

퍼지 추론 시스템을 이용한 아날로그형 자기위치 장치의 위치 정밀도 향상

Positioning Accuracy Improvement of Analog-type Magnetic Positioning System using Fuzzy Inference System

김정민* · 정경훈* · 정은국* · 조현학** · 김성신*†

Jungmin Kim, Kyunghoon Jung, Eunkook Jung, Hyunhak Cho and Sungshin Kim†

*부산대학교 전자전기공학과

**부산대학교 로봇관련협동과정

요 약

본 논문은 아날로그형 자기위치 장치(magnetic positioning system)의 개발과 퍼지 추론 시스템(FIS: fuzzy inference system)을 통한 정밀도 향상에 관한 것이다. 자기위치 장치는 무인운반차(AGV: automatic guided vehicle)의 자기-자이로 유도장치(magnet-gyro guidance system)에 사용되는 장치로, 바닥에 매설된 자석의 위치를 계측하는 장치이다. 기존의 판매되고 있는 자기-자이로 유도 장치는 외국에서 독점 판매되고 있어, 국내에서는 가격이 매우 비싸다. 또한, 자기위치 장치에 디지털 타입의 단극성 홀센서를 이용하기 때문에 위치측정 정밀도가 낮다. 이에, 본 논문에서는 자기위치 장치를 직접 개발하였고 퍼지 추론 시스템을 통해 자기위치 장치의 정밀도 향상시켰다. 실험은 직접 개발한 아날로그형 자기위치 장치를 이용하였으며, 기존의 위치측정 방법과 제안된 방법의 성능을 비교하였다. 실험 결과, 제안된 방법이 자기위치 장치의 정밀도를 향상시킴을 확인하였다.

키워드 : 자기위치 장치, 자기-자이로, 퍼지, 위치측정, 무인운반차

Abstract

This paper presents a development of an analog type magnetic positioning system and its positioning accuracy improvement using fuzzy inference system. As the magnetic positioning system used on a magnet-gyro guidance system for AGV(automatic guided vehicle), it measures a position of magnet embedded in floor of the work place. The existing product of the magnetic positioning system is very expensive in Korea because it is being sold in a foreign country exclusively. Moreover, the positioning accuracy of the product is low because it uses digital type unipolar hall sensors. Hence, we developed the magnetic positioning system by ourselves and improved the positioning accuracy of the developed magnetic positioning system using fuzzy inference system. For experiment, we used the analog type magnetic positioning system which we have developed, and compared the performance of the proposed method with the performance of the existing positioning method for the magnetic positioning system. In experimental results, we verified that the proposed method improved the positioning accuracy of the magnetic positioning system.

Key Words : magnetic positioning system, magnet-gyro, fuzzy, positioning, automatic guided vehicle

1. 서 론

오늘날, 과학기술의 발전에 따라 생산현장의 많은 부분들이 자동화로 변화되고 있다. 자동생산시스템은 크게

작업장, 자재취급시스템, 제어시스템, 인력으로 구성된다. 이 중에서 자재취급시스템은 생산 비용과 직결되는 중요한 구성 요소로, 자재의 상·하역, 운반, 보관을 위한 시스템을 통칭한다. 최근에는 자재취급시스템의 유연성과 효율성을 동시에 만족시키기 위한 일환으로 무인운반차에 대한 관심이 크게 대두되고 있다. 통상적으로 무인운반차는 유선유도장치를 탑재하여 바닥에 매설된 유도선을 감지하고 지정된 위치에 운반물을 자동으로 이·적재하며, 다양한 반송 조건에 따라 적절히 대응하는 시스템을 말한다. 이는 크게 구동장치와 제어장치, 입력장치, 유도장치(guidance system), 하역장치(load and unload system), 충돌방지장치(collision prevention system), 교통제어장치(traffic control system) 로 구성된다.

