

실외 자기유도 무인운반차를 위한 자기 위치측정 장치 개발

Development of Magnet Position Device for Outdoor Magnet Guidance Vehicle

조현학* · 김성신**†

Hyunhak Cho*, and Sungshin Kim**†

*부산대학교 로봇관련협동과정, **부산대학교 전기공학과

Dept. of Interdisciplinary Cooperative Course: Robot, Pusan National University

† Dept. of Electrical Engineering, Pusan National University

요 약

본 연구는 자기 홀 센서의 특성으로 인해 실내 환경에서만 이용이 되었던 자기/자기-자이로유도 타입의 무인운반차를 실외 환경에서도 적용이 가능하도록 실외 주행용 자기 위치측정 장치를 설계 및 제작하는 것이다. 현재 이용되고 있는 자기 위치측정 장치는 측정 높이가 30mm로 바닥 환경이 고르고 평평한 실내 환경에 적합한 구조이다. 하지만 바닥 환경이 울퉁불퉁하거나 불균형적인 실외 환경에 이용되는 무인운반차에는 부적합하다. 그 이유는 무인운반차 서스펜션이 부착되지 않고, 이 때 자기 위치측정 장치의 부착 높이가 30mm 이하로 무인운반차에 가해진 충격으로 인해 장치와 바닥과의 충돌이 발생하게 되면 장치가 파손되기 때문이다. 따라서 실외 자기유도 무인운반차에 적용하기 위해서는 100mm 이상의 측정 높이를 가지는 자기 위치측정 장치가 필요하다. 현재 자기 위치측정 장치의 성능 향상 및 개발에 관련된 다양한 연구들이 진행되었지만, 다양한 자기 홀 센서를 분석하여 본 논문에서는 자기 위치측정 장치를 설계 및 제작하였고, 자기 홀 센서의 특성 정보를 이용한 특성 함수를 이용해 자성체의 위치를 검출하였다. 실험을 위하여 알루미늄을 이용한 실험 장비를 제작하였으며, 제안된 자기 위치측정 장치를 이용하여 실험한 결과 위치측정 정밀도 오차는 10mm 이하이고, 측정 높이는 평균 150mm 로 실외 자기유도 무인운반차에 적합한 것을 확인하였다.

키워드 : 자기 위치측정 장치, 자기 홀 센서, 실외 자기유도 무인운반차, 특성 함수

Abstract

This paper is research paper on the MPD(Magnet Position Device) for the outdoor MG(Magnet /Magnet Gyro Guidance Vehicle). Usually, MG is used in indoor environment because of a measurement height of the magnet position device. CMPD(Commercial magnet position device) has 30 mm measurement height, so this is suitable structure in indoor environment like to a flat surface. Outdoor environment is an uneven and irregular, So Outdoor MG must has a suspension. But CMPD is unsuitable for outdoor environment because of a collision with a surface caused by suspension. Thus, measurement height of the outdoor MPD is positively necessary more than 100 mm. So, we suggest the outdoor MPD using analog magnet hall sensor, moving average filter and Characteristic(rate of the magnet hall sensor) function of the localization. Result of the experiments, the proposed Magnet Position Device for the outdoor MG has localization accuracy 4.31 mm, measurement height 150 mm and width 150 mm and is efficient more than CMPD.

Key Words : Magnet Position Device, Magnet Hall Sensor, Outdoor Magnet Guidance Vehicle, Characteristic Function

1. 서 론

접수일자: 2013년 10월 7일

심사(수정)일자: 2013년 12월 9일

게재확정일자 : 2013년 12월 10일

† Corresponding author: sskim@pusan.ac.kr

본 연구는 산업통상자원부 및 정보통신산업진흥원 융복합형 로봇전문인력양성 특수환경 Navigation/Localization 로봇기술연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.” (H1502-13-1001)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

최근에는 골프카트, 항만 물류 시스템, 실외 자동화 시스템 등 실외에서 주행 및 작업 등이 가능한 무인운반차에 대한 관심이 크게 증가되고 있다[1-6]. 무인운반차의 항법 시스템은 무선, 유선으로 분류가 되며 유선 항법 시스템은 바닥에 매설된 유도선을 인식하여 무인운반차를 유도하게 되며, 무선 유도 항법 시스템은 벽이나 천장에 부착된 랜드마크를 인식하여 무인운반차를 유도한다.

실외 환경에 랜드마크를 부착하지 못하는 경우에는 무선 항법 유도 시스템을 이용할 수 없다. 그리고 유선 항법 시스템은 매설된 유도선을 인식하기 위한 장치와 바닥과의 거리가 매우 가깝기 때문에 서스펜션에 의해 장치가 파손될 가능성이 매우 높다[7-10]. DGPS 또는 카메라 등을 이용한

시각 센서 기반 주행 시스템과 같은 실외에서도 사용이 가능한 항법 시스템이 존재하지만 이는, 오차 범위가 매우 크거나, 연산이 매우 복잡하다는 단점으로 인해 안전성이 크게 요구되는 산업 현장의 무인운반차에 적용하기에는 비효율적이다[11-13].

