

적응 광학계 변형 거울의 성능 해석

Perform Analyses of the Deformable Mirror for Adaptive Optics

엄태경¹, 이완술¹, 이준호², 윤성기^{1,2}

¹한국과학기술원 기계공학과, ²한국과학기술원 인공위성연구센터
taerii@kaist.ac.kr

하나의 구동기를 작동하여 거울을 변형시킬 때, 변형된 거울면의 형태를 영향 함수(influence function)라고 정의하며, 이러한 영향 함수를 이용하여 적응 광학계의 주요한 광학 요소인 변형 거울을 효과적으로 모형화하고 설계할 수 있다. 본 논문에서는 유한요소해석을 이용하여 계산된 변형 거울의 실제 영향 함수를 가우시안 함수(Gaussian function) 형태로 단순화하고, 추가로 구동기들 사이의 영향을 고려한 커플링 계수(coupling coefficient)를 도입하여, 주어진 구동기 배열에 대한 영향 함수를 결정하였다. 또한 변형 거울에 사용되는 구동기들 사이의 적절한 커플링 계수를 결정하기 위하여, 커플링 계수 변화에 따른 변형 거울의 성능 변화를 해석하였다. 이와 같이 구성된 영향 함수를 이용하여, 구동기가 삼각형과 사각형 형태와 같이 등간격으로 배치되어 있을 때의 구동기 간격에 따른 변형 거울의 성능을 해석하고 효과적인 배열을 제안하였다.

적응 광학계 변형 거울의 구동기 배열로는 일반적으로 등간격 배열이 사용된다.⁽¹⁾ 등간격 배열로는 삼각형, 사각형 그리고 육각형 배열 등이 있으며 이러한 배열 하에서의 영향 함수의 형태가 어떠한 모습을 띠고 있는지 알아보기 위하여 유한요소해석을 수행하였고 이를 통하여 그림 1과 같이 각 배열에 대한 영향 함수의 형태를 구할 수가 있다. 이 가운데 삼각형과 사각형 배열은 축대칭 함수로 근사가 가능하며 그 때의 영향 함수를 다음 식과 같이 가우시안 함수 형태로 근사화할 수 있다.

$$y = y_0 + A \exp(-B(x - x_c)^2)$$

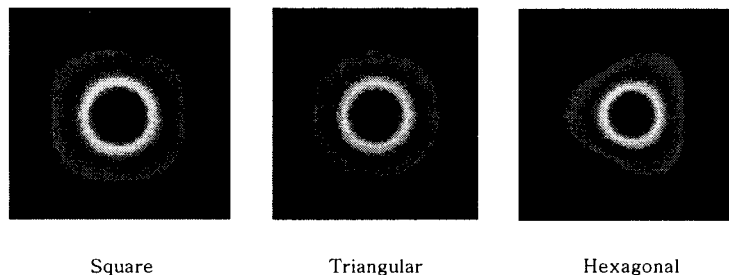


그림 1 등간격 구동기 배열 하에서 변형 거울의 영향 함수

근사화한 영향 함수에 구동기의 커플링 계수 C_A 를 도입할 수 있다. 커플링 계수는 전압이 가해진 구동기의 최대 변위에 대한 인접 구동기에서의 거울면의 변위의 비로 정의된다. 구동기 사이의 커플링의 존재는 임의의 입사 파면에 대하여 변형 거울의 보상 정확도를 향상시키는 역할을 한다.⁽¹⁾ 그러므로 변형 거울의 설계 관점에서 적절한 C_A 의 값을 결정하기 위하여 C_A 의 값을 변화시켜 가면서 변형 거울의 성능에 대한 해석을 수행하였다. 그 결과를 그림 2에 나타내었다.

