

스마트팩토리의 리니어 모션 가이드의 정밀제어를 위한 변위 센싱 시스템 개발

이숙윤^o, 유길상^{*}

^o고려대학교 정보대학 정보창의교육연구소,

^{*}고려대학교 정보대학 정보창의교육연구소

e-mail: {uni7^o, ksyoo^{*}}@korea.ac.kr

Development of Displacement Sensing System for Precise Control of Linear Motion Guide in Smart Factory

Suk-Yun Lee^o, Gil-Sang Yoo^{*}

^oCreative Informatics & Computing Institute, College of Informatics, Korea University,

^{*}Creative Informatics & Computing Institute, College of Informatics, Korea University

● 요약 ●

본 논문에서는 4차 산업의 제조 혁신을 위한 새로운 방안의 스마트 팩토리를 실현하기 위한 주요 부품 중에 하나인 리니어 모션 가이드(LM 가이드)에 필요한 센싱 시스템을 제안하였다. 공장 자동화와 정밀 측의 핵심 부품인 LM 가이드를 고정밀, 고정도로 제어할 수 있는 변위 센싱 시스템의 개발이다. 기존의 광학식이나 자기식 변위 센서 기술의 한계를 극복할 수 있도록 와전류(Eddy Current) 기법을 이용하여 LC 공진기와 전도체를 LM 가이드에 장착할 수 있도록 제안하였다. 또한 와전류 센싱부에서 출력되는 미세 인덕턴스 값을 측정할 수 있도록 디지털 신호처리 기술과 컴퓨터/산술 기술을 FPGA를 이용한 HW 시스템을 제작하여 다양한 실험을 진행했다. 본 논문에서 구현한 HW 센싱 시스템을 이용함으로써 LM 가이드를 실시간으로 직선 이동시킴으로써 실시간으로 변위 값을 디스플레이 부로 출력되어 측정이 가능하다. 개발된 시스템은 LM 가이드의 직선 운동시 변위 값의 분해능과 응답속도 면에서 우수함이 확인됨으로 스마트 팩토리 뿐만 아니라 다양한 장비에도 적용이 가능하다.

키워드: 스마트 팩토리(Smart Factory), 리니어 모션 가이드(Linear Motion Guide(LM Guide)), 와전류(Eddy Current), 변위 센서(Displacement Sensor), 디지털 신호처리(Digital Signal Processing)

I. 서론

4차 산업혁명을 맞이하며 사물인터넷이나 인공지능 그리고 지능형 로봇 등의 분야는 빠른 속도로 기술 변화가 진행되고 있다. 이러한 기술은 제조산업에도 적용이 제조업 혁신을 위한 새로운 방안으로 스마트팩토리가 부상하고 있다. 제품의 라이프 사이클이 단축되고 맞춤형 대량 생산으로 변화하면서 가볍고 유연한 생산 체계가 요구되면서 생산현장의 공정이 유기적으로 연계되고 자동화와 최적화가 구현된 스마트팩토리를 실현하기 위한 개발들이 많이 진행되고 있다.[6]

본 연구는 스마트 팩토리를 구현하기 위한 기술 중, 공장자동화 시스템에서 대부분 사용하고 주요 부품 중에 하나인 리니어 모션 가이드(Linear Motion Guide : LM가이드)의 스마트화이다. LM 가이드를 사용한 측정 및 제어 장비에서 빠른 응답 속도로 고정밀,

고정도 제어가 가능하도록 LM 가이드 내에 장착할 수 있는 변위 센싱 시스템을 제안하고 구현하였다.

II. 리니어 모션 변위 센싱

1. 센싱 시스템

1.1 변위 센싱 방법

직선변위와 회전변위 측정이 가능한 포텐쇼미터 방법의 변위센서 기술에는 광학식 센서와 자기식 홀센서가 있다. 광학식 센서는 높은 정밀도와 넓은 측정 범위를 제공하지만, 정교한 구조가 필요하므로

고정밀도를 요구할수록 크기가 커지고 가격이 비싸지는 단점이 있다. 또한 먼지나 습기에 약하다. 이에 비해 홀센서는 먼지와 습기에 강인하지만 고정밀이 어렵고 홀센서 구동 회로가 복잡함에 따라 저전력이 어려워지는 단점이 있다.