무인운반차를 위한 유선 항법 시스템의 낮은 측정 높이만 보완이 가능하다면 실외에서도 이용이 가능하다. 유선 항법 시스템 중에서 높은 안전성, 간단한 시스템 구성, 저렴한 가격으로 인해 가장 많이 이용되는 자기 위치측정 장치의 경우에는 측정 높이가 30mm보다 바닥과 거의 밀착되어 검출하기 때문에, 서스펜션이 설치된 무인운반차를 바닥 환경이 평평하지 않은 실외 환경에 적용하는 경우 장치가 파손되는 위험성이 높다. 또한 가격적인 면을 고려하여 비교적 저렴한 디지털 타입의 자기 홀 센서를 이용하여 제작되었기 때문에 자성체 유도선의 유무만을 판단하므로 위치측정 정밀도가 자기 홀 센서의 개수에 의해서 결정되며, 아날로그형 자기 위치측정 장치의 경우에는 50mm 정도의 위치측정 정밀도의 오차가 존재한다.

본 논문에서는 실외에서 자기 유도선을 검출할 수 있는 아날로그형 자기 위치측정 장치를 설계하고, 아날로그형 홀 센서를 이용한 유도선의 위치를 정밀하게 측정하는 방법을 제안한다. 자기 홀 센서를 이용한 이유는 다양한 자기장 측정 센서 중에서 전력 소모가 적고, 부피가 적은 자기 홀 센서가 무인운반차에 가장 적합하기 때문이다. 자기 홀 센서의 특징을 분석하기 위해서 방향성, 극성, 출력 타입 형태, 축 정보를 바탕으로 다양한 자기 홀 센서를 실험하였으며, 이를 바탕으로 선정된 방향성 정보를 포함하는 1축 아날로그 형태의 양극성 자기 홀 센서를 이용하여 자기 위치측정 장치를 설계하고, 실험용 자성체의 자기장 정보를 맵핑한 특성함수를 정의하였다.

본 논문의 2장에서는 자기 유도/자기 자이로 유도 무인운반차에 이용되는 자성체들과 자기 홀 센서에 대해서 설명하고, 3장에서는 제안된 자기 위치측정 장치에 대해서 논의한다. 4장에서는 상용화된 자기 위치측정 장치의 성능을 확인한 이후, 실험을 통해 제안된 자기 위치측정 장치의 성능을 검증하고, 마지막 5장에서는 결론에 대하여 기술한다.




2. 자기 홀 센서

본 단락에서는 자기/자기-자이로 유도 무인운반차에 이용되는 자성체의 특징을 알아본 이후에, 자기 위치측정 장치에 사용되는 자기 홀 센서들에 대해서 논의한다.

자성체는 페라이트와 네오디뮴으로 분류가 되는데 자기, 자기-자이로 유도 무인운반차에 이용되는 자성체는 네오디뮴 자성체를 이용하여 제작된다. 페라이트 자성체의 경우에는 온도가 높아지면 자기장의 세기가 강해지고 온도가 낮아지면 약해지며, 자기장의 세기가 네오디뮴보다 약하고 충격에 잘 부서지는 단점을 가지고 있다. 하지만 네오디뮴에 비해 가격이 저렴하고 수명이 길어 영구적으로 사용할 수 있는 장점이 있다. 네오디뮴 자성체는 페라이트와는 반대로 온도가 높아지면 자기장의 세기는 약해지고 온도가 낮아지면 강해진다. 페라이트 자성체에 비해서 네오디뮴의 자성체의 세기가 세배이상 강하고 서로 반대 극이 붙어있는 경우에는 9배 이상 강하며 충격에도 강한 장점을 가지고 있다. 하지만 가격이 높고, 습기에 민감해 부식이 빨리 진행되기 때문에 수명이 짧은 단점을 가진다.

일반적으로 무인운반차의 작업 공간은 온도 변화가 크지 않기 때문에 자기 유도 항법 시스템을 구성하기에는 두 자성체 모두 문제는 없지만, 자기장의 세기가 강한 네오디뮴 자성체를 주로 이용한다. 무인운반차에 적용되는 자성체는 세 가지 타입으로 분류가 된다. Laid type(매설형), Tape type(부착형), Round type(원통형)으로 분류가 된다. 표 1은 자기/자기-자이로 유도 무인운반차에 적용되는 자성체의 설명이다.

