

공기막의 스퀴즈효과를 고려한 마이크로미러 설계에 관한 연구

손덕수* · 심진욱** · 서화일*** · 임경화*** · 이우영***

*한국기술교육대학교 대학원, **한양대학교 대학원, ***한국기술교육대학교

A Study on the Design of the Micro-Mirror Considering the Squeeze Effects of Gas Film

D. S. Son*, J. W. Shim**, H. I. Seo***, K. H. Rim ***, and W.Y. Lee***

*KUT, Graduate School, **Hanyang Univ., Graduate School, ***KUT

(2000년 2월 16일 접수, 2000년 3월 2일 게재승인)

초 록: 본 연구에서는 전극판에 깊은 홈을 가지고 전기적으로 구동 되는 마이크로미러에 대한 감쇠 특성을 고찰하였다. 유한요소법을 사용하여 마이크로미러의 공기막과 구조물 변위가 커플된 시뮬레이션이 본 연구에 적용되었다. 감쇠력은 구동 되는 미러판과 전극판 사이 공기막의 스퀴즈효과에 의해 발생한다. 전극판의 홈은 감쇠력을 감소시키며, 미러판을 낮은 전압dptj 고속 구동할 수 있도록 하여주며 정밀제어가 가능하도록 하여 준다.

Abstract: In this paper, the damping characteristics for electrostatically driven micro mirror which have deep grooves on their driving electrodes were investigated. A coupled simulation of gas flow and structural displacement of the micro mirror using the Finite-Element-Method is applied to this. The damping force is caused by squeeze action of the gas film between a moving mirror plate and the electrodes. The grooves decrease the damping force and enable the moving plate to be driven at high speed and low driving voltage.

1. 서 론

컴퓨터 기술과 네트워크 기술의 발전은 대량의 정보를 저장할 수 있는 기록장치의 필요성을 증대 시켰다. 데이터의 양이 급격히 증가함에 따라 고밀도 대용량의 저장매체가 요구되고 있으며 이에 관한 활발한 연구개발이 진행되고 있다. 현재 HDD, 광디스크 드라이브등 저장 장치들은 데이터를 트랙에 read/write하기 위한 구동기로서 VCM을 사용하고 있으나 구동 정밀도가 낮아 트랙이 미세화될 경우 데이터의 추적이 불가능하다. 따라서 이의 해결을 위해 정밀구동을 위한 마이크로 구동기가 개발되고 있으며, VCM과 초정밀 구동기가 결합된 2단 구동기 구조 형태를 취하여 폭 넓은 이동범위 및 고정밀도를 동시에 추구하고자 하고 있다.

광디스크는 고밀도 기록 및 재생이 가능하고 탈취성이 뛰어나 기억매체로 폭 넓게 사용되고 있으며 최근에

는 마이크로 머신(MEMS) 기술을 사용한 실리콘(Si)편향 미러형 액츄에이터의 개발이 계속되고 있다.

DVD나 CD같은 광기록장치는 레이저 빔을 광디스크의 트랙에 위치시켜 정보를 읽는데, 정보의 대용량화에 따라 저장밀도가 높은 광기록장치가 사용되면서 더욱 정밀한 레이저 빔의 위치제어가 필요하게 되었고, 이를 위한 마이크로미러가 제안되어 사용되고 있다.¹⁾ 이 마이크로미러는 광픽업 헤드에 장착되므로 소형이어야 하고, 전력을 적게 소모해야 하며, 수 mm² 정도의 레이저 빔을 반사 시키므로 미러가 커야 하고, 동작주파수가 빨라야 하며 주사각이 1° 미만이다. 이러한 마이크로 액츄에이터는 가동부와 정지부의 간격이 수 μm 정도로 작기 때문에 공기의 점성저항, 즉 스퀴즈(squeeze)효과가 크게 되고, 이로 인하여 가동부를 저전압으로 고속 구동 시키는 것이 곤란한 경우가 있다. 따라서, 마이크로미러가 고속 구동을 할 때 공기막의 스

