원격작업의 효율성 향상을 위한 단일 홀센서 비접촉식 전자 조이스틱

Non-contact Electronic Joystick with a Hall Sensor for Effective Tele-operation

김 홍 철, 강 대 훈, 이 장 명*
(Hong Chul Kim, Dae Hoon Kang, and Jang Myung Lee)

Abstract : This paper demonstrates a new non-contact electronic joystick using single hall sensor which detects a horizontal vector of the magnetic field. Furthermore, in this paper, it is mathematically modeled that nonlinear characteristics between the output of hall sensor and the movement of joystick bar. The dynamic horizontal vector of magnetic flux is detected by the hall sensor while a permanent magnet is rotated with the joystick bar, which has two dimension detecting area. Using the nonlinear adjustment equations, the output signals of hall sensor have been linearized to give higher accuracy in the two dimension movement. Finally, through the real experiments, it is showed that the single hall sensor structure mechanism is superior to the dual sensor structure in sensing the two-dimensional motion without offset.

Keywords : magnetic field, hall sensor, least mean square method, nonlinear adjustment equation, joystick

I. 서론

산업현장에서 비접촉식 2축 전자조이스틱의 응용은 일반적으로 유압 펌프와 유압 모터와 같은 다양한 제어대상의 자세를 조정하기 위하여 홀 센서를 이용하여 자기장의 회전을 검출하는 dual 센서 구조의 메커니즘[1,2] 으로 설계되었다. 이러한 센서구조는 측정신호의 정확도를 향상시킬 수 있고 복잡한 신호처리 및 보상 과정이 필요 없어 실시간성을 충분히 보장할 수 있다는 장점이 있다.

비접촉식 전자 조이스틱은 정밀저항을 사용한 접촉식 전자조이스틱이 갖는 트랙마모에 의한 성능저하에 대한 문제점은 해결할 수 있으나, 조이스틱 봉의 회전축에 대한 회전각 정보를 2차원 평면의 벡터로 간주하여 움직임을 근사하였기 때문에 실제 출력 데이터와 조이스틱 봉의 2차원 움직임 사이에는 비선형 관계가 존재한다. 또한 dual 홀 센서의 구조는 회전각 측정을 위하여 영구자석이 각 회전축에 장착되어 설계치수가 늘어나게 되고 진동 내구성을 고려한 기구적 설계의 상대적 복잡성도 따라서 증가하게 된다.

Dual 홀 센서 구조의 문제점을 해결하기위하여 2축 홀 센서를 사용한 인체공학적 구조 메커니즘을 제안하였다[3]. 즉, 2축 홀 센서를 조이스틱 봉의 회전체의 구형 중심에 위치시키고 하단부에는 영구자석을 설치한 형태를 제시하였다. 이러한 구조에서는 영구자석의 자력선은 항상 회전중심을 향하게 되며, 회전체의 구 중심에 위치한 홀 센서에 의해 조이스틱 봉에 대한 2차원 감지영역을 형성하게 된다. 홀 센서의 출력은 영구자석에 의해 생성된 자기장의 수평벡터와 비례하게 되며, 조이스틱 봉의 회전범위를 ±30° 제한하면 수평면상의 ±360°전 방향 에서 높은 선형성을 띄게 된다.

이러한 조이스틱 구조는 회전체가 전체 기구부에서 상당한 부피를 차지하게 되고, 각 회전축에 의하여 지지되어져야 하므로 마찰력 및 진동내구성을 고려하면 고 강성 재질을 사용해야만 한다. 또한, 자력선의 방향이 회전중심을 향하여야만 선형성을 유지하게 되므로 조이스틱 기구설계에 있어서 높은 가공정밀도를 요구하게 된다[4-7].

