

마이크로미러의 표면형상오차가 TMA 프로젝터의 광학계에 미치는 영향

Effects of form errors of the surface of a micromirror on the optical system of the TMA projector

조영식*[†], 김병창*, 김승우*, 황규호**

한국과학기술원 기계공학과*

대우전자 TMA 개발부**

ysjo@kaist.ac.kr[†]

마치 살아있는 것처럼 움직이는 영상을 보고자 하는 인류의 욕구가 19세기에 다양한 광학 기구들을 낳게 했는데, 이 중의 하나가 영화이다. 이러한 필름을 기초로 한 투사기술은 그러한 인간의 욕구를 작게나마 해소시켰지만, 수평선 저 너머에서 일어나는 일을 동시에 눈으로 보고 싶어하는 꿈을 실현시켜 주진 못했다. 하지만 이러한 생방송을 할 수 없는 필름기술의 한계는 CRT라고 하는 전자 투사 디스플레이(electronic projection display)의 도움으로 극복되었다. 그 후, 텔레비전 프로그램을 생방송으로 극장에서 상영해보려는 노력의 일환으로 큰 크기의 전자 투사 디스플레이 기술이 등장하게 되었으나, 필요한 만큼의 밝기를 내지는 못하였다. 또, 이러한 대형 스크린의 문제점을 해결하기 위해서 LCD(liquid crystal display) 기술이 대두되었는데, 이러한 LCD 기술은 낮은 광효율과 저휘도 뿐만 아니라 열 발생이라는 치명적인 결점도 함께 가지고 있었다.⁽¹⁾ 그러나 최근 들어 MEMS(microelectromechanical system)기술이 급속도로 발전하면서, 이전의 광밸브(SLM : spatial light modulator)들을 대체할 수 있는 새로운 유형의 반사형 광밸브가 개발되고 있다. TI(Texas Instruments)에서 이미 개발한 DMD(digital micromirror device)와 대우전자(Daewoo Electronics Co., Ltd.)에서 개발중인 TMA(thin-film micromirror array)가 그 대표적인 예인데, 이러한 광밸브들은 마이크로미러들의 배열로 이루어져 있다. 반사형이라는 말이 시사하듯이 이것들은 광원에서 나온 빛을 스크린으로 반사시키는 역할을 하는데, 반사형 광밸브를 이용한 디스플레이는 기존의 투과형 광밸브인 LCD를 사용한 여타의 프로젝터들에 비해서 밝기, 해상도, 화소 사이의 이음새 처리 등이 우수하다. 특히 그 중에서도 광학적 효율이 매우 커서 앞으로의 영상산업에 큰 영향을 줄 것으로 기대된다.⁽²⁾

반사형 광밸브들 중의 하나인 TMA를 이용한 프로젝터의 전체 광효율은 크게 램프 연결(lamp coupling), 광 이동(optical transition), TMA 화소(pixel)로 구분되는 각각의 광효율의 곱으로 계산되는데, TMA 화소(pixel)에서 수반되는 광효율은 다시 채움율(fill factor), 반사율(reflectance), 미러 평면도(mirror flatness) 등의 세 가지로 구분된다. 그림1은 마이크로미러의 각도변화에 따른 광량조절의 원리를 나타낸 것인데 TMA 화소 광학계를 중심으로 TMA 프로젝터의 전체 광학계 구조를 간략히 보여주고 있다. 현재 대우전자에서는 TMA 프로젝터의 광효율을 포함한 광학적 성능을 향상시키기 위해 다양한 연구를 하고 있는데, 마이크로미러의 제작공정상의 한계로 인해 발생하는 미러표면의 왜곡은 TMA 프로젝터의 광학적 성능에 적지 않은 영향을 미치기 때문에, 그 중에서도 마이크로미러의 표면을 완전 평면에 가깝게 만들기 위한 연구에 큰 노력을 기울이고 있다.⁽³⁾

따라서 본 연구에서는 대우전자에서 개발하고 있는 TMA 프로젝터의 성능을 향상시키기 위한 노력의 일환으로서, 우선 새로운 유형의 광밸브로서의 DMD와 TMA에 대해서 알아보고, 마이크로미러의 표