퀴즈효과를 가능한 제거하여 정밀한 제어가 이루어지도록 하는 설계가 중요하며, 최근 전극부에 복수개의 홈(groove)을 설치하여 스퀴즈효과를 저감시키는 방향으로 개발이 이루어지고 있는 실정이다.^{1,2)}

전극부에 여러 개의 홈을 설치하면 전극부의 면적이 감소하고, 이에 따라 구동력이 감소하기 때문에 구 폭에 비해서 깊이가 큰, 즉 aspect ratio가 큰 크기의 구멍이 필요하게 된다. 그러나, 이런 경우 종래의 율환이론(레이놀즈 방정식)을 그대로 사용하여 스퀴즈효과를 계산하면 큰 오차가 생기게 되는데 이는 큰 aspect ratio에 따른 홈 벽면에서의 점성저항이 무시되기 때문이다.

본 연구에서는 미러판의 운동특성과 가동부와 정지부 사이의 미소 공기막의 점성 및 압축효과를 고려한 고체-유체 커플링 시스템에 대한 유한요소해석을 수행하여 공기막의 스퀴즈효과가 미러판의 운동특성에 미치는 영향을 분석하고 아울러 MEMS(Micro-Electro Mechanical System)기술을 이용한 마이크로미러의 최적화 설계 및 시제품 제작에 본 연구결과를 응용하고자 한다.

2. 유한요소해석 모델 및 해석방법

2.1 해석모델

Fig. 1은 근거리 광기록방식의 구조를 나타내는 것으로 근거리 기록방법(Near Field Recording Method)은 기존 광디스크 시스템의 원거리 기록방법에 비해 광픽

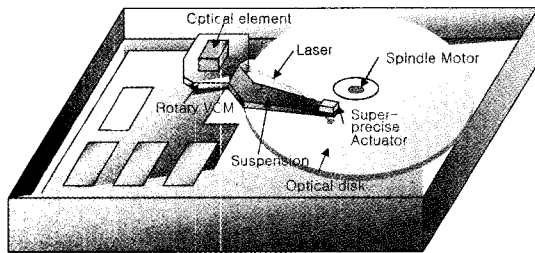


Fig. 1. 근거리 광기록 방식의 구조.

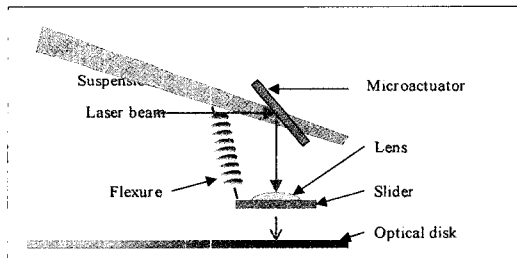


Fig. 2. 구동기(Micro actuator)의 구조.

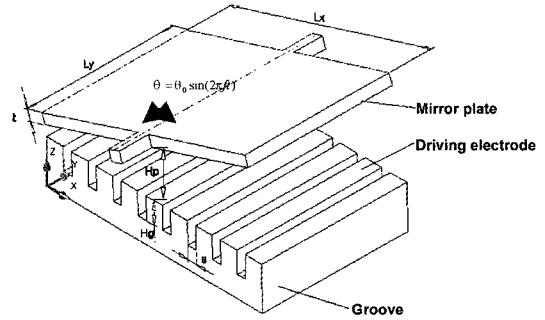


Fig. 3. 마이크로미러의 구조.

Table 1. 마이크로미러 액츄에이터의 주요사항

Lx	3.03 mm
Ly	2.45 mm
t (thickness)	60 μm
θ (angle range)	±0.25°
b' (width of torsional beam spring)	10 μm
l (length of torsional spring)	170 μm

업을 약 50~150 nm로 광디스크 표면에 매우 인접되게 위치시켜, 초고밀도 기록 또는 재생시키는 기록 방법이다. HDD디스크에 비해 트랙 폭이 1/5이상으로 작아질 것이므로, 1단 구동기는 트랙 방향의 제어가 불가능하므로 2단 구동기 구조(Double Actuator Type)가 필요하다. 이에 따라 조동 구동기(Coarse Actuator)로 기존 VCM을 사용하면서 그 위에 탑재할 Fig. 2와 같은 구조의 미세 구동기(Micro Actuator)가 필요하게 된다.

