

비선형성의 개선을 위한 Capacitive pressure sensor의
Touch mode 방식에 대한 유한요소 해석

김도형, 오재근, 최범규
서강대학교 기계공학과

Finite Element Analysis of Capacitive pressure sensor with
Touch mode for improvina non-linearity

Do Hyung Kim, Jea-geun, Bumkyoo Choi
Dept. of Mechanical Engineering of Soana University

Abstract - Capacitive pressure sensor는 Piezo type sensor에 비해 온도의 영향이 적어 공업계측, 전기용품 등 그 용도가 다양하여 폭넓게 사용되어지고 있지만, 측정값의 비선형성이 존재하여 측정값에 대한 신뢰도가 떨어지는 단점이 있다. 본 연구에서는 기존 capacitive pressure sensor의 비선형적 output을 개선하기 위한 방법으로 touch mode capacitive pressure sensor를 제안하였다. 또한, 실제 Device제작에 앞서 FEM 해석을 수행하였다. 2mm X 2mm 크기의 diaphragm, 25 μ m의 두께, 20 μ m의 gap을 갖는 Sensor를 Simulation하였으며 설계 변수를 추출하여 각각의 설계변수에 대한 해석을 실시하였다. 그 결과 15.2psi~31psi의 영역에서 8.58pF~54.31pF의 capacitance가 선형적으로 나타나는 sensor임을 확인하였다.

1. 서 론

압력센서는 프로세스 또는 시스템에서 압력을 측정하는 소자로서 공업계측, 자동제어, 의료, 자동차 엔진제어, 환경제어, 전기용품 등 그 용도가 다양하고 가장 폭넓게 사용되는 센서중의 하나이다. 근래에 들어 MEMS 기술을 이용한 압력센서의 개발이 눈부신 발전을 이룩하면서 그 수요는 점점 증가하는 추세에 있다.

MEMS 기술을 이용한 Micro Pressure Sensor는 Piezoelectric/Piezoresistive 효과를 이용한 Piezo type sensor, 압력 인가에 따른 박막의 거동에 의한 Capacitance의 변화를 측정하는 방법, Beam의 공진주파수의 변화를 측정하는 방법이 있다. 이중 Capacitive Pressure Sensor의 경우 Sensing을 위한 물리적인 구조가 매우 간단하고, 온도에 따른 편차가 적은 우수한 특징이 있다. 그러나, 측정값의 비선형성이 존재하므로 측정값에 대한 보정을 수행해야하는 번거로움이 있다.[1] 이에 본 연구에서는 기존 Capacitive pressure sensor의 비선형성을 개선하기 위한 방법으로 Touch mode capacitive pressure sensor를 제안하고자 한다. 실제 설계에 앞서 FEM(Finite Element Method)을 통한 예측으로 설계에 반영하고자 한다. 그림 1은 일반적인 Capacitive Pressure Sensor의 모습을 나타낸다.

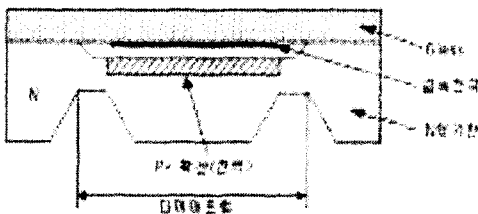


그림 1 Capacitive Pressure Sensor

2. 본 론

2.1 Touch mode capacitive pressure sensor

Parallel plate capacitor를 pressure sensor로 활용하는 Touch mode capacitive pressure sensor는 압력에 의해 위쪽의 Diaphragm이 절연체(isolation layer)가 깔려있는 아래쪽의 substrate에 닿게 설계한 센서이다. 그림 2와 3은 Capacitive pressure sensor의 normal mode와 Touch mode를 나타낸 것이다.

