자기스케일을 이용한 비접촉식 변위센서

이성필* · 서영진

Noncontact displacement sensors using magnetic scale

Sung Pil Lee* and Young Jin Seo

Abstract

This paper studies on the noncontact displacement sensor system to detect the displacement of the cylinder rod. For an inexpensive and a simple process, magnetic scales are printed on the cylinder rod, and magnetized by the specially designed magnetizer that has an yoke through the alternation of N and S pole. Noncontact displacement sensor system consists of cylinder with magnetic scales, Hall sensor, linear guide, controller and display. The system can detect the displacement of moving cylinder with 5 cm/sec in the case of 1 mm magnetic scale. It shows a possibility of position detection of hydraulic cylinder and air cylinder.

Key Words : noncontact displacement sensors, magnetic scale, magnetization, cylinder

1. 서 론

일반적으로 굴삭기, 지게차 등의 건설 중장비의 자동화를 위해서는 작업장치의 변위에 관한 정확한 정보, 즉 붐, 아암 및 버킷의 상대위치 뿐만 아니라 이들 실린더의 절대변위를 정확하게 검출하는 것이 요구된다^[1].

실린더의 위치결정 방식은 고정식으로 위치를 결정하는 방식과 액츄에이터의 위치를 신호로 검출하고 제어회로를 이용하여 위치를 결정하는 방식으로 나눌 수 있다. 피드백 제어 방식에 의한 위치결정 방식은 항상 제어값과 목표값을 비교하여 그 편차를 제어에 반영할 수 있으므로 고정도의 위치결정제어가 가능하지만 항상 실린더의 변위신호를 검출해 놓을 필요가 있고 기구성이 복잡하며 고가이다. 따라서 일반적인 장치에서는 변위센서를 이용한 고정식 위치결정 방식이 많이 사용되고 있다^[2].

변위센서는 위치 변화를 전기저항^[3], 인덕턴스^[4], 정전용량^[5], 광학신호^[6] 및 자기신호^[7-10]의 변화로 변화하는 소자로, 이 중 저항형과 정전용량형은 접촉식 검출

방법이며, LVDT, 광학적 방법 및 자기센서를 이용하는 방법은 비 접촉식 검출이다. 실린더의 변위 검출을 위해서는 비 접촉식 검출 방식이 주로 이용되는데, 열악한 환경에서 작업하는 굴삭기나 지게차 등의 실린더 위치제어는 내충격성이 높은 자기센서를 이용하는 방법이 널리 이용되고 있다. 자기센서를 이용한 고정도 변위센서는 1981년 Y. Netzer^[7]가 제안하고, R. M. Grechishkin 등^[8]이 이론적인 모델을 정립한 이후 많은 연구 결과가 발표되었다^[9,10].

자기센서를 이용한 실린더의 위치검출에 관한 종래의 기술은 피스톤 로드에서 선형 혹은 나선형으로 홈을 가공하고 경질크롬으로 채워 로드표면의 요철에 따른 자장변화를 검출하는 방법^[11,12]과 피스톤 로드에서 홈을 파고 자성체를 극성에 따라 교대로 홈에 채워 홀센서로 자성체의 위치를 검출하는 방법이 있다^[13]. 그러나 피스톤로드에 홈을 내어 변위를 검출하는 방법은 실린더가 소형일 경우는 가공이 용이하나 피스톤로드가 100 mm 이상인 경우 가공 난이도가 높다. 또한 자성체를 홈에 교대로 채우는 방식은 공정이 까다롭기 때문에 가공비로 인한 원가 상승의 요인이 된다.

본 연구는 간단한 제조공정을 가지는 스크린 프린터법에 의해 자성물질을 일정한 폭으로 실린더 표면에 프린트하고 자화시킨 후 자기센서로 자기 스케일의 위치를 검출하여 유압실린더나 공압실린더의 변위를 측

경남대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kyungnam University)

*Corresponding author: sensors@kyungnam.ac.kr

(Received : January 12, 2009, Revised : February 4, 2009

Accepted : March 18, 2009)

Fig. 1. Layout of substrate for screen print.

정할 수 있는 변위센서에 관한 것이다.