Fig. 3는 서스펜션 위에 탑재된 미세 구동기 즉 마이크로미러의 구조를 나타낸 것으로, 가동부와 정지부사이의 정전력(Electro-Static Force)과 비틀림 빔 스프링(힌지)의 복원력 사이 관계에 의해 미러는 고속주파수로 회전하게 된다.

Table 1은 본 연구에서 유한요소해석을 위하여 설계한 마이크로미러 액츄에이터의 주요사항을 표시하고 있으며, Fig. 4 및 Fig. 5는 해석을 위한 유한요소모델을 나타낸 것이다. 그림 4은 전극판(고정부)에 홈이 없는 경우이며, Fig. 5는 공기막의 점성효과를 저감시키기 위하여 전극판에 다수개의 홈을 설치한 경우이다.

Fig. 5의 경우 유한요소모델에 사용된 2차원 고체요소 800여 개, 2차원 유체요소는 약 2500개 이다.

2.1.1 유체-고체 커플링해석

본 연구의 해석 대상인 마이크로미러는 구동부와 정

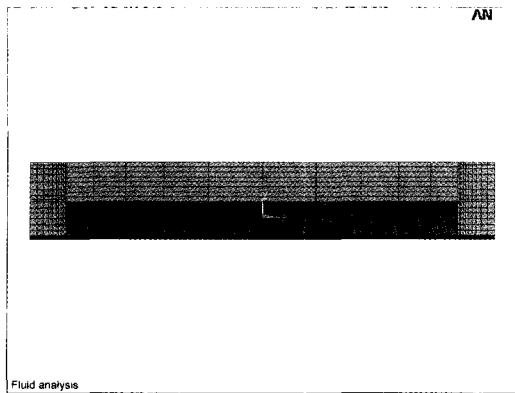


Fig. 4. 홈이 없는 경우의 유한요소모델.

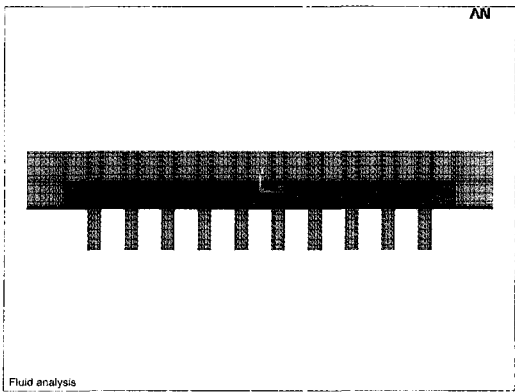


Fig. 5. 홈이 있는 경우의 유한요소모델.

지부 사이에 미소의 공기막이 있으며, 구동부는 (실리콘) 재질로 되어 있으면서 높은 주파수로 회전운동을 한다. 따라서, 구동부의 운동에 기인하는 공기막의 운동특성을 관찰하기 위해서는 고체-유체의 커플링 해석 방법에 의하여 해를 구하여야 한다.

Fig. 6는 유체-고체 커플링 해석 절차를 나타낸 것으로 각 time step에서 고체 구조물의 시뮬레이션 결과를 구한 후 이를 유체모델의 경계조건 또는 입력조건으로 전환하여 유체요소에 대한 시뮬레이션을 수행하게 되며, time step을 계속 증가시켜가며 전체 동작주기에 대하여 계산을 하게 된다. 본 연구에서는 ANSYS/FLOTRAN 유한요소해석 패키지를 사용하여 sequential coupled filed analysis 방법으로 해석을 수행하였다.