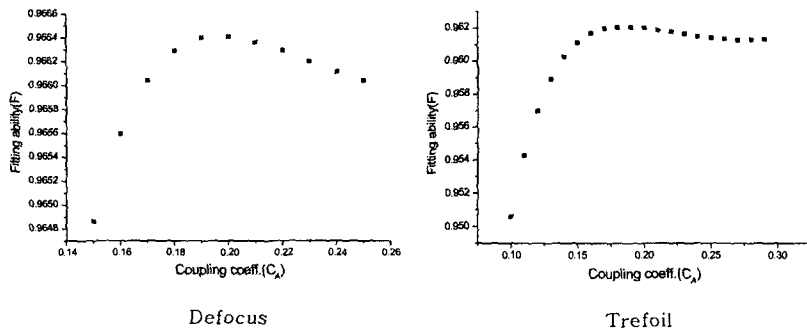


그림 2 구동기 사이 간격이 0.20일 때 커플링 계수에 따른 보상 성능

구동기 사이의 간격에 따라 약간 다른 양상을 보이거나 대체적으로 C_A 의 값이 0.2 근처에서 보상 성능이 최대값을 가지거나 거의 수렴한 값을 나타내었고 이러한 결과로부터 적절한 커플링 계수, C_A 의 값은 0.2임을 확인할 수 있다.

앞에서 구성한 영향 함수를 사용하여 변형 거울의 각 수차들 또는 이 수차들의 조합에 대한 변형 거울의 보상 성능해석이 가능하다. 삼각형과 사각형 구동기 배열에 대하여 구동기 사이의 간격을 변화시켜 가면서 제르니케 다항식(Zernike polynomial)의 처음 20개항에 대한 변형 거울의 성능 해석을 수행하였다. 그 결과를 그림 3에 나타내었다.

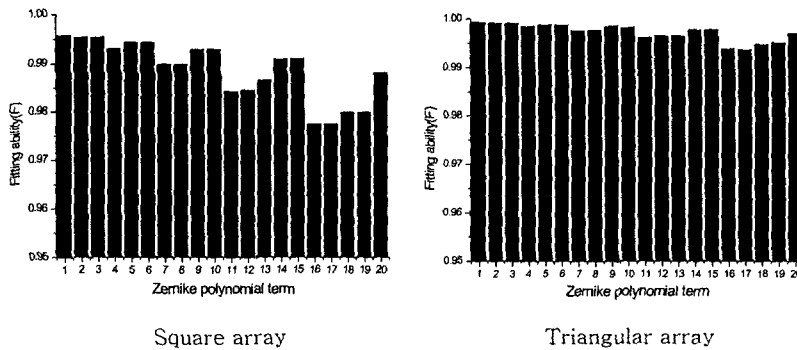


그림 3 구동기 사이 간격이 0.20일 때 Zernike 다항식의 각 항에 대한 보상 성능

동일한 구동기 간격에 대하여 삼각형과 사각형의 구동기 배열을 비교해 보면 삼각형 배열을 사용할 때의 보상 성능이 사각형 배열을 사용할 때보다 월등히 좋은 것을 알 수가 있다. 또한 같은 구동기 배열 하에서도 수차에 따라 보상 성능이 차이가 나는 것을 알 수가 있다. 구동기 사이의 간격이 감소함에 따른 보상 성능은 사각형 배열의 경우 꾸준히 증가하는 양상을 보였으나 삼각형 배열의 경우 사각형 배열의 보상 성능보다는 큰 보상 성능을 보이지만 전반적으로 큰 보상 성능의 변화를 보여 주지는 않았다. 이는 삼각형 구동기 배열의 경우 이미 보상 성능이 상당히 큰 값을 가지고 있어서 구동기 개수를 증가시키더라도 더 이상 개선의 여지가 없기 때문인 것으로 판단된다.

이러한 결과를 변형 거울의 설계에 반영한다면 적은 개수의 구동기로 효과적으로 거울면을 변형시켜 줌으로써 보상 성능을 향상시키는 데에 큰 도움이 되리라 생각된다. 또한 등간격 구동기 배열에서 한 발 더 나아가 구동기 배열 패턴 최적화를 수행할 경우 등간격 구동기 배열을 가지는 변형 거울보다 더 뛰어난 보상 성능을 가질 수 있으리라 기대가 된다.

참고문헌

1. J. W. Hardy, "Adaptive optics for astronomical telescope", Oxford university, New York, 1998.