

## 마그네틱 마커를 이용한 이동로봇의 경로제어 Part I : 지자기 제거, 자기장의 정규화와 선형화

김영민, 김의선, 임영철, 김태곤, 문채주, 장영학  
(주)셀런, 신경대, 전남대, 목포대, 목포대, 목포대

### Path Tracking Control of Mobile Robot using Magnetic Marker

Young-Min Kim, Eui-Sun Kim, Young-Cheol Lim, Tae-Gon Kim, Chae-Joo Moon, Young-Hak Chang  
Celrun Co., Ltd., Shin-Gyeong University, Chonnam University, Mokpo University, Mokpo University, Mokpo University

**Abstract** - 이동하고자 하는 경로에 자석 마커를 설치하고 마커의 자계를 인식하여 경로를 추종하는 이동 로봇의 경로 제어시스템이다. 자석 마커 간격 확장과 여러 환경에 따른 자계를 분석하기 위해 자동 자기 측정 장치를 제작하였고, 이를 이용한 실측을 통하여 지자기 제거를 확인하였다. 지자기가 제거된 마커 자기장 값의 정규화와 선형화를 통하여 이동 경로 상에서 위치 인식이 수월하도록 하였으며, 인식된 경로 정보로 이동 로봇의 경로 제어가 가능하도록 하였다.

#### 1. 서론

자석 마커를 이용한 이동 로봇의 경로 제어는 국내외 적으로 연구가 활발히 진행되고 있는데, 자석 마커의 자기장을 이용하기 때문에 지구 자기장이 걸림돌로 작용한다. 지구 자기장을 제거하는 방법으로 여러 가지 방법이 제시되어 있지만 본 논문에서는 2개 센서법을 이용한다. 2개의 센서로 자기장을 측정할 때, 각 센서에 측정된 지구 자기장 값이 동일하다고 가정하고, 한 센서 측정값에서 다른 센서의 측정값을 산술적으로 빼면 지구 자기장은 제거되고, 마커에 의한 자기장 값만 남게 된다. 측정의 수고 절감과 정확성을 기하기 위하여 자동 측정 장치를 제작하고, 실측을 통하여 지자기 제거의 결과를 증명한다.

측정된 자기장 값과 마커의 위치 정보 간의 관계는 매우 비선형적이므로 본 논문에서 제안하는 방법으로 자기장 값의 정규화와 선형화를 행한다. 결과로 얻어진 위치정보로 이동 로봇의 경로제어가 가능해진다.

#### 2. 자석 마커의 자기장

##### 2.1 자기장 측정

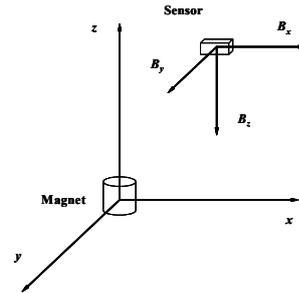
영구자석의 자기장을 이용한 경로 추적 시스템이나 자율주행 시스템에서는 필요한 크기의 자기장을 갖는 영구 자석을 원하는 경로 또는 도로에 설치하고, 그로 인해 형성된 자기장의 세기를 이용하여 경로를 추적하거나 차량의 경우에는 자율주행을 수행한다. 이 때 영구 자석을 적층하여 필요한 크기의 자기장을 갖도록 하여서 경로 상에 설치하는 영구 자석 덩어리를 마그네틱 마커, 또는 간단히 마커라고 부른다.

센서에서 측정되는 자기장 값은 여러 조건에 따라서 달라진다. 마커를 이루는 영구자석의 세기, 경로에 설치된 마커간의 간격 등은 경로에 형성된 자기장의 형태를 결정하고, 동일한 경로 조건일지라도 경로 상에서 센서의 위치는 측정되는 자기장 값을 변화시킨다.