본 논문에서는 기구적 측면에서는 구형 joint(universal joint) 구조 메커니즘, 센서 구조적 측면에서는 영구자석에 의한 자속의 수평벡터의 회전을 이용한 설계방법을 제안한다. 이러한 구형 joint의 구조 메커니즘을 사용하면 조이스틱 기구부의 설계 치수를 대폭 줄일 수 있고 진동 및 마찰력에 의한 성능저하에 대한 문제점을 근본적으로 해결할 수 있다. 또한, 구조의 간결성으로 인하여 고장진단이 용이하며 생산조립공정의 단순화 및 효율성을 극대화할 수 있다는 장점이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안한 조이스틱 기구부의 구조형상 분석 및 수학적 가정에 기초한 조이스틱 봉의 움직임에 대한 비선형 보정방정식의 유도과정, 3장에서는 최소자승근사법을 사용한 실험 데이터에 대한 곡선의 적합과정 및 비선형 보정방정식의 적합성의 증명과정, 4장에서는 비선형 보정방정식에 근거한 실험결과와 dual 센서 구조의 조이스틱과 성능을 비교한 실험결과와 조이스틱 구조에 따른 센서 출력신호의 강인성 분석결과를 보여준다. 그리고 5장에서는 결론을 맺는다.

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수 : 2005. 11. 25., 채택확정 : 2006. 2. 25.
김홍철, 강대훈 : 부산대학교 전자공학과
(hit_pnu@pusan.ac.kr/dhkang@pusan.ac.kr)
이장명 : 부산대학교 전자공학과(jmlee@pusan.ac.kr)
※ 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

II. 단일 홀 센서 구조 메커니즘 분석

1. 기구학 모델링

[3]에서 제안한 형상과 달리 영구자석의 자력선의 방향은 구형 joint의 회전 중심을 향하게 된다. 영구자석이 구형 joint의 움직임에 의하여 각 θ° 만큼 기울어졌을 때 자기감응세기 B의 수평벡터 B_h는 홀 센서에 의하여 감지되고 x, y 축 방향에서 B_x, B_y 성분으로 분해할 수 있다.

홀 센서는 이 두성분에 대응하여 위상차가 90°인 전압신호를 출력하게 된다. B와 B_h의 관계는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$B_h = \lambda(\theta) B sin(\theta) \tag{3}$$

여기서, $\lambda(\theta)$는 영구자석의 자력선의 분포특성에 의한 비선형요소를 나타낸다.

만약 자력선의 방향이 조이스틱 봉의 방향과 평행되면 $\lambda(\theta) = 1$ 을 만족하게 될 것이다. 그러나 회전각 θ 의 증가에 따라 수평벡터 B_h는 일관되게 증가하는 것이 아니라 특정된 회전범위를 초과하면 오히려 수평벡터 B_h 는 감소하게 된다. 이러한 성질을 바탕으로 비선형 성분 $\lambda(\theta)$ 는 회전각 θ^2 에 대한 감소함수로 아래와 같이 모델링 한다.

$$\lambda(\theta) = \frac{1}{1 + k\theta^2} \tag{2}$$

여기서, k는 조이스틱 기구 및 영구자석의 기하학적 특징, 자기감응 세기와 관련되는 고유상수 값이다. 조이스틱 설계사양은 표 1과 같다.

홀 센서의 출력 전압 V_x, V_y 는 자기감응 세기의 수평벡터 B_x, B_y 와 각각 선형관계를 가지므로 출력전압은 다음의 식으로 구해진다.

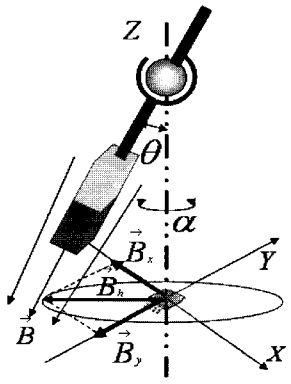


그림 1. 제안한 조이스틱 기구 구조형상.

Fig. 1. Mechanical structure of the proposed joystick.

표 1. 조이스틱 기구부 설계사양.

Table 1. Mechanical design specification of joystick.

영구자석	Alnico 재질, 1800 ~ 2000 *Gauss*
영구자석 말단과 sensor 평면 수직거리	13mm
조이스틱 봉의 길이(영구자석 포함)	30mm

$$\begin{aligned} V_x &= CB_h cos(\alpha) = C\lambda(\theta) B sin(\theta) cos(\alpha) \\ V_y &= CB_h sin(\alpha) = C\lambda(\theta) B sin(\theta) sin(\alpha) \end{aligned} \tag{3}$$

이 식에서, C는 비례 상수 값을 나타낸다. 홀 센서의 출력은 A/D변환을 통하여 프로세서 내부에서 처리되므로 (3)을 다음과 같이 변경할 수 있다.

