 있다 [1]. 상대위치보정은 기준점으로부터 이동한 거리와 방향을 이용하여 현재의 위치를 구하는 방법으로 이동로봇에 설치된 센서로부터 주위환경에 관계없이 항상 위치정보를 구할 수 있다는 장점이 있어 거의 모든 이동로봇에서 사용하고 있다. 그러나 이와 같은 추측항법시스템은 이동한 거리 또는 주행 시간에 따라 오차가 누적되어 주기적으로 새로운 위치정보가 주어지지 않으면 사용할 수 없다는 단점이 있다. 추측항법시스템에서 사용되는 두 센서는 엔코더이며 두 개의 엔코더를 양 바퀴에 사용하면 거리와 방향을 동시에 구할 수 있다. 하지만 엔코더를 이용한 시스템에서 발생하는 오차 중 방향각 오차는 위치오차에 큰 영향을 미치므로 방향각 오차를 보상하기 위하여 관성센서인 자이로스코프를 추가로 사용한다 [2-6]. 자이로스코프는 각속도를 측정하는 센서로서 장시간 동안 정확한 각속도를 제공할 수 있다. 그러나, 자세를 계산하기 위해서는 측정된 각속도를 적분해야 한다. 따라서 측정값에 포함되어 있는 작은 오차도 적분 과정을 통해서 누적되어 큰 자세오차를 유발하는 원인이 된다. 사용되는 자이로스코프(이하 자이로)로는 수백 수천만원대 고가의 기계식 자이로 또는 \$1,000-\$3,000 수준의 FOG 자이로가 주로 사용되고 있으며 최근에는 수 만원대의 저렴한 반도체형 자이로도 판매되고 있다. 그러나 반도체형은 자이로의 가장 큰 오차인 바이어스 드리프트 오차가 일반적으로 9°/sec로 10초 이후에는 방향을 잃어버려 항법용으로서는 부적합하였다. 그러나 최근에는 신호저리에 의한 오차보정으로 성능을 개선한 제품이 발표되고 있다 [7].

엔코더, 자이로를 이용한 추측항법의 성능을 개선하기 위하여 칼만필터와 같은 필터링 기법을 사용할 수 있으

나 가관측성 시험에서 나타난 바와 같이 추측항법의 오차는 관측이 불가능하므로 센서의 규정오차를 정확히 보정하고 주기적으로 절대위치를 보정해야 한다. 절대위치보정시스템은 위치표식 또는 주어진 환경정보(지도정보)를 이용하여 이미 알고있는 위치로부터의 상대적인 로봇위치를 계산하여 로봇의 절대위치를 구하는 방법이다. 절대위치보정 방법은 카메라 또는 초음파를 이용한 수동적인 방법으로부터 전파를 송출하여 위치를 구하는 능동적인 방법 등이 있다 [8]. 절대위치보정 방법은 오차가 누적되지 않는다는 장점이 있으나 위치표식에 대한 시야 방해, 위치표식의 파손 등 위치정보가 항상 제공될 수 없다는 단점이 있다. 따라서 현재까지 완전한 단독 위치보정시스템은 존재하지 않으며 추측항법시스템과 절대위치보정시스템을 병행하여 사용하고 있다. 그러나 이와 같이 두 센서시스템을 사용하는 경우 위치보정시스템의 가격이 비싸진다는 단점이 있다. 본 논문에서는 서비스로봇의 위치보정시스템을 위하여 저렴하게 구현할 수 있는 엔코더와 자이로를 이용한 추측항법시스템과 적외선센서를 이용한 절대위치보정시스템을 소개한다.

## 2. 상대항법을 이용한 위치 보정시스템

상대항법을 이용한 위치 결정방법은 외부의 도움 없이도 항상 실시간으로 위치추정이 가능하다는 장점이 있는 반면 오차가 누적된다는 단점이 있다. 먼저 2.1절에서 엔코더 시스템에 대해서 논하고 2.2절에서 자이로스코프에 대해서 2.3절에서 칼만필터를 이용한 오차개선 방법에 대하여 설명한다.

### 2.1 엔코더를 이용한 상대 항법

엔코더는 보통 모터에 부착되어 이동거리를 측정한다. 그림 1과 같이 2차원 공간에서 로봇트가 주행한다면 위치와 자세는 식 (1)과 같이 계산된다. OXY 좌표계는 기준 좌표계이고, oxy는 원점이 이동로봇의 중심, 진행 방향이 x축, 왼쪽으로 직각 방향이 y축인 동체 좌표계이다. 이동로봇의 자세는 항법 좌표계와 동체 좌표계의

각 차이로 정의 한다. 이동로봇의 위치와 자세는 차등 엔코더를 사용하여 계산 할 수 있다. 여기서 RINC (또는 R), LINC (또는 L)는 각각 오른쪽 엔코더, 왼쪽 엔코더의 증가분을 나타내고  $D$ 는 오른쪽 바퀴와 왼쪽 바퀴 사이의 거리(축간 거리)를 나타낸다.