접수일자: 2012년 4월 2일

심사(수정)일자: 2012년 4월 28일

게재확정일자: 2012년 6월 11일

† 교신 저자

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원 융복합형 로봇전문인력양성 "특수환경 Navigation/Localization 로봇기술연구센터" 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (NIPA-2012-H1502-12-1002)

이 중에서 유도장치는 무인운반차의 핵심 기술로 정해진 주행경로와 운행 중인 무인운반차 간의 탈선 정도와 오차 각도를 계산하여 무인운반차를 목적지로 이끌어주는 장치를 말한다[1-4].

무인운반차를 위한 유도장치는 유선유도장치(wire guidance system)와 무선유도장치(wireless guidance system)로 구별되는데, 이들은 서로의 장·단점은 공유한다. 유선유도장치는 바닥에 유도선을 매설하여 매설된 유도선을 감지하여 운반차를 유도하는 장치이다. 이는 바닥에 유도선을 매설해야하기 때문에 설치비용이 많이 들며, 설치 및 유지보수가 어렵고 유도선이 매설된 경로로만 무인운반차를 유도할 수 있다. 이에 반해, 무선유도장치는 벽면에 반사체(reflector)와 같은 인공 랜드마크(artificial landmark)를 부착하여 바닥 시공 없이 무인운반차를 유도하는 장치를 말한다. 이는 벽면에 랜드마크만 부착하면 되므로, 설치가 쉽고 어느 곳이든 자율주행이 가능하다. 하지만 이는 유선유도장치에 비해 가격이 매우 비싸고 반응속도가 느리며 위치측정 정밀도가 떨어진다. 최근에는 유선유도장치와 무선유도장치의 장점을 취한 자기-자이로 유도 방식에 대한 관심이 높아지고 있다[5-8].

자기-자이로 유도장치는 주행 경로의 분기점 및 하역지점 바닥에 원기둥형 자석을 5-10m 간격으로 매설하여 무인운반차를 유도하는 장치이다. 더 자세하게는, 자석이 없는 위치에서는 자이로에 의해 계산된 각속도로 무인운반차를 유도하다가 자기위치 장치에 의해 바닥에 매설된 자석을 감지하게 되면, 자기위치 장치는 자석의 위치를 계산하여 무인운반차의 위치와 각도를 보정하는 방식이다. 무인운반차에 사용되는 자이로는 주로 MEMS형으로 누적오차가 크기 때문에 일정시간마다 각도를 보정하여야 한다[9-12]. 자기-자이로 방식은 기존 유선유도 방식들의 설치 공사비와 비교하여 약 10~20배 이상 저렴하며 설치 및 유지보수가 쉽다는 장점을 가진다. 또한, 자석이 없는 위치에서는 자이로를 이용하여 어느 곳이든 자율주행이 가능하다. 하지만 현재 판매되고 있는 자기-자이로 장치는 외국에서 독점 판매되고 있어, 무선유도장치와 가격이 비슷한 수준으로 매우 고가이다. 또한, 기존 제품은 디지털 타입의 단극성 홀센서를 이용하기 때문에 자석의 자기량을 on/off로 계측하여 위치 정밀도가 낮았다. 이에, 우리는 자석의 자기량을 크기로 계측할 수 있는 아날로그형 홀센서를 직접 개발하여 자기위치 장치를 제작하였고 기존 제품과의 위치측정 정밀도를 비교하였다. 실험 결과, 제작된 자기위치 장치는 자석의 자기량을 계측하기 때문에 기존제품보다 높은 위치측정 정밀도를 가질 수 있었다. 하지만 더 높은 위치측정 정밀도에도 불구하고 두 개의 자석을 이용하여 무인운반차의 각도를 계측하기 위해서는 자기위치 장치의 더 좋은 위치 정밀도를 필요로 하였다. 이에, 본 논문에서는 퍼지 추론 시스템을 통한 자기위치 장치의 정밀도 향상 방법을 제안한다.

본 논문의 2장에서는 직접 개발한 자기-자이로 유도장치에 대해 설명하고, 3장에서 자기위치 장치의 위치측정 정밀도 향상을 위한 퍼지 추론 시스템에 대하여 설명한다. 4장에서는 실험을 통하여 제안된 방법의 성능을 검증하고, 마지막 5장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대하여 기술한다.