$$\begin{aligned} AD_x &= \zeta \times \frac{sin(\theta)}{1 + k\theta^2} \times cos(\alpha) \\ AD_y &= \zeta \times \frac{sin(\theta)}{1 + k\theta^2} \times sin(\alpha) \end{aligned} \tag{4}$$

여기서, ζ 는 sensor 출력에 대한 신호 변환 회로의 증폭계수를 나타내는 상수 값이다. (2)와 (4)에서 상수 k, ζ는 조이스틱 시스템의 고유특성을 나타내므로 표 1에서 제시된 설계지표에 따라 k, ζ의 값도 정해진다.

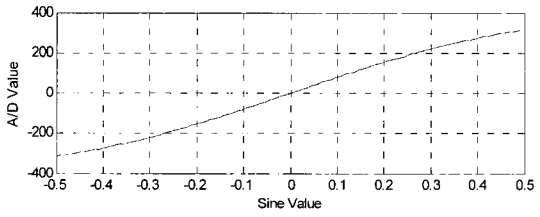
2. 일정한 k, ζ 값에 대한 시뮬레이션 결과

조이스틱을 이용한 조향제어시스템에서 조이스틱 봉의 정확한 2차원 움직임에 의하여 제어대상은 정밀한 조작을 실행하게 된다. 본 논문에서 제안한 조이스틱의 구조 형상으로부터 봉의 움직임은 영구자석 말단의 2차원 좌표(Sx, Sy)로 표현된다.

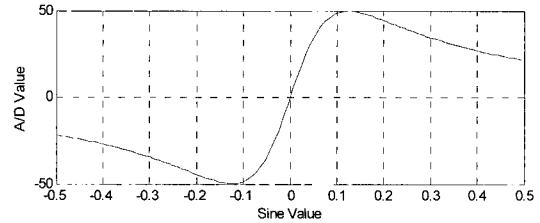
$$\begin{aligned} S_x &= Lsin(\theta) cos(\alpha) \\ S_y &= Lsin(\theta) sin(\alpha) \end{aligned} \tag{5}$$

여기서, L 는 조이스틱 봉의 길이를 표시한다.

(4)와 (5)로부터, 프로세서에서 처리되는 디지털 값과 영구자석 말단의 좌표 값 사이에는 비선형특성을 포함하게 되므로 프로세서에서는 입력된 AD 값으로 $sin(\theta)$에 대한 선형보정과정을 거쳐야한다. Z축에 대한 회전각 α는 (4)의 AD_x, AD_y 값으로부터 계산 가능하므로 주어진 AD_x, AD_y 값과 $sin(\theta)$ 사이의 함수 관계로부터 조이스틱 봉의 실제 2차원 좌표 값을 얻을 수 있다[8].



(a) $k = 1, \zeta = 800$



(b) $k = 16, \zeta = 800$

그림 2. 특정 k, ζ 에 대한 AD값의 비선형특성.

Fig. 2. Nonlinear characteristics of AD values for a specific k and

$$\pm \sqrt{AD_x^2 + AD_y^2} = f[sin(\theta)] = \zeta \times \frac{sin(\theta)}{1 + k\theta^2} \quad (6)$$

이 식에 근거한 AD값의 변화를 특정의 k, ζ 값에 대하여 시뮬레이션하여 보았다.

그림 2의 시뮬레이션 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다. k 값의 증가에 따라 선형 범위는 줄어들게 되며, 감소하면 선형범위는 확대된다는 것을 확인할 수 있다. 즉, k는 센서 출력신호의 선형범위를 결정하는 파라미터이다. (6)에서 ζ는 선형범위에 영향을 주지 않지만 대신 신호 출력의 세기에 영향을 주는 파라미터이다.

III. 비선형 보정방정식의 적합성 검증

1. 최소자승근사법

Lagrange 보간법이나 Newton 보간법을 사용하여 구한 보간 다항식은 주어진 점을 정확하게 지나는 함수이다. 그러나, 실험에 의해 구한 측정값은 많은 오차를 내포하고 있으므로 주어진 점에서 정확히 일치하는 근사함수 보다 주어진 자료에 전체적으로 적합한 함수를 구하는 것이 좋다[9]. 이렇게 주어진 자료를 대표하는 곡선을 구하는 방법을 곡선의 적합(curve fitting)이라고 한다.