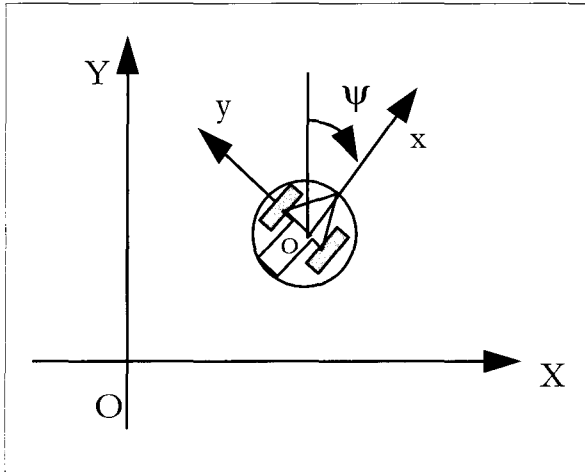


그림 1. 이동로봇로봇 좌표계.

$$\begin{aligned}
 X(k+1) &= X(k) + \sin\psi(k) \times \text{INC} \\
 Y(k+1) &= Y(k) + \cos\psi(k) \times \text{INC} \\
 \psi(k+1) &= \psi(k) + \frac{\text{RINC} - \text{LINC}}{D} \\
 \text{INC} &= \frac{\text{RINC} + \text{LINC}}{2}
 \end{aligned} \tag{1}$$

엔코더 오차는 엔코더 환산계수오차와 왼쪽, 오른쪽 바퀴 사이의 거리 오차 등 규정 오차와, 고르지 못한 평면을 주행하여 발생 하는 오차 또는, 바퀴의 미끄러짐 때문에 발생하는 오차 등 비규정 오차가 있다. 규정 오차는 모델링을 통하여 보상 할 수 있으므로 필터를 통하여 보정하는 방법 [3-6, 9 12]과 실험에 의하여 보정하는 방법 [13,14]이 있다.

### 2.2 자이로스코프를 이용한 자세계산

자이로는 각속도를 측정하는 센서로서 장시간 동안 정확한 각속도를 제공 할 수 있다. 그러나 자세를 계산 하기 위해서는 측정된 각속도를 적분하여야 하는데 측정값에 섞인 오차는 적분과정을 통해서 누적되어 큰 자세오차를 유발하는 원인이 된다. 식 (2)는 자이로를 사용해서 자세를 계산 할 때 사용되는 식이다.

$$\phi = B_0 \Omega + B_{th} \tag{2}$$

여기서  $\phi$ 는 자이로를 이용하여 계산된 방향각이고,  $\Omega$

는 측정된 각속도 (단위 : volt),  $B_0$ 는 환산계수 (단위 : °/sec/volt),  $B_{th}$ 는 불규칙 바이어스 이다. 자이로의 주요 오차는 불규칙 바이어스 드리프트오차와 환산계수 오차이다. 외부 입력이 없는 경우에는 자이로의 측정값이 영의 출력을 나타내야 하지만 그렇지 못한 오차를 불규칙 바이어스 드리프트라고 하며 자이로 성능을 결정하는 주요 요인이 된다. 환산계수는 측정된 전압 또는 전류를 각속도로 변환하는 상수이지만 실제 상황에서는 상수가 되지 않고 온도나 외부 환경에 따라 변하게 된다.

### 2.2.1 온도특성 보상

자이로 바이어스는 일반적으로 온도에 영향을 받는다. 그림 2에는 온도에 따른 자이로 출력을 보여주고 있다. 이러한 오차를 제거하는 방법으로는 [3]에서 제시된 방법이나 최소 자승법을 사용할 수도 있다[9, 10]. 그림 2의 온도에 따른 자이로 출력을 살펴보면 자이로의 온도에 따른 바이어스오차를 2차 곡선으로 근사화할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 최소 자승법으로 곡선의 계수를 구할 수 있다.