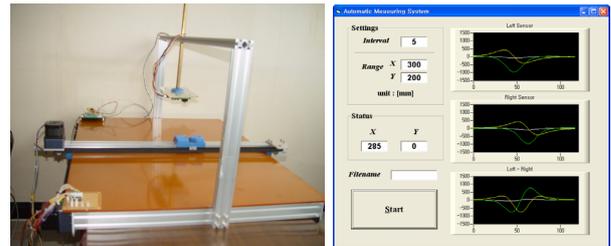
이와 같은 자기장 값을 분석하기 위하여 그림 1과 같이 마커와 센서의 좌표축을 선정하였고, 자동 측정을 위한 측정 장치를 그림 2와 같이 제작하였으며, 사용된 센서 보드는 미국 하니웰사의 3축 센서 모듈인 HMC1023을 이용하여 제작하였다. 측정 간격과 x축과 y축의 측정 범위를 설정하고 실행하면, 현재의 측정 위치와 측정된 자기장 값들을 그래프로 보여주고 측정값을 파일로 저장한다. 그림 3은 각 축의 자기장 분포 특성을 예시하기 위한 그래프로, 그림 3 (a)는 마커의 N극을 위쪽으로, 그림 3 (b)는 마커의 S극을 위쪽을 향하도록 원점에 장착하고, 센서의 높이는 원점으로부터 z 축으로 100[mm]의 위치에 고정하여, y 축을 따라서 센서를 -300[mm]부터 300[mm]까지 5[mm] 간격으로 이동하면서 측정하여 얻은 것이다. 단, 이 그래프들은 초기에 측정된 지자기를 제거하여 지자기 성분은 나타나 있지 않다.

$B_x$  성분은 중앙에서 0이었다가 y 축을 따라 좌우로 벗어나면서 그 대체는 특정지점까지 급격히 증가하다가 서서히 감소하여 다시 0에 이르는데, 그 부호는 좌우 서로 반대이다.  $B_z$  성분은 중앙에서 최대치를 나타내고 중앙에서 멀어질수록 좌우 동일한 모양으로 감소하여 0에 이르게 된다. 센서가 y 축 상에서만 움직여서 x 좌표가 모두 0이므로  $B_x$  성분은 모든 위치에서 0이다.

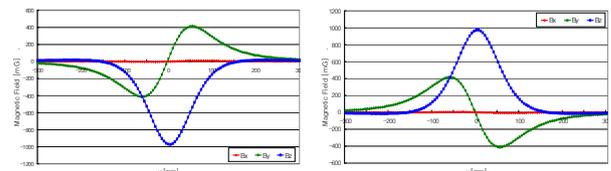
그림 3 (a)와 그림 3 (b)의 차이는 마커의 극성에 따라서 각 축별로 측정된 자기장 값이 서로 다른 부호를 갖는데, 이 특성을 이용하여 마커의 극성을 판별하여 경로 정보를 얻을 수 있다.



〈그림 1〉 좌표축의 선정



〈그림 2〉 자동측정 장치와 측정 화면



(a) N극이 위로 향한 경우 (b) S극이 위로 향한 경우

〈그림 3〉 자기장 값의 측정 예

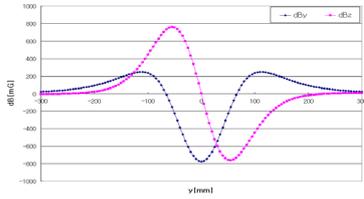
##### 2.2 지자기 제거

자기 센서에서 측정되는 자기장 값에는 자석에 의한 값뿐만 아니라 지구자기장 값이 포함되어 있는데, 이것은 자기 센서를 이용한 경로상의 위치 인식에 심각한 문제를 발생한다. 기존에는 자석을 여러 개 적층하여 자석에 의한 자기장을 상대적으로 크게 하여 지구자기장을 무시하는 방법이 사용되었다. 그러나 이 방법은 자석의 개수가 많아져 설치비용이 증가하고, 센서도 넓은 범위를 측정할 수 있어야 하는 단점이 있다. 두 개의 센서를 이용하여 지구자기장을 제거하는 방법을 이용한다. 동일한 평면상에 두 개의 센서를 가깝고 평행하게 설치하면, 각각의 센서에서 측정되는 지구자기장 성분은 모든 축에 대해서 동일하고, 차체를 비롯한 주위의 영향 또한 거의 같다고 할 수 있다. 따라서 두 센서에서 측정된 값들의 차이를 구하면 지구자기장 성분과 주위환경에 의한 성분이 제거되고 마커에 의한 성분만 남게 된다. 이것을 각 축에 대해서 구하면 지구자기장이 제거된 새로운 변수  $\delta B_x, \delta B_y, \delta B_z$  를 얻을 수 있다.

$$\delta B_x = B_x^L - B_x^R, \quad \delta B_y = B_y^L - B_y^R, \quad \delta B_z = B_z^L - B_z^R \quad (1)$$