표 1. 무인운반차에 이용되는 자성체
Table 1. Magnet for AGV

	Laid Type	Tape Type	Round Type
Shape			
Width	10 mm	50 mm	10 mm
Height	15 mm	10 mm	15 mm
Magnet Gauss	0~25 G	0~20 G	0~25 G

Laid type과 Tape type은 무인운반차를 유도할 바닥에 매설 또는 부착하는 형태이고, Round type은 0.3~15m 간격마다 매설하여 무인운반차를 유도한다. Tape type의 자성체의 경우에는 Laid type과 Round type에 비해 두께가 작기 때문에 상대적으로 자기장이 약하다. 자성체를 제작하는 제조 회사나 재료에 따라 다르기는 하지만 세 가지 자성체 모두 평균적으로 25Gauss의 자기장의 세기를 가지며, 검출할 면이 일반적으로 N극으로 제작되어진다.

자기장을 측정하는 자기 홀 센서의 특징으로는 크게 축, 방향성, 극성 정보로 나눌 수 있다. 축 정보는 1~3축으로 나뉘며, 방향성 정보는 방향성 정보를 고려하는 경우와 고려하지 않는 경우로 나뉜다. 방향성 정보를 고려하는 경우는 해당하는 축의 서로 반대 방향의 자기장의 정보를 2번 측정하여 차이 정보를 이용하거나, 평균적인 자기장 정보를 이용하여 자기장의 세기를 검출하는 것으로 방향성 정보를 고려하지 않는 자기 홀 센서에 비해서 자기장을 측정하는 정밀도가 높다. 극성 정보는 N극, S극 미리 정해진 극만을 측정하거나 센서의 PIN에 연결되어 있는 입력 신호에 따라서 극성을 바꿀 수 있는 단극성 자기 홀 센서와 양극 모두 측정 가능한 양극성 자기 홀 센서가 있다. 그림 1은 자기 홀 센서의 종류에 대한 그림이다.

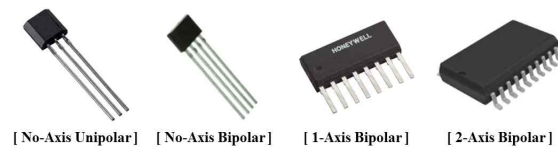


그림 1. 자기 홀 센서 종류
Fig. 1. Magnet hall sensors

일반적으로 자기/자기-자이로 유도 무인운반차에 적용되는 자성체는 30mm 높이에서는 5~10Gauss의 자기장의 세기를 가진다. 하지만 상용화된 자기 위치측정 장치에 이용된 자기 홀 센서들은 가격적인 이유로 저렴한 자기 홀 센서를 이용하였는데, 이 자기 홀 센서들은 대부분 측정 범위가 ±200Gauss로 자성체에 비해 매우 크다. 따라서 본 논문에

서는 실외 무인운반차를 위한 자기 위치측정 장치를 제작하기에 앞서 다양한 자기 홀 센서들의 최대 측정 높이 실험을 하였다. 최대 측정 높이 실험은 1차적으로 상용화된 자기 위치측정 장치의 측정 높이와 똑같은 30mm 기준으로 하였으며, 통과된 자기 홀 센서 중에서 최대 측정 높이가 200mm로 가장 긴 자기 홀 센서를 선택하였다.

해당하는 자기 홀 센서의 사양과 특성은 표 2와 같으며, 자기 홀 센서의 방향성 정보는 그림 2와 같다. 선택된 자기 홀 센서는 아날로그-방향성-양극성 자기 홀 센서(이후 자기 홀 센서라 칭함)이며, 자기장 측정 방법은 *set pulse*와 *reset pulse*를 이용해서 서로 반대 방향에서 측정된 자성체의 자기장의 세기 정보를 이용하여, 자성체의 자기장을 측정한다. 자기 홀 센서의 사양 설명서에 의한 자성체의 자기장을 구하는 방법은 식 1과 같다. 식 1에서 Magnet Field는

계산된 자기장의 세기이다.

$$\text{Magnet Field} = \text{setpulse} - \text{resetpulse} \quad (1)$$

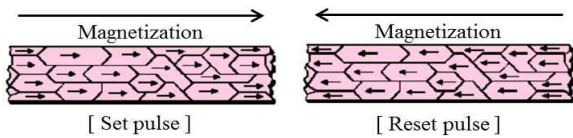
3. 제안된 자기 위치측정 장치

실험을 통해 선택된 자기 홀 센서를 이용해 자기/자기-자이로 타입의 실외 무인운반차를 위한 자기 위치측정 장치를 설계 및 제작하였다.

