

실린더형 정전용량 센서 및 변위 측정시스템 설계

이재건* · 이인곤* · 박성균* · 홍익표*

*공주대학교

Design of Stroke Measurement System and Cylinder-type Capacitive Sensor

Jae-gun Lee* · In-gon Lee* · Sung-kyun Park* · Ic-pyo Hong*

*Dept. of Info. & Comm. Eng, Kongju National University

E-mail : iphong@kongju.ac.kr

요 약

본 논문에서는 중장비나 댐의 수문 등의 적용된 유압 실린더의 변위(stroke)를 검출하여 유압 실린더의 정밀제어 또는 자동화를 위한 정전용량 센서(Capacitive Sensor) 및 변위 검출 시스템을 설계하였다. 기존 실린더의 변위 검출 방식인 코일을 이용한 자기장 센서, LVDT 센서 등은 높은 정확도에 비해 충격 및 진동 완화 또는 센서 보호 하우징(Housing) 등 부수적인 설비에 따른 높은 비용, 큰 부피와 같은 문제가 있다. 따라서 이러한 개선하기 위해 유압 실린더 내의 직접 적용되어 실린더의 변위 검출이 가능한 정전용량 센서를 설계하였으며, 설계한 정전용량 센서를 통하여 실린더의 변위에 따른 커패시턴스 값을 검출하여 실린더 위치 측정이 가능한 시스템을 설계 및 검증 하였다.

ABSTRACT

In this paper, we designed the novel capacitive sensor and system for measuring the position of the piston in hydraulic cylinder. The magnetic or LVDT sensors have been widely used to measure the position of the piston because of its high accuracy, but these types of sensor are very expensive and have difficulty in use because of its complexity. To overcome these disadvantages, we studied the optimized non-contact capacitive sensor and designed detecting system for accurate measuring the location of piston in hydraulic cylinder. The proposed capacitive sensor and detecting system have the possibility of practical use for hydraulic cylinder through experiments.

키워드

Stroke measurement system, Capacitive sensor, Hydraulic cylinder

I. 서 론

변위센서는 모양, 위치, 속도, 힘 정렬 상태 등과 같은 여러 가지 기계적 특성을 측정할 수 있는 기반이 된다. 또한 이러한 기계적 특성의 측정을 바탕으로 정밀제어 또는 제어 시스템의 자동화가 가능해진다[1]. 이러한 이유로 다양한 종류의 변위 센서 기술이 연구 개발되고 있으며, 특히 유압 실린더에 적용을 위한 변위 센서는 자기 센서(Magnetic Sensor), LVDT(Linear Variable Differential Transformer Sensor) 센서, 정전용량

센서(Capacitive Sensor) 등의 기술이 연구 개발되고 있다[1][2]. 코일을 이용한 변위센서인 인덕티브 방식의 LVDT 센서는 높은 정확성과 강한 내구성을 가지고 있지만, 부피가 크고 무거우며, 충격이나 진동 그리고 온도에 민감한 등의 단점을 갖는다. 따라서 충격 및 진동 완화 또는 온도 보호 하우징(housing) 등의 부수적인 설비가 필수적이며 이로 인하여 가격 상승의 요인이 된다.

이러한 단점을 극복하기 위한 대안으로 구조적 단순성과 가격의 저렴함, 여러 구조물에 대한 통합 용이성 등의 이점을 갖는 정전용량 센서가 각

광받고 있다[2]. 정전용량 센서는 변위의 이동량을 고정 전극과 가동 전극 사이의 용량 변화를 통해 검출하는 방식으로 크게 평행 평판형(parallel plate)과 콤 드라이브형(comb drive)의 두 가지 방식으로 나눌 수 있다[3]. 평행 평판형은 가동 전극의 판(plate)이 고정 전극의 다른 판(plate)에 가까워지면서 정전용량이 커지는 원리를 이용하며, 콤 드라이브는 두 개의 고정전극 사이의 이동전극이 엇갈려 있어, 움직이는 변위에 따른 교차 면적에 따라 정전용량의 변화가 발생한다. 이러한 원리를 이용하여 유압 실린더 내 피스톤의 위치 검출을 통하여 유압 실린더의 정밀 제어 또는 중장비 자동화를 위한 기반 기술로 연구되고 있다.