2. 실험

원통형 실린더의 표면에 자기 스케일을 형성하는 것이 본 연구의 목표이나 일차적으로 평판 기판에 자기 스케일을 형성하는 실험을 하였다. 소재는 실린더와 같은 S45C로 선정하였고, 크기는 200 mm×200 mm×15 mm로 하였다. 이는 마스크 제조업체에서 주로 사용하는 규격이기 때문이다. Fig. 1은 설계된 기판의 도면이다. 기판 표면에 마스크와 일치하도록 20 mm의 폭으로 프린트될 위치를 정하고, 중간에 11 mm의 간격을 두어 인쇄가 용이하도록 하였다.

평판 기판에서 얻은 실험 조건을 바탕으로 원통형 실린더에 자기 스케일을 프린팅하였다. 스크린은 원통의 곡률을 계산하여 제작된 틀에 100 메시의 망을 고정하여 설치하였다. 일반적으로 원통의 표면에 1 mm 이상의 후막을 도포할 경우 용매의 퍼짐 현상에 의해 정확한 형태를 얻기 어렵고, 열처리 과정에서 크랙이 발생한다. 그러므로 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 원통형 실린더의 표면에 2 mm 깊이의 홈을 밀링으로 가공하여 그 안에 도포하였다. 가공된 홈 사이로 자성체 페이스트를 프린트하여 100 °C에서 1시간 건조시켰다.

자기스케일을 형성하기 위한 페이스트는 스트론튬계 페라이트를 사용하였다. 스트론튬계 페라이트는 큐리온도가 높고, 상온에서 화학적으로 안정하며, 산화 또는 부식이 없고, 금속계 자성재료에 비하여 비중이 작아 가벼운 특징을 가지는 등 많은 장점을 가지고 있다. 원하는 점도를 얻기 용매, 용질 및 분산제를 전자저울로 칭량한 후 준비된 용기에 넣고 교반기로 30분 동안 혼합하였다.

본 연구에서 수행하는 변위센서의 정밀도와 해상도

Fig. 2. Photograph of magnetic scale printed on the surface of cylindrical pipe.

Fig. 3. Structure of magnetic scale.

Fig. 4. Fabricated magnetizing yoke.

는 자기스케일의 간격과 착자 결과에 따른다. 자기스케일은 2 mm로 간격을 일정하게 하는 경우와 1 mm에서 4 mm로 다양한 간격을 가지도록 하는 경우 2가지로 설계하였다. 시작점을 표시하기 위해 처음 스케일 2개를 한 극성으로 나타낼 수 있게 하였고, 마지막 부분은 다른 극성 스케일이 2개가 연속적으로 나타날 수 있도록 하였다. Fig. 3은 자기 스케일의 간격을 2 mm로 일정하게 설계한 구조를 나타낸 것이다.

자기스케일을 착자하기 위해 실린더로드 위에 자성체를 50 cm 길이로 프린트하고, 자화기를 이용하여 Fig. 4와 같이 제작된 착자 요크에 전압을 인가하였다.

Fig. 5. Measurement system; (a)layout and (b)photograph.

자화기는 착자요크와 연결하여 자성체의 착자 및 탈자 기능을 하도록 1차 교류 전압을 승압 정류하여 콘덴서에 충전한 뒤 SCR 제어에 의하여 10,000 A에서 20,000 A의 순간 대 전류를 방전함으로써 자장을 발생시킨다^[14]. 착자 요크는 자기 센서에 의해 실린더의 위치를 정확히 검출하기 위해 코일의 감는 방향을 일정한 간격에서 교대로 바꾸어 주었으며, 이를 통해 자기스케일이 n극과 s극을 교번하여 자화되도록 하였다. 착자요크는 n극과 s극의 간격이 2 mm로 일정한 것과 1 mm에서 4 mm까지 다양한 것 2가지를 제작하였다.

Fig. 5는 자기스케일을 이용하여 원통형 실린더의 위치를 측정하기 위한 측정 시스템 도면과 제작된 사진이다. 본 장치는 자기센서를 이용하여 실린더 표면에 자기화시킨 스케일의 n극과 s극의 신호를 검출하기 위해 센서의 간격별 및 이동시간별 센서의 반응을 감지할 수 있도록 제작하였다. 이를 위해 실린더 로드와 센서의 간격을 조절할 수 있도록 하였으며, DC모터를 이용하여 센서의 속도변화에 따른 신호를 확인할 수 있도록 하였다. 모터제어를 위해 리얼시스(주)에서 나온 EDU2812를 사용하여 간단하게 모터의 속도와 회전방향을 제어할 수 있도록 하였다.

Fig. 6. Magnetic flux of magnetic scale according to applied voltage.

