

마이크로미러의 스퀴즈 댐핑 효과에 관한 연구

A Study on squeeze film air damping effect for the newly developed micromirror

*오승훈¹, #김종민¹

*S. H. Oh¹, #J. M. Kim(0326kjm@cau.ac.kr)¹

¹중앙대학교 기계공학부

Key words : Finite element analysis, Micromirror, Squeeze film air damping

1. 서론

실리콘 기반의 마이크로미러는 다양한 분야에 적용 가능한 효과적인 액츄에이터로 디스플레이, 스캐너, 바코드 리더 그리고 광학 스위치 등에 대한 적용이 가능하다. 또한, 마이크로미러는 마이크로머시닝 기술에 의해 제작되어 시스템의 크기를 줄이고, 가격 또한 낮출 수 있다는 장점을 가지고 있다¹⁾.

마이크로미러의 성능에 영향을 미치는 주요한 설계 인자로서 설계 시 중요하게 고려되어야 할 사항은 마이크로미러의 구동 시에 발생하는 댐핑이다. 댐핑은 시스템의 응답에 큰 영향을 미치며, 마이크로미러의 경우, 댐핑이 줄어들수록 큰 구동각을 얻을 수 있어 높은 성능을 구현할 수 있다. 일반적인 MEMS(microelectromechanical system) 디바이스에서는 스퀴즈 댐핑이 주요한 댐핑 메커니즘으로 작용하며, 스퀴즈 댐핑을 줄이기 위해서 디바이스의 구동부에 구멍을 뚫는 방식이 적용된다. 그러나, 이러한 방식은 스퀴즈 댐핑의 효과적인 조절은 가능 하지만 미러의 반사면적을 감소시켜 미러가 갖는 광효율을 감소시킨다는 단점을 가지고 있어 마이크로미러에 대한 적용은 적합하지 않다.

본 연구에서는 미러 상에 구멍을 뚫지 않고 댐핑을 줄일 수 있는 새로운 형상의 마이크로미러 모델을 고안하였으며, 새롭게 고안된 미러와 같은 면적을 갖는 사각형 미러에 대한 유한요소 해석을 시행하고 각각의 댐핑 토크의 비교를 수행하여 개발된 미러의 댐핑 감소효과를 검증하였다.

2. 본론

2.1 유한요소 해석

사각형이 아닌 임의의 형상을 가진 미러의 경우, 형상으로 인해 지배방정식의 적분이 복잡해진다. 그러므로 새롭게 고안된 미러의 댐핑을 계산하기 위해 유한요소 해석을 이용하였다. 해석에 사용된 지배방정식은 nonlinear Reynolds equation 이며, 다음과 같이 나타낸다²⁾.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Ph^3}{\eta} \nabla P \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Ph^3}{\eta} \nabla P \right) = 12 \frac{\partial(hP)}{\partial t}$$

여기서, P 는 외부 압력 (P_0)과 압력 변화 (p)의 합이며 h 는 공기 필름의 두께 그리고 η 는 공기 필름의 점성을 나타낸다.

미러 외곽에서의 압력은 외부 압력과 같다고 가정하고, 경계조건으로써 $p=0$ 을 사용하였다. 또한, 미러에 작용하는 댐핑 토크를 얻기 위해 추가적인 적분을 수행하였다. 미러에 작용하는 댐핑 토크는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{damp} = \iint xp(x, y) dx dy$$

여기서, x 는 공간좌표를 의미하며, p 는 미러에 작용하는 공기 필름의 압력 변화를 의미한다.