주어진 자료 $\{(x_i, y_i) | i = 1, 2, \cdots M\}$ 을 지나는 곡선은 최적의 n $(n < M)$ 차 다항식으로 근사할 수 있다.

$$p_n(x) = \sum_{k=0}^{n} a_k x^k \quad (7)$$

$$E = \sum_{i=1}^{M} [y_i - p_n(x)]^2 \quad (8)$$

최소자승근사법은 (8)의 값이 최소가 되도록 (7)의 다항 $p_n(x)$ 의 계수 $a_0, a_1, \cdots a_n$ 을 구하는 문제이다. E가 최소 값을 갖는 필요조건은 $k = 0, 1, \cdots, n$ 에 대하여 (9)를 만족하는 것이다. $(n+1)$ 개의 미지수 a_k 에 대한 $(n+1)$개의 정규 방정식을 얻어 $(n+1)$차 선형방정식을 풀면 주어진 자료에 대한 근사다항식을 구할 수 있다.

$$\frac{\partial E}{\partial a_k} = -2\sum_{i=1}^{M} y_i x_i^k + 2\sum_{j=0}^{n} a_j \sum_{i=1}^{M} x_i^{j+k} = 0 \quad (9)$$

2. 최소자승근사법에 의한 실험곡선의 적합

그림 3은 실제 실험환경을 보여준다. 이를 이용하여 (6)의 $sin(\theta)$에 대한 측정치를 종좌표로 하고 $\pm\sqrt{AD_x^2 + AD_y^2}$ 에 대한 측정치를 횡좌표로 하는 그래프를 그린다.

Encoder 가 장착된 DC 모터를 조이스틱 봉의 회전축 x, y 에 장착시키고 회전각에 대한 $sine$값을 측정한다. Encoder 신호는 slave A, B의 프로세서에 입력되어 회전각을 계산한다. 홀 센서의 출력은 증폭 및 필터링과정을 걸쳐 master 프로세서에 입력된다. slave A, B 와 master 사이는 CAN network[10-12] 으로 실시간에 정보를 교환한다. 본 논문에서는 slave A, B에서 count 된 펄스 값을 master에서 받아들인 다음 다시 CAN 통신을 통하여 컴퓨터에 전송하는 방법으로 비선형 곡선을 획득하였다. 실험 결과는 그림 4에 도시되었다.

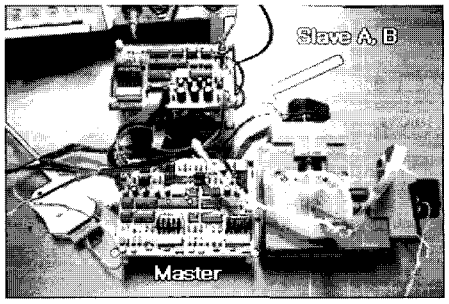


그림 3. 실험환경.

Fig. 3. Experimental environment.

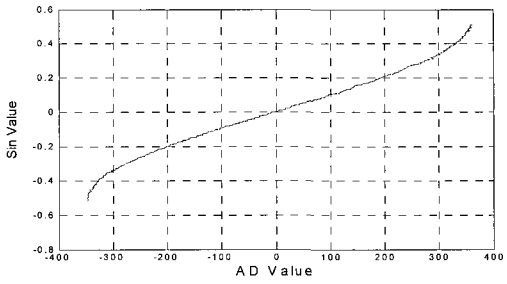
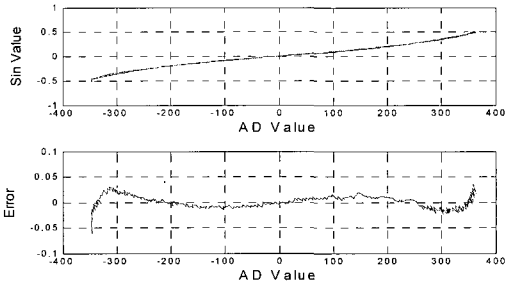
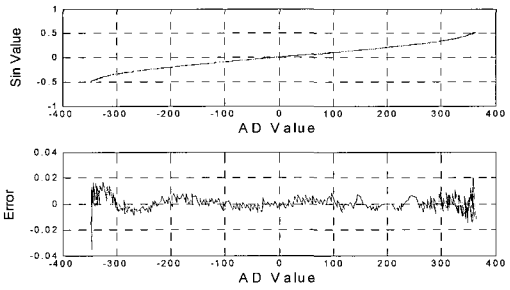


그림 4. 실험측정치에 근거한 비선형 곡선.