2.1.2 해석대상

본 연구에서는 구동판의 운동주파수에 따른 영향, 정지부의 홈의 깊이 및 폭에 따른 영향을 알아보기

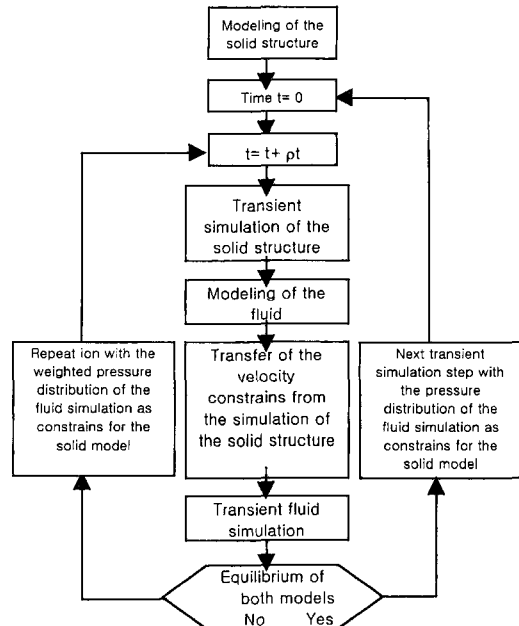


Fig. 6. 유체-고체 커플링 해석 절차.

Table 2. 해석 Case 조건표

해석 case 번호	해석변수	해석목적
1	구동주파수 100 Hz	홈이 없는 경우에 주파수에 의한 영향만을 검토
2	1,000 Hz	
3	10,000 Hz	
7	홈의 폭 50 μm, 깊이 100 μm	홈의 깊이에 따른 영향을 검토 홈의 개수=6 주파수=1,000 Hz
8	홈의 폭 100 μm, 깊이 25 μm	
9	홈의 폭 100 μm, 깊이 50 μm	
10	홈의 폭 100 μm, 깊이 75 μm	
11	홈의 폭 100 μm, 깊이 100 μm	
15	구동주파수 100 Hz	홈이 10개있는 경우에 주파수에 의한 영향 검토
16	1,000 Hz	
17	10,000Hz	

위하여 Table 2와 같이 11가지의 해석 case를 설정하였다.

해석은 구동판이 $\theta = \theta_0 \sin(2\pi ft)$ 로 진동하는 경우 공기막의 압력분포를 구하고, 압력변동에 의하여 공기막이 구동판에 미치는 토크를 계산하게 된다.

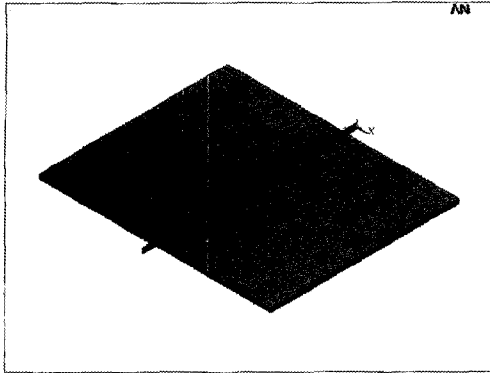


Fig. 7. 구동판의 유한요소모델.

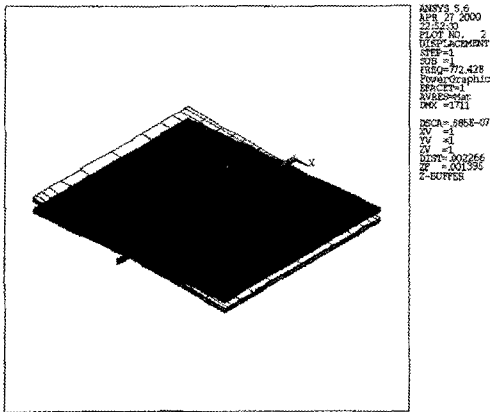


Fig. 8. 모드형상.

