

유한요소해석 프로그램을 이용한 정전용량형 압력센서의 검증

최재혁*, 최범규**
서강대학교, 기계공학과

Verification of the capacitive pressure sensor by FEA program

Jae-Hyuk Choi*, Bumkyoo Choi**
Sogang University, Mechanical Engineering

Abstract - 이 연구는 정전용량형 압력센서 내의 공기가 센서 성능에 미치는 영향을 줄이고자 이론적 접근과 실험적 확인을 통해 제안된 바 있는 센서 모델을, 유한요소해석 프로그램인 ANSYS로 각각의 조건에 따라 해석하여 기존에 제시된 결과들과 비교하는 과정을 다루었다. FEA(Finite Element Analysis)결과, air chamber를 추가한 센서는 기존의 센서보다 sensitivity가 향상되었음을 확인할 수 있었다. 또한, FEA로 얻은 sensitivity 값은 이론값과 1.8%~10.1%의 차이를 보였으며, sensitivity ratio는 이론값과 실험값의 중간 정도로 나타났다.

1. 서론

정전용량형 압력센서는 다양한 형태로 발전되어 왔다. 일반적인 정전용량형 압력센서는 유연하고 얇은 다이어프램을 등근 cavity가 지지하는 모양이며, cavity 내부를 진공 혹은 기체를 채워 제작한다. 이때, 내부의 기체를 채워 제작하는 것이 훨씬 쉽고 간단한 과정을 요구하지만, 내부 기체의 반력과 열팽창 등으로 센서의 sensitivity를 저하시키는 단점이 있다. 이 단점을 극복하기 위해 Lee[1]는 air chamber를 추가한 모델을 제안하였고, 이론적 접근과 실험적 확인을 통해 기존의 센서보다 향상된 sensitivity를 가짐을 보였다. 이 논문에서는 Lee[1]가 소개한 모델을 유한요소해석 프로그램인 ANSYS로 해석하여 기존의 제시된 값들과 비교함으로써, air chamber를 추가한 센서의 sensitivity가 향상되었음을 확인하는 작업을 진행하였다.

2. 본론

2.1 Setup for simulation

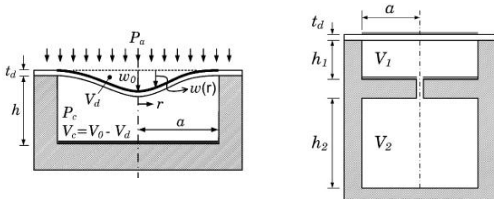
해석을 진행하기에 앞서, 이론적 접근을 통한 데이터 도출과 3D-모델링을 하였다. 모든 과정은 등온(γ=1)으로 가정하였으며, 필요한 식과 변수(물성치) 값은 Lee[1]의 논문을 참고하였다.

$$P_{net} = P_e - P_c = P_a + \left[1 - \left(\frac{V_0}{V_c} \right)^\gamma \right] P_0 \quad (1)$$

$$V_c = V_0 - V_d = V_0 - \iint w(r) dA = V_0 - \frac{w_0}{3} A \quad (2)$$

$$\frac{2\alpha\gamma A}{3t_d^2} w_0^4 - \frac{2\alpha V_0}{t_d^2} w_0^3 + \frac{\gamma A}{3} w_0^2 - \left(\frac{\gamma A a^4}{192D} P_e + V_0 \right) w_0 + \frac{a^4 V_0}{64D} P_a = 0 \quad (3)$$

$$\frac{2\alpha A}{3t_d^2} w_0^4 - \frac{2\alpha V_0}{t_d^2} w_0^3 + \frac{A}{3} w_0^2 - \left(\frac{A a^4}{192D} P_e + V_0 \right) w_0 + \frac{a^4 V_0}{64D} \left\{ P_a + \left[1 - \left(\frac{T_s}{T_0} \right) \right] P_0 \right\} = 0 \quad (4)$$



<그림 1> 도식화한 일반적인 정전용량형 압력센서(좌), air chamber(V2)를 추가한 정전용량형 압력센서(우)