2. 계측 시스템

2.1 자기위치 장치

실험을 위해, 우리는 자기-자이로 유도장치를 직접 제작하였고 제작한 자기위치 장치의 레이아웃은 기존 제품과 동일하게 하였다. 그림 1은 제작된 아날로그형 자기위치 장치의 레이아웃을 보여준다.

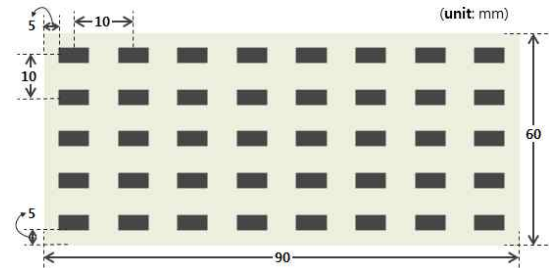


그림 1. 자기위치 장치의 레이아웃
Fig. 1. Layout of magnetic positioning system

그림 1에서 검정색 네모는 아날로그형 홀센서를 보여준다. 제작된 자기위치 장치는 8×5 개의 홀센서로 구성되며, 홀센서 간에 간격은 10mm이다.

자기센서는 자기장을 검출하는 방법에 따라 그 종류가 다양하다. 그 중, 홀센서는 홀소자의 전극에 전류가 흐르고 있을 때, 자기장을 만나게 되면 로렌츠(Lorentz) 힘에 의해 전류 방향과 자기장 방향에 수직하게 발생하는 전위차를 이용하는 대표적인 자기센서이다. 로렌츠 힘에 의한 전위차 전압을 홀전압이라고 하는데, 그 관계식은 다음과 같다.

$$V_H = K \cdot I_C \cdot B \tag{1}$$

식 (1)에서 V_H 는 홀전압을 나타내고, K 와 I_C , B 는 각각 비례계수와 홀소자에 인가된 전류, 자기력선속밀도(magnetic flux density)를 나타낸다.

자석은 같은 극끼리는 척력이 발생되고 다른 종류끼리는 인력이 작용하여 자기력이 발생된다. 자석의 자기력은 자기위치 센서와 자석의 거리 제곱에 반비례하고 자석의 자기량에 비례되기 때문에, 홀센서를 개발하기 위해서는 바닥에서의 높이와 자석을 먼저 선정해야 했다. 우리는 Maxwell 프로그램의 시뮬레이션을 토대로 자기위치 센서와 바닥의 거리를 30mm로 고정하였고, N32급에 지름 15mm, 높이 20mm에 원기둥 자석을 선정하였다. 선정된 조건에 따라 개발된 아날로그형 홀센서의 주요 사양은 표 1과 같다.

표 1. 홀센서의 주요사양
Table 1. Major specifications of hall sensor

Characteristic	Min.	Typ.	Max.	Units
Input voltage	4.8	5.0	5.2	V
Sensitivity	6.0	10.0	14.0	mV/G
Range	-	±120	-	Gauss
Polarity	Bipolar(N/S)			

2.2 자기-자이로 장치

우리는 자기-자이로 유도 무인운반차를 개발하기 위해, 자기-자이로 유도 장치를 PCB(printed circuit board)로 제작하였다. 그림 2는 개발된 자기-자이로 장치의 주요 구성을 보여준다.

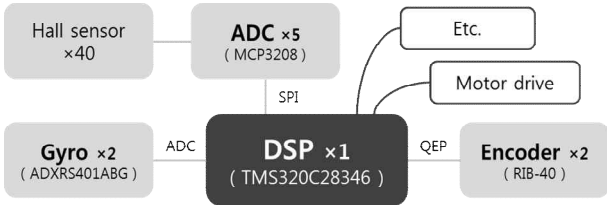


그림 2. 자기-자이로 유도 장치의 주요 구성
Fig. 2. Major configuration of magnet-gyro guidance system

개발된 자기-자이로 장치는 DSP계열의 TMS320C28346을 주제어기(main controller)로 하여, 40개의 홀센서와 자이로 2개, 엔코더 2개, 모터 드라이버(motor driver) 등으로 구성된다. 홀센서들은 SPI(serial peripheral interface) 통신형 MCP3208 칩을 이용하여 계측 하였고 엔코더는 DSP의 QEP(quadrature encoder pulse), 자이로는 ADC(ana-log-to-digital converter)를 이용하여 계측하였다.