Fig. 4. Experimental nonlinear curve.



(a) Curve fitting by 3rd order polynomial

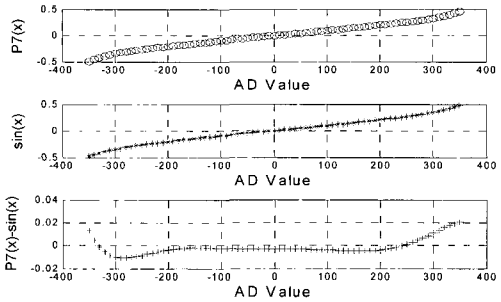


(b) Curve fitting by 7th order polynomial

그림 5. 최소자승근사법에 기초한 곡선의 적합.

Fig. 5. Curve fitness based on least squares error method.

최소자승근사법에 의하여 그림 4의 데이터를 최적 근사 다항식으로 만들 수 있다. 다항식의 차수가 높으면 실제곡선과의 오차가 줄어들 것이며, 그림 5는 근사다항식을 3차와 7차인 경우로 구분하여 획득된 결과를 보여 준다. 최소자승근사법을 이용하여 실제 실험 곡선을 7차 다항식으로 근사하였을 때 평균오차는 ≤ 0.01을 만족한다.



$$k = 1.7636,\ \zeta = 1050$$

그림 6. 보정식과 실험곡선의 일치성.

Fig. 6. Correctness of curve fitting adjustment.

3. 비선형 보정식의 정확성 분석

비선형 보정식 (6)에서 k, ζ 는 조이스틱 시스템의 속성을 나타내는 값들로 정해진 값에 대하여 그림 2에서처럼 일정한 출력을 나타내게 된다.

만약 k, ζ 가 어떠한 특정된 값에 대하여 그림 5의 실험곡선과 거의 일치하다면 본 논문에서 제시한 수학적 가정에 기초한 비선형 보정식의 정확성을 증명할 수 있다.

비선형 보정식의 정확성을 증명하기 위하여 파라미터 k, ζ 의 값을 반복적으로 조절하여 실험결과와 시뮬레이션 결과의 일치성을 검증하였다.

보정 방정식 (6)에 의하여 $sin(\theta)$ 다음의 식으로 표현된다[8].

$$sin(\theta) = f^{-1}[\pm \sqrt{AD_x^2 + AD_y^2}] \tag{10}$$

최소제곱근사법에 기초한 7차 다항식과 (10)에 의하여 구해진 $sin(\theta)$ 값 사이의 오차는 다음 식과 같이 표현된다.

$$E = p_7(\pm \sqrt{AD_x^2 + AD_y^2}) - sin(\theta) \tag{11}$$

여기서, 함수의 매개변수 p_7은 프로세서 내부의 AD값으로부터 측정가능하다.

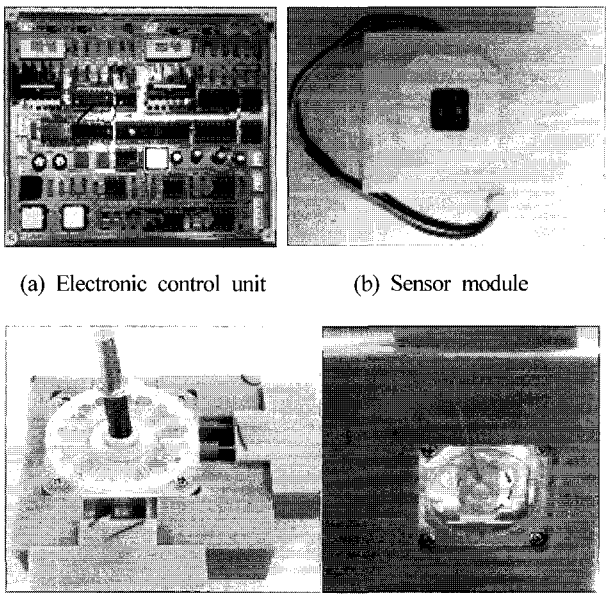
그림 6은 보정방정식과 실험곡선에 대한 7차 근사다항식 사이의 일치성을 보여주는 실험 결과이다. 보정방정식의 파라미터가 $k = 1.7636,\ \zeta = 1050$인 값을 가질 때 평균오차가 ≤ 0.01 임을 확인할 수 있었다.

