

특집 ■ MEMS

피코 프로젝터용 전자력 구동 스캐닝 마이크로미러 기술

지창현*

최근 MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems) 기술의 발달에 따라 다양한 응용 분야에서 MEMS 소자의 활용도가 증대되고 있다. 프로젝션 디스플레이의 경우 MEMS 소자 중 비교적 초기에 상용화에 성공한 Texas Instrument사의 DMD(Digital Micromirror Device)가 적용되고 있으며, 최근에는 LED(Light Emitting Diode) 광원과 DMD 또는 LCoS(Liquid Crystal on Silicon)와 같은 SLM(Spatial Light Modulator)에 기반한 피코 프로젝터의 상용화가 진행되고 있다. 레이저 광원과 스캐닝 마이크로미러(scanning micromirror)를 사용한 피코 프로젝터의 경우 Microvision사의 스캐닝 엔진을 적용한 제품들이 상용화 되었으며, 최근 다양한 업체들이 피코 프로젝터용 스캐닝 마이크로미러를 개발 또는 출시하고 있다. 이러한 시스템의 경우 삼원색의 레이저 광원으로 부터 토출된 빔을 집속하고, 2축으로 회전 가능한 마이크로미러를 사용하여 스크린 상에 스캐닝하면서 각각의 광원의 세기를 직접 조정하여 이미지를 생성하게 된다(그림 1). 이러한 레이저 광원과 스캐닝 마이크로미러 기반의 피코 프로젝션 디스플레이의 경우 전체 기기의 크기를 현저히 줄일 수 있고, 생성된 이미지의 원색 구현 능력과 명암대비(contrast)가 높은 장점이 있다.

MEMS 기술로 제작된 스캐닝 마이크로미러를 이용하여 레이저 빔을 스캐닝하는 방법으로는 크게 적용되는 스캐닝 마이크로미러의 자유도에 따라 2축으로 구동되는 한 개의 마이크로미러를 사용하는 방식과 단축으로 구동되는 두 개의 마이크로미러를 사용하는 방식이 있다(그림 2). 전체 시스템의 부피와 조립 공정의 복잡도, 제조 원가 등의 측면에서 하나의 2축 구동 스캐너를 사용하는 것이 유리하나, 최근에는 1축 구동 마이크로미러 소자의 소형화에 따라 두 개의 마이크

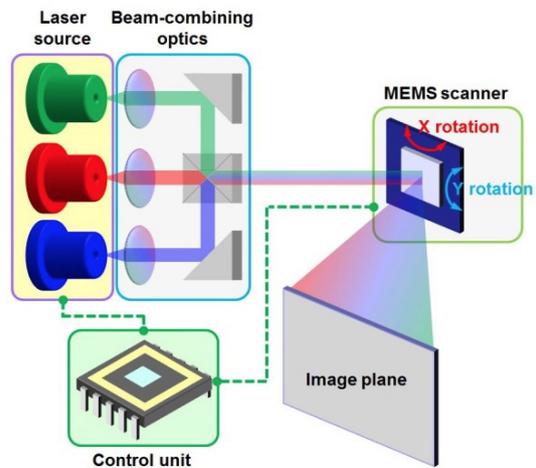


그림 1. 레이저 광원과 MEMS 스캐닝 마이크로미러를 사용한 프로젝션 디스플레이 시스템의 개략도

* 이화여자대학교 전자공학과

피코 프로젝터용 전자력 구동 스캐닝 마이크로미러 기술

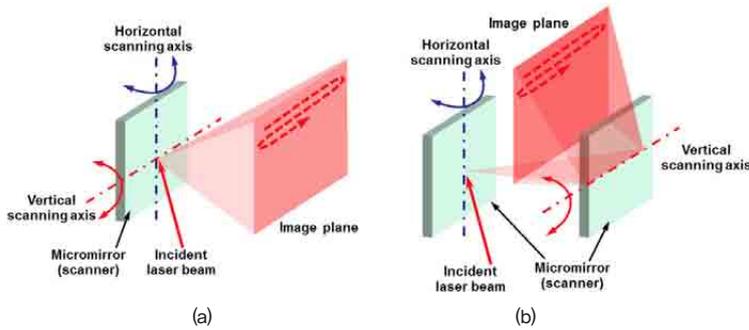


그림 2. 스캐닝 마이크로미러 적용 방법: (a) 한 개의 2축 구동 스캐너를 사용한 경우, (b) 두 개의 1축 구동 스캐너를 사용한 경우

로미러를 사용하는 방식도 활발히 개발되고 있다.