3. 퍼지 추론 시스템을 통한 자기위치 장치의 위치측정 정밀도 향상

3.1 퍼지 추론 시스템 설계를 위한 데이터 분석

자기위치 장치의 위치측정 정밀도 향상을 위한 퍼지 추론 시스템의 설계는 자기장 시뮬레이션을 통해서도 가능하다. 하지만 자기-자이로 유도 장치에 사용되는 자석은 우레탄(urethane)으로 바닥에 매설되어 사용되기 때문에 정확한 시뮬레이션이 어려웠다. 또한 실제 세계에서는 완벽한 실험 환경이 존재할 수 없기 때문에 본 논문에서는 실제 자기위치 장치의 데이터를 직접 분석하고 퍼지 추론 시스템을 설계하였다. 자기-자이로 유도 장치의 데이터 분석을 위해, 분석 및 보정 프로그램을 직접 개발하였으며, 그림 3은 분석 및 보정 프로그램을 보여준다.

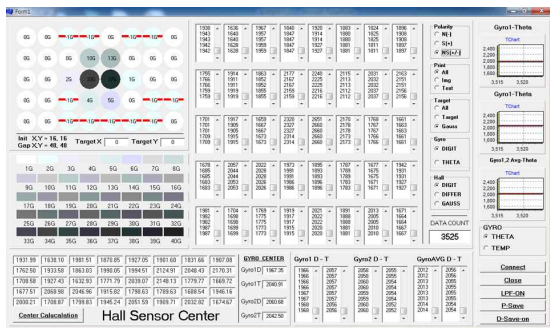


그림 3. 자기-자이로 유도 장치의 분석 및 보정 프로그램
Fig. 3. Analysis and calibration program for magnet-gyro guidance system

그림 3에서 왼쪽 상단에 있는 동그라미들은 홀센서들을 통해 계측된 자기의 가우스 값들을 나타낸다. 중앙 상단에 있는 메모박스들은 50ms마다 계측되는 홀센서의 출력 값을 숫자로 보여준다.

퍼지 추론 시스템을 설계하기 위해, 우리는 두 가지의 실험을 수행하였다. 첫 번째 실험은 하나의 자석만을 계측했을 때에 자기장의 세기와 분포를 분석하는 것이었고, 두 번째 실험은 두 개의 자석을 동시에 계측할 때에 서로의 자기장에 간섭이 없는 최소 거리를 알아보기 위한 실험이었다. 그림 4는 하나의 자석을 자기위치 장치의 정중앙에 두었을 때에 자기장 분포 결과를 보여준다.

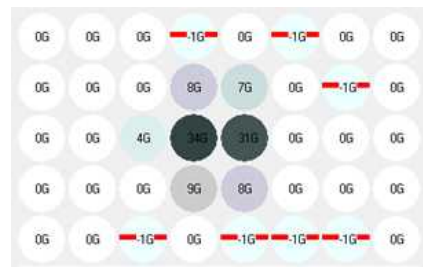


그림 4. 자기장 분포 결과
Fig. 4. Result of magnetic field distribution

실험 결과, 자석의 최대 자기세기는 39G이고 S극의 자기장 넓이는 가로와 세로 최대 26mm라는 것을 알 수 있었다.

자기-자이로 유도 무인운반차는 자기위치 장치를 통해 자이로의 누적각도 오차를 보정해야하기 때문에 두 개의 자석을 이용하여 각도를 계산한다. 두 개의 자석을 동시에 계측하기 위해서는 두 개의 자기장이 간섭되지 않는 최소 거리가 필요하다. 그림 5는 두 개의 자석 거리에 따른 자기장 분포결과들을 보여준다.

