

정전용량 방식을 이용한 4축 힘-토크 센서의 설계

Design of a Capacitive-Type 4-Axis Force-Torque Sensor

***현창우¹**, **홍대웅¹**, **김경환²**, **정재화¹**

*ChangWoo Hyun¹, DaeWoong Hong¹, Kyoungwan Kim², #Jaehwa Jeong(jaehwa@korea.ac.kr)¹

¹ 고려대학교 제어계측공학과, ² NT 리서치

Key words : Capacitive-Type, 4-Axis Force-Torque Sensor

1. 서론

힘-토크 센서는 여러 방향에서 인가되는 힘과 토크를 정밀하게 측정하기 위한 장치이다. 특히 로봇팔이나 의료기구 등 다양한 적용 분야에서 교시력을 평가하기 위하여 여러 연구원들을 통해 지금까지 개발되어져 왔다. 힘-토크 센서는 예부터 스트레인 게이지 방식과 압전저항 방식 그리고 정전용량 방식으로 연구되어져 왔다. 스트레인 게이지 방식은 금속 또는 저항체에 변형이 가해지면 그 저항치가 변화하는 압력저항효과를 사용한 것이다. 압전저항 방식은 반도체에 압력이 인가되면 전기적 저항이 변화하는 구조이다. 그리고 정전용량 방식의 경우, 센서에 하중이 가해질 때 센서부와 고정전극 사이의 두께나 면적의 변화에 따르는 정전용량의 변화를 통해 힘-토크를 측정하는 방식이다. 그런데 스트레인 게이지 방식은 센서 제작시 들어가는 스트레인 게이지의 개수로 인한 비용이 클 뿐만 아니라 스트레인 게이지의 크기로 인하여 센서 소형화에 큰 문제가 있다. 압전저항 방식은 센서 설계시 구조가 복잡해지고 온도변화에 매우 민감한 경향이 있다. 이에 반해 정전용량 방식은 적은 비용으로 센서 제작이 가능하고 센서 소형화를 구현할 수 있다. 또한 다른 방식의 센서들에 비하여 큰 감도와 정확도를 가지며 적은 전력소비 등 여러 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 정전용량 방식을 이용하여 4축에 대한 힘-토크 센서를 연구하였다. 센서의 하중부 및 센싱부를 유한요소해석을 활용하여 설계하고 정격하중에 대한 정전용량 변화량을 예측하고 분석하였다. 추후 회로부의 설계 및 제작을 하고 센서의 각 축에 대한 신호들을 조합하여 출력을 얻게 된다.

2. 정전용량 방식 센서의 구조

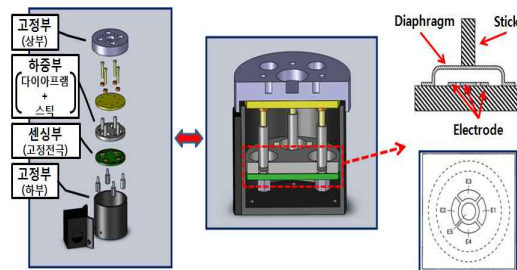


Fig. 1 Structure of capacitive type sensor

전체적인 정전용량 방식 센서의 구조는 Fig. 1과 같이 하중부와 센싱부 그리고 고정부로 이루어진다. 센서의 외경은 33mm, 높이는 35mm이다. 센싱부에 12개의 고정전극을 형성하고 스틱과 일체화된 금속다이아프램(하중부)을 대향하여 고정한다. 금속다이아프램은 스틱에 가해지는 힘의 방향과 강도에 따라 변형하는 변위전극으로서 기능한다. 센싱부 기판상의 고정전극과 금속다이아프램은 12개의 정전용량을 형성하여 고정전극을 GND 전위로 유지하고 금속다이아프램에 전압을 가하면 각 정전용량의 크기에 대응하여 전하가 축적된다. 즉, 스틱에 힘을 가하면 다이아프램이 변형하여 각 전극간격이 변화하고 각 정전용량도 변화한다.

3. 센싱부 및 하중부의 설계 및 모델링

센싱부의 12개 고정전극은 Fz축, Tx,y축, Tz축의 출력을 얻기 위하여 사용된다. Fig. 2에서 보이는 것과 같이 Fz축은 중앙에 있는 4개의 전극을 사용하여 구성되는데 이 4개의 전극은 다른 축들의 출력에는 영향을 끼치지 않는 조합이다. 그러나 나머지 8개의 테두리 전극은 Tx,y와 Tz축의 출력을 얻기 위해 서로 다른 조합이 발생하게 된다. 그리고 각

전극에서 발생하는 정전용량은 다음과 같은 수식을 통해 알 수 있다.