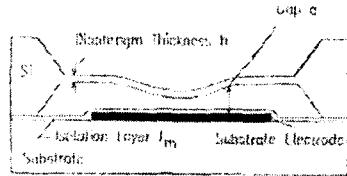


그림 2 Normal mode capacitive pressure sensor

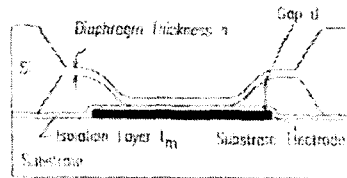


그림 3 Touch mode capacitive pressure sensor

기존의 capacitive pressure sensor가 바닥에 닿지 않는 범위에서 설계가 되어 비선형성이 존재하는 반면, Touch mode sensor는 Diaphragm이 substrate에 닿은 후, 압력인가시 면적이 선형적으로 증가하여 기존의 sensor에 비해 선형성이 보장되는 장점이 있다. 식 (1)은 Capacitance의 계산식이다.[2]

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

C = Capacitance, ϵ = 유전율, A = Electrode plate의 면적, d = Plate 사이의 거리

또한, Touch mode sensor 다음과 같은 지배방정식(Governing equation)을 이용하여 설계한다. [3]

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 F}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = E \left[\left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x} \frac{\partial^2 w}{\partial y} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{h}{D} \left[\frac{P}{d} + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right]$$

D = Flexural rigidity. $D = \frac{Eh}{12(1-\nu^2)}$, P = Pressure,

E = Young's modulus, ν = Poisson's ratio, F = stress function, w = Deflection of point (x,y)

그러나, 식 (2)와 같은 일반적인 대변형 지배방정식만으로도 정확히 해석하기 곤란한 것은 박막이 바닥에 닿은 이후부터 경계조건이 인가 압력에 따라 계속해서 변하게 되면서 접촉 면적이 점점 넓어지는 현상과 아울러 박막의 Stretching에 의한 영향 때문이다.[2-4] 한편, Dieter 등은 Small deformation 영역에서의 Approximated solution을 구하였으며[5], Wang 등은 Large deformation에서의 박막의 변형에 대한 모델링을 통한 FEA Simulation 및 실제 측정을 수행하였다.

2.2 FEM Analysis

유한 요소법은 컴퓨터 상에서 가상으로 기계요소를 생성하여 힘, 열, 진동 등의 압력에 대해서 체계적으로 기계요소 및 시스템의 반응을 예측할 수 있게 해준다. 이는 과거의 설계가 "구조의 형상에 대한 개념을 바탕으로 공학적 감각과 경험을 의지하는 역 엔지니어링 기법이었다" 라고 하면 지금의 설계는 이러한 반복 설계에서 벗어나 구조물의 크기, 치수 그리고 형상 등에 대한 전산 해석과 설계변수의 민감도 해석을 통한 최적화 설계가 가능해졌다고 할 수 있다. 현재 널리 사용되는 상용 컴퓨터 프로그램은 NASTRAN, ANSYS, NISA, ABAQUS, SAP, COSMOS 등이 있으며, 계속적으로 향상된 기능의 VERSION을 출시하고 있다. 본 연구에서는 ANSYS를 이용하여 해석을 진행하였다.

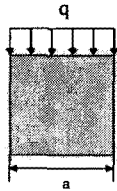


그림 4 Target model

요소는 Diaphragm 요소로 많이 사용되어지고 있는 8node Shell 93 element를 사용하였다. 0-31psi의 압력에서 해석을 수행하였으며, Large deflection을 이용한 설계를 하였다. 기존의 Reference를 비교한 결과 비슷한 결과를 얻었으며, 이에 대한 분석을 통해 본 연구를 진행하였다. 본 연구에서 사용된 Shell 93에 대한 일반적인 특징을 그림 5와 표 1에 나타내었다.

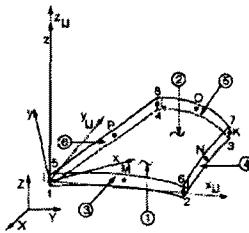


그림 5. Shell 93

Nodes	I, J, K, L, M, N, O, P
Degrees of Freedom	UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ
Real Constants	TK(I), TK(J), TK(K), TK(L), THETA, ADMSUA

표 1. Shell 93의 Input data

정확한 해석 결과를 얻기위해 Reference(ABQUS)에 있는 데이터를 ANSYS를 이용하여 해석하였다. 그림 6은 Reference와 ANSYS와의 비교 데이터이다.

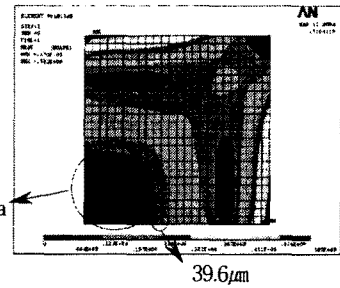
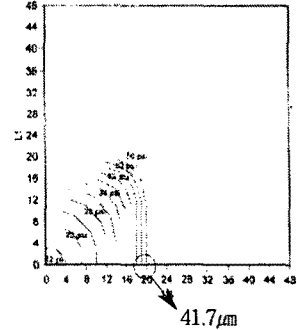


그림 6. Reference와의 비교 데이터

56psi일 때의 데이터를 비교하였으며, 약 5%의 Error율을 나타내었다.