자기 홀 센서는 방향성의 정보를 가지지만 한 개만을 이용하는 경우에는 측정 넓이가 좁고 자성체의 자기장을 계속하는 경우, 자기 홀 센서를 기준으로 서로 반대 방향에 있는 자성체의 자기장을 정확히 구분이 되지 않았기 때문에 두 개의 자기 홀 센서를 이용하여 자기 위치측정 장치를 제작하였으며, 그림 3과 같은 형태와 같이 구성하였다.

표 2. 자기 홀 센서의 사양
Table 2. Specification of the magnet hall sensor.

Parameter	Character
Supply voltage	5~12 V
Mea. range	±2 Gauss
Sensitivity	3.2 mv/Gauss
Communication	Analog voltage
Polarity	Bipolar



(a) set pulse (b) reset pulse

그림 2. 자기 홀 센서의 방향성

Fig. 2. Direction of magnet hall sensor

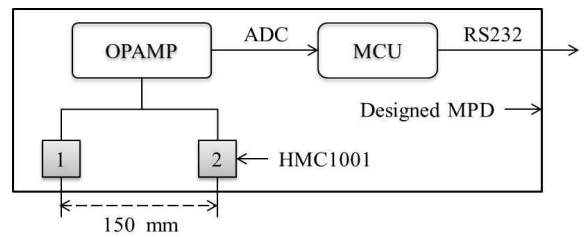


그림 3. 제작한 자기 위치측정 장치

Fig. 3. Designed MPD

그림 3에서 OPAMP를 이용한 이유는 자기 홀 센서의 sensitivity가 3.2mv/Gauss로 자성체의 자기장을 검출하기 위해서는 16bit 이상의 ADC 장치가 필요하다. 하지만 높은 정밀도를 가지는 16bit 이상의 ADC 장치는 매우 고가이며, 저가의 ADC 장치의 경우에는 정밀도와 계측속도가 낮았기

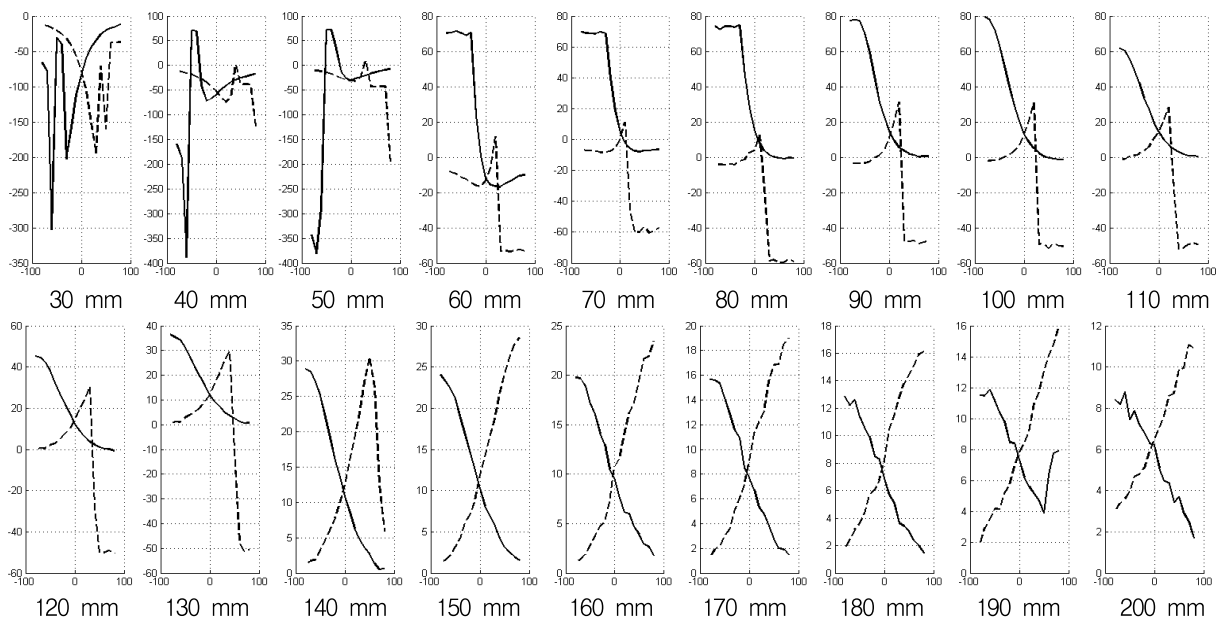


그림 4. 높이에 따른 실험 결과 (30~200 mm)

(실선: 자기 홀 센서 1 출력 값, 파선: 자기 홀 센서 2 출력 값)

Fig. 4. Height experiment result (30~200 mm)

(line: output of magnet hall sensor-1, dashed line: output of magnet hall sensor-2)