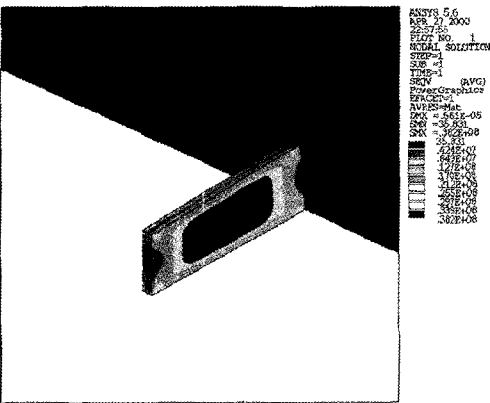


Fig. 9. 힌지부에 발생하는 응력분포.

3. 해석 결과 및 검토

3.1 구동판의 기본 구조해석 결과

Fig. 7은 힌지가 있는 구동판의 유한요소모델, Fig. 8은 첫번째 모드형상, Fig. 9은 힌지부에 발생하는 응력

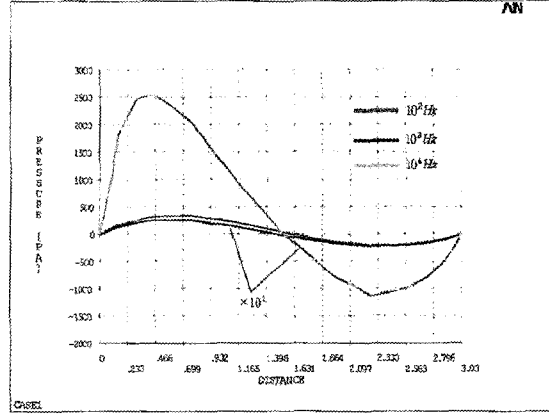


Fig. 10. 홈이 없는 경우 각 구동주파수에서의 압력분포.

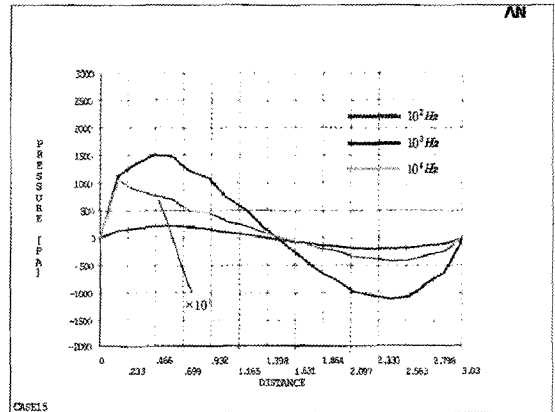


Fig. 11. 홈이 있는 경우 각 구동주파수에서의 압력분포 (s=100 μm, Hg=100 μm, N=10).

분포를 나타낸 것이다. 비감쇠 고유진동주파수는 772.4 Hz로 계산되었으며 힌지에 발생하는 최대동가응력은 약 $3.8 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ 로 Si의 항복응력 $7 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 의 약 1/200에 해당하는 수준이며 피로하중이하의 범위에 해당 되어 충분히 안전한 설계가 이루어졌다고 판단된다.

3.2 구동판의 운동주파수에 의한 영향

Fig. 10는 전극판에 홈이 없는 경우 구동주파수가 각각 10^2 , 10^3 , 10^4 Hz일 때 구동판에 분포하는 압력분포를 나타낸 것이고, Fig. 11는 홈이 있는 경우 각각 10^2 , 10^3 , 10^4 Hz의 구동주파수일 때 압력분포를 나타낸 것이다.

구동주파수가 증가함에 따라 상당히 큰 비율로 공기막의 압력이 증가되는 것을 볼 수 있으며, 같은 주파수에서 홈이 없는 경우가 홈이 있는 경우에 비해 압력이 훨씬 크게 작용함을 알 수 있다. Fig. 12에 발생최대압

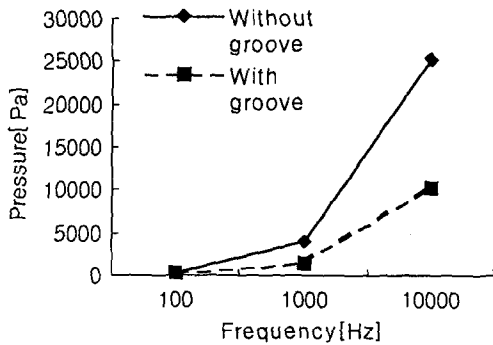


Fig. 12. 각 구동주파수에서의 최대압력.