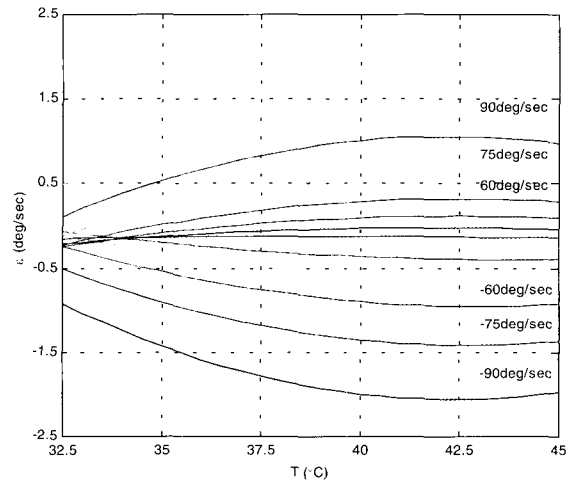


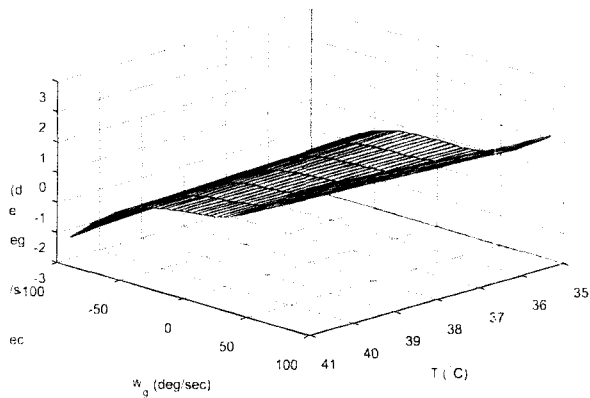
그림 2. 온도변화에 따른 자이로 출력

### 2.2.2 환산계수 오차 보상

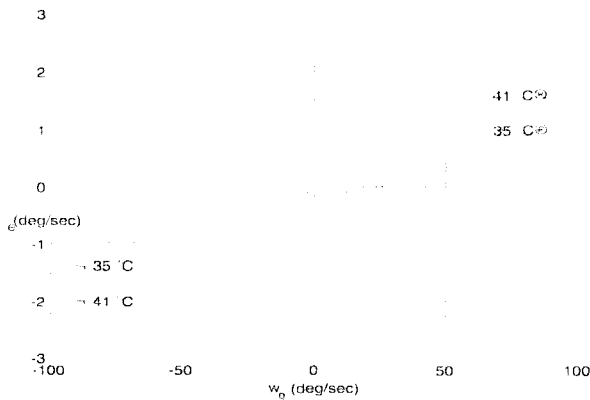
자이로의 환산계수는 입력 각속도와 자이로에서 측정된 각속도의 비율로 정의된다. 이상적인 상황에서 자이로의 환산계수는 고정되어야 하지만 실제로는 변하게 된다. 이러한 환산계수를 보상하기 위해 자이로를 레이트 테이블에 장착하고 환산계수 오차를 구한다. 레이트 테이블은 일정한 각속도를 약 0.0001°/sec 의 정확도로 만들 수 있다. 레이트 테이블에서 생성된 각속도를 참값이라고 정의하고 자이로에서 측정된 각속도와의 값을 그림 3에서 비교하였다. 그림 3에서 각속도는 95°/sec에서 95°/sec 까지 5°/sec 간격으로 생성되었다. 이상적인 상황이라면 측정된 자이로 값은 참값과 일치하여야



한다. 그러나 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 오차가 존재함을 알 수 있고 이 오차는 환산계수 오차에 의한 것이다. 환산계수오차가 곡선 형태를 취하고 있으므로 자이로의 환산계수오차를 일정한 곡선으로 근사화 하고 계수를 추정하여 환산계수 오차를 보정하는 방법을 사용한다



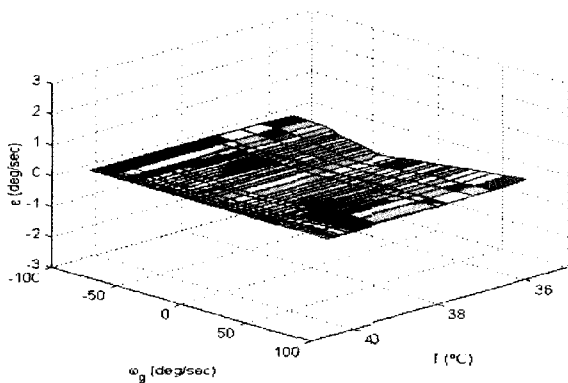
(a)



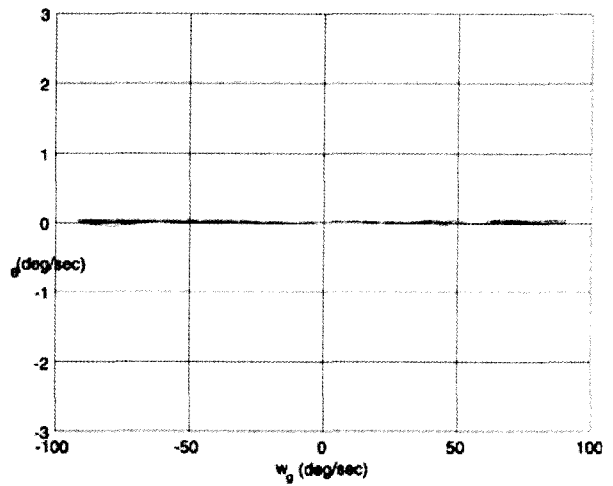
(b)

그림 3. 입력 각속도와 온도변화에 따른 자이로의 출력

그림 4는 최소자승법에 의한 오차보정 후의 모습을 보여준다.



(a)



(b)

그림 4. 입력 각속도와 온도변화에 따른 오차보정 후 자이로의 출력

방향각을 구할 수 있는 센서로써 나침반과 같은 원리를 이용하여 절대방향을 나타내는 플럭스게이트 (fluxgate) 가 있으나 환경의 영향을 심하게 받아 실제 환경에서 사용이 어렵다. 정확한 자이로스코프는(센서 오차가 1°/hr 이하인 중고급 자이로스코프) 센서 당 가격이 수백만원에서 수천만원까지 이르는 비싼 장비이다. 때문에 저급 자이로스코프(센서 오차 10~100°/hr 이상) 의 오차를 정확히 분석 보정하고 이를 다른 시스템과 효율적으로 연동하는 것이 이동로봇에 효과적인 항법시스템 구성방법이라고 할 수 있다. 최근 비교적 저렴하면서 바이어스 드리프트 오차를 1~10°/hr 수준으로 낮춘 자이로가 있다 [7]. 자이로를 사용하여 방향각을 구하고자 할 때 주의할 점은 기울어져 있는 상태에서 회전이 일어나면 정확한 방향각을 주지 못한다는 것이다. 이는 입력축 변화에 의해 발생하는 현상으로 센서오차가 아닌 시스템오차이다. 따라서 문턱과 같이 요철이 있는 환경에서 자이로를 사용하여 방향각을 구하고자 할 때에는 자세를 구하면서 방향각을 구해야 바닥면이 고르지 않은 경우에도 정확한 방향각을 구할 수 있다[7]. 사용한 자이로의 주요 제원은 표 1와 같고 신호처리에 의하여 성능을 보완했을 때의 성능은 표 2와 같다.