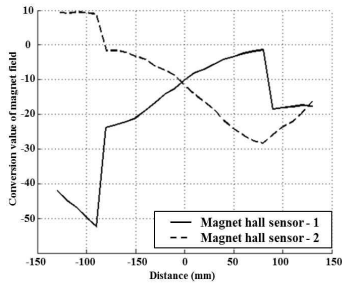


그림 5. 선형성 실험 결과
Fig. 5. Experimental result of linearity

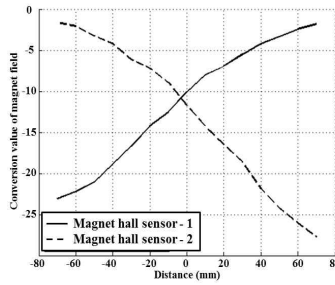


그림 6. 자기 위치측정 장치의 계측 값
Fig. 6. Measurement value of the MPD

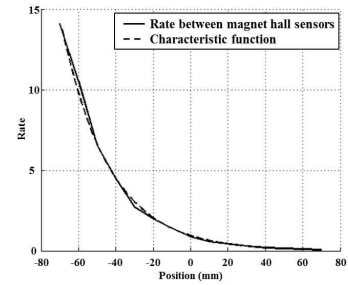


그림 7. 위치에 따른 비율과 특성함수
Fig. 7. Rate according to positions and characteristic function

때문에 OPAMP와 12bit ADC를 이용하였다. 자기 홀센서 사이의 거리는 실험을 바탕으로 실험 대상인 자성체의 자기장의 반응을 하는 최대 거리를 기준으로 자기 위치측정 장치를 제작하였다. 제작한 자기 위치측정 장치 내의 자기홀 센서의 선형성 정보를 통해 계측높이와 계측 범위를 설정하기 위해 30~200mm의 계측 높이와 -130~130mm의 계측 범위를 실험하였으며, 계측 높이와 계측 범위는 10mm 간격마다 실험하였으며, 실험 결과는 그림 4와 같다. 측정 높이 중에서 0~20mm는 자성체와 자기 홀센서 간의 인력으로 인해서 실험이 불가능하여 실험에서 제외하였다. 130~170mm 내에서는 중심으로부터 일부구간의 선형성의 정보를 확인할 수 있으며, 그림 5와 같다. 이는 자기 홀 센서의 특성 중에서 측정 범위가 ±2Gauss 내의 자기장만을 계측하기 때문에 이외의 영역에서는 비선형성의 정보로 인해서 이용할 수 없다. 따라서 측정 가능한 높이인 130~170mm 중에서 측정 넓이 -70~70mm의 영역에서만 자성체의 위치를 측정할 수 있으며, 그림 6과 같다. 그림 6은 자기 위치측정 장치의 평균 계측 값(1000개)이다. 자기 위치측정 장치 내의 두 자기 홀 센서의 출력 값을 식 (2)에 적용하여 자성체의 위치에 따른 두 자기 홀 센서의 출력 값의 비율을 계산할 수 있다.

$$Rate = output1 / output2 \quad (2)$$

위의 식 (2)에서 $output1$ 은 자기 위치측정 장치 내의 좌측 자기 홀 센서의 출력 값 (mv/G) 이고 $output2$ 는 우측 자기 홀 센서의 출력 값이다. 구해진 두 개의 자기 홀 센서 출력 값의 비율은 식 3과 같이 지수 함수 형태로 정의할 수 있다. 식 3에서 a 는 0.9422, b 는 -0.03902, c 는 자성체의 위치(-70~70mm)이며, a 와 b 는 실험을 통해서 얻은 수치이다. 그림 7은 자성체의 위치에 따른 출력 비율과 특성 함수이다. 자성체의 위치는 식 (3)의 역함수를 이용하여 자성체의 위치를 판별한다. 실험은 상용화된 자기 위치측정 장치가 계측하는 N극만을 대상으로 한 결과이며, S극을 측정하는 경우에는 N극과 서로 반대되는 정보를 구할 수 있다.

$$Rate = a \times \exp(b \times c) \quad (3)$$

4. 실험 및 결과

기준에 판매 중인 자기 위치측정 장치와 직접 제작한 자기 위치측정 장치의 성능을 분석하기 위해 그림 8과 같이 실험 장비를 제작하였다. 실험 장비는 자화를 막기 위해

루미늄 프로파일을 이용하여 제작하였으며, 자기 위치측정 장치가 실제 무인운반차에 설치되어 주행되고 있는 것과 같은 효과를 주기 위해, 실험 장비 옆에 400W급 BLDC를 약 300 RPM(revolutions per minute)로 회전시킴으로써 진동을 주었다.

