

측정 범위 확장을 위한 Shack-Hartmann 센서 시스템 알고리즘 Dynamic Range Expansion Algorithm of The Shack-Hartmann Sensor

김지은**, 양호순**, 이윤우**, 진민용*
 *충남대학교 물리학과, **한국표준과학연구원
 emm525@cnu.ar.kr

Shack-Hartmann wavefront sensor는 광학부품의 표면 형상 측정을 위하여 널리 사용된다. 그림 1은 입사한 파면이 렌즈배열을 통과해 검출면에 맺히는 과정을 나타낸다. 측정파면이 렌즈배열에 입사하면 각각의 렌즈에 의해 초점이 맺히게 되고 초점평면의 영상은 검출면에 점들의 배열형태로 나타나게 된다. 이때 검출면에 맺힌 점들 각각의 중심점을 구하고 기준파면으로부터 구해진 중심점과의 차이를 통해 국소적인 파면의 기울기를 알아내서 입사된 전체 파면을 복원하게 된다.

일반적으로 이 센서는 렌즈배열과 검출면 만으로 이루어진 단순한 기본구성에 간섭계에 견줄만한 성능으로 실시간 정보처리를 하는 장점이 있다. 하지만 한 개의 렌즈배열을 통과한 점영상은 해당 하부개구(해당되는 검출기 영역)내에서의 위치변화만을 측정한다. 그 결과 측정렌즈의 형상이 복잡하여 하부개구를 벗어나 초점이 맺혀질 경우에는 파면의 기울기를 계산할 수 없을 뿐 아니라 이 초점이 어느 렌즈배열을 통과하여 왔는지 파악하기가 어려워 결국 파면 수차를 제대로 복원하기 어려워진다. 본 논문에서는 이 한계를 극복하고 측정영역을 넓히기 위하여 새로운 파면복원 알고리즘을 구현한 내용을 담고 있다.

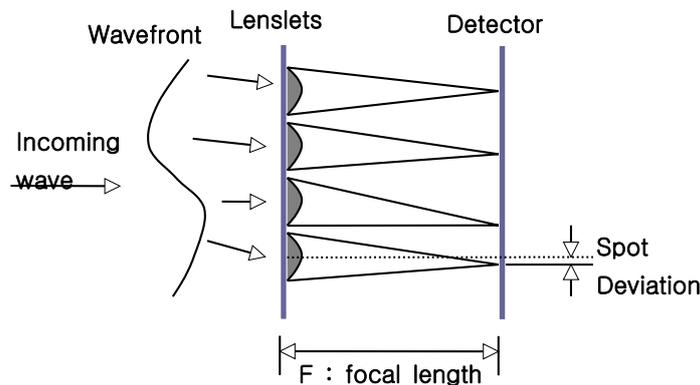
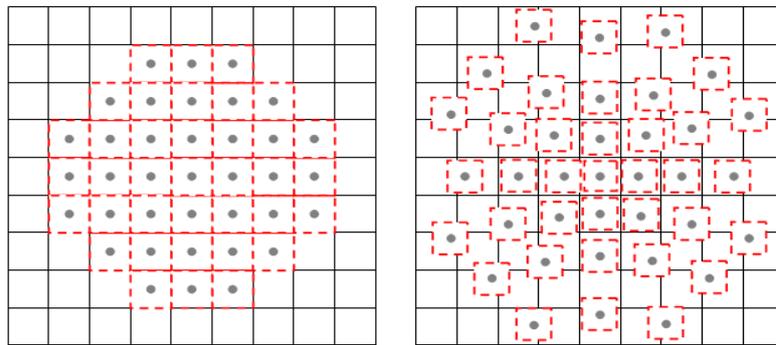


그림 1. Shack-Hartmann 센서의 측정원리

기존의 Shack-Hartmann 센서는 기준파면이 평면파로 측정파면과의 중심점 차이를 파면으로 복원하는 방식이었다면 본 연구에서는 기준파면을 CGH(Computer Generated Hologram)

로부터 만들어진 이상적인 파면으로 두고 측정파면과의 중심점 차이를 비교해 파면을 복원하는 방식이다. 따라서 연구의 목적은 기존 한계를 극복하고 좀 더 복잡한 형상을 갖는 렌즈를 정밀하게 측정하고자 하는 데에 있다.

측정영역을 넓힐 수 있는 기본 개념은 하부개구의 크기와 위치를 임의로 지정하는 것이다. 기존 알고리즘의 경우 기준파면의 중심점은 그림 2의 (a)와 같이 하부개구의 영역과 해당되는 렌즈배열의 구경이 같다. 하지만 측정대상물의 형상이 복잡할 경우 영상점들이 정해진 하부개구를 벗어나게 되어 중심점계산이 어려워진다. 이때 그림 2의 (b)와 같이 하부개구를 영상점들에 맞게 지정해 주면 중심점계산이 가능해진다. 하부개구에 해당되는 렌즈배열의 위치는 광학설계프로그램을 통하여 유추할 수 있다.



(a) (b)

그림 2. 하부개구 영역 지정 비교 (a) 렌즈배열크기와 일치하는 하부개구 (b) 렌즈 배열과 상관없이 만든 하부개구

이러한 개념의 타당성을 평가하기 위하여 전산모의 과정을 거쳤다. 전산모의실험에 사용한 렌즈배열은 7×7의 배열을 가지며, 초점거리가 6 mm이고 직경이 각각 1.2 mm이었다. 입사파장은 550 nm로 하였다. 측정할 모의렌즈는 곡률반경이 100 mm인 양볼록렌즈로 두께는 5 mm이고 재질은 BK7이다.

기준 영상점을 얻기 위하여 평행파를 렌즈배열에 통과시켜 점영상을 획득하고, 측정 영상점은 모의렌즈를 통과한 파면을 통하여 얻는다. 중심점 측정 알고리즘은 무게 중심법을 이용하였고 파면복원은 Southwell 방법을 이용하였다. 모의렌즈를 임의로 위치이동 시켜 rms 50 μm이상의 큰 파면수차가 생기도록 하여 일반적인 하부개구 영역을 벗어나도록 하였을 때 기존의 알고리즘을 이용할 때와 같이 파면복원이 거의 일치함을 확인했다.

후속연구로 보다 복잡한 광학계에 대한 파면복원이 가능함을 확인할 예정이다.

참고문헌

1. JOHN W. HARDY, "Adaptive Optics for Astronomical Telescopes", Oxford University Press, Inc. (1998).
2. Junwon Lee, "Sorting method to extend the dynamic range of the Shack-Hartmann wave-front sensor", Appl. Opt. 44, 4838-4845 (2005).