2.3 해석결과

한변의 길이가 2000 μm 인 Diaphragm을 이용하여 본 연구를 진행하였다. 양극판 사이의 거리는 20 μm , Diaphragm의 두께는 25 μm , 탄성계수(Young's modulus)는 130GPa, ν (Poisson's ratio) = 0.3, 압력(Pressure) = 31psi로 해석을 수행하였다. 최종적으로 두 개의 plate가 붙기 때문에 ANSYS의 Contact mode를 이용하였다. [6]

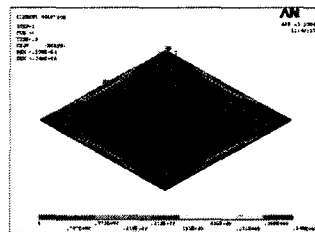
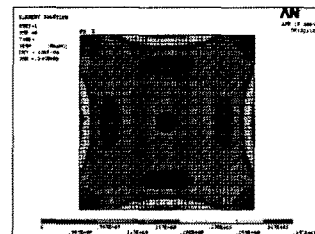


그림 7. ANSYS 해석 결과

해석결과 Max. stress는 345MPa(Yield strength = 7 GPa)로 나왔으며, Touch area는 총면적의 2.56%가 되었다. Touch area만을 이용한 Capacitance 계산[식 (1)이용] 결과 약 45.33pF이 계산되었다. 그리고, Approximated solution을 이용하여 0-31psi까지 변할때의 Capacitance를 계산하였다.

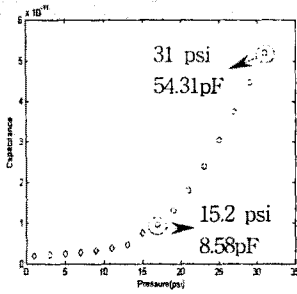


그림 8. 0-31psi일 때 Capacitance

Touch area만의 capacitance 비교시 Approximated solution과 거의 유사한 결과를 얻었으며, 약 0.9%의 Error율을 나타내었다.

3. 결 론

본 연구는 기존의 Capacitive pressure sensor의 비선형성을 개선하기 위한 방법으로 Touch mode capacitive pressure sensor의 FEM 해석을 실시하였다. 해석결과 낮은 Error율을 나타냄을 알 수 있었고, Diaphragm이 substrate에 touch 되는 순간부터 Capacitance가 선형적으로 증가함을 확인하였다. Touch mode sensor에서 설계를 통해 두 개의 전극을 분리시킬 수 있는 Isolation layer의 유전율을 크게 할 수 있다면, Sensitivity도 증가시킬 수 있는 여지가 있는 좋은 센서이다. 비선형성의 문제와 Sensitivity의 증가를 통해 sensor를 설계한다면, 기존의 Capacitive pressure sensor보다 선형성의 측면이나, Sensitivity의 측면에서 많은 개선을 보일 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 오재근, 박진일, 김도형, 최범규, "SAW(표면탄성파) 소자를 이용한 MEMS A/D 변환기 내장형 무전원 무선 압력센서", 제 6회 한국 MEMS 학술대회, pp. 549-554, 2004
- [2] Wen H. Ko, Qiang Wang, "Touch mode Capacitive pressure sensors", Sensors and Actuators, A-75, pp.242-251, 1999
- [3] Qiang Wang, Wen H. Ko, "Modeling of touch mode Capacitive pressure sensors and diaphragms", Sensors and Actuators, A 75, pp.230-241, 1999
- [4] Bumkyoo Choi, Gyubong Lee, "Modeling of stretching effects on the contacted diaphragm of pressure transducers by LIGA process", Sensors and Actuators, A 69, pp.192-198, 1998
- [5] Dieter Maier Achneider et al, "A New Analytical solution for the Load Deflection of Square Membranes", Journal of MICROLELECTROMECHANICAL SYSTEMS, Vol. 4, No. 4, Dec., 1995
- [6] (주)태성에스앤이 FEA사업부, "유한요소해석 입문과 선형 해석", 1997