표 1. 사용한 자이로스코프 사양

Description	Specification
Maximum Input Rotation Rate	± 300°/sec
Bias Drift Fixed Temperature	> 360°/hour
Scale Factor Linearity Constant Temp	> 5 %

표 2. 신호처리 후 자이로 사양

Description	Specification
Maximum Input Rotation Rate	$\pm 300^\circ/\text{sec}$
Bias Drift Fixed Temperature	$1\text{--}10^\circ/\text{hour}$
Scale Factor Linearity Constant Temp	$< 3\%$
Resolution	$0.01^\circ$

2.3 칼만필터를 이용한 오차보정

항법 시스템에 칼만필터를 사용하는 경우에는 두 가지 방법이 있다 [15-17]. 첫번째로 필터에서 속도, 위치, 자세 등 항법 정보를 직접 추정하는 방법이 있고, 둘째로 필터에서는 속도 오차, 위치 오차, 자세 오차 등 항법 오차를 추정하고 이를 사용하여 항법 시스템의 오차를 교정하는 방법이 있다. 첫 번째 방법을 직접 추정 항법 시스템이라고 하고 두 번째 방법을 간접 추정 항법 시스템이라고 한다.

그림 5는 직접 추정 항법 시스템을 사용하여 이동로봇로봇의 항법 시스템을 구성한 경우이다. 이 방법의 단점은 필터가 항법 루프 안에 있기 때문에 정확한 동적 모델링을 요구한다[2, 3, 11, 12]. 이러한 단점은 간접 추정 항법 시스템을 사용하면 해결 할 수 있다. 이 방법은 센서 출력을 바로 직접 사용하여 이동로봇로봇의 위치와 자세를 계산한다. 따라서 이동로봇로봇의 정확한 동적 모델링이 필요하지 않고 이동로봇로봇의 움직임에 따라서 위치와 자세를 바로 계산 할 수 있는 장점이 있다. 필터는 센서 데이터를 비교하여 위치, 자세 오차를 추정한다. 추정된 오차를 사용하는 방법에 따라 앞먹임 간접 추정 항법 시스템과 뒤먹임 간접 추정 항법 시스템이 있다. 그림 6은 앞 먹임을 이용한 간접 추정 항법 시스템이다. 이 방법에서 엔코더를 이용한 항법 시스템은 필터의 도움 없이 위치와 자세를 계속해서 추정하고 있는 것으로 볼 수 있다. 즉 자이로에서 얻어진 추정값을 사용해서 엔코더 항법 시스템의 오차를 보정하는 것이다. 이 방법은 필터에서 사용하는 오차식의 선형성과 정확성에 비례해서 성능을 나타낸다. 필터에 사용된 오차식은 작은 오차를 가정하여 구성 되었기 때문에 작은 오차를 유지하여야만 항법 시스템의 성능을 향상시킬 수 있으나 실제상황에서는 오차가 쉽게 증가한다. 따라서 본 연구에서는 그림 7과 같은 뒤먹임을 이용한 간접 추정 항법 시스템을 사용한다.

엔코더를 이용한 항법 시스템의 오차는 주행거리에 따라 계속해서 증가하므로 작은 오차를 유지 할 수 없다. 그러나 필터를 이용해서 추정된 오차를 뒤먹임하면 엔코더의 오차를 작게 유지 할 수 있다. 이러한 방법을

사용하면 센서의 오차 특성을 선형으로 유지 할 수 있는 장점이 있어 필터의 성능을 향상시킬 수 있다. 또한 이 방법은 필터 공분산의 갑작스러운 증가로 인해 필터가 오동작을 하더라도 계속해서 필터링 되지 않은 위치와 자세를 제공할 수 있다. 그림 8은 엔코더와 자이로를 사용하여 이동로봇로봇의 뒤먹임 간접 추정 항법 시스템을 구성한 것이다. 이 항법 시스템은 엔코더의 정규모차와 자이로의 랜덤 오차를 필터를 통해서 보상한다. 또한 엔코더와 자이로는 필터를 통해 상호 보완적인 역할을 할 수 있다. 따라서 항법 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다. 식 (3), (4)는 칼만필터의 예를 보인다[9].