본 실험결과는 측정과정에서 존재하는 인위적인 요소와 측정 장치 고유오차 성분을 내포하고 있다. 즉, 그림 4에서 실험 데이터의 "흔들림"에 의하여 그림 5의 오차를 발생하게 된다. 측정환경을 개선하면 이러한 오차는 줄일 수 있다.

V. 조이스틱 시스템 구성 및 실험

1. 조이스틱 시스템 구성

전자제어부는 그림 7과 같다. 홀 센서는 자기장에 의하여 90°의 위상차를 가지는 신호를 출력한다. 온도와 같은 외부환경의 변화에 의하여 항상 offset 전압이 존재하게 된다. 이것은 오차에 영향을 주는 직접적인 원인이기도 하다[13-15].



(a) Electronic control unit (b) Sensor module

(c) Mechanical structure of joystick

그림 7. 조이스틱 시스템 구성.

Fig. 7. Structure of joystick system.

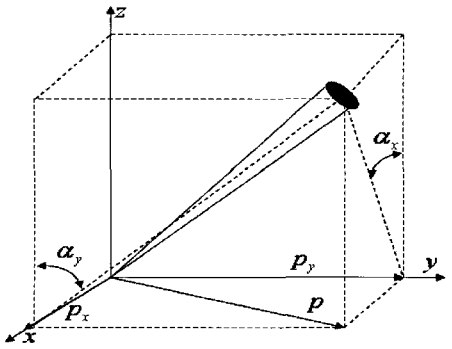


그림 8. Dual 센서 구조.

Fig. 8. Structure of dual sensor joystick.

본 연구에서는 신호변환 회로에서 제어기 내부의 기준전압과 홀 센서 기준 전압사이를 차동회로로 구성하였고 증폭 및 저주파 필터를 통하여 프로세서에서는 offset가 소거되고 노이즈 성분이 제거된 신호를 획득하게끔 설계하였다.

그림 7에서 센서 모듈은 조이스틱 기구부 하단에 장착한다. 구형 joint의 회전에 의하여 영구자석은 홀 센서의 2차원 평면상에서 움직임이 검출된다.

2. Dual 센서와 단일 홀 센서 성능비교

그림 8은 산업현장에서 흔히 사용되는 dual 센서 구조를 보여준다. x, y 회전축에 장착된 센서에 의하여 측정된 회전각 α_x, α_y 값을 회전축에 대한 2차원 벡터로 간주하는 원리이다. 하지만 조이스틱 봉에 대한 정확한 움직임은 좌표 (p_x, p_y)로 표현되어야 한다. 회전각 α_x, α_y 와 p_x, p_y 사이에는 비선형성으로 인하여 dual 센서의 위치검출 방식은 조이스틱 봉의 움직임을 정확히 나타내지 못한다.

그림 9는 보정식 (6)에 기초한 단일 홀센서 조이스틱 봉의 회전운동과 dual 센서 구조 조이스틱의 회전운동에 대한 비교 결과를 나타낸다. 녹색으로 표시된 단일 홀 센서 구조는 회전운동에 대하여 궤적은 거의 원에 접근한다는 것을 알 수 있다. 그러나, 파란색으로 표시된 dual 센서구조의 회전운동은 회전축 부근에서 불감대 즉 비선형구간이 항상 존재함을 인식 할 수 있다. 이 실험결과의 분석을 통하여, 본 연구에서 제시하는 단일 센서의 구조가 dual 센서의 구조보다 조이스틱 봉의 운동을 선형적으로 나타내기에 우수함을 알 수 있다.

