

## 변형거울의 영향함수 및 설계인자 분석에 관한 연구

# A Study on Influence Functions and Design Factors of a Deformable Mirror

임찬경, 윤성기  
한국과학기술원 기계공학과  
imck@kaist.ac.kr

변형거울은 거울면을 실시간으로 변화시켜 왜곡된 파면을 보정하는 적응광학의 핵심부품이다. 1980년대에 적응광학 기술이 일반에 공개된 이후로 분할거울(segmented mirror), 연속면판거울(continuous face-sheet deformable mirror), 바이몰프거울(bimorph deformable mirror), 박막거울(membrane deformable mirror) 등 수많은 종류의 변형거울이 개발되어 왔다.<sup>(1)</sup> 이 중에서 연속면판거울은 그림 1에 나타난 바와 같이 압전적층(PZT stack) 구동기나 전왜(PMN) 구동기가 거울면 뒤에 부착되어 밀어주는 방식으로 동작하는데 정확하고 안정적인 고속 파면제어가 가능하다. 기술 선진국에서는 100채널 이상의 연속면판 변형거울이 상용으로 판매되고 있으나 군사목적으로 응용이 가능하므로 기술이전이 이루어지지 않고 있다.

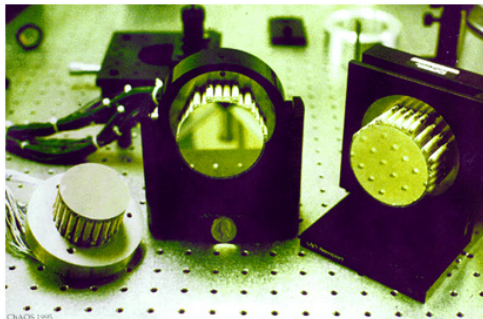


그림 1. 연속면판 변형거울<sup>(2)</sup>

본 연구에서는 추후 국내에서도 개발이 가능하도록 37채널 연속면판 변형거울의 설계를 위한 영향함수 및 설계인자 분석을 수행하였다. 영향함수는 구동기가 변형거울면에 힘을 가할 때 나타나는 거울면의 모양으로서 이에 따라 보정성능이 결정된다. 100채널 이상의 다채널 변형거울의 경우, 영향함수 모양이 보정성능에 큰 영향을 미치지 않으나 37채널 이하의 저채널 변형거울에서는 보정성능을 크게 좌우하므로 수학적으로 최적의 영향함수 형태를 찾는 것이 중요하다. 파면보정 전산모사에서는 식 (1)과 같은 가우시안 형태의 영향함수 모델을 가정하여<sup>(3)</sup> 커플링 계수에 따른 각 수차에 대한 보정성능을 도출하였다.  $r$ 은 현재 구동되고 있는 구동기로부터 떨어진 거리를 나타내고,  $r_c$ 는 각각의 구동기들이 등간격으로 배치되어있을 때, 각 구동기 사이의 거리를 의미한다.  $a$ 는 구동기의 스트로크에 해당하는 비례상수이며  $C$ 는 구동기간 커플링 계수이다.

$$S(r) = \alpha \exp\left(\ln[C_{coupling}] \left(\frac{r}{r_c}\right)^2\right) \quad (1)$$

이 때, 실제 변형거울의 영향함수 모양을 잘 모사할 수 있도록 가장자리 구동기의 영향함수 중심점을 가상적으로 거울면 바깥에 위치시키는 방법을 도입하였다. 그림 2에 37개 구동기와 가상의 가장자리 구동기 위치를 나타내었으며 주요 구동기의 2차원 영향함수를 그림 3에 표시하였다.

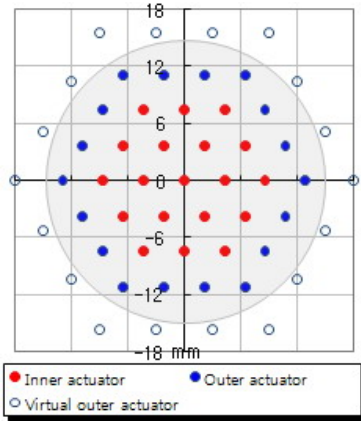


그림 2. 37개 구동기 위치

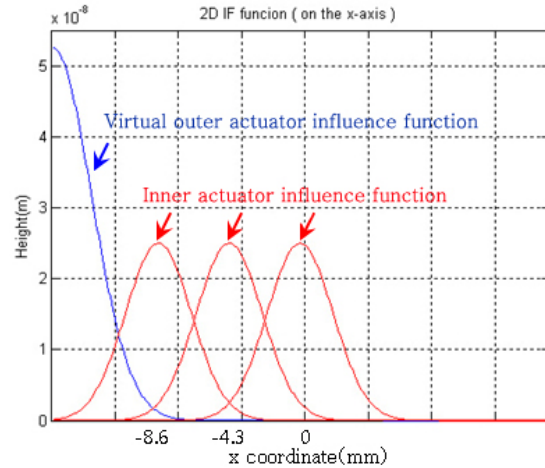


그림 3. 주요 구동기 영향함수

실제로 변형거울을 설계, 제작하기 위해서는 보정성능 등의 광학적인 특성뿐만 아니라 기계적인 특성을 고려하는 것이 중요하다. 이를 위해 유한요소해석을 통해 거울면의 변형을 영향함수로 구성하고, 구동기 패드와 거울면의 재료, 거울면의 두께, 구동기 패드의 형상 등의 네 가지 설계인자를 선정하여 이에 따른 영향함수와 보상성능, 응력 등을 분석하였다. 그림 4에 유한요소모델을 나타내었고, 경계조건을 부여하여 구성한 주요 수차의 형상을 그림 5에 나타내었다.

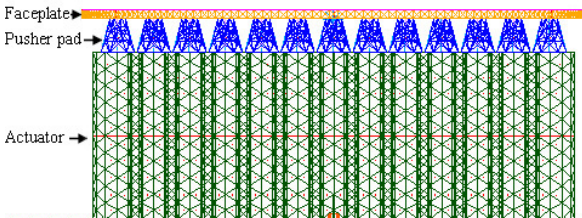


그림 4. 연속면판 변형거울의 유한요소모델

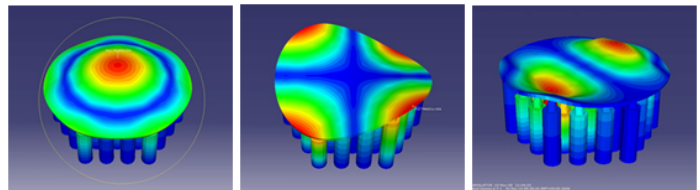


그림 5. 하중경계조건으로 구성한 주요 수차 형상

본 연구는 한국과학기술원 영상정보특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다. (계약번호 UD070007AD)

참고 문헌

1. M.A. Ealey, J.A. Wellman, "Deformable mirrors: design fundamentals, key performance specifications, and parametric trades," Proc. SPIE Vol. 1543, pp. 36-51, 1991
2. M.F. Smutko, M. Chun, F. Shi, W. Wild, E. Kibblewhite, "An overview of the Chicago adaptive optics system," Bulletin of the American Astronomical Society, Vol. 27, pp. 1393, 1995
3. R.K. Tyson, "Introduction to adaptive optics," SPIE Tutorial Texts in Optical Engineering Vol. TT41, pp. 81-91, 2000