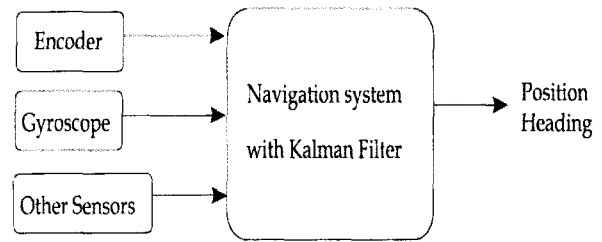


그림 5. 직접 추정 항법 시스템

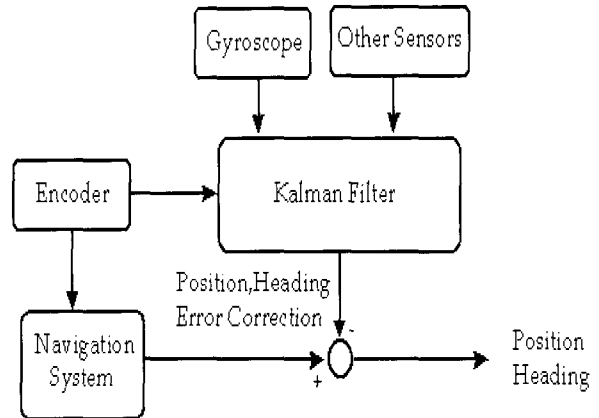


그림 6. 앞먹임을 이용한 간접 추정 항법 시스템

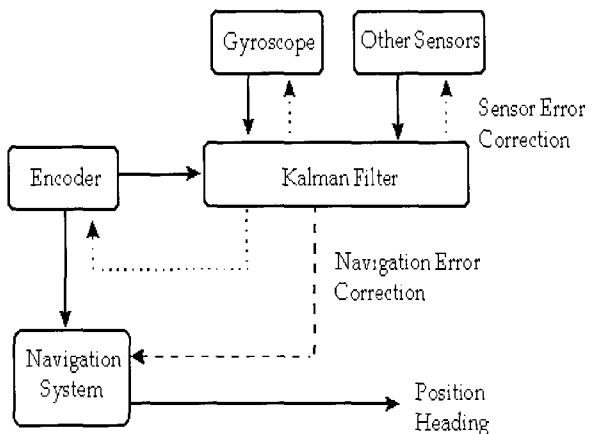


그림 7. 뒤먹임을 이용한 간접 추정 항법 시스템

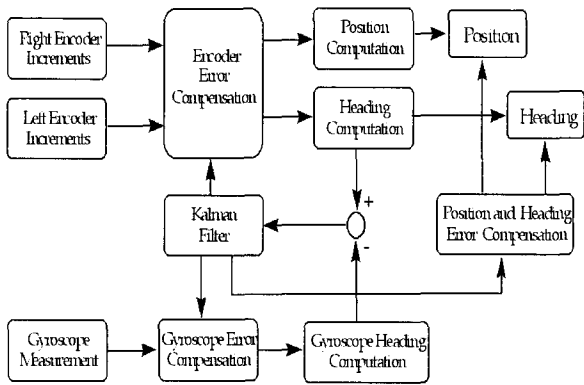


그림 8. 이동로봇로봇의 항법 시스템 구성도

$$\begin{bmatrix} \delta\psi(k+1) \\ \delta\phi(k+1) \\ \delta\psi(k+1) \\ \delta\phi(k+1) \\ \delta\psi(k+1) \\ \delta\phi(k+1) \\ \delta\psi(k+1) \\ \delta\phi(k+1) \\ \delta\psi(k+1) \\ \delta\phi(k+1) \\ \delta\psi(k+1) \\ \delta\phi(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cos(\psi_k) \frac{F+L}{v} & \sin(\psi_k) \frac{F+L}{v} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -\sin(\psi_k) \frac{F+L}{v} & \cos(\psi_k) \frac{F+L}{v} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{F}{L} & -\frac{L}{F} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta\psi(k) \\ \delta\phi(k) \\ \delta\psi(k) \\ \delta\phi(k) \\ \delta\psi(k) \\ \delta\phi(k) \\ \delta\psi(k) \\ \delta\phi(k) \\ \delta\psi(k) \\ \delta\phi(k) \\ \delta\psi(k) \\ \delta\phi(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_5 \\ w_6 \\ w_7 \\ w_8 \\ w_9 \\ w_{10} \\ w_{11} \\ w_{12} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} Z &= \psi^d - \hat{\psi} = \delta\psi - \delta\phi \\ &= \begin{bmatrix} 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta\psi \\ \delta\phi \end{bmatrix} + v \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $w$ 는 공정 잡음이고,  $\psi$ 는 엔코더에서 계산된 자세,  $\hat{\psi}$ 는 자이로에서 계산된 자세,  $v$ 는 측정잡음이다. 실험을 통하여 공정잡음과 측정잡음을 구하여 사용하였다. 구성된 시스템은 선형 시변 시스템이다. 식 (3), (4)을 사용해서 필터는 엔코더와 자이로의 센서 오차를 추정하고 이동로봇로봇의 위치와 자세 오차를 추정한다. 추정된 오차를 다시 각각의 센서에 되먹임하여 센서오차 및 위치 자세 오차를 교정한다. 필터의 입력으로 엔코더와 자이로에서 계산된 자세각의 차이를 사용하므로 필터를 통해서 엔코더와 자이로의 오차를 보상할 수 있는 효과가 있다. 또한 구성된 시스템은 자이로의 랜덤 오차 성분을 자이로 오차 모델링을 통해서 고려하고 있는 특징이 있다.

### 3. 근접거리 측정 센서

절대위치를 보정하기 위한 센서시스템으로 거리를 측정하는 2개의 적외선 센서(DIRRS : Digital Infra Red Ranging System) (그림 9 참조)와 되반사용지(retro-reflective paper)에 반응하는 1개의 포토스위치(photoswitch)를 사용할 수 있다. 먼저 3.1절에서 거리를 측정하기 위한

적외선센서를 설명하고 3.2절에서 위치표식을 감지하기 위한 포토스위치를 설명한다.

### 3.1 거리측정센서

HWV사에서 개발한 적외선 센서인 DIRRS센서 [18] 사람을 감지하여 동작되는 팬 또는 에어컨에 사용하기 위하여 Sharp사에서 개발한 GP2D02모델을 사용하고 있으나 실제 실험한 결과 10cm-80cm 이내에서는 안정된 정보를 제공하므로 거리측정센서로 사용이 가능하다. 센서의 동작원리는 그림 9와 같이 적외선 LED센서에서 빛을 주사하면 PSD(Position Sensitive Detector) 센서가 반사된 빛을 받게 되며 이때 PSD 어레이(array)에 입력된 신호를 사용하여 각도를 계산하게 된다. 이 센서는 내장된 신호처리회로에 의하여 디지털값으로 거리값을 출력하여 사용이 용이하다. 이 센서는 반사면의 색, 반사도에 민감하지 않아 다양한 환경에서 안정된 출력을 제공한다는 장점이 있으나 각 센서마다 거리에 따라 출력하는 값이 조금씩 달라 개별적으로 실험을 거쳐 사용하게 된다.