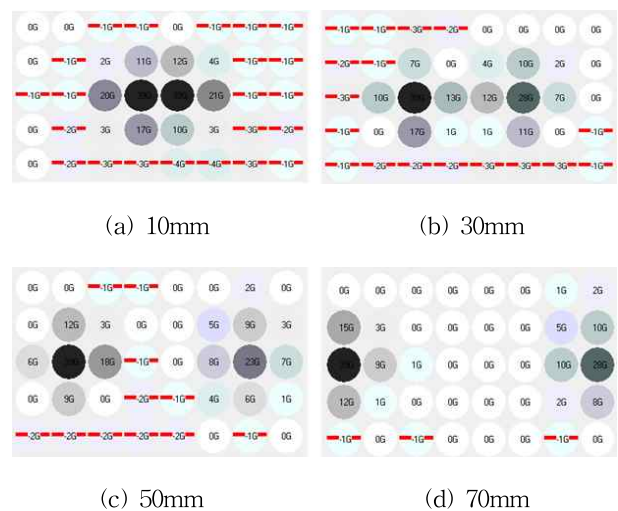


그림 5. 자석의 간격에 따른 자기장 분포
Fig. 5. Result of magnetic field distribution according to distance between two magnets

그림 5를 보면, 자석 간의 거리가 30mm 미만 일 때는 두 개의 자기장에 서로 간섭이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

3.2 퍼지 추론 시스템

본 논문에서 제안하는 자기위치 장치의 전체 순서도는 그림 6과 같다.

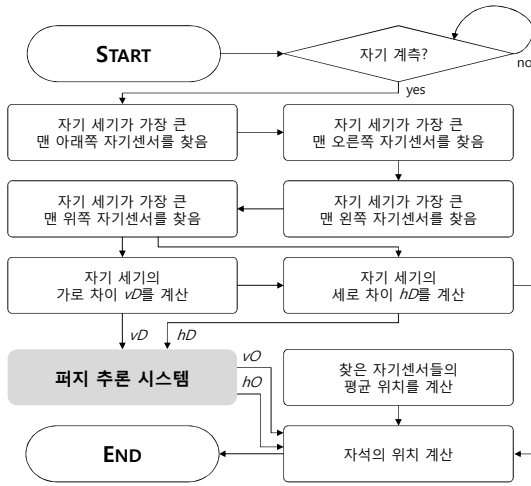
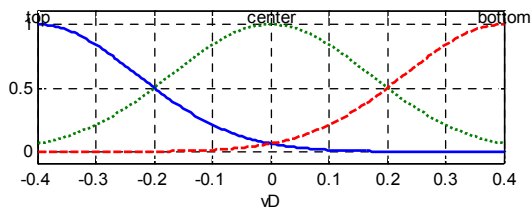


그림 6. 전체 순서도
Fig. 6. Fuzzy membership functions

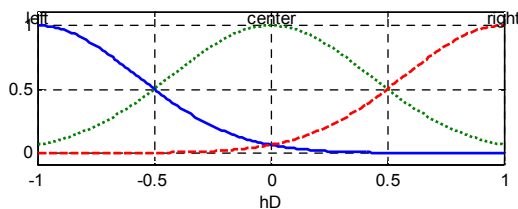
퍼지 추론 시스템의 입력은 2개이다. 2개의 입력은 각각 가장 큰 가우스를 계측한 홀센서의 위쪽과 아래쪽 홀센서의 가우스 차이 vD 와 왼쪽과 오른쪽 홀센서의 가우스 차이 hD 이고, 이들은 다음과 같이 계산된다.

$$[vD, hD]^T = [tG - bG, lG - rG]^T / cG \quad (2)$$

여기서, cG 는 최대 가우스 값인 $39G$ 이고 tG 와 bG , lG , rG 는 각각 가장 큰 가우스가 입력된 홀센서의 위쪽과 아래쪽, 왼쪽, 오른쪽 홀센서의 가우스 값을 나타낸다. 퍼지 추론 시스템의 출력은 2개로, 각각 가장 큰 가우스가 입력된 홀센서로부터의 가로 오프셋(offset) vO 과 세로 오프셋 hO 이다. 그림 7과 8은 각각 퍼지 추론 시스템의 입력과 출력의 소속도 함수(membership function)들을 보여준다.

