

유압 실린더 내 피스톤 위치측정을 위한 정전용량 센서 설계

이성휘* · 이재건* · 강용주** · 홍익표*

*공주대학교, **씨컨트롤

Design of Capacitive Sensor for Measuring the Position of the Piston in Hydraulic Cylinder

Soeng-hwi Lee* · Jae-gun Lee* · Yong-joo Kang** · Ic-pyo Hong*

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

E-mail : tjdgnl4743@naver.com

요 약

본 논문에서는 유압 실린더내의 피스톤 위치를 측정하기 위한 정전용량 센서(Capacitive Sensor) 구조를 연구하였다. 기존에 유압 실린더 내 피스톤 위치 측정을 위해 인덕티브(Inductive) 방식을 응용한 LVDT(Linear Variable Differential Transformer) 센서가 사용되고 있으며, 높은 정확도를 갖지만, 고가이며 구조적으로 복잡하다는 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위한 방법으로 유압실린더 내 최적화된 구조를 바탕으로 여러 가지 비접촉 정전용량 센서 구조 방식을 연구하였다. 실험을 통하여 본 논문의 제안구조를 사용하면 유압 실린더 내 피스톤 위치측정이 가능함을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, several capacitive sensors for measuring the position of the piston in hydraulic cylinder was studied and designed. The inductive LVDT sensor has been widely used to measure the position of the piston because of its high accuracy, but this type of sensor is very expensive and has difficulty in use because of its complexity. To overcome these disadvantages, we studied the optimized non-contact capacitive sensors and designed several capacitive sensors for accurate measuring the location of piston in hydraulic cylinder. The proposed capacitive sensor has the possibility of practical use for hydraulic cylinder through experiments.

키워드

Hydraulic, Capacitive sensor, Linear position sensor

I. 서 론

본 논문에서는 유압 실린더 내의 피스톤 위치를 측정하기 위한 정전용량 센서(Capacitive Sensor) 구조를 연구하였다. 기존의 유압실린더 내에 사용하는 길이 측정 센서로 인덕티브 방식을 응용한 LVDT(Linear Variable Differential Transformer) 센서가 주로 사용되고 있다[1]. LVDT의 장점으로는 높은 정확성과 강한 내구성을 가지고 있다는 점이다[2]. 하지만 부피가 크고

무거우며, 사용 환경이 충격이나 진동, 고온 또는 저온 등 가혹한 경우 기존의 마그네틱 센서나 LVDT등을 사용하기 위해서는 충격진동 완화 하우징(housing), 보호 하우징 등 부수적인 설비를 필요로 하고 이로 인하여 사용상의 많은 제약은 물론 가격을 현저히 상승시키는 요인이 되어 왔다[3].

이에 따라 본 논문에서는 유압 실린더 내 피스톤 위치에 따른 길이 측정을 위하여 정전용량을 이용하는 센서 구조를 연구하였다. 현재 정전용량

센서는 수위측정 센서나 터치스크린 등에 사용된다. 수위측정에 사용되는 정전용량 센서는 두 도체 사이의 수위 변화에 따른 정전용량의 변화를 측정하는 원리로 정수기 내 수조의 수위나, 자동차의 엔진 오일, 연료량을 감지하는 데 있어서 이러한 정전용량 센서가 유용하게 이용되고 있다 [4]. 최근 유압 실린더 내 피스톤의 위치측정을 이용하면 유압 실린더를 사용하는 대부분의 시스템을 자동화 할 수 있고, 정확한 제어가 가능하기 때문에 위치측정을 위한 정전용량 센서구조의 연구 필요성이 제기되고 있으며, 본 논문에서는 유압실린더 구조에 적절한 정전용량 센서구조를 제안하고, 실험을 통해 제안된 센서구조의 유용성을 제시하고자 한다.