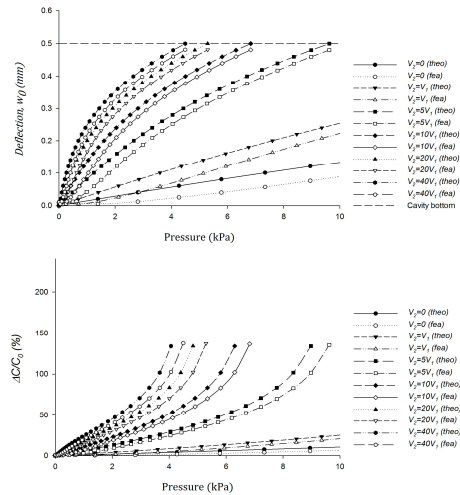
<표 1> 해석에 사용한 변수(물성치) 값

Diaphragm	Material	NRL
	Elastic Modulus, $E_Y(MPa)$	5
Poisson's ratio, ν	0.49	
Flexural rigidity, D	9.47×10^{-7}	
Radius, a(mm)	3.0	
Thickness, $t_d(mm)$	0.12	
Cavity height, h	0.5 mm	
α	0.253	
Room temperature, T_0	27 C°	
f_{r0}	154.76MHz	

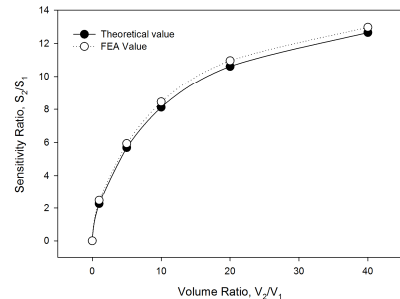
식(3)은 온도 변화를 고려하지 않은 P_a (applying pressure)에 대한 w_0 (다이어프램의 변형)를 계산하는 식이며, 식(4)는 등온(γ=1)과정에서 P_a 와 T_s (ambient temperature)에 대한 w_0 를 계산하는 식이다.

2.2 Result

2.2.1 V_2 에 따른 센서의 거동



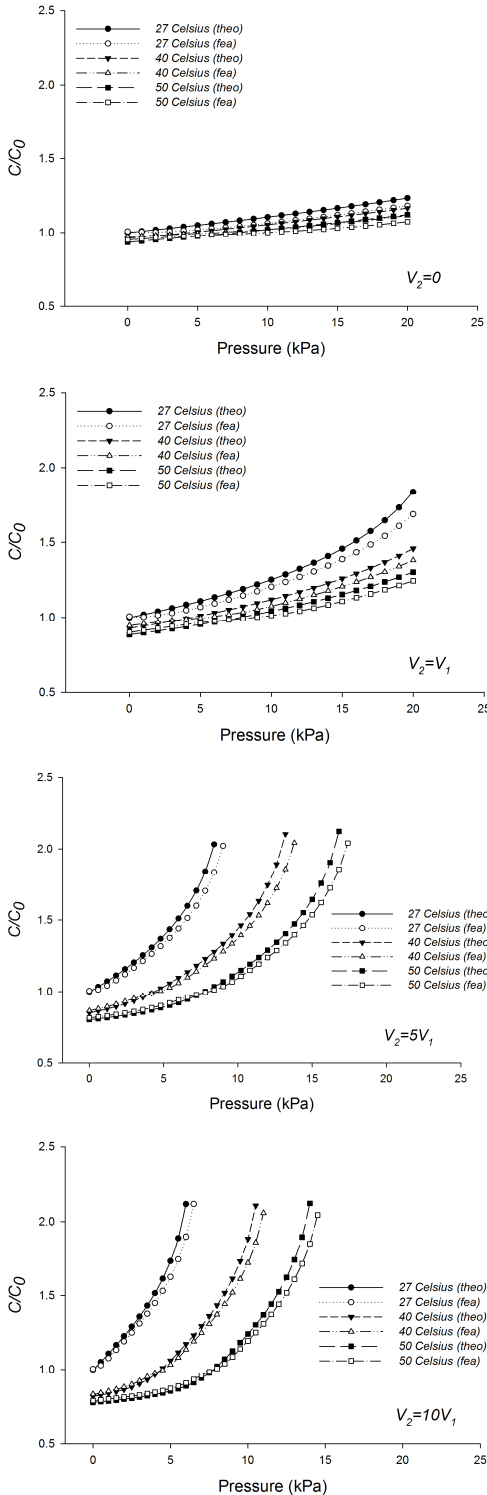
<그림 2> P_a 에 대한 다이어프램의 변형(위), 커패시턴스의 변화(아래)