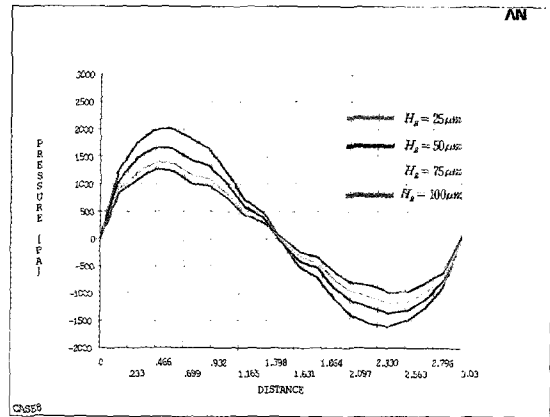
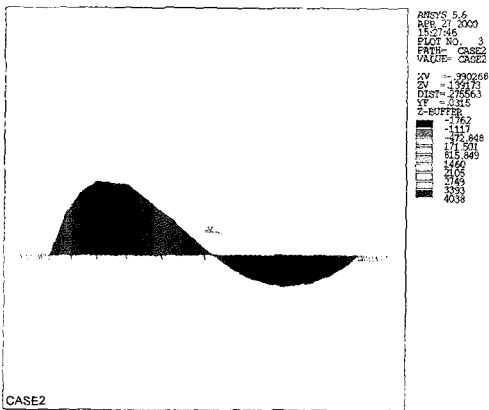
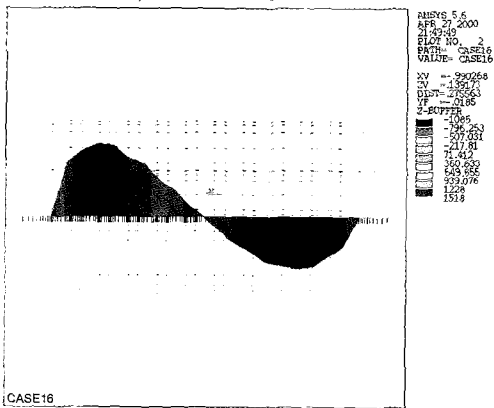


Fig. 14. 홈 깊이의 변화에 의한 압력분포 (s=100 μm, N=6, F=1000 Hz).



(a) 홈이 없는 경우



(b) 홈이 있는 경우

Fig. 13. 압력분포 양상.

력의 크기를 정리하여 나타내었다.

Fig. 13(a), (b)는 홈이 없는 경우, 있는 경우 각각에 대한 압력분포 양상을 표시한 것으로 Fig. 13(b)에서 보는 바와 같이 홈의 영향에 의하여 압력분포 곡선의 형태가 매끄럽지 못하고 변동을 나타내는 것을 알 수 있다.

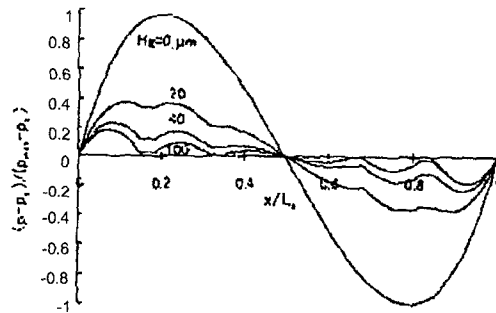


Fig. 15. x방향으로의 압력분포 (참고문헌).