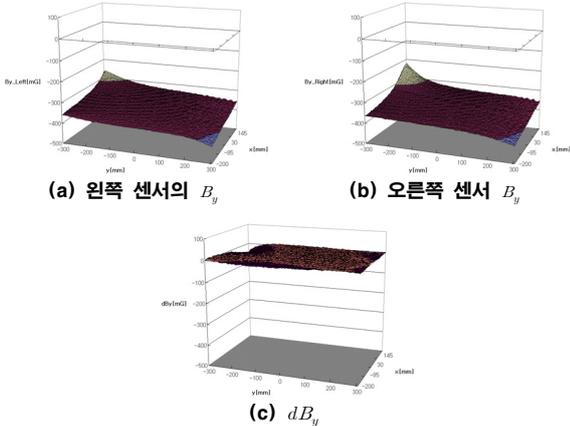
그림 4는 두 개의 센서를 이용하여 지구 자기장이 제거된 - 센서 값들의 차이인 -  $\delta B$  를 보여준다. 센서는 원래 1개의 센서가 있던 점을 원점으로 하고 그 점을 중심으로 y 축 방향으로  $\pm 40[mm]$ 의 위치에 원

쪽센서와 오른쪽 센서를 각각 위치시켰으며, 측정하면서 각 축별로 차이를 뺀 것이다. 그림에서 보는 것처럼  $dB_y$ 는 그림 3의  $B_z$ 와 유사한 형태를 보이고  $dB_z$ 는 그림 3의  $B_y$ 와 유사한 형태를 보이는 것을 알 수 있다. 두 개의 센서에 동일한 영향을 미치는 지자기는 제거되었고, 비선형적이지만 마커와 센서 간의 위치정보를 가지고 있는 것을 확인할 수 있다.



〈그림 4〉 두 개의 센서로 측정된 dB

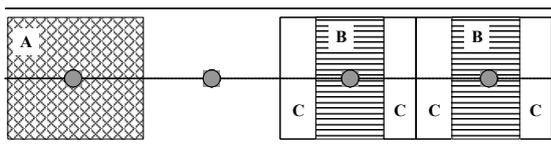
그림 5는 두 개의 센서를 이용하여 지자기가 제거된 예를  $B_y$  축에 대하여 나타냈다. 마커가 없는 상태에서 지자기와 주변의 영향만을 받는 임의의 평면 300[mm] \* 200[mm]의 공간을 5[mm]의 간격으로 측정하였다. 두 개의 센서는 동일한 평면에 장착하였고, 3축을 서로 일치시켰으며 센서간의 간격은 80[mm]로 하였다.  $B_y$ 는 300[mG] 정도로 측정되지만  $dB_y$ 는 수 십[mG] 이내로 측정이 되므로 지자기는 거의 제거된 것으로 볼 수 있다. 그림 5 (c)에서  $dB_y$ 는 왼쪽 센서의  $B_y$ 에서 오른쪽 센서의  $B_y$  값을 뺀 것이다.



〈그림 5〉 지자기 제거의 예

### 2.3 자기장 경로

마커를 이용한 경로제어 시스템에서 경로는 마커를 경로의 중앙에 일정 간격으로 설치하여 구성한다. 인접한 마커간의 영향이 작도록 마커간격을 멀리 하였을 경우, 자기장의 분포는 하나의 마커를 설치하였을 경우의 자기장이 주기적으로 나타날 것이라는 것을 충분히 예측할 수 있다. 그림 6에서 A영역이 경로 상에 연속적으로 나타나고, A영역도 자기장이 큰 B영역과 작은 C영역으로 나눌 수 있다. 로봇이 주행 중에 B영역에 센서가 위치하였을 경우는 측정된 자기장 값으로 충분히 경로추적에 필요한 정보를 얻을 수 있으나, 자기장 값이 작은 C영역에 센서가 위치하였을 경우는 충분한 정보를 얻을 수 없다. 센서가 C영역에 위치하였을 때에도 B영역에서 자기장 값을 읽을 수 있는 여분의 센서를 추가하면 경로를 이동하는 중에 2그룹의 센서 중에 어느 한 그룹은 항상 B영역에서 큰 자기장 값을 얻을 수 있다. 따라서 B영역의 자기장을 분석하여 자기장 값의 정규화와 선형화를 행한다.