II. 정전용량 센서구조의 설계

커패시터에서 정전용량 크기의 변화는 식(1)로부터 크게 세가지 방법이 있다. 첫 번째로는 전극 사이의 간격 d 을 변화하는 것, 두 번째로는 유전체의 유전율 ϵ 을 변화시키는 것, 세 번째로는 전극의 면적 A 을 변화시키는 것이다.

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

본 논문에서 적용하고자 하는 시스템은 유압실린더에 적용하는 원통형구조를 갖고 있기 때문에 정전용량을 변화시키는 변수 중 제작이 간단하고 선형적으로 용량 변화를 만들 수 있는, '마주하는 면적의 넓이가 변함에 따라 변하는 정전용량'의 형태를 이용하였다. 최초로 동축 선로와 같은 형태의 실린더와 로드를 제작하여 실린더의 최외각 부분과 피스톤의 움직임을 관장하는 로드와 각각 전극을 부여하여, 피스톤의 움직임에 따라 마주하는 전극의 면적을 달리하였다. 피스톤의 움직임에 따라 변화하는 정전용량의 크기를 확인하였으나, 피스톤이 움직일 때의 마찰에 의해 전선이 끊어질 우려가 있어 이를 보완하기 위해 로드 안에 홈을 파내어 고정된 핀을 제작하여 이를 고정된 전극이 될 수 있도록 하였다. 따라서 다음 [그림 1]의 (a)와 (b)의 두 가지 새로운 구조를 제안하였다.

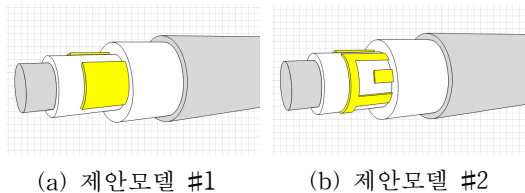


그림 1. 제안된 정전용량 센서 구조

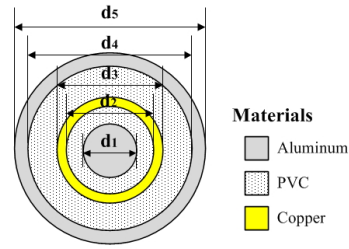


그림 2. 제안된 정전용량 센서의 단면

본 논문에서 제안한 센서의 길이는 300mm로, d_1 은 알루미늄 재질의 봉으로 외경이 6mm이다. d_2 은 PVC재질의 봉으로 내경이 6.8mm, 외경이 9mm이다. d_3 는 전극부분으로 모델#1의 경우 전체둘레(약 56mm)의 23%인 13mm의 넓이로 상, 하에 1개씩 설치하였다. d_4 는 d_2 와 마찬가지로 PVC재질의 파이프, 전극과 로드외벽의 단락을 막기 위하므로 내경 10.3mm, 외경 13mm이다. d_5 는 로드와 해당하며 내경 14mm, 외경 15mm인 알루미늄 파이프를 이용하였다.

제안모델 #1은 전극을 양쪽으로 배치하여 실린더의 움직임에 따라 정전용량의 변화를 측정하며, 제안모델 #2는 그림 3과 같이 주어진 전극을 배치하여 정전용량의 변화를 확인하였다.

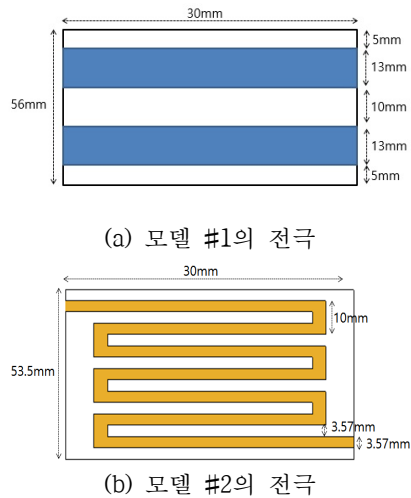


그림 3. 제안모델의 전극구조

III. 정전용량 센서구조의 제작 및 측정

첫 번째로, 마주하는 면적의 넓이에 따라 정전용량의 변화량을 확인하기 위해 앞서 기술한 바와 같이 동축선로와 같은 형태의 기준 구조를 제작하여 실제로 마주하는 면적의 넓이에 따라 정전용량이 변화하는지를 실험하였다.