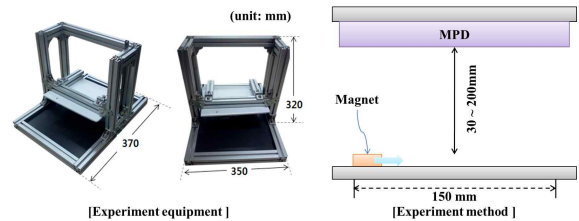


그림 8. 실험 장비 및 방법
Fig. 8. Experiment equipment and method

제한한 자기 위치측정 장치의 성능을 비교 분석하기 위해 기준에 상용화되어 있는 자기 위치측정 장치들과 비교를 하였다. 표 3은 상용화된 자기 위치측정 장치의 비교이다.

표 3. 상용화된 자기 위치측정 장치의 사양

Table 3. Specification of the commercialized MPD

Name	Device		
	ME9006 AM-O	ME9016	ME9100W-D
Mea. range	5~30G	5~3 G	5~30G
Mea. width	±45 mm	±85 mm	±91 mm
Mea. height	30 mm	30 mm	30 mm
Polarity	N	N	N
Mean local. error	10 mm	10 mm	50 mm

상용화된 장치인 ME9006AM-O와 ME9016은 디지털 형태의 자기 홀 센서를 이용한 자기 위치측정 장치로 ME9006AM-O는 자기 홀 센서의 개수가 8개이며, ME9016는 자기 홀 센서의 개수가 16개이다. 두 장치 모두 측정 범위는 5~30Gauss이며, 측정 넓이는 ±45mm와 ±85mm이다. 측정 높이는 30mm이며, N극만 검출이 가능하다. 그리고 ME9100W-D는 아날로그 자기 홀 센서를 사용한 자기 위치측정 장치로 측정 범위는 측정 범위는 5~30Gauss이며, 측정 넓이는 ±91mm이며, 측정 높이는 30mm, N극만 검출이 가능하다. 표에서 확인할 수 있듯이 현재 상용화된 자기 위치측정 장치는 위치측정 정밀도가 10mm(디지털 방

식), 50mm(아날로그 방식) 의 오차가 존재한다.

상용화된 자기 위치측정 장치는 센서의 가격을 줄이기 위해 단극성, 축 정보를 고려하지 않는 자기 홀 센서를 이용하며, 이용된 자기 홀 센서의 계측 범위가 평균 $\pm 200\text{Gauss}$ 로 매우 넓어 정확한 Gauss를 측정하기 힘들기 때문에 디지털 출력을 이용한다. 이때에는 자성체의 자기장 정보와 미리 정해진 임의 값을 하드웨어적 비교기를 통한 디지털 출력 정보를 이용해 자성체의 위치를 판단한다. 이는 외란 등의 주변 요인으로부터 발생하는 오차는 줄일 수 있지만, 측정 넓이와 측정 높이가 줄어들게 된다. 그리고 아날로그 출력을 이용한 경우에는 디지털 출력 방식보다 위치 측정오차가 매우 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 실내 무인운반차에 적용하기에 적합하나, 측정 높이가 낮기 때문에 실외 무인운반차에 적용하기는 적합하지 않다.

제안된 자기 위치측정 장치는 $\pm 2\text{Gauss}$ 측정 범위를 가지는 자기 홀 센서를 이용하여 자기장을 높은 위치에서 측정할 수 있다(평균 150mm). 따라서 실외용 자기/자기-자이로 유도 무인운반차에 적용이 가능하며, 실내 무인운반차에도 적용이 가능하다.

표 4는 제안된 자기 위치측정 장치를 통해서 계산된 비율에 따라서 실험에 사용된 자성체의 위치를 측정된 결과이다. 제안한 방법의 실험을 위해 실험 장치에 설치된 자기 위치측정 장치의 중심을 0으로 설정하여 실험대의 바닥면에서 $-70\sim 70\text{mm}$ 를 10mm 마다 이동하면서 실험하였으며, 실험장치의 바닥면과 자기 위치측정 장치의 높이가 $130\sim 170\text{mm}$ 를 10mm 마다 이동해가면서 실험하였다.

표 4. 제안된 자기 위치측정 장치의 실험 결과
Table 4. Experimental result of the proposed MPD

Real position	Experimental result (mm)			
	Mean error	Max error	Min error	Variance
-70	10.72	129.98	0.13	46.25
-60	5.51	20.00	0.08	2.77
-50	4.47	15.00	0.02	1.08
-40	3.30	12.23	0.01	0.65
-30	2.59	10.35	0.02	0.41
-20	3.18	27.28	0.12	0.63
-10	3.27	16.41	0.04	1.40
0	3.16	08.11	0.04	0.89
10	2.39	19.85	0.01	0.37
20	3.61	19.85	0.00	1.26
30	3.80	15.88	0.03	1.13
40	5.17	19.98	0.04	2.10
50	4.99	15.86	0.00	1.32
60	4.34	31.29	0.01	3.97
70	10.95	22.22	10.01	0.48
Avg.	4.76	-	-	4.31