3. 센서 구조에 따른 출력신호의 강인성 분석

그림 10, 11은 조이스틱 봉의 회전운동, 대각선 방향 운동에 대한 센서출력과 운동궤적에 대한 그래프를 나타낸다. 구형 joint 구조의 특징으로 인하여 운동궤적에서 offsets는 존재하지 않음을 확인할 수 있다. 반면에 [3]에서 제안한 단일 홀 센서 구조는 home position에서 조이스틱 봉의 미세한 변이에 대하여 출력 특성이 민감하게 반응한다[7]. 즉, 특정된 범위를 벗어나게 되면 사용 환경에 따른 불확실한 시변 비선형 현상이 존재하여 프로세서에서 보상이 불가능하게 된다. 이 실험결과로 부터 구형 joint 구조는 센서출력 신호를 얻는 과정에 비선형오차에 대하여 높은 강인성을 보여주고 있음을 알 수 있다.

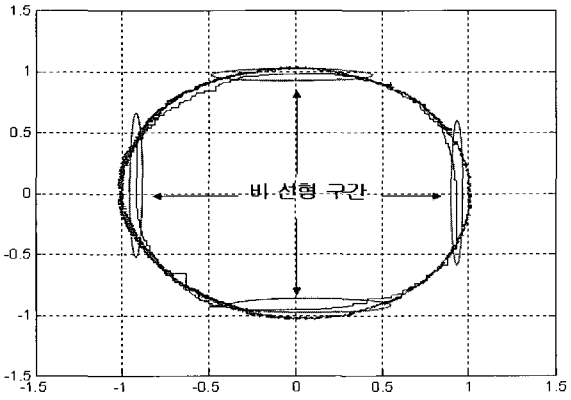
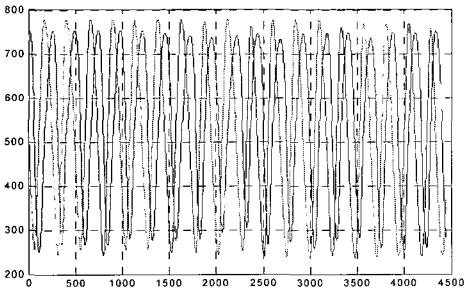
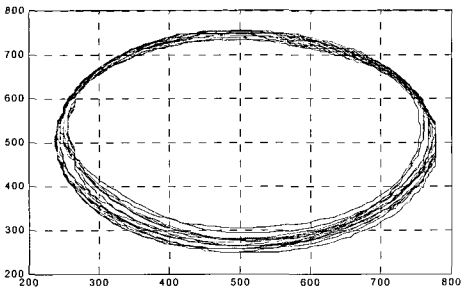


그림 9. Sensor 구조에 따른 성능비교.

Fig. 9. Performance comparison between single- and dual-sensor structures(Green: single-sensor, Blue: dual-sensor).



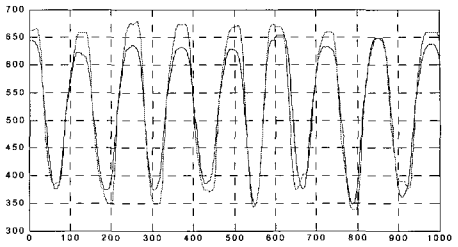
(a) Sensor output



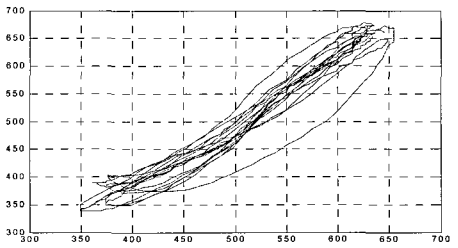
(b)The rotary movement

그림 10. 조이스틱 봉의 회전운동.

Fig. 10. The rotary movement of joystick.



(a) Sensor output



(b) 45° directional movement

그림 11. 조이스틱 봉의 대각선 운동.

Fig. 11. Diagonal movement of joystick.