본 논문에서는 와전류(Eddy Current) 변위 센싱 기술을 활용하여 구현하였다. 와전류 기법은 Fig 2와 같이 센서 코일에 전류를 공급하면 수직 방향으로 교류 자계가 발생하고 이에 반발하는 자기장이 생성된다.[3] 여기에 인접한 도체가 접근하면 와전류가 생성되어 코일에 흐르는 전류에 영향을 주게 된다.[4][5] 이 전류의 크기와 위상을 이용하여 코일과 도체를 이동시키며 변위 거리를 측정하는 방식이다. 와전류 기술은 위의 두 센서의 기술적 한계를 극복하여, LM 가이드 내에 직접 장착하게 되면 직선 운동시 정확한 위치 정보를 획득할 수 있는 것이 특징이다.

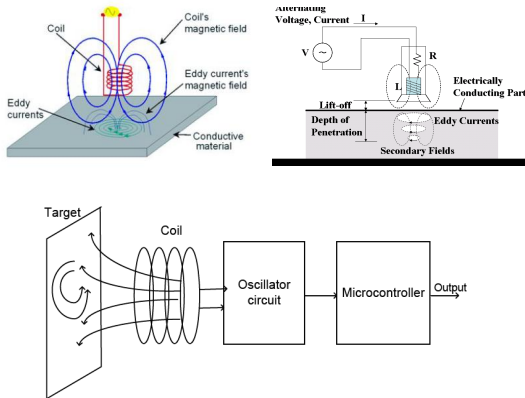


Fig. 2. 와전류 센싱 기법

1.2 LM(Linear Motion) 가이드

LM 가이드 시스템은 전동면 사이에 볼 혹은 롤러 등의 전동체를 삽입시켜 직선구름 운동을 하는 시스템이다. 볼 또는 롤러의 전동체가 블록의 내부를 부드럽게 순환하는 구조로 블록이 레일의 궤도면을 타고 무한 직선운동을 하는 특징이 있다.[1] LM 가이드는 로봇, 반도체 장비, 디스플레이 제조장비, 공장기기, 정밀측정기기, 자동화설비 등의 직선운동부의 핵심부품으로 고정밀/고정도 제어를 요구한다.[2]

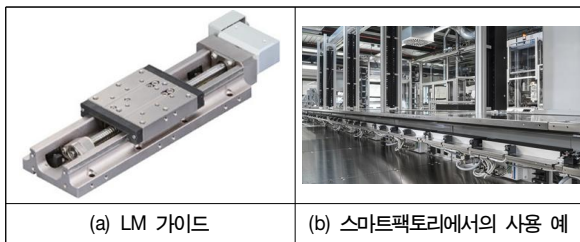


Fig. 2. LM 가이드와 적용 예

2. 디지털 신호처리

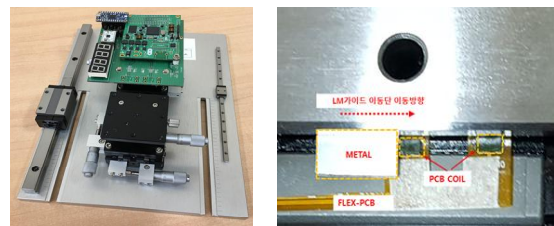
2.1 인덕턴스 변화량 측정을 위한 신호처리 기술

본 연구에서는 LM 가이드에 장착 가능한 고정밀 소형 변위센서를 위하여 와전류(Eddy Current) 센싱 기술을 활용하고 디지털 신호처리 기술을 적용하였다. LC 공진기의 출력은 아날로그 값이 아닌 디지털 펄스 형태의 공진 주파수이다. 따라서 이 값은 디지털 신호처리에 직접 사용이 가능하다. 미세 변화량 신호는 디지털 적분기의 누적 연산을 통해 신호를 증폭하고, 일부 노이즈는 Low Pass 디지털 필터의 구현하여 제거했다. 따라서 디지털 신호처리로 높은 분해능을 확보했다. 또한 실시간 측정 시스템에 사용하기 위해서는 빠른 응답성을 확보해야 하므로 컴퓨터/신술 아키텍처를 제안하여 미세량의 인덕턴스 변화량을 빠르게 측정할 수 있도록 구현하였다.