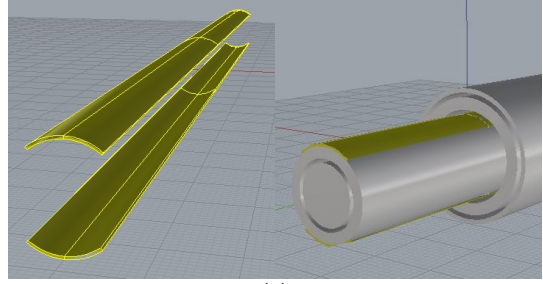
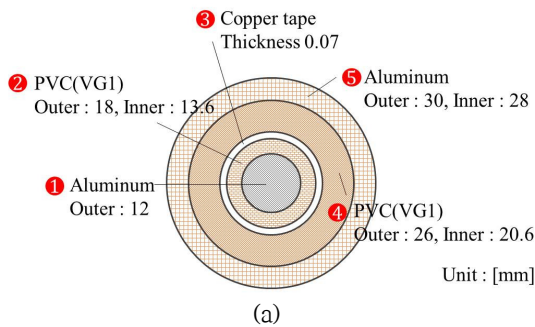
본 논문에서는 유압 실린더에 적용하기 위한 정전용량 센서구조를 제안하고, 측정 실험을 통해 그 유용성을 제시하였다. 또한 정전용량 센서로부터 커패시턴스의 변화를 이용 유압 실린더의 위치를 검출하는 시스템을 설계하였다.

II. 정전용량 센서구조의 설계

정전용량 변위 센서에서 정전용량의 값은 수식(1)과 같이 두 도체가 교차되는 면적에 비례하고, 두 도체의 간격에 반비례하는 관계에 있다.

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (1)$$

식(1)에 의해 정전용량 센서는 이 정전용량의 측정 방법으로 고정 전극과 가동 전극의 거리(d)를 이용하여 측정하는 방법과 두 개의 고정 전극 사이에 위치한 가동 전극의 변위에 따른 교차 면적(A)의 변화를 이용 측정하는 방법이 있다. 높은 변위 분해능을 가진 변위센서는 전자의 방법을, 넓은 범위의 동적영역(high dynamic range)과 선형성을 가진 변위센서는 후자의 방법이 유리하다[4]. 본 논문에서 제안하는 구조는 유압 실린더에 적용을 위한 원통형 구조의 정전용량 센서로, 제작이 간단하고 선형적으로 용량 변화를 만들 수 있는 콤 드라이브 형태를 응용하였으며, 그 외형은 그림 1과 같다.



(b)
그림 1. 제안된 정전용량 센서 구조
(a) 정전용량 센서의 단면
(b) 정전용량 센서의 전극과 외형

제안한 구조는 총 5층으로 구성되어 있으며, 가장 안쪽인 1층은 알루미늄으로 가동 전극의 지지대 역할을 한다. 2층은 1층의 알루미늄과 3층의 가동 전극 사이의 단락을 방지하기 위한 유전체이며, 4층은 3층의 가동 전극과 5층의 고정 전극과의 단락을 방지하기 위한 유전체이다. 전체 길이는 150mm이며, 가동 전극은 전체둘레 (약 40.8mm)의 14.3%인 8mm의 너비로 상, 하에 1개씩 배치하였다. 제안한 구조의 성능을 검증하기 위해 실제 제작하여 실린더를 5mm씩 이동함에 따라 변화하는 정전용량을 LCR 미터를 통하여 측정하였으며, 주파수 30kHz로 고정하고 5회 반복 실험하여 그 평균값을 그림 2에 나타내었다.

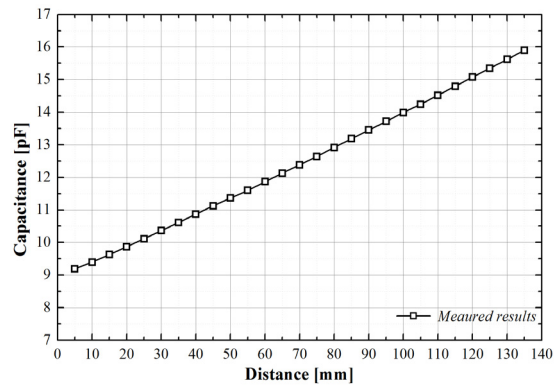


그림 2. 제안된 정전용량 센서의 측정 결과

측정 결과로부터 실린더의 최소 변위일 때의 커패시턴스의 평균은 9.016pF으로, 최대 변위일 때의 커패시턴스의 평균은 15.902pF으로 약 6.886의 동적범위를 가짐을 확인할 수 있었다. 실린더의 가동 전극이 5mm 씩 이동함에 따라 정전용량은 평균 0.26pF의 간격으로 변화하였다.

