

역반사경을 이용한 층