Fig. 7. Photograph of Magnetic Field Viewer showing the magnetized scales.

3. 결과 및 고찰

착자 요크에 인가되는 전압에 따라 자기스케일에서 나오는 자속의 세기는 달라진다. Fig. 6은 착자 요크에 인가된 전압에 따른 자기스케일에서 나오는 자속을 나타낸 그림이다. 자속밀도는 인가전압이 낮을 때는 거의 생성되지 않다가 800 V에서 서서히 증가하여 1,150 V 이상에서 포화에 도달하는 것을 알 수 있다. 인가전압이 2,000 V 이상이 되면 반복 사용 시 착자요크가 파괴되기 쉽기 때문에 본 연구에서는 인가전압을 1,150 V로 고정하였다.

Fig. 7은 실린더로드에 강자성물질을 도포한 후 착자요크로 착자한 자기스케일을 Magnetic Field Viewer로 찍은 사진이다. N극과 S극의 경계가 육안으로도 식별할 수 있을 정도로 확실히 나타나는 것을 알 수 있다.

본 연구에서 사용된 홀 센서는 Melexis사의 US2881 Series이다. 이 소자는 on/off 특성이 매우 좋으며, 홀센서에서 나오는 아날로그 신호를 구형파로 나타낼 수

Fig. 8. Detection of magnetized scale using Hall sensor.

Fig. 9. Signals of magnetized scales on oscilloscope.

있는 장점이 있다. 신호검출을 위해서는 디지털 스토리지 오실로스코프를 이용하였다. Fig. 8은 실린더의 위치 검출을 위해 자화된 스케일로부터 신호를 검출하기 위해 제작된 실험 장치이다. 실린더의 튜브에 해당하는 고정대에 홀 센서를 부착하고, 센서 아래에 자기스케일이 위치하도록 구성하여 신호를 확인하였다. 이때 센서와 자기스케일의 간격은 조절이 가능하도록 하였다.

Fig. 9는 자기 스케일에 의한 변위 측정을 위해 거리를 4 mm, 3 mm, 2 mm, 및 1 mm 간격으로 스케일을 형성한 후 실린더가 이동함에 따라 홀센서로부터 전달된 신호를 오실로스코프 화면에서 찍은 사진이다. 정확한 구형파로 관측되었으며, 이 신호를 마이컴에 연결하여 위치를 검출하였다. N극과 S극에 따라 출력 전압의 극성이 +1.5 V 및 -1.5 V로 분명히 나타남을 알 수 있었다. 자기스케일에 의해 홀소자에 나타나는 홀전압은 식(1)과 같이 표현된다.

$$V_H = R_H \cdot I \cdot B \cdot (\sin \phi) \cdot \frac{f(l/w)}{t} \quad (1)$$

여기서 R_H 는 홀 계수, I 는 홀소자에 인가된 전류, B

Fig. 10. Distance versus output.

는 자기 스케일의 자속밀도, ϕ 는 자기스케일과 홀 소자의 각도, l 은 홀소자의 길이, w 는 홀소자의 폭 그리고 t 는 홀소자의 두께를 나타낸다. 제조된 자기스케일에서 나오는 자속밀도는 약 270 gauss로 나타났으며, 연산중복기의 이득을 조절하여 원하는 값이 출력되도록 하였다.

Fig. 10은 Fig. 9에서 나타난 오실로스코프 파형을 그린 그래프이다. 자기 스케일을 5 cm/sec로 이동하며 측정한 결과 거리에 따라 출력 파형의 듀티 계수가 분명히 차이가 남을 알 수 있었다. 여기서 듀티 계수가 가장 큰 신호는 4 mm를 나타내고, 듀티 계수가 가장 작은 신호는 1 mm이다. 자기스케일의 폭이 1 mm인 경우, 상승 시간 10%에서 90%까지의 거리를 자기스케일의 폭으로 나눈 결과 약 0.8%의 정확도가 나타내었다. 이는 기준 변위센서로 사용한 Schreiber사의 SM701의 정확도인 0.5 %에는 미치지 못하지만 가격 대비 정확도를 비교할 때 유압실린더나 공압실린더의 변위 검출에 응용될 수 있을 것으로 사료된다. 측정 범위가 25 mm인 것은 오실로스코프의 화면에 나타나 는 범위가 제한적이기 때문이다.