III. 구현된 센싱 HW 시스템

1. 구현 시스템

본 논문에서는 와전류 센싱 기술과 디지털 신호처리 기술을 적용할 수 있도록 HW 시스템을 제작하였다. LM 가이드는 Fig 3의 (a)와 같이 두 종류의 다른 크기로 실험장비를 제작하고 각각 분리하여 리니어 스테이지에 장착할 수 있도록 구성했다. 또한 디지털 신호처리 HW부는 FPGA를 이용하여 구성하고 실험시 디지털 처리된 변위 값은 LED에서 확인할 수 있도록 제작하였다. 또한 각각의 LM 가이드는 Fig 3의 (b)와 같이 코일과 Metal을 부착할 수 있도록 소형으로 제작하였다. LM 가이드를 리니어 스테이지에 장착 후, 직선으로 이동시키면서 HW부와 연동하면서 실험을 진행하였다.



(a) LM가이드 시스템 (b) 코일과 금속 배치

Fig. 3. 제작된 HW 구현 시스템

LM 가이드 내에 Fig 3 (b)와 같이 소형의 코일과 Metal 부를 제작하여 부착한 후 화살표 방향으로 움직이면서 실험을 진행했다. Metal과 코일 간에 Air gap이 늘어나고, 이로 인하여 Metal에 형성된 와전류로 인한 자기장의 증가는 Coil의 자기장을 간섭하게 되어 코일의 인덕턴스값 영향을 준다. 이렇게 변화된 코일의 인덕턴스는 LC공진회로에서 생성되는 공진 주파수를 감소시키게 된다.

이러한 주파수의 감소 변화량은 매우 작게 나타나며, 이 주파수 변화를 디지털 신호처리부에서 신호 이득 증폭 및 필터링을 통하여 정밀한 거리값을 계산하게 된다. 계산된 거리값은 실시간으로 HW 시스템의 LED Segment를 통하여 출력되어 확인할 수 있다.

2. 실험결과

Fig 3의 제작 시스템을 이용하여 LM 가이드를 수직축으로 직선 이동시키며 실시간으로 성능평가를 진행했고 그 결과는 다음과 같다.

Table 1. 실험결과

분해능	10um/1000um(단위 변화량/총 이동거리)
응답속도	5ms 이내

IV. Conclusions

본 논문에서는 스마트팩토리의 핵심 구성 부품인 LM 가이드에 장착이 가능한 변위 센싱 시스템을 제안하고 구현하였다. 현재 FPGA를 이용한 HW 시스템은 신호처리 알고리즘 최적화를 진행할 예정이다. 이후 IC 개발을 진행하여 LM 가이드에 소형으로 장착함으로써 센싱 일체화된 LM 가이드를 구현할 계획이다. 개발된 시스템은 스마트 팩토리 외에도 지능형 로봇의 액츄에이터나 소형 스마트 전자 부품에 활용에 가능하다.

ACKNOWLEDGEMENT

* 이 논문은 한국연구재단의 지원으로 수행되었음.
(No. NRF-2020R1I1A1A01064150)

REFERENCES

- [1] <http://www.wonst.co.kr>
- [2] <http://samichk.co.kr>
- [3] P. Rangunathan* and E. Logashanmugam, Design and Fabrication of Low Cost Eddy Current Sensor for Position Control Applications. Indian Journal of Science and Technology, Vol 9(42), November 2016.
- [4] Donald J, Hangemaier, 1990, "Fundamentals of Eddy Current Testing", ASNT, pp. 43.
- [5] <http://ntd-kits.com>
- [6] <https://smartfuture-poscoict.co.kr>