

# 유한요소법을 이용한 MEMS 마이크로폰 구조 설계

## Design of a Capacitive MEMS Microphone Using Finite Element Method

\*최홍수, 박준식, 이영화, #허신

\*H. S. Choi, J. S. Park, Y. H. Lee, and S. Hur (shur@kimm.re.kr)

한국기계연구원 나노융합 생산시스템연구본부

Key words : MEMS microphone, microphone membrane, air gap, pull-in voltage

### 1. 서론

마이크로폰은 휴대전화, VoIP, PDA, 노트북 PC, 디지털 카메라, 비디오카메라, PMP, 첨단 보청기 등 많은 전자제품 군에서 활용되고 있다 [1]. 이러한 제품들에 쓰이는 마이크로폰은 진동판을 이용한 아날로그 형태에서 점차 MEMS 기술을 이용한 MEMS 마이크로폰으로 대체되어가고 있는 추세이다. MEMS 마이크로폰은 기존의 반도체 공정을 이용하여 마이크로폰의 기계적 부분을 실리콘 웨이퍼를 사용하여 개발하는 신개념의 초소형 마이크로폰이다. MEMS 공정 기술을 이용했을 때 예상되는 장점은 저비용, 고집적 대량 생산, 초소형, 회로 통합, 그리고 패키징의 용이성 등이 있다. 이러한 장점 때문에 군사용, 보안용 등 새로운 응용분야도 예상된다. 또한 MEMS 박막형 구조물에 의한 마이크로폰의 잡음감소와 구조물의 진동에 따른 감도의 영향도 탁월하게 향상될 것으로 기대된다. MEMS 구조물이 열과 습기, 물리적 충격에 강한 특성을 가지고 있기 때문에 MEMS 마이크로폰의 신뢰성이 높다는 장점도 있다 [2].

### 2. MEMS 마이크로폰

초소형 마이크로폰은 그 작동원리에 따라 일반적으로 capacitive type, piezoresistive type, piezoelectric type, optical type, FET type 등으로 분류된다. Capacitive type 마이크로폰은 공기 중으로 전달된 음파의 압력이 멤브레인을 진동시키면서 멤브레인(membrane)과 뒤 판(backplate) 사이 전극의 간격 변화를 통한 정전용량의 변화로 입력 음파를 검출한다. Piezoresistive type 마이크로폰은 멤브레인의 변화에 따른 저항 값 변화를 측정하여 입력 음파를 측정한다. Piezoelectric type 마이크로폰은 멤브레인이 변형을 할 때 멤브레인에 있는 압전 재료가 변형하면서 압전 재료가 생성하는 전압을 이용하여 음파를 검출한다. 본 연구에서는 이러한 초소형 마이크로폰 중 capacitive type MEMS 마이크로폰에 관하여 논의하고자 한다.

그림 1에서 보듯이 capacitive type MEMS 마이크로폰은 크게 멤브레인, 뒤 판, 패키징(packaging)으로 구성된다. 그림 1은 two chip으로 제작되는 MEMS 마이크로폰을 보여주고 있다. 일반적으로 이러한 MEMS 마이크로폰은 멤브레인의 형태, 멤브레인과 뒤 판의 사이의 공기층(air gap), 뒤 판의 크기와 뒤 판에 위치한 공기구멍(air hole)의 모양, 크기 및 개수 등에 의해 그 특성이 결정된다. MEMS 마이크로폰에서 중요한 특성으로는 감도(sensitivity), 방향성(directionality), Sensitivity to Noise Ratio(SNR), 주파수 대역(frequency response) 등이다. 아래 그림과 같은 마이크로폰의 감도를 증가시키기 위해서는 멤브레인과 뒤 판 사이에 DC 전압(DC Pull-in voltage)을 가하여 멤브레인을 뒤 판 쪽으로 일정부분 변형을 시킨다. 이렇게 일정부분 변형된 멤브레인은 작은 입력 음파에도 정전용량(capacitance)의 변화를 효과적으로 측정할 수 있다. 본 연구에서는 유한요소법으로 MEMS 마이크로폰 모델을 구현하여 멤브레인과 뒤 판사이의 DC Pull-in voltage와 입

력 압력에 따른 멤브레인의 변형을 해석하고자 하였다.