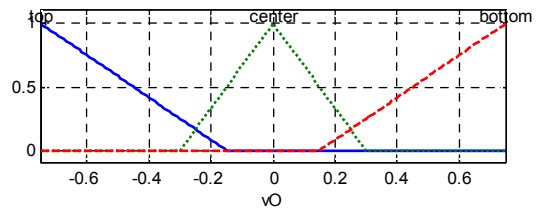


(a) 가로 가우스 차이 vD

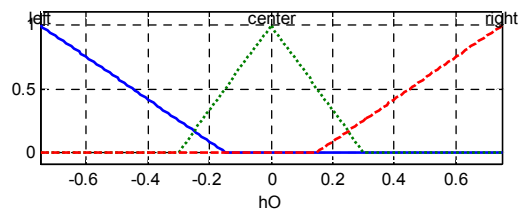


(b) 세로 가우스 차이 hD

그림 7. 입력 소속도 함수들
Fig. 7. Input membership functions



(a) 가로 오프셋 vO



(b) 세로 오프셋 hO

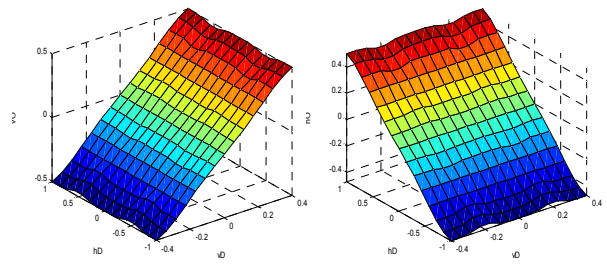
그림 8. 출력 소속도 함수들
Fig. 8. Output membership functions

3장 1절의 실험을 통해 알아낸 자기장 모양과 유사한 입력을 넣기 위해 입력 소속도 함수들을 가우스 함수로 설계하였다. 출력 소속도 함수들은 삼각 함수를 이용하였고 출력 범위는 $-7.5\text{mm} \sim 7.5\text{mm}$ 로 휴리스틱(heuristic)하게 설계하였다. 퍼지 룰은 표 2와 같이 설계하였다.

표 2. 퍼지 룰
Table 2. Fuzzy rule

$hD \backslash vD$	top	center	bottom
left	$vO = \text{top}$ $hD = \text{left}$	$vO = \text{center}$ $hD = \text{left}$	$vO = \text{bottom}$ $hD = \text{left}$
center	$vO = \text{top}$ $hD = \text{center}$	$vO = \text{center}$ $hD = \text{center}$	$vO = \text{bottom}$ $hD = \text{center}$
right	$vO = \text{top}$ $hD = \text{right}$	$vO = \text{center}$ $hD = \text{right}$	$vO = \text{bottom}$ $hD = \text{right}$

최종적인 자석의 위치는 가장 큰 가우스를 계측한 홀센서의 중심 위치(x, y)에 퍼지 추론 시스템의 출력 vO 와 hO 가 각각 더해져 구해지게 된다. 그림 9은 입력들에 추론 결과들을 보여준다.



(a) vO

(b) hO

그림 9. 입력들에 따른 추론 결과들
Fig. 9. Inference results according to inputs

4. 실험 및 결과 분석

제안된 방법의 성능을 알아보기 위해, 기존에 판매 중인 자기위치 장치와 직접 제작한 자기위치 장치의 위치측정 정밀도를 비교하였고, 직접 제작한 자기위치 장치는 퍼지 추론 시스템을 적용하지 않은 방법과 적용한 제안된 방법으로 나누어 성능을 비교하였다. 실험은 앞서 설명한 바와 같이, N32급에 지름 15mm, 높이 20mm에 원기둥 자석을 우레탄에 매설하여 30mm의 높이에서 자석의 위치를 계측하였다. 정확한 실험을 위해, 그림 10과 같은 장치를 알루미늄 프로파일로 제작하여 이용하였다.