스크린에 마이크로미러에서 반사된 빔을 주사하는 방식으로는 수평 방향으로 공진구동을, 수직 방향으로 강제구동을 적용한 래스터 스캔(raster scan) 방식과 양방향 모두 공진구동을 통하여 리사주 패턴을 형성하는 리사주 스캔(Lissajous scan) 방식이 있다. 래스터 스캔 방식의 경우 수평 방향으로 양방향 구동이 이루어진다는 점을 제외하고 일반적인 평판 디스플레이의 프로그레시브 스캔(progressive scan)과 동일하여 직관적인 이미지 생성이 가능한 장점이 있고, 리사주 스캔의 경우 수직 방향으로도 공진 구동을 사용하므로 더 적은 에너지로 수직 방향의 구동각을 증가시킬 수 있는 장점이 있다.

그림 2(a)의 마이크로미러가 래스터 스캔 방식으로 구동되는 경우 스캔 방향에 따른 각변위는 그림 3과 같으며, 마이크로미러의 수평 방향 공진주파수 f_h 는 $1/T_h$ 와 같고, 전체 이미지의 프레임 수(FR)는 $1/T_v$ 와 같다. 그림 3(b)에서 한 프레임(T_v) 중 실제 스크린 상에 이미지를 생성하는데 사용되는 시간은 T_1 이며, 나머지 시간($T_v - T_1$)동안 반사된 빔은 초기 위치로 이동하게 된다.

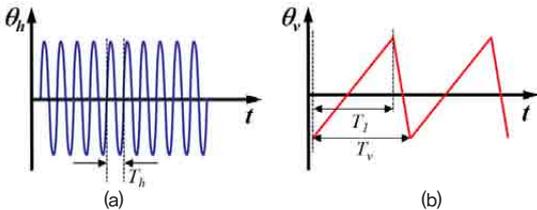


그림 3. 래스터 스캔시 마이크로미러의 구동각 변화: (a) 수평 방향 구동각(θ_h), (b) 수직 방향 구동각(θ_v)

고해상도의 이미지를 생성하기 위하여 스캐닝 마이크로미러에 요구되는 성능은 여러 가지가 있으나 이들 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 수평 방향 스캔 주파수, 구동각, 그리고 반사면의 편평도이다. 그림 3(a)에서 마이크로미러의 수평 방향 구동각(θ_h)의 최대값을 $\theta_{h, \max}$ 라고 했을 때, 광학 스캔각(θ_{opt})은 $4\theta_{h, \max}$ 가 되고, 구현 가능한 이미지의 수평 방향 해상도(N_h)는 식 1과 같이 주어지고, 수직 방향 해상도(N_v)는 식 2와 같다.

도(N_h)는 식 1과 같이 주어지고, 수직 방향 해상도(N_v)는 식 2와 같다.

$$N_h = \frac{\theta_{opt} D}{a\lambda} = \frac{4\theta_{h, \max} D}{a\lambda} \tag{1}$$

$$N_v = \frac{2f_h (T_1 / T_v)}{FR} \tag{2}$$

여기서 D 는 반사면의 직경, λ 는 광원의 최대 파장, a 는 반사면의 형상과 광학계에 의해 결정되는 상수이다. 따라서 수평 방향 해상도의 경우 반사면의 직경과 광학 스캔각의 곱($\theta_{opt} D$)에 의하여, 수직 방향 해상도의 경우 마이크로미러의 수평 방향 공진주파수(f_h)에 의하여 그 값이 결정된다. 따라서 고해상도의 이미지 구현을 위해 수평 방향으로 높은 공진주파수에서 큰 구동각을 갖는 스캐너가 요구되는데, 이러한 구동 조건에서는 반사면에 동적 변형(dynamic deformation)이 발생하므로 이에 대한 대책이 요구된다(그림 4). 동적 변형에 대한 대책으로는 구조물의 관성모멘트(moment of inertia)를 경감시키면서 강성을 증대시킬

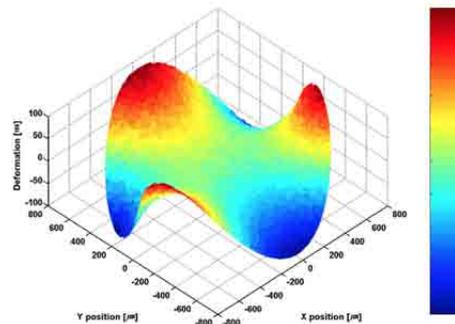
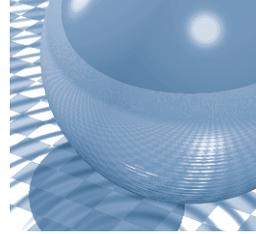


그림 4. 직경 1.4mm 반사면에 발생한 동적 변형의 일례



수 있도록 가동부를 설계하거나 반사면 외곽에 동적 변형을 억제하는 보조적인 구조물을 형성하는 방법이 개발된 바 있다.