2.2 해석 대상

새롭게 고안된 미러는 마름모를 닮은 10 각형이며 대조군 미러는 사각형이다. 두 미러를 Fig. 1 에 나타내었다. 사각형 미러의

Table 1 Properties of air film

Initial thickness [mm]	1
Ambient pressure [Pa]	101325
Viscosity [Pa·s]	1.86×10^{-5}
Mean free path [nm]	65
Reference pressure [Pa]	101325

길이, L 은 새롭게 고안된 미러의 길이와 같으며 높이, H 는 새롭게 고안된 미러와 같은 넓이를 가질 수 있도록 설정하였다. 또한, 해석에 사용된 공기 필름의 물성을 Table 1 에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

구동하는 미러에 작용하는 압력 변화를 Fig. 2 에 나타내었다. 미러가 회전하는 동안, 미러와 기판 사이의 간격이 줄어들면 공기 필름의 압력이 증가하며, 반대로 간격이 커지면 공기 필름의 압력이 감소한다. 댐핑 토크를 Fig. 3 에 나타내었다. 결과로부터 알 수 있듯이, 새롭게 고안된 미러에서 사각형 미러보다 작은 댐핑 토크가 발생함을 알 수 있다. 사각형 미러의 댐핑 토크가 미러 길이의 4 승에 비례함을 고려했을 때, 새롭게 고안된 미러와 동일한 댐핑 토크를 갖는 사각형 미러의 길이는 대조군 미러보다 작음을 알 수 있다³⁾. 즉, 동일한 댐핑 토크를 갖는 사각형 미러를 고려했을 때, 새롭게 고안된 미러는 사각형 미러에 비해 상대적으로 넓은 반사 면적을 얻을 수 있으며 이에 따른 높은 광 효율을 얻을 수 있다.

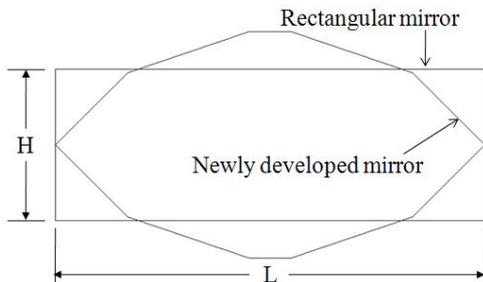


Fig. 1 Schematic diagram of micromirror

4. 결론

본 논문에서는 마이크로미러의 댐핑 효과를 줄이기 위한 새로운 형태의 미러를 고안하고 그것의 댐핑 감소효과를 유한요소 해석을 통해 알아보았다. Fig. 3 에서 확인한 바와 같이, 새롭게 고안된 미러에서는 사각형 미러보다 작은 댐핑 토크가 발생한다. 따라서 새롭게 고안된 미러는 동일한 댐핑 효과를 갖는 사각형 미러보다 넓은 반사 면적을 가질 수 있으며 높은 광 효율을 얻을 수 있다.

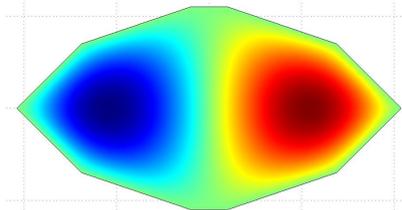


Fig. 2 Air film pressure variation on micromirror

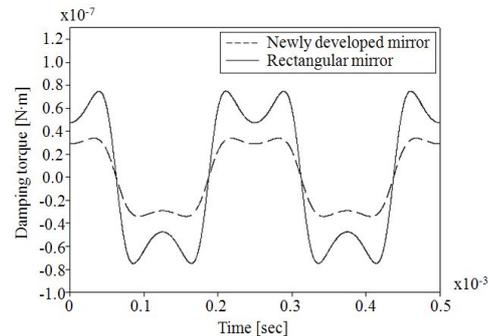


Fig. 3 Damping torques of micromirror

참고문헌

1. Ko, Y. C., Cho, J. W., Mun, Y. K., Jeong, H. G., Choi, W. K., Kim, J. W., Park, Y. H., Yoo, J. B., and Lee, J. H., "Eye-type Scanning Mirror with Dual Vertical Combs for Laser Display", *Sensors and Actuators A*, **126**, 218-226, 2006.
2. Bao, M., and Yang, H., "Squeeze Film Air Damping in MEMS", *Sensors and Actuators A*, **136**, 3-27, 2007.
3. Hao, Z., Clark, R., Hammer, J., Whitley, M., and Wingfield, B., "Modeling Air-damping Effect in a Bulk Micromachined 2D Tilt Mirror", *Sensors and Actuators A*, **102**, 42-48, 2002.