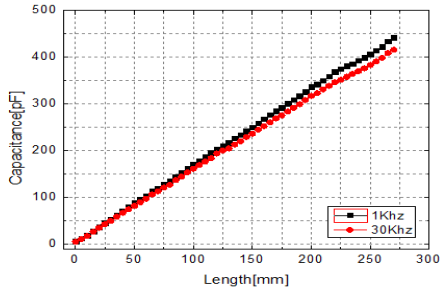


그림 4. 기준구조의 측정된 정전용량

이를 이용하여 1kHz와 30kHz의 주파수에서 로드를 실린더에 점차적으로 단위길이(5mm)만큼 전체 270mm까지 삽입하여 각각 5회 반복 실험하였다. 기준구조 모델의 경우, 1kHz에서의 최소값의 평균은 6.32pF이며, 최대값의 평균은 441.88pF으로 약 435.58pF의 범위를 가졌고 표준편차의 평균은 약 1.156이었다. 또한 30kHz에서 최소값의 평균은 5.32pF, 최대값의 평균은 416.20pF으로 410.89pF의 범위를 가졌고 마찬가지로 표준편차의 평균은 약 0.94로 선형적인 모습을 보였다. 기준모델의 경우 전극으로 이루어지는 부분이 로드 부분과 실린더 외벽이기 때문에 도선을 각각 연결을 해주어야 한다. 이로 인해서 유압실린더를 계속 사용함에 따라 실린더 외부에 연결한 도선의 연결부분이 외부에 노출되어 손상이 발생할 수 있으며, 정기적으로 교체를 해주어야 하는 문제가 발생할 수 있다.

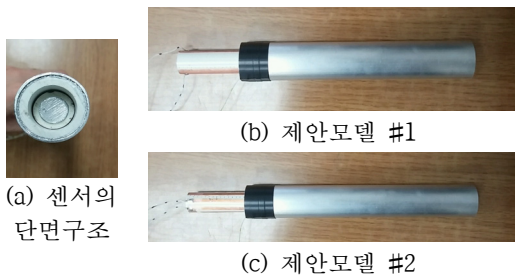
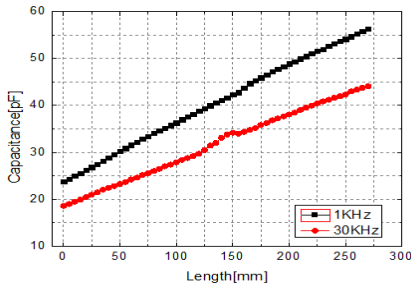
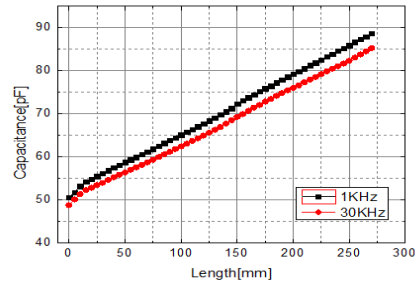


그림 5. 제작된 정전용량 센서의 구조



(a) 제안모델 #1



(b) 제안모델 #2

그림 6. 제안된 구조의 측정된 정전용량

본 논문에서는 그림 5 와 같이 제안모델 #1 과 제안모델 #2 에 대해 각각 제작하여, 길이변화에 따른 정전용량의 변화를 측정하였다. 제안모델#1의 경우, 1kHz에서의 최소값 평균은 23.74pF이며, 최대값 평균은 58.80pF으로 약 35.06pF의 범위를 가졌고 표준편차의 평균은 약 0.30이었다. 또한 30kHz에서 최소값 평균은 18.54pF, 최대값 평균은 45.73pF으로 27.19pF의 범위를 가졌고 마찬가지로 표준편차의 평균은 약 0.39로 1kHz와 30kHz 간에 차이를 보이나 선형적인 모습을 보였다.