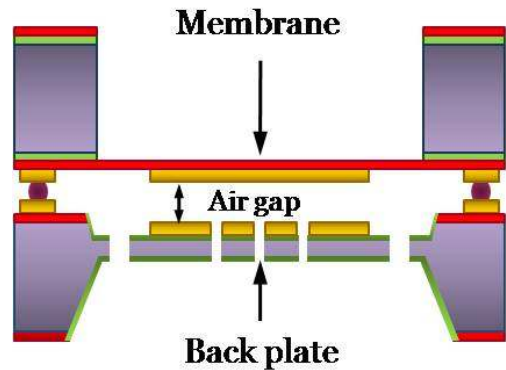


Fig. 1 Schematic cross-section of a capacitive type MEMS microphone

### 3. 유한요소법을 이용한 MEMS 마이크로폰 모델

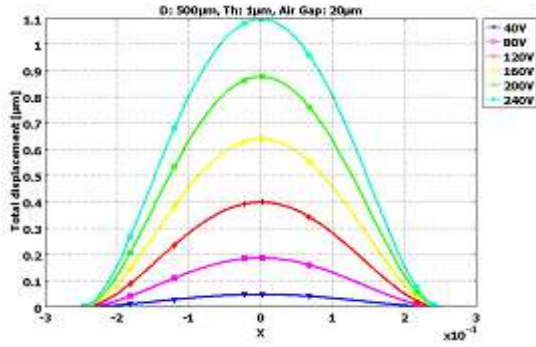
멤브레인의 감도를 예측하기 위한 방법으로 입력 압력과 DC Pull-in voltage에 따른 멤브레인의 변화를 유한요소법(COMSOL™, Altsoft)을 이용하여 해석하였다. 이를 위하여 멤브레인의 지름이 1000 μm, 750 μm, 500 μm인 경우에 대하여 해석하였다. 멤브레인의 두께는 1 μm이며 재료는 Silicon Nitride (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)로 탄성계수(Young's Modulus)는 250 GPa, 포아송비(Poissons ratio)는 0.23, 밀도는 3100 kg/m<sup>3</sup>이 사용되었다. 아래 표 1은 각각의 멤브레인이 Clamped Supported와 Simply Supported의 경계조건에 따른 멤브레인의 공진주파수를 보여주고 있다.

Table 1 Resonance frequencies for MEMS microphone membranes

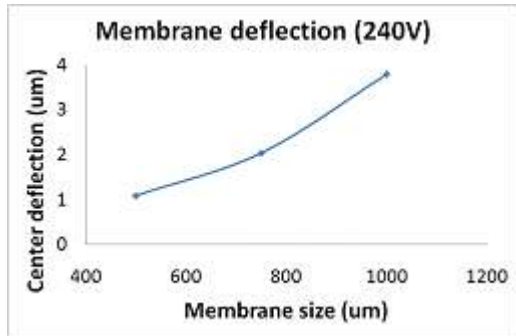
Membrane Diameter (μm)	500	750	1000
Resonance Frequencies for Clamped Supported (kHz)	69.3	30.8	17.3
Resonance Frequencies for Simply Supported (kHz)	51	26.7	12.8

표 1에 제시된 세 가지의 멤브레인 직경을 사용하여 유한요소 모델을 만들었다. 본 설계에서 멤브레인 두께와 멤브레인/뒤 판 사이 공기층 간격은 각각 1 μm와 20 μm로 고정되었으며 뒤 판의 크기는 각 멤브레인 지름의 80%가 되도록 설계하였다.

마이크로폰 유한요소 해석은 DC Pull-in voltage와 외압에 따른 멤브레인의 변형을 해석하고자 하였다. 각 멤브레인 사이즈에서 DC Pull-in voltage를 40~240 V까지 변화시키면서 멤브레인의 변형을 예측하였다. 그림 2(a)는 멤브레인 직경 500 μm일 때의 DC 전압에 따른 멤브레인의 변형을 보여주며, 그림 2(b)는 DC 전압이 240 V일 때 각 멤브레인의 최대 변위를 보여준다.