그림 10. 실험 장비
Fig. 10. Experiment equipment

자기위치 장치와 자석의 위치는 실험 장비에 자를 부착하여 맞췄고 수평계를 이용하여 자기위치 장치와 바닥의 수평을 맞췄다. 실험은 두 개의 자석을 따로 우레탄에 매설하여, 자기위치 장치의 정중앙을 원점으로 두고 (-20, 0)과 (0, 20) 위치에 두 자석을 놓아, 5초마다 100번 계측하였다. 이때, 자기위치 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. 각 실험 방법에 따른 실험 결과는 표 3과 같다.

표 3. 위치측정 에러 결과(mm)
Table 3. Results of positioning error(mm)

exp. num.	magnet position		RMSE	variance	maximum
	x	y			
1	-20	0	4.22	7.36	-7.07
2	20		4.10	7.21	7.07
3	-20		2.78	6.94	-5.00
4	20		1.67	5.83	5.00
5	-20		0.51	0.53	-2.05
6	20		0.42	0.48	1.70

표 3에서 1~2번 실험은 각각 기존 자기위치 장치의 왼쪽과 오른쪽 자석에 대한 위치측정의 오차 결과를 나타내고 3~4번 실험은 퍼지 추론 시스템을 적용하지 않는 방법의 결과이며 5~6번 실험은 제안된 방법의 결과이다. 1~2번 실험인 기존 제품의 위치측정은 일정 가우스 이상의 계측된 홀센서들의 중심을 자석의 위치로 이용하기 때문에 홀센서 사이에 자석이 놓이게 되면 오차가 커지는 것을 확인할 수 있다. 3~4번 실험은 가장 큰 가우스가 계측된 홀센서의 위

치를 자석의 위치로 측정하기 때문에 기존 제품에 비해 오차가 적지만 자석이 홀센서 사이에 있으면 최대 ±5.0mm의 오차를 가질 수밖에 없다. 5~6번 실험인 제안된 방법의 위치측정은 3~4번의 실험에 퍼지 추론 시스템이 적용된 것으로 1~4번의 결과들에 비해 오차가 크게 줄어든 것을 확인할 수 있다.

각도 오차 분석을 위해, 자기위치 장치의 정중앙을 원점으로 두고 두 자석을 (-15, -5)와 (15, 5) 위치에 놓아 각도 오차를 분석하였다. 실험 환경은 앞선 실험과 동일하게 수행하였으며, 실험 결과는 표 4와 같다.

표 4. 각도 에러 결과(degree)
Table 4. Results of angle error(degree)

exp. num.	magnet position		RMSE	variance	max.
	(x1, y1)	(x2, y2)			
1	(-15, -5)	(15, 5)	5.47	24.12	13.71
2	(-15, -5)	(15, 5)	3.55	21.91	11.30
3	(-15, -5)	(15, 5)	0.98	1.29	3.20