면형상오차가 TMA 프로젝터의 광학적 성능에 어떻게 그리고 얼마만큼 영향을 미치는가를 알아보았다. 먼저 파동 광학적인 이론에 기초해서 적절한 모델링을 하고⁽⁴⁾, 시뮬레이션을 통해서 예상되는 이미지를 정량적으로 계산한 후에, 이 결과를 실제 이미지와 비교해보았다. 그림2는 광원조리개(source stop)의 넓은 광원(broad source)에서 나온 빛이 하나의 마이크로미러에 반사되어 투사조리개(projection stop) 평면에 나타나는 광분포를 수치적으로 구한 이미지이다. 또 미러의 구동기울임각도(driving tilt angle)에 대해 투사조리개를 통과하는 광량을 계산하여 회색농도등급(gradescale) 곡선을 구하고, 이를 기준으로 해석값과 실험값도 비교해 보았다. 그 결과 시뮬레이션을 통해 계산된 이미지는, 오차의 요인을 감안하더라도, TMA 패널의 마이크로미러들에 의해서 나타나는 실제 이미지와 매우 유사했다. 그리고 임의의 미러 하나를 지정하여 구동기울임각도 변화에 대한 광투과량을 측정 한 실험값은 시뮬레이션 결과와 비교했을 때 측정환경등의 원인으로 인해서 다소 차이를 보이긴 했으나, 경향과 특징이 서로 일치함을 볼 수 있었다. 그리고 미러의 PV(peak to valley) 값이 증가되면서 광효율과 회색농도등급 곡선이 어떻게 변화하는지 알아보기 위해서, TMA 마이크로미러들 중에서 전형적인 표면형상왜곡 형태를 보이는 미러의 표면형상 정보를 가지고 위의 해석방법으로 시뮬레이션 해보았다. 그 결과, PV값이 증가되면 투사조리개평면에서 나타나는 이미지의 흐림현상이 증가하고, 이로 인해 광효율은 감소하며 회색농도등급 곡선의 처음부분과 끝부분에서 비선형성이 두드러지게 나타났다.

이러한 결과를 볼 때, 이 연구에서 사용된 해석방법은 TMA 마이크로미러의 광학적인 해석에 상당히 유용하다는 것을 알 수 있다. 최근 들어 MEMS 기술의 급속한 발전으로 여러 가지 용도의 마이크로미러가 많이 제작되는데, 이와 관련된 분야에도 본 연구에서 제시된 모델링 방법이 적용 가능하리라 생각된다.

참고문헌

1. L. J. Hornbeck, "From cathode rays to digital micromirrors: A history of electronic projection display technology," Texas Instruments Technical Journal(special DLP issue), Vol. 15, No.3, pp.7-46 (1998).
2. <http://www.ti.com/dlp/technology/advantages/>
3. S. G. Kim, K. H. Hwang, J. S. Kim, Y. J. Choi, J. M. Kim, "Thin-film Micromirror Array(TMA) for High Luminance and Cost-Competitive Information Display Systems," Advanced Display and MEMS Research Center, Daewoo Electronics, Co., Ltd., Seoul, Korea.
4. Joseph W. Goodman, "Introduction to Fourier Optics," The McGraw-Hill Companies, Inc., Second Edition, pp. 78-83.

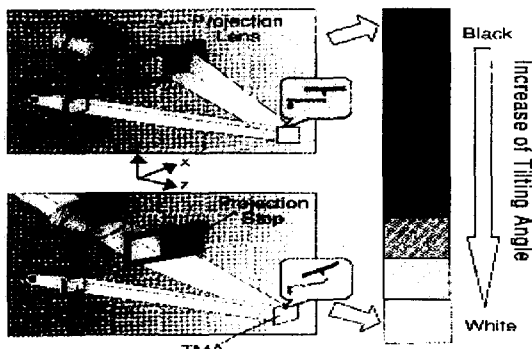


그림1. Light modulation of the TMA optical system

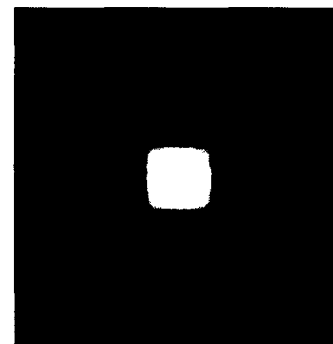


그림2. Intensity dist. at the projection stop