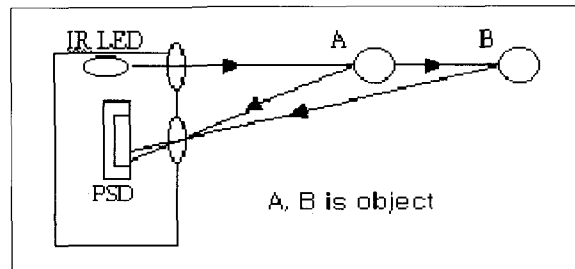


그림 9. DIRRS 센서 측정원리

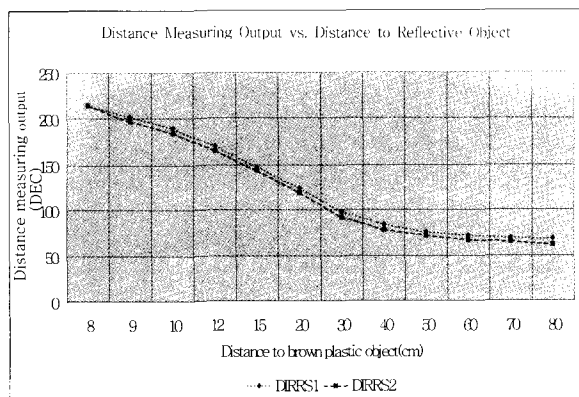


그림 10. DIRRS 거리변화에 따른 센서출력 변화

그림 10는 반사면이 갈색 플라스틱인 경우에 거리의 변화에 따른 2개의 DIRRS 센서가 출력한 결과를 보여준다. 그림 10에서 알 수 있는 바와 같이 DIRRS 센서는 각 센서에 따라 거리에 따른 출력값이 다소 다르기

는 하지만 안정된 결과를 보여주며 조명의 밝기에도 영향을 받지 않는다. 일반 광센서와 유사하게 센서의 정밀도가 약 거리의 제곱에 반비례하며 따라서 10cm 에 근접할수록 정밀도가 높아 1mm의 정밀도를 가지며 거리가 멀어질수록 정밀도가 떨어져 30cm 이상에서는 1cm 이상으로 정밀도가 낮아진다. 그림 11은 반사면의 색을 변화시키면서 실험한 결과이며 거리변화에 따른 센서출력의 변화를 보여준다.

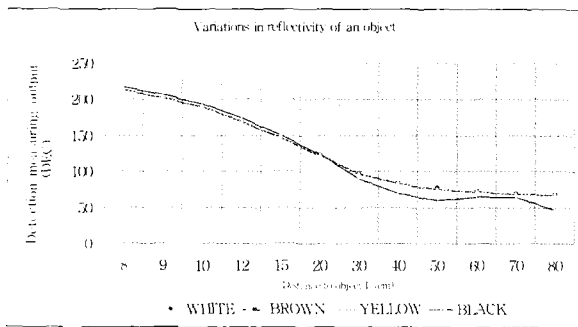


그림 11. 반사면의 색에 따른 센서출력 변화

그림 11에서 알 수 있는 바와 같이 DIRRS 센서의 출력은 반사면의 색에 크게 영향을 받지 않으므로 다양한 환경에서 안정된 거리정보를 얻을 수 있다. 그림 12는 반사면의 재질을 변화시키면서 실험한 거리변화에 따른 센서출력의 변화를 보여준다.

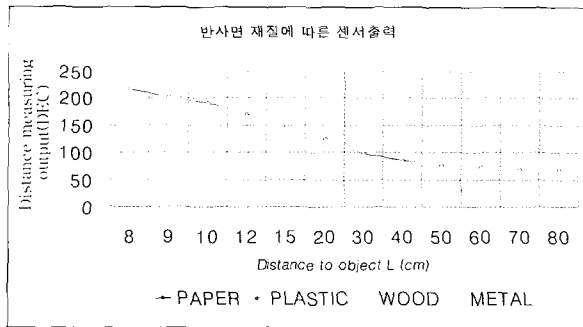


그림 12. 반사면의 재질에 따른 센서출력 변화

그림 12에서 알 수 있는 바와 같이 여러 종류 반사면의 재질에 크게 영향을 받지 않으므로 다양한 환경에서 안정된 거리정보를 얻을 수 있다.

### 3.2 위치표식 감지센서

위치표식 감지에 사용하는 센서로는 자동화공장에서 많이 사용되는 센서 중에서 되반사지에 반응하는 포토스위치가 있다. 일반적으로 비전시스템에서 위치보정을 위하여 사용하는 위치표식은 그 형태와 크기가 정확해야 하나 포토스위치를 위해 필요한 위치표식은 단순히

폭 16mm 이상, 길이 20mm 이상의 직사각형 형태를 가지므로 위치표식의 유지 및 관리가 매우 용이하다.

### 3.3 적외선센서를 이용한 위치보정시스템

개발된 센서시스템은 거리를 측정하는 2개의 적외선 센서(DIRRS: Digital Infra-Red Ranging System: 그림 13 참조)와 되반사용지에 반응하는 1개의 포토스위치로 되어 있다. 로봇의 측면에 설치된 2개의 DIRRS 센서로부터 거리가 측정되고 두 센서의 사이에 설치된 포토스위치가 위치표식으로 설치된 되반사지를 감지하게 되면 식(5)에 의하여 이동로봇의 위치와 방향각을 결정한다.