VI. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 단일 홀센서로 자기장의 회전을 감지하는 원리를 이용하여 비접촉식 전자조이스틱의 기구 및 전자제어부를 개발하였다. 조이스틱 봉의 실제 회전과 센서 출력 사이의 비선형관계를 이론적으로 모델링 하여 최소자승근사법에 근거하여 실험과 시뮬레이션 사이의 일치성을 증명하였다. 또한, 기존의 최소자승근사법을 이용하는 대신에 제안한 구형 joint의 메커니즘으로부터 비선형 보정 방정식에 기초한 새로운 보상방법을 제시하였다. 개발된 조이스틱의 전자제어부는 CAN, RS 232, D/A변환, 과 같은 다양한 인터페이스로 모듈화하여 여러 응용환경에 적용 가능하도록 개발하였다. 조이스틱 봉의 ±30°의 회전 범위에서 1%이내의 비 선형오차 특성을 확보할 수 있었고 dual 센서 구조의 기구적 제한성을 극복하고 마찰력 및 진동으로 인한 내구성의 문제점을 근본적으로 해결하였다.

본 연구에서 측정환경에서 오는 잡음으로 인하여 이론방정식의 파라미터 값에 대한 오차가 존재하였으나, 측정 장치의 개선을 통하여 정밀한 선형동작을 하는 조이스틱의 구현이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] B. H. Bae, "Design and control of a two degree of freedom haptic device for the application of PC video games," *Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System*, vol. 3. pp. 1738-1743, 2001.

[2] "Angular position sensing measurement with sentron hall ASIC," *Sentron Application Note*, no. 17, 2001.

[3] "Angular position sensing with 2-axis hall ICs," *GMW Application Note*, no. 101, March 11, 2003.

[4] R. S. Posvic, "A new CMOS hall angular position sensor," *Technisches Messen*, tm vol. 6, June 2001, Pages. 286-291.

[5] For details on commercially available two-axis Hall sensors, see: www.sentron.ch

[6] R. S. Posvic, "Non-plate-like hall magnetic sensors and their applications," *Sensors and Actuators A85*, 9-17, 2001.

[7] R. Racz, "Novel magnetic displacement sensors," *Sensors and Actuators A91*, pp. 46-50, 2001.

[8] 김창근, "Matlab을 이용한 수치해석" 교우사 제2판.

[9] J. L. Devore, "Probability and Statistics for engineering and the science," *Publication by Duxbury*, pp. 247-271, 1995.

[10] "dsPIC30F family reference manual," *Microchip Technology*, no. DS70070C, pp. 1-73, 2005.

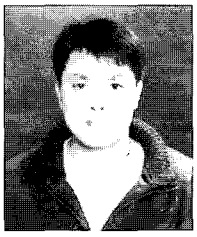
[11] 최호식, 이장명 "CAN 네트워크상의 효율적인 대역 할당을 위한 분산 선형 대기 열 기법" 제어 · 자동화 · 시스템 · 공학회 논문지 제10권, 제12호, pp. 1249-1255, 2005년 12월. pp. 126-133, (2001/9/1).

[12] H.-S. Choi, "A dynamic precedence queue mechanism to assign efficient bandwith in CAN networks," *International Conference on Computing, Communications and Control Technologies*, July 24-27, 2005, Austin, Texas, USA.

[13] K.-M. Lee, Y.-H. Kim, J.-M. Yun, J.-M. Lee, "Magnetic-interference-free dual-electronic compass," *Sensors and Actuators*, pp. 441-450, February 2005.

[14] "Electronic compass design using KMZ51 and KMZ52," *Philips Application Note*, no. 22, 2000.

[15] Radivoje S. Popovic et al., "Integrated hall sensors/flux concentrator microsystems," *Proceedings of MIDEM*, October 10-12, Bohinj, Slovenia, 2001.

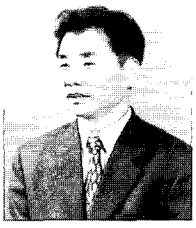


김 홍 철

1999년 중국 할빈공업대학교 제어계측공학과 졸업. 2004년~현재 부산대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 신경망, 적응제어.

강 대 훈

2002년 부경대학교 제어계측공학과 졸업. 2005년~현재 부산대학교 대학원 석사과정 재학중. 관심분야는 센서네트웍, 로보틱스, RFID.



이 장 명

1980년 서울대학교 전자공학과 졸업. 1982년 동대학원 석사. 1990년 University of Southern California 전자공학과 졸업(공학박사). 1992년~현재 부산대학교 전자전기통신공학부 교수. 관심분야는 로보틱스, 지능제어.