마찬가지로 제안모델#2의 경우, 1kHz에서 최소값 평균은 50.48pF이며, 최대값 평균은 90.60pF로 약 40.12pF의 범위를 가졌고 표준편차 평균은 약 0.20이었다. 또한 30kHz에서 최소값 평균은 48.73pF, 최대값 평균은 86.95pF으로 38.22pF의 범위를 가졌고 마찬가지로 표준편차 평균은 약 0.36로 제안모델#1과 마찬가지로 선형적인 모습을 보였다.

본 논문에서 제안한 두 가지 정전용량 센서 구조는 단위길이(5mm) 당 제안모델#1의 경우, 각각 1kHz에서 약 0.5~0.6pF, 30kHz에서 약 0.5pF의 변화를 가졌으며, 제안모델#2의 경우 1kHz에서 약 0.7pF, 30kHz에서 약 0.5pF의 변화를 가졌다. 따라서, 해상도 0.5fF 인 C/D(커패시턴스-디지털) 변환기를 사용하는 경우 각각 0.01cm, 0.02cm의 해상도로 길이를 측정 가능함을 확인하였다.

본 논문에서 제안된 두 모델은 전극에 의한 정전용량 이외에 외부의 도체에 의해 생기는 정전용량을 이용하기 때문에 기준모델보다 비교적 작은 값의 정전용량 크기를 갖지만, 전극이 로드 부분에 있기 때문에 외부로 노출되지 않는다. 따라서, 외부손상의 우려가 현저히 감소할 수 있다는 점에서 경제성 측면에서도 경쟁력을 가질 수 있다. 또한, 기준모델의 경우 실린더와 로드를 제작할 경우에는 유압 실린더 생산자가 직접 제작을 해야 하지만 제안된 형태는 로드부분에 삽입될 핀과 로드의 가공만 이루어지기 때문에 유압실린더와 독립적인 개발이 가능하며, 사후 수리측면에서도 용이성을 가진다.

IV. 결 론

본 논문에서는 유압 실린더내의 피스톤 위치를 측정하기 위한 정전용량 센서 구조를 연구하였다. 기준모델을 제작하여 길이에 따른 정전용량을 측정하였으며, 기준모델이 갖는 전극의 위치에 따른 제작이 어렵다는 단점을 해결하기 위하여 두가지 형태의 정전용량 센서모델을 제안하고 제작 및 측정하였다.

본 논문에서 제안한 두 가지 정전용량 센서 구조는 단위길이 5mm당 0.5~0.6pf의 변화를 가졌으며, 각각 0.01cm 0.02cm의 해상도로 길이를 측정가능함을 확인하였다. 본 논문의 실험결과는 자유공간에서 제한적으로 이루어졌기 때문에, 향후 실제 기름이 채워진 유압실린더에 적용하여 커패시턴스의 변화와 길이 측정시스템과 연동하여 유압실린더의 자동화에 대해 연구할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] 박영태, 신홍교, 정연호, 장석명, LVDT 설계를 위한 특성해석, '94 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 60 - 62, no. 7, 1994.
- [2] 박영태, 강전홍, 이진호, 장석명, LVDT의 상품화 연구, 1999년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 293 - 295, no. 7, 1999.
- [3] 이한, 김종화, 서승원, 김대영, 유압실린더 스트로크 센싱을 위한 전용센서 개발에 관한 연구, 제어로봇시스템학회 국내학술대회 논문집, vol. 28, pp. 383 - 386, no. 10, 1990.
- [4] 이상철, 정상보, 이역원, 에이디반도체(주), 정전용량 방식의 레벨 센서 및 레벨 감지 방법 PCT/KR2012/001489, WO2013089316 A1