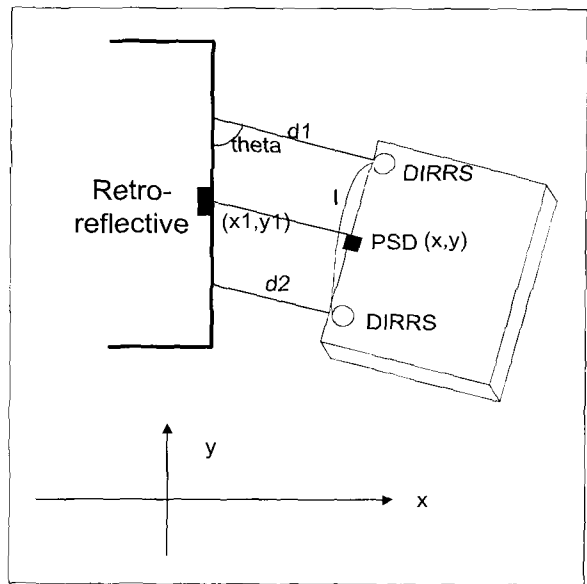


그림 13. 절대위치보정시스템

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{1}{d_1 - d_2} \right)$$

$$x = x_1 + \left( \frac{1}{d_1 - d_2} \right) \sin \theta$$

$$y = y_1 - \left( \frac{1}{d_1 + d_2} \right) \cos \theta$$
(5)

### 4. 실험결과

실험은 크게 추측항법시스템과 절대위치보정시스템의 실험으로 되어있다. 엔코더와 자이로를 이용한 추측항법시스템은 아스팔트 주차장에서 수행하였다. 사용한 이동로봇은 그림 14와 같은 Pioneer AT 이다. 로봇은 미리 프로그램된 사각형 궤적을 주행하며 그림 14에서 'o'로



표시된 중간 경유점을 지나게 된다. 로봇은 미리 경로 계획시스템에서 계산된 직진속도와 각속도를 사용하여 장애물회피 동작없이 경로를 주행하게 된다. 로봇의 최고 속도는 1.5m/s 이며 경유점에서는 0.8 m/s 까지 감속한다. 전체 210m 주행거리를 약 3분에 주행하여 처음 출발점으로 돌아오게 된다. 엔코더는 50 m/s 마다 자이로 100 m/s 마다 데이터를 제공한다.

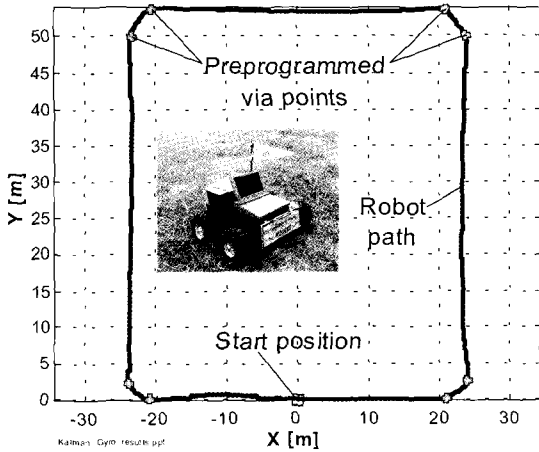


그림 14. 로봇의 주행궤적

실험은 논문에서 제안한 자이로 보정방법을 적용한 경우, 칼만필터를 적용한 경우의 총 네 경우에 대하여 실험하였다. 자이로를 보정하여 사용하는 경우는 칼만필터에서 자이로스케일값을 추정하지 않지만 자이로를 보정하지 않는 경우는 칼만필터에서 자이로스케일값을 추정한다. 또한 칼만필터를 사용하지 않는 경우는 로봇의 방향 정보는 자이로정보만 사용하여 결정한다. 실험은 시스템의 신뢰성을 확인하기 위하여 시계방향으로 5회전, 반시계방향으로 5회전 총 10회전을 연속해서 수행하였다. 제안된 추측 항법시스템의 절대위치 오차를 측정하기 위해서 이동로봇이 최종 목표점에 도착하였을 때 출발점과의 오차를 비교하여 구하였다. 표 3의 결과에서 알 수 있는 바와 같이 가장 좋은 성능은 자이로오차를 개선하고 칼만필터를 사용한 경우이지만 가장 크게 성능이 개선되는 것은 자이로오차를 개선했을 경우이다. 따라서 칼만필터를 사용하기 전에 센서의 오차요인을 정확히 파악하여 개선하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있다.

3장에서 설명한 적외선 센서시스템을 사용하여 위치 보정실험을 수행하였다. 정확한 방향각 정보를 구하기 위해서는 두 개의 DIRRS 센서간 거리가 많이 떨어져 있을수록 바람직하나 실제 이동로봇의 크기나 설치면의 제약조건에 의하여 제한될 수 있다. 따라서 먼저 두 DIRRS 센서의 거리를 변화시키면서 계산된 방향각의 정확성을 조사하였으며 그 결과를 표 4에 정리하였다. 표 4로부터 방향각은 두 센서의 간격이 멀수록 정확하다는 것을 알 수

있으나 40cm이상부터는 정확성이 크게 증가하지 않는다. 그 이유는 적외선 센서가 25cm 이상에서는 정밀도가 낮은 특성에 의하여 오히려 성능이 떨어지기 때문이다. 따라서 설치의 용이성과 성능을 고려하여 본 연구에서는 두 센서의 간격을 40cm로 하였다.

표 3. 궤적 주행 후 위치오차

Without Calibration		With Calibration	
Without Kalman	With Kalman	Without Kalman	With Kalman
a. Clockwise [cm]			
Run 1	94.4	27.3	8.9
Run 2	80.2	23.6	9.8
Run 3	75.8	17.7	15.8
Run 4	92.5	19.4	9.4
Run 5	72.3	19.3	25.9
Average	83.0	21.5	14.0
b. Counter-clockwise [cm]			
Run 6	124.4	56.2	24.9
Run 7	146.8	81.4	21.8
Run 8	133.8	70.8	20.1
Run 9	111.4	35.4	10.8
Run 10	145.4	80.3	15
Average	132.4	64.8	18.5

표 4. 적외선센서시스템 성능실험

센서거리	20cm					
실제각도	1	2	4	6	8	10
측정각도	1.82	3.17	4.58	6.90	8.76	10.67
센서거리	40cm					
실제각도	1	2	4	6	8	10
측정각도	1.24	2.17	4.12	6.13	7.94	10.03
센서거리	60cm					
실제각도	1	2	4	6	8	10
측정각도	1.23	2.14	4.01	6.05	8.10	10.50

5. 결론

이동로봇이 주어진 환경에서 작업하기 위하여 자신의 위치를 알아야 한다. 현재 위치보정시스템으로는 항상 위치를 제공할 수 있다는 장점에 의하여 추측항법이 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 추측항법은 오차가 누적되어 주기적으로 보정하지 않으면 사용할 수가 없다. 따라서 기본적으로 추측항법을 사용하면서 주기적으로 안정된 절대위치를 제공할 수 있는 센서시스템 개발이 필요하다.