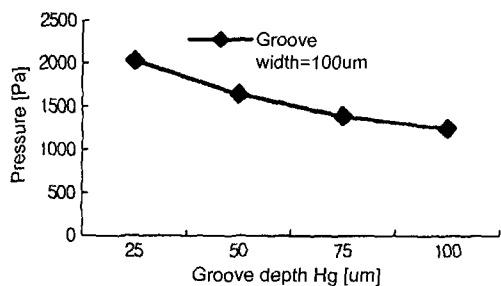


Fig. 16. 홈 깊이의 변화에 따른 최대압력.

3.3 홈의 깊이 및 폭에 따른 영향

Fig. 14는 홈의 폭을 일정하게 하고 홈의 깊이를 변화시켰을 때 공기막의 압력분포를 나타낸 것이다. 홈의 깊이가 증가함에 따라 압력 값이 점차로 감소하는 것을 알 수 있으며, 참고문헌 3의 해석결과(Fig. 15)와 같은 경향으로 나타나는 것을 알 수 있다. Fig. 16에 최대압력 값의 변화를 정리하여 표시하였다.

Fig. 17은 홈의 깊이를 100 μm로 일정하게 하고 홈의 폭을 50 μm와 100 μm로 한 경우의 압력분포를 나

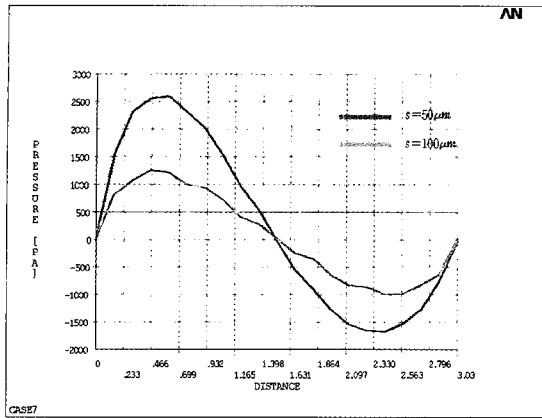


Fig. 17. 홈 폭의 변화에 의한 압력분포($s=100 \mu\text{m}$, $N=6$, $F=1000 \text{ Hz}$).

타낸 것으로, 홈의 폭이 증가함에 따라 공기막의 압력치가 현저하게 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서, 향후 최적화 설계를 위하여 폭의 영향, 깊이의 영향 등의 해석을 통하여 좀더 검토할 필요가 있다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 유한요소법에 의하여 마이크로미러의 미소 공기막에 의한 운동특성을 분석하였으며, 유체-고체 커플링 해석방법을 적용하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

(1) 구동미러판의 작동주파수가 증가함에 따라 공기막 스킨스효과에 의한 압력 값이 매우 큰 비율로 증가

한다.

(2) 전극판에 홈이 있는 경우가 홈이 없는 편평한 전극판에 비하여 훨씬 작은 공기 압력값을 가지며, 홈의 깊이가 깊을수록 압력의 크기가 감소한다.

(3) 전극판의 홈의 폭이 증가함에 따라 작용압력이 현저하게 감소하는 것을 관찰할 수 있었다.

(4) 앞으로, 전극판의 설계를 위하여 홈의 개수, 깊이 및 폭을 설계변수로 하는 최적화 설계를 수행할 필요가 있으며, 본 연구결과를 MEMS기술을 이용한 고속, 정밀 구동형 마이크로미러의 설계 및 제작에 응용할 수 있다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 1999-1-304-007-3) 지원으로 이루어 졌으며, 재단의 지원에 감사 드립니다.

참고문헌

1. M. Sekimura, etc, "Electrostatic Torsion Mirror," Technical Digest of The 18th Symposium, pp. 167-170 (1998)
2. 김용권 외, "광기록장치용 미러의 설계 및 제작," 한국센서학회 종합학술대회 논문집, Vol. 10, No. 1, pp. 173-176 (1999)
3. N. Uchide, etc, "Damping of Micro Electrostatic Torsion Mirror caused by Air film Viscosity," 일본정밀공학회지, Vol. 65, No. 9, pp. 1301-1305 (1999)