실험에서 -70mm 와 70mm 이상의 지역에서는 비선형적인 데이터를 가지게 되며, 이를 보완하기 위해서는 자기 위치측정 장치 내의 자기 홀 센서를 개수를 늘린다면 측정 범위는 증가하게 된다. 그리고 높이 정보 중 $130\sim 170\text{mm}$ 이외의 영역 역시 비선형적인 데이터를 가지는 영역으로 배제하였다. 그리고 지구의 자기장, 계측 실험 장비의 자기장 등을 고려하여 실험대 주변의 1m 반경 이내에는 기타 자성

체를 최대한 제거한 이후, 10분간 데이터를 계측하여, 기준 값을 설정하였다. 기준 값 (0Gauss)과 자성체가 있을 때 계측된 값과의 차 연산을 이용하여 자성체의 자기장 세기를 계산하였고, 이 정보를 이용하여 자성체의 위치를 판단하였으며, 각각 1000개의 데이터를 이용하였다.

평균 위치측정 정밀도 오차와 최대, 최소 오차, 분산은 표 4와 같으며, 그림 9~10은 1000개의 데이터를 위치측정 실험 결과 그래프로, 실제 자성체가 놓인 위치와 제안된 자기 위치측정 장치를 이용해 계측된 자성체의 위치 정보와의 차이를 나타낸 그래프이다.

실험 결과에서 확인할 수 있듯이 제안된 자기 위치측정 장치의 평균적인 오차는 4.76mm로 상용화된 무인운반차용 자기 위치측정 장치보다 높은 위치측정 정밀도를 가지며, 측정 높이가 평균 150mm 로 서스펜션이 부착된 실외용 무인운반차에 적용이 가능하다는 것을 보여주며, 실내 무인운반차에도 적용이 가능한 것을 확인하였다.

단점으로는 실외 무인운반차가 굴곡, 충격 등으로 인해 유효 측정 높이인 $130\sim 170\text{mm}$ 이외의 영역에서 위치를 판별하는 경우에는 자기 위치측정 장치의 비선형적인 데이터로 인해 정확한 자성체 위치를 판별할 수 없다. 하지만 이는 계속적인 이탈이 아닌 일시적인 현상으로 이를 보완하는 방법으로는 지면과의 높이를 측정할 수 있는 센서를 추가적으로 부착하여 유효 측정 높이 이외의 영역에서는 이전 위치 정보와 Kalman Filter 등과 같은 알고리즘을 이용하여 자성체의 위치를 예측하여 이용 가능할 것으로 생각된다.

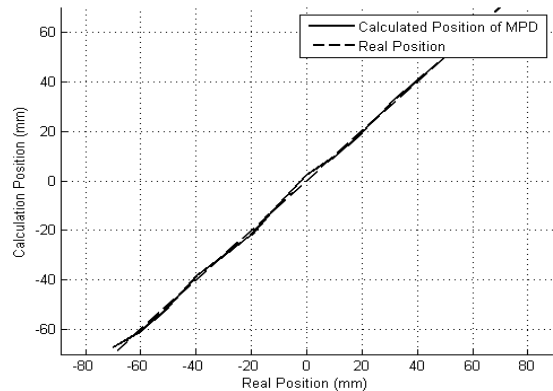


그림 9. 제안된 자기 위치측정 장치의 실험 결과
Fig. 9. Experimental result of the MPD

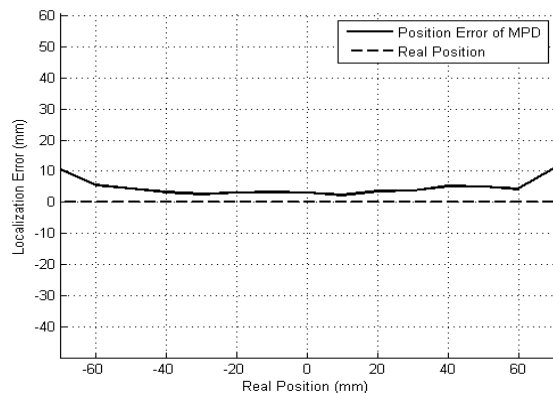


그림 10. 제안된 자기 위치측정 장치의 위치 오차
Fig. 10 Position error of the MPD

5. 결 론

본 논문에서는 실외용 자기 유도 무인운반차에 적용이 가능한 자기 위치추정 장치의 설계 및 위치추정 방법에 관해 연구하였다.