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (1)$$

여기서 C는 정전용량, Q는 전하, V는 전위, ϵ_0 는 유전율, A는 전극의 대향면적, d는 전극간 거리를 의미한다. 다이아프램의 변형으로 고정전극들과의 전극간 거리가 변하게 되는데 이로 인하여 정전용량의 변화량을 검출해낼 수 있다.

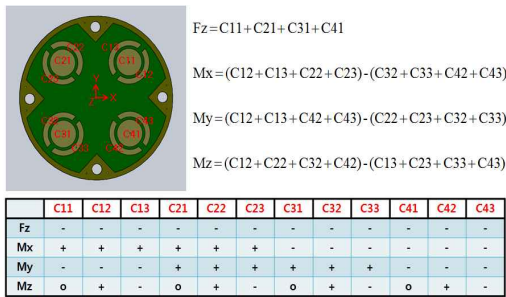


Fig. 2 Design of sensing part

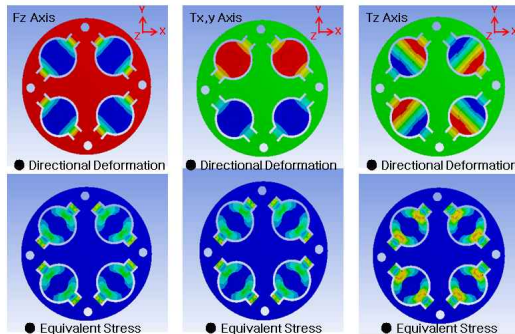


Fig. 3 Simulation of load part

하중부는 스틱에 힘이 인가될 때 다이아프램의 충분한 변형을 확보하면서도 센싱부와의 간격을 만족할 수 있게 설계되어야 한다. 하중부의 재료는 SUS303을 사용하였으며 다이아프램의 변형량과 정격하중에 대한 허용항복응력을 분석하기 위해 Fig. 3 과 같이 FEM(유한요소해석) 프로그램을 통해 모델링하였다. 센서의 정격하중은 $F_z: 15N$ 이고 $T_{x,y}, T_z: 15N \cdot cm$ 으로 다이아프램의 변형에 따른 정전용량의 변화량은 Table 1 과 같다.

Table 1 Capacitance variation through load

	load=5	load=10	load=15
$F_z (N)$	0.031pF	0.062pF	0.094pF
$T_x (N \cdot cm)$	0.038pF	0.077pF	0.116pF
$T_y (N \cdot cm)$	0.038pF	0.077pF	0.116pF
$T_z (N \cdot cm)$	0.032pF	0.065pF	0.098pF

그리고 센서의 최대 허용하중을 F_z 축은 60N으로 $T_{x,y}$ 와 T_z 축은 $60N \cdot cm$ 로 설계치를 설정하였을 때 하중부의 최대집중응력을 확인하였다. 하중부(SUS303)의 허용응력은 240Mpa이고 정격하중을 가했을 때 최대집중응력이 60Mpa만큼 발생하는 것으로 400%의 허용과부하를 만족함을 보였다.

4. 결론

본 연구는 4축 정전용량 방식 센서의 설계 및 모델링을 통해 센서를 제작하고 그 출력 및 특성을 분석하는 것을 목표로 하고 있다. 센서의 정격하중은 $F_z: 15N$ 이며 $T_{x,y}, T_z: 15N \cdot cm$ 이고 400%의 허용과부하를 가지도록 설계 되었다. 이 센서의 하중부에 정격하중이 인가될 때 하중부의 다이아프램과 센싱부의 고정전극 사이의 간격변화로 발생하는 정전용량의 변화량을 이용하여 센서의 출력을 얻게 된다. 그리고 센싱부에 장착되어 있는 12개의 고정전극을 사용하여 각 전극들의 조합을 통해 4축의 신호를 구현한다. 또한 4개의 축에 대하여 정격하중이 인가될 때 각 축의 감도를 맞추주기 위해 하중부를 설계 및 해석하였다. 추후 회로부를 제작하여 센서의 각 축에 대한 신호를 조합 및 제어하여 출력을 얻고 실험장치를 통하여 각 축에 대한 선형성과 반복성 그리고 히스테리시스를 분석할 예정이다.

후기

본 연구는 의료융합형 멀티모달 콘텐츠 및 시뮬레이션 기술 개발 사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Jose Gerardo Vieira da Rocha, Pedro Filipe Antunes da Rocha, Senentxu Lanceros-Mendez, "Capacitive Sensor for Three-Axis Force Measurements and Its Readout Electronics", IEEE Trans. Instrum. Measurement, 58, 8, 2009.
2. M. Cannella, F. Marinuzzi, "Design of a three-component capacitive force transducer", American Institute of Physics, 72, 8, 2001.