<그림 3> Volume ratio에 대한 Sensitivity ratio

그림 2에 나타난 대로, 추가한 air chamber의 부피(V_2)에 따라 다이어프램의 변형(w_0)이 크게 일어나며, 그에 따라 센서의 sensitivity ($S = (\Delta C/C_0)/\Delta P_a$)를 결정하는 커패시턴스의 변화($\Delta C/C_0$) 역시 크게 일어남을 확인할 수 있다. FEA 결과와 이론값은 동일한 경향성을 보이지만, FEA 결과가 이론값보다 1.8%~10.1% 낮음을 확인하였다. 하지만 그림 3에서 확인할 수 있듯이, sensitivity ratio는 오히려 이론값이 FEA 결과보다 2.5%~9.2% 낮게 나타났다.

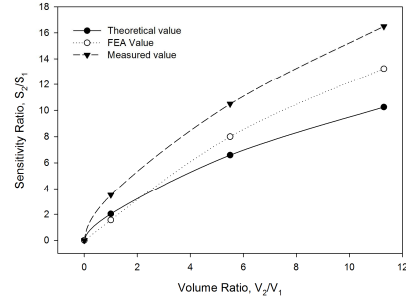
2.2.2 V_2 와 T_s 에 따른 센서의 거동



<그림 4> P_a 에 대한 커패시턴스의 변화

그림 4는 앞서 2.2.1에서 살펴본 것과 동일하게 추가한 air chamber의 부피(V_2)에 따라 sensitivity가 크게 증가하는 것은 물론, 동일한 경향성을 보여준다. 다만, V_2 가 증가할수록 cavity 내의 공기량이 많아져, 온도 (T_s , ambient temperature) 변화에 따라 커패시턴스의 변화($\Delta C/C_0$)가 더욱 크게 일어나는 것을 확인할 수 있다.

2.2.3 이론값, FEA 결과값, 실험값의 Sensitivity ratio 비교



<그림 5> Volume ratio에 대한 Sensitivity ratio

그림 5는 V_2 가 0, $1V_2$, $5.5V_2$, $11.3V_2$ 인 경우에 대해 얻은 값들을 volume ratio에 대한 sensitivity ratio값을 정리한 그래프이다. 이때의 sensitivity ($S = (\Delta f_r/f_{r0})/\Delta P_a$)는 이론값과 FEA 결과를 실험값과 비교하기 위해, $\Delta C/C_0 = (f_{r0}/f_r)^2 - 1$ 의 관계식을 이용하여 변환하였다. 실험값의 sensitivity는 이론값과 FEA 결과에 비해 상대적으로 linear하게 나타났지만, sensitivity ratio는 세 가지 결과 모두 동일한 경향성을 보였다.

3. 결론

정전용량형 압력센서 내의 공기가 센서 성능에 미치는 영향을 줄이고자 이론적 접근과 실험적 확인을 통해 제안된 바 있는 센서 모델을, 유한요소해석 프로그램인 ANSYS로 각각의 조건에 따라 해석하여 기존에 제시된 결과들과 비교하는 과정을 다루었다. FEA(Finite Element Analysis)결과, air chamber를 추가한 센서는 기존의 센서보다 sensitivity가 향상되었지만, V_2 가 커질수록 온도에 민감하게 반응하는 것을 확인할 수 있었다. FEA로 얻은 sensitivity 값은 이론값보다 1.8%~10.1% 낮았고, volume ratio에 대한 sensitivity ratio는 FEA 결과값이 이론값보다 2.5%~9.2% 높았다. 실험값과 이론값, FEA 결과를 비교하였을 때는 동일한 경향성을 보였지만, 이론값과 FEA에서는 cavity내의 공기의 damping effect를 고려하지 않아 실험값보다 non-linear하게 나타났다. 본 연구를 통해 air chamber를 추가하여 센서의 sensitivity를 향상시킬 수 있음을 Lee[1]에 이어 다시 한 번 확인할 수 있었지만, 온도 변화에 따른 sensitivity 변화와 등을 고려할 수 있도록 모델의 최적화 과정 역시 필요함을 확인할 수 있었다.

[ACKNOWLEDGEMENT]

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MEST) (No. NRF-2014R1A2A2A01003908)

[참고 문헌]

[1] Lee, Ho Young, and Bumkyoo Choi. "Theoretical and experimental investigation of the trapped air effect on air-sealed capacitive pressure sensor." Sensors and Actuators A: Physical 221 (2015): 104-114.