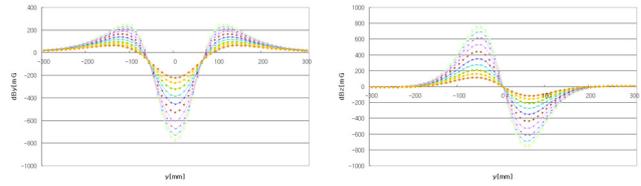
〈그림 6〉 자기 경로와 영역들

### 3. 자기장 값의 정규화와 선형화

#### 3.1 자기장의 정규화

마커 주변의 강 자기장 영역과 마커에서 떨어진 약 자기장 영역에서

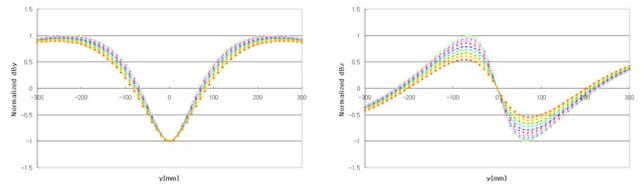
측정된  $dB_y$ 와  $dB_z$ 는 크기에서 큰 차이를 보인다. 그림 7은 그림 6에서 설명한 B영역에서 측정된  $dB_y$ 와  $dB_z$  값들을 중첩하여 표현한 그래프이다.



〈그림 7〉 B영역에서의  $dB_y$ 와  $dB_z$

이러한 자기장 값들의 차이를 줄이기 위하여 식(2)를 이용하여 정규화를 시킨다. 정규화는 다음에 나오는 선형화 과정의 일부이며, 정규화를 행하면 마커를 구성하는 자석의 종류, 세기, 자기장의 불 균일에 대한 영향이 없어진다. 정규화된  $dB_y$ 와  $dB_z$ 를 그림 8에 나타냈다.

$$\begin{aligned} dB_{x\_normalized} &= dB_x / dB, & dB_{y\_normalized} &= dB_y / dB \\ dB_{z\_normalized} &= dB_z / dB, & dB &= \sqrt{dB_x^2 + dB_y^2 + dB_z^2} \end{aligned} \quad (2)$$



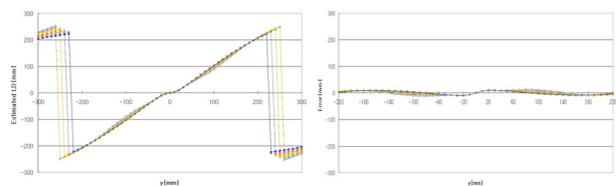
〈그림 8〉 정규화된  $dB_y$ 와  $dB_z$

#### 3.2 자기장의 선형화

센서로 측정하여 정규화된 자기장 값  $dB_y$ 와  $dB_z$ 는 그림 8과 같이 자기장 값과 LD는 비례하지도 않고 선형적이지도 아니기 때문에 자기장 값을 이용하여 직접 LD를 구하기는 어렵다. LD는 그래프에서는 y 좌표와 같은데, 로봇 진행방향에서 횡방향 오차(lateral deviation)를 말한다. 따라서  $dB_x$ ,  $dB_y$ 와  $dB_z$ 에 수학적 방법을 적용하여 선형화 시킨다. 이를 식(3)에 나타냈다.

$$LD = f(dB_x, dB_y, dB_z) \quad (3)$$

식(3)을 적용한 이후 자기장의 그래프를 그림 9에 나타냈는데 -200[mm]부터 +200[mm]까지는 선형적인 것을 볼 수 있다. 실제 LD와 산출된 LD의 차이가 나타났는데, 최대 오차의 크기가 10[mm]를 초과하지 않고 매우 정확한 LD 산출 시스템인 것을 알 수 있다.



(a) 선형화 (b) 오차

〈그림 9〉 선형화와 실측치와의 오차

## 4. 결 론

3축 AMR 센서 모듈을 이용하여 자기 센서 보드를 제작하여 고가의 센서 사용을 배제시켰다. 측정의 수고 절감과 정확성을 기하기 위하여 자동 측정 장치를 제작하였다. 장치는 측정과 제어를 위하여 NISA의 DAQ 보드를 사용하였고, 비주얼 베이직을 이용하여 실행 프로그램을 작성하였다. 측정과 함께 측정치를 그래프로 나타내도록 하여 자기장의 형태를 곧바로 확인할 수 있도록 하였다. 자동측정 장치를 이용한 실측을 통하여 지자기 제거의 결과를 증명하였다. 측정된 자기장 값과 마커의 위치 정보 간의 관계는 비선형적이므로 본 논문에서 제안하는 방법으로 자기장 값의 정규화와 선형화를 행하였다. 결과로 얻어진 위치정보와 실제 위치 정보는 오차가 허용 범위 이내로 적어서, 제안한 방법을 이용한 시스템을 이동로봇의 경로 제어에 이용할 수 있다.