4. 결 론

본 연구에서는 제조비가 저렴하고 제조공정이 간단한 스크린 프린터법으로 피스톤로드에 자기스케일을 형성한 후 유압실린더나 공압실린더의 변위검출을 할 수 있는 장치를 제작하고 그 특성을 조사하였다. 강자성물질로 실린더 표면에 도포된 자기스케일의 변위 측정 시스템은 홀센서, 선형 가이드, 제어기 및 표시기로 구성된다. 스크린 프린터 법에 의한 강자성물질을 실린더 로드와 같은 조건의 파이프에 프린트하였고, 프린트된 파이프에 착자기와 요크를 이용하여 N극과 S극을

교변하여 착자하였다. 자기스케일에 착자된 자성체의 자기신호를 통해 정확한 위치 확인 및 변위량을 확인하기 위하여 마이콤을 이용하여 위치를 제어할 수 있도록 하였다. 제작된 변위측정 시스템은 실린더가 움직일 때 홀센서가 1 mm 간격의 자기스케일을 5 cm/sec의 속도로 위치를 검출할 수 있었다. 본 시스템을 이용하면 유압실린더나 공압실린더의 변위 검출을 위한 무인조절 장치에 응용이 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참고 문헌

- [1] T. Reininger, F. Welker and M. von Zeppelin, "Sensors in position control application for industrial automation", *Sensors and Actuators A*, vol. 129, pp. 270-274, 2006.
- [2] http://www.metalnet.co.kr/Technical/MechtronicsMC-108_CYL2/Automation-CYL2.html
- [3] 김경아, 최성수, 차은중 "선형전기접촉으로 계측해상도가 향상된 저항형 변위 센서", *센서학회지*, 제 16호, 제4권, pp. 263-269, 2007.
- [4] C. Chiriac and H. Chiriac, "Magnetic field and displacement sensor based on linear transformer with amorphous wire core", *Sensors and Actuators A*, 106, pp. 172-173, 2003.
- [5] M. Kim, W. Moon, E. Yoon and K. Lee, "A new capacitive displacement sensor with high accuracy and long-range", *Sensors and Actuators A*, vol. 130-131, pp. 135-141, 2006.
- [6] J. Lee, H. Chen, C. Hsu and C. Wu, "Optical heterodyne grating interferometry for displacement measurement with subnanometric resolution", *Sensors and Actuators A*, vol. 137, pp. 185-191, 2007.
- [7] Y. Netzer, "A very linear noncontact displacement measurement with a Hall-element magnetic sensor", *Proc. of IEEE*, vol. 69, no. 4, pp. 491-492, 1981.
- [8] R. M. Grechishkin, L. E. Afanasieva, Y. G. Pastushenkov and N. N. Maksimov, "Analysis of linear position sensor with a Hall effect element", *Meas. Sci. Technol.*, vol. 5, pp. 853-860, 1994.
- [9] C. Blache and G. Lemarquand, "New structures for linear displacement sensor with high magnetic field gradient", *IEEE Trans. on Magnetics*, vol. 28, no. 5, pp. 2196-2198, 1992.
- [10] C. S. Roumenin and S. V. Lozanova, "Linear displacement sensor using a new CMOS double-hall device", *Sensors and Actuators A*, vol. 138, pp. 37-43, 2007.
- [11] 최용준, 이민철, 이만형, 양순용, 권태환, "굴삭기 자동화를 위한 스트로크 센싱 실린더 개발에 관한 연구", *한국자동제어 학술회 논문집*, pp. 1138-1142, 1994.
- [12] 양순용, 이민철, 이만형, "절대위치 검출용 실린더 로드 및 이를 이용한 절대위치 검출방법", *대한민국 특허 10-0221599*, 1999.
- [13] 이용범, "피스톤 로드의 상대거리 계측이 가능한 실린더", *대한민국특허 10-2006-0065022*, 2007.
- [14] 정승호, 이철수, 권병일, "마그네틱 위치 센서용 영구자석의 착자 시스템 설계", *대한전기학회하계학술대회논문집*, pp. 18-20, 2005.

이 성 필

- 1989년 경북대학교 전자공학과(공학박사)
- 1988년~현재 경남대학교 전자공학과 교수
- 관심분야: 센서 재료 및 시스템, 반도체 센서, MEMS, 변위센서

서 영 진

- 2008년 경남대학교 전기전자공학부 졸업
- 2008년~현재 경남대학교 전자공학과 석사과정
- 관심분야: 비접촉식 변위센서, 센서시스템