1번 실험은 기존 자기위치 장치의 각도 오차 결과이고 2번 실험은 퍼지 추론 시스템을 적용하지 않는 방법의 결과이며 3번 실험은 제안된 방법의 결과이다. 실험 결과, 제안된 방법의 오차가 다른 두 방법에 비해 각도 정밀도가 높다는 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 퍼지 추론 시스템을 이용한 아날로그형 자기위치 장치의 정밀도 향상 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 실험하기 위해, 아날로그형 홀센서를 직접 제작하였으며, 이를 이용해 기존에 판매되고 있는 자기위치 장치의 레이아웃과 동일한 자기위치 장치를 개발하였다. 또한, 자기위치 장치의 위치측정 정밀도 향상을 위해 퍼지 추론 시스템을 설계하였다. 제안된 자기위치 장치의 성능을 실험하기 위해, 기존에 판매 중인 자기위치 장치와 직접 제작한 자기위치 장치의 위치측정 정밀도를 비교하였고 직접 제작한 자기위치 장치는 퍼지 추론 시스템을 적용하지 않은 방법과 적용한 제안된 방법으로 나누어 성능을 비교하였다. 실험 결과, 제안된 방법이 다른 방법들보다 높은 위치측정 정밀도를 가짐을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] J. Borenstein, "The OmniMate: A Guidewire and Beacon-free AGV for highly Reconfigurable Applications," *International Journal of Production Research*, Vol. 38, No. 9, pp. 1993-2010, 2000.
- [2] 김정민, 박정제, 전대룡, 김성신, "퍼지와 비례 제어를 이용한 지게차 AGV의 주행제어," *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 19, No. 5, pp. 699-705, 2009.
- [3] 정경훈, 김정민, 박정제, 김성신, 배선일, "센서융합을 이용한 AGV의 라인 트래킹 방법," *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 20, No. 1, pp. 54-59, 2010.

- [4] 조현학, 김정민, 도주철, 김성신, “과티클 필터를 이용한 레이저 내비게이션의 위치측정 성능 향상,” *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 21, No. 6, pp. 755-760, 2011.
- [5] 이준하, 정경훈, 김정민, 김성신, “Unscented Kalman filter를 이용한 위치측정 센서융합,” *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 21, No. 5, pp. 667-672, 2011.
- [6] 김정민, 김연태, 김성신, “확장 칼만 필터를 이용한 로봇의 실내위치측정,” *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 18, No. 5, pp. 706-711, 2008.
- [7] 정은국, 김정민, 정경훈, 김성신, “FIS와 신뢰도를 이용한 레이저 내비게이션의 정밀도 향상,” *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 21, No. 3, pp. 383-388, 2011.
- [8] I. A. Vis, “Survey of Research in the Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 170, No. 3, pp. 677-709, 2006.
- [9] C. Y. Chan, “A System Review of Magnetic Sensing System for Ground Vehicle Control and Guidance,” California PATH Research Report, UCB-ITS-PRR-2002-20, 2002.
- [10] 김재용, 김정민, 우승범, 김성신, “Gyroscope Free 관성 항법 장치의 데이터 보정을 위한 퍼지 추론 시스템,” *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 21, No. 4, pp. 518-524, 2011.
- [11] 김정민, 도주철, 김성신, “엔코더와 자이로를 이용한 각속도 오차 최소화,” *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 20, No. 6, pp. 814-819, 2010.
- [12] J. Kim, S. Woo, J. Kim, J. Do. S. Kim, 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.

저 자 소 개



김정민(Jungmin Kim)
 2006년 : 신라대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
 2008년 : 부산대학교 전기공학과 (공학석사)
 2008년~현재 : 동대학원 전자전기공학과 박사과정

관심분야 : 신호처리, 지능 시스템, 지능형 로봇
 E-mail : kjm16@pusan.ac.kr



정경훈(Kyunghoon Jung)
 2009년 : 신라대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
 2012년 : 부산대학교 로봇협동과정 (공학석사)
 2012년~현재 : 동대학원 전자전기공학과 박사과정

관심분야 : 신호처리, 지능제어, 지능형 로봇
 E-mail : hooraring@pusan.ac.kr



정은국(Eunkook Jung)
 2010년 : 신라대학교 자동차기계전자공학부 (공학사)
 2012년 : 부산대학교 로봇협동과정 (공학석사)
 2012년~현재 : 동대학원 전자전기공학과 박사과정

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



조현학(Hyunhak Cho)
 2011년 : 신라대학교 컴퓨터정보공학부 (공학사)
 2011년~현재 : 부산대학교 로봇관련협동과정 석사과정

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



김성신(Sungshin Kim)
 1986년 : 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
 1996년 : Georgia Inst. of Technology, 전기및컴퓨터공학부 (공학박사)
 1998년~현재 : 부산대학교 전자전기공학부 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