개발된 항법 시스템은 엔코더를 주 항법 시스템으로 하고 자이로를 이용하여 엔코더의 오차를 보정하도록 구성 되어 있다. 엔코더의 규칙오차와 자이로의 랜덤 오차도 모델링 하였다. 엔코더와 자이로의 오차 모델은 필터에서 사용되어 위치오차와 자세오차를 보정하고, 또한 엔코더와 자이로의 오차를 보정하도록 구성하였다. 직접 추정 항법 시스템 대신 제안된 간접 추정 항법 시스템을 사용하여 계산량을 줄일 수 있으며 공분산의 증가와 같은 요인으로 필터가 오동작을 하더라도 항법 시스템은 필터링 되지 않은 위치와 자세를 제공 할 수 있다. 개발된 항법 시스템의 장점은 엔코더 오차와 자이로 오차를 필터링을 통해 상호적으로 보정 할 수 있다는 것이다.

개발된 절대위치보정 시스템은 두 개의 거리측정용 적외선센서와 한 개의 포토스위치를 사용하고 있으며 직사각형의 형태의 단순한 되반사지를 위치표식으로 사용한다. 절대위치보정시스템은 물체의 색, 재질, 조명 등에 대하여 안정된 성능을 보이거나 물체와의 거리에 따라 정밀도가 낮아 10cm에서 25cm 이내에서 위치표식을 감지하는 것이 가장 좋은 성능을 나타낸다. 개발된 시스템은 앞으로 서비스 로봇의 상용화를 위한 보급형 위치보정시스템으로 활용될 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

- Borenstein, J. and Feng, L. 1995c, *Where am I? Sensors and Methods for Autonomous Mobile Robot Positioning - 1995 Edition.*
- Barshan, B. and Durrant Whyte, H. F., 1994, Orientation Estimate for Mobile Robots Using Gyroscopic Information, *1994 International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 94)*, Munich, Germany, Sept. 12-16, pp. 2243-2248.
- Barshan, B. and Durrant Whyte, H. F., 1995, Inertial Navigation Systems Mobile Robots, *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, Vol. 11, No. 3, June, pp. 328-342.
- Park, K., Chung, H., and Lee, J., 1996, Dead Reckoning Navigation of a Mobile Robot Using the Indirect Kalman Filter, *Proceeding of the IEEE/SICE/RSJ International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, Washington D.C. USA, Dec. 8-11, pp. 132-138.
- Park, K., Chung, H., and Lee, J., 1997, Dead Reckoning Navigation for an Autonomous Mobile Robot Using a Differential Encoder and a Gyroscope, *8th International Conference on Advanced Robotics*, Monterey, California, USA, July 7-9.
- Park, K., Chung, H., and Lee, J., 1998, Dead Reckoning Navigation for Autonomous Mobile Robots, *Proceeding of Intelligent Autonomous Vehicle*, Madrid, Spain, March 25-28, pp. 441-446.
- (주)마이크로인포니티, <http://www.m-inf.com>.
- Yang H., Chung H., Park, K., and Lee, J., 2000, "A Rotating Sonar and a Differential Encoder Data Fusion for Map Based Dynamic Positioning," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*.
- 박규철, 정학영, 이장규, 1999, "간접외벽임 필터를 이용한 이동로봇의 추측항법 시스템," *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, pp. 827-835, Vol.5, No 7, October.
- Chung H., Lauro O., and Borenstein J., 2001, "Accurate Mobile Robot Dead-reckoning with a Precision calibrated Fiber optics Optic Gyroscope," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*. (conditionally accepted) SCI 등재.
- Komoriya, K. and Oyama, E., 1994, Position Estimation of a Mobile Robot Using Optical Fiber Gyroscope(OFG), *1994 International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS 94)*, Munich, Germany, Sept. 12-16, pp. 143-149.
- Vaganay, J., Aldon, M. J., and Fourinier, A., 1993, Mobile Robot Attitude Estimation by Fusion of Inertial Data, *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Atlanta, GA, May 2-7, pp. 3243-3248.
- Borenstein, J. and Feng, L. 1995, Correction of Systematic Dead reckoning Errors in Mobile Robots, *1995 International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS95)*, Pittsburgh, PA, Aug. 5-9, pp. 569-574.
- Borenstein, J. and Feng, L. 1995, UMBmark : A Method for Measuring, Comparing, and Correcting Dead-reckoning Errors in Mobile Robots, Technical report UM MEAM-94-22, University of Michigan.
- Maybeck, P. S. *Stochastic models, estimation, and control Volume 1*, Academic Press. 1979.
- Lawrence, A., *Modern Inertial Technology Navigation, Guidance, and Control*, Springer-Verlang. 1993.
- Siouris G. M. *Aerospace Avionics Systems-A Modern Synthesis*, Academic Press 1993.
- HVW Technologies, <http://www.hvwtech.com>.