III. 정전용량 센서와 변위 검출 시스템

설계한 정전용량 센서로부터 커패시턴스의 변화에 따른 실린더의 변위를 검출하기 위해 커패

시턴스를 디지털 신호로 변환해주는 CDC (Capacitance to Digital Converter)의 AD7745와 연산 및 제어를 위한 MCU(Micro Controller Unit)인 PIC18F4520을 사용하여 변위 검출 시스템을 구현하였으며, 전체 시스템의 구성은 그림 3과 같다.

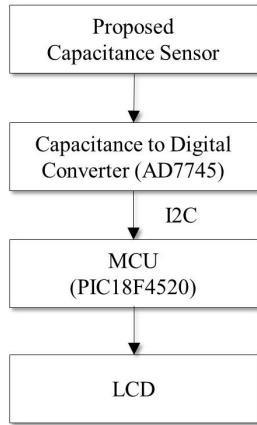


그림 3. 변위 검출 시스템의 구성

AD7745를 제어하기 위해 SCL(Serial Clock), SDA(Serial Data)를 이용하는 직렬 데이터 전송방식인 I2C 사용하였다. 제작된 정전용량 센서와 변위 검출 시스템과 측정 결과를 그림 4에 나타내었다.

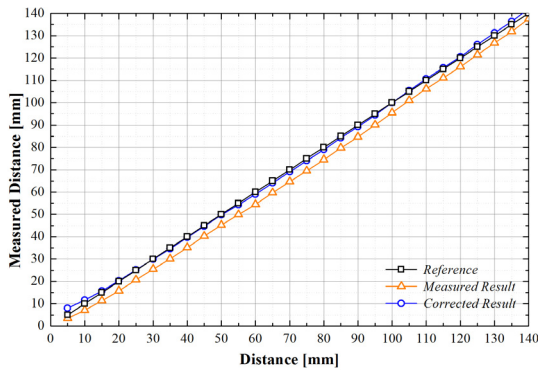


그림 4. 설계한 검출 시스템을 통한 거리 산출 결과

본 논문에서 제작한 검출 시스템을 통하여 얻은 거리는 실제 값과 90.17% 일치하는 결과를 확인할 수 있었으며, 발생한 오차는 측정 환경의 온도, 습도 등으로 인하여 변화하는 정전용량 센서의 커패시턴스 변화로 예상된다. 따라서 환경에 따른 정전용량 계산에 보정값이 필요하며, 이를 위해 외부 인터럽트를 구현하였다. 보정값이 반영된 결과는 97.17%의 일치율을 확인할 수 있었으며, 이후 반복 실험을 통하여 보정값에 대한 알고리즘을 추가할 예정이다.



그림 5. 제안된 정전용량 센서와 변위 검출 시스템

IV. 결 론

본 논문에서는 유압 실린더내의 피스톤 위치를 측정하기 위해 구조적 단순성과 가격의 저렴함, 여러 구조물에 대한 통합 용이성 등의 장점을 갖는 실린더 형태의 정전용량 센서와 실린더의 변위 검출 시스템을 설계하였다. 제안된 실린더 형태의 정전용량 센서의 성능 검증을 위해 실린더의 위치에 따른 커패시턴스의 변화를 측정하였으며, 실린더의 변위 검출 시스템을 설계하여 실제 적용 가능성을 확인하였다.

이후 실린더의 변위 검출 시스템의 정확도 향상을 위한 알고리즘 개발과 실제 유압 실린더에 구현하여 시스템의 유용성을 검증할 예정이다.

참고문헌

- [1] 강대실, 김무진, 문원규, “높은 동적영역을 갖기 위한 정전용량형 센서의 최적화”, *센서학회지*, 19.2, pp. 92-98, 2010.
- [2] 이한, 김종화, 서승원, 김대영, “유압실린더 스트로크 센싱을 위한 전용센서 개발에 관한 연구”, *한국 자동제어학술회의 논문집*, vol. 3, pp. 383 - 386, 1990.
- [3] 손준혁, 선형성과 해상도를 개선한 정전용량형 마이크로 경사각 센서, *고려대학교 석사학위논문*, 2005.
- [4] 최종하, 원통형 정전용량 변위센서를 이용한 고속 주축에서의 열변형 오차 보정에 관한 연구, *서울 과학기술 대학교 석사학위논문*, 2011.