스캐닝 마이크로미러의 구동에는 여타 MEMS 소자와 마찬가지로 정전력, 전자력 및 압전 구동 방식이 적용되고 있으며, 각각의 구동 방식에 따른 장단점은 일반적인 MEMS 소자의 구동 원리에 따른 장단점과 동일하다. 전자력 구동 방식 마이크로미러의 경우 가동부에 코일이 배치된 가동 코일(moving coil) 방식과 자성체가 배치된 가동 자석(moving magnet) 방식이 있으며, Microvision사와 Nippon Signal사의 경우 가동 코일 방식을, Maradin사의 경우 구동축별로 정전력 구동 방식과 가동 자석 방식을 취하고 있다 [1-3]. 가동 코일 방식의 경우 높은 구동력을 얻기 위하여 기판 외부에 영구자석을 적절히 배치하여 자기장을 극대화할 수 있는 자기회로 설계가 요구된다. 또한 2축 구동을 구현하기 위해서는 서로 직교하는 2개의 회전축에 토오크를 공급할 수 있는 코일과 영구자석 배치가 요구된다. Microvision사의 경우 초기에 정전력과 전자력을 결합한 구동방식을 채택하여 이러한 문제를 우회하였으며, 최근에는 두 개의 회전축에 사선 방향으로 자기장을 공급하여 전자력 방식만으로 2축 구동을 구현하고 있다 [4]. 국내의 경우 LG전자기술원에서 방사상 자기장을 이용하여 2축 구동 마이크로미러를 구

현한 바 있으며, 최근에는 Senplus사와 이화여자대학교가 사선방향으로 자기장을 공급하면서 소자의 크기를 현저히 감소시킬 수 있는 독자적인 구조의 영구자석 조립체와 이에 기반한 2축 구동 마이크로미러를 개발한 바 있다 [5-7]. Senplus사의 스캐닝 마이크로미러의 경우 수평 방향으로 21.19kHz의 주파수에서 36.12°의 구동각을 구현한 바 있으며, 현재 HD 해상도에 대응 가능한 29kHz급 마이크로미러를 개발하고 있어 고해상도 피코 프로젝터 및 다양한 분야에 적용 가능한 스캐닝 마이크로미러 기술의 국산화 및 상용화의 길을 열 수 있게 되었다(그림 5).

참고문헌

- [1] <http://www.microvision.com>
- [2] http://www.signal.co.jp/vbc/mems_e/ecoscan
- [3] <http://www.maradin.co.il>
- [4] A. D. Yalcinkaya, H. Urey, D. Brown, T. Montague, and R. Sprague, "Two-axis electromagnetic microscanner for high resolution displays," J. Microelectromech. Syst. 15(4), 786-794 (2006).
- [5] C.-H. Ji, M. Choi, S.-C. Kim, K.-C. Song, J.-U. Bu, and H.-J. Nam, "Electromagnetic two-dimensional scanner using radial magnetic field," J. Microelectromech. Syst. 16(4), 989-996 (2007).
- [6] A. R. Cho, A. Han, S. Ju, H. Jeong, J.-H. Park, I. Kim, J.-U. Bu, and C.-H. Ji, "Electromagnetic biaxial microscanner with mechanical amplification at resonance," Opt. Express 23(13), 16792-16802 (2015).
- [7] <http://www.senplus.com>

약력

지창현



지창현 교수는 2001년에 서울대학교 전기컴퓨터공학부에서 박사학위를 취득하였고, 2006년까지 LG 전자기술원에서 선임 및 책임연구원으로 재직하였으며, 2011년까지 Georgia Institute of Technology에서 박사후 연구원으로 재직하였다. 2011년 이화여자대학교 전자공학과에 부임하였으며, 2012년부터 부교수로 재직 중이다. 주요 연구분야는 광학 및 전력소자기술과 MEMS(Microelectromechanical Systems)가 결합된 optical MEMS, power MEMS, 바이오전자 및 나노 소자 등이다.

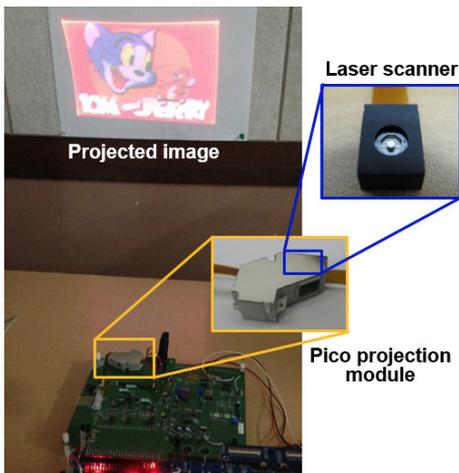


그림 5. Senplus사와 이화여자대학교가 개발한 HD급 스캐닝 마이크로미러 및 이를 이용한 피코 프로젝터 프로토타입