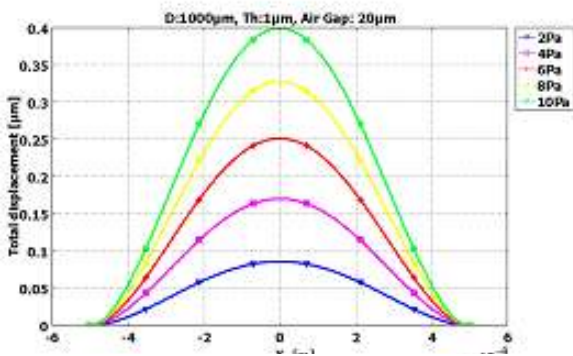
(a) Membrane diameter=500 µm



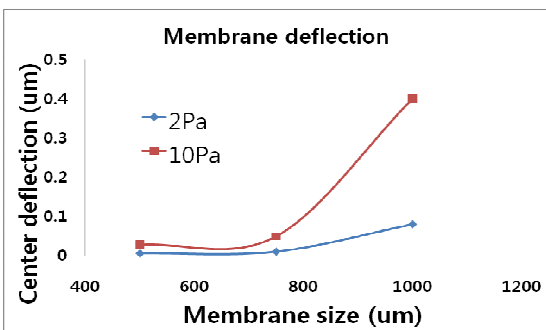
(b) Membrane size VS. Center deflection for DC=240V

Fig. 2 Membrane deflection with DC Pull-in voltage

다음 그림은 마이크로폰이 외부 정적 압력을 받을 때 멤베레인의 변형을 나타낸다. 외부 압력은 2 Pa 에서 10 Pa 까지 증가하였다. 그림 3(a)는 멤베레인 직경이 1000 µm 일 때의 입력에 압력에 따른 멤베레인의 변형을 나타내며, 그림 3(b)는 2 Pa 과 10 Pa 의 외부압력에 대한 각 멤베레인의 최대 변위를 보여준다.



(a) Membrane diameter=1000µm



(b) Membrane size VS. Center deflection for 2 Pa and 10 Pa

Fig. 3 Membrane deflection with static pressures

마지막으로 그림 4는 DC Pull-in voltage 에 의한 멤베레인의 변형을 3 차원으로 보여준다. 그림 4 에서 변형된 멤베레인의 아래쪽과 위쪽에는 공기층이 있으며, 신속한 계산을 위하여 마이크로폰의 절반만 고려되었다. 그림 4 는 직경 500 µm 에 240 V 를 가하여 변형을 해석한 경우이다.

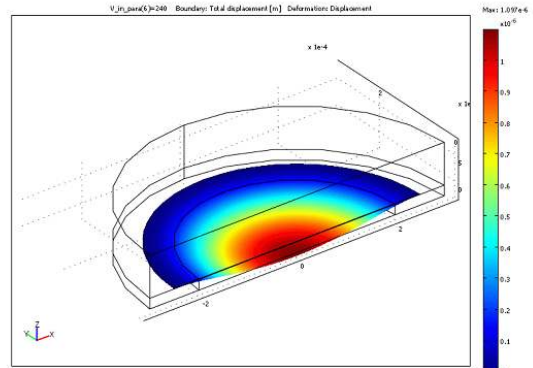


Fig. 4 3D view of membrane deflection with DC 240 V

#### 4. 결론

본 연구에서는 COMSOL™ 을 이용하여 capacitive type MEMS 마이크로폰의 유한요소 모델을 만들고 DC Pull-in voltage 와 입력 압력에 따른 멤베레인의 변형을 해석하였다. 본 해석 결과 직경이 500 µm 인 멤베레인이 10 Pa 의 입력 압력으로 약 0.027 µm 변화했으며, 직경 1000 µm 멤베레인은 동일한 압력에서 약 0.4 µm 변형하였다. 직경이 500 µm 에서 1000 µm 로 증가할 때 감도는 2.7 nm/Pa 에서 40 nm/Pa 로 약 15 배의 감도가 증가함을 알 수 있다. 또한 직경 1000 µm 의 멤베레인은 DC Pull-in voltage 에는 약 17 nm/V 의 감도를 나타내었다. 본 연구결과에서 알 수 있듯이 유한요소 해석은 효과적으로 MEMS 마이크로폰의 거동을 해석할 수 있다. 이는 실제로 MEMS 공정을 위하여 유한요소 모델을 MEMS 마이크로폰의 설계에 응용하여 실험적인 오류를 줄이며, 제작될 MEMS 소자의 특성을 평가할 수 있음을 보여준다.

#### 후기

이 논문은 2009 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-신기술융합형 성장동력사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2009-0082294).

#### 참고문헌

1. 허신, 최홍수, 박준식, 김양한, “초소형 마이크로폰 어레이 기반 청각보조시스템 기술동향,” 한국정밀공학회지, **26**, 11, 20-28, 2009.
2. Neumann, Jr., J. J. and Gabriel, K. J., “A fully-integrated CMOS-MEMS audio microphone,” Transducers, Boston, MA, USA, 230-233, 2003.