현재 상용화된 자기 위치추정 장치는 평균 위치추정 오차는 10~50mm, 측정 높이는 30mm로 실내용 무인운반차에 적합한 장치이다. 자기 위치추정 장치를 실외용 무인운반차에 적용을 하게 되면 측정 높이가 낮은 관계로 바닥의 상태가 고르지 못하거나, 굴곡이 많은 지역에서는 서스펜션 등으로 인해 장치의 파손을 초래한다. 따라서 본 논문에서는 실외에서도 이용이 가능한 자기 위치추정 장치를 제안하였다. 자기 위치추정 장치를 설명하기에 앞서 2장에서 무인운반차에 적용되는 자세체를 분석하였으며, 다양한 자기 홀 센서들의 실험을 통해 선택된 아날로그-방향성-양극성 자기 홀 센서와 마이크로프로세서, OPAMP를 이용하여 실외용 자기/자기-자이로 유도 무인운반차를 위한 자기 위치추정 장치를 3장에서 설계하였다. 그리고 자기 홀 센서의 선형 특성을 이용해 자세체의 위치에 따른 비율 특성함수를 이용하여 자세체의 위치를 판별하였다.

사용된 자기 홀 센서의 특성을 고려하여 선형성의 정보만을 가지는 영역인 측정 높이 130~170mm, 측정 넓이(측정 범위)는 -70~70mm 내의 범위 내에서 실험한 결과, 제안한 실외용 자기 위치추정 장치는 평균 위치추정 오차가 4.76mm 로 현재 상용화된 자기 위치추정 장치에 비해서 위치추정 정밀도가 높으며, 평균 측정 높이는 150mm 로 30mm의 측정 높이를 가지는 상용화된 자기 위치추정 장치에 비해서 효율적인 것을 확인할 수 있었다.

References

- [1] A. Dogandzic, J. Riba, G. Seco and A. Lee, "Positioning and Navigation with Applications to Communications," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 22, No. 4, pp. 10-11, 2005.
- [2] R. Brooks, "A robust layered control system for a mobile robot," *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. 2, No. 1, pp. 14-23, 1986.
- [3] K. Jung, J. Kim, J. Park, S. Kim and S. Bae, "Line Tracking Method of AGV using Sensor Fusion," *Journal of The Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 20, No. 1, pp. 54-59, 2010.
- [4] S. Thrun, "Probabilistic algorithms in robotics," *AI Magazine*, Vol. 21, No. 4, pp. 93-109, 2000.
- [5] D. Lee and K. Alfriend, "Precise real-time orbit estimation using the unscented kalman filter," *Advances in the Astronautical Sciences*, Vol. 114, No. 3, pp. 1853-1872, 2003.
- [6] F. Dellaert, D. Fox, W. Burgard and S. Thrun, "Monte carlo localization for mobile robots," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1322-1328, 1999.
- [7] D. Lim, "Robotic Vehicle Using Guidance System Based on Magnetic Marker," Mokpo University, Doctor's thesis, 2008.

- [8] J. Castellanos, R. Martinez-Cantin, J. Tardos and J. Neira, "Robocentric map joining: improving the consistency of EKF-SLAM," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 55, No. 1, pp. 21-29, 2007.
- [9] M. Vossiek, L. Wiebking, P. Gulden, J. Wieghardt, C. Hoffmann and P. Heide, "Wireless Local Positioning," *Microwave Magazine*, Vol. 4, No. 4, pp. 77-86, 2003.
- [10] P. Vadakkepat and J. Liu, "Improved particle filter in sensor fusion for tracking randomly moving object," *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, Vol. 55, No. 5, pp. 1823-1832, 2006.
- [11] S. Lenser and M. Veloso, "Sensor resetting localization for poorly modelled mobile robots," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 2, pp. 1225-1232, 2000.
- [12] J. Kim, S. Woo, J. Kim, J. Do. S. Kim and S. Bae, "Inertial Navigation System for and Automatic Guided Vehicle with Mecanum Wheels," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 13, No. 3, pp. 379-386, 2012.
- [13] D. Evans and L. Hu, "Localization for mobile sensor networks," in *Proceedings of the 10th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 45-57, 2004.

저 자 소개



조현학(Hyunhak Cho)

2011년: 신라대학교 컴퓨터정보공학부
공학사

2013년: 부산대학교 대학원
로봇관련협동과정 공학석사

2013년~현재: 부산대학교 대학원
로봇관련협동과정장학사과정

관심분야: 영상처리, 지능 시스템, 지능형 로봇
E-mail: darkruby1004@pusan.ac.kr



김성신(Sungshin Kim)

1986년: 연세대학교 전기공학과
공학석사

1996년: Georgia Ins. of Technology
전기및컴퓨터공학부 공학박사

1998년~현재: 부산대학교 전기공학과
교수

관심분야: 지능 시스템, 지능형 로봇, 고장 예측 및 진단
Phone : +82-51-510-2374
Fax : +82-51-513-0212
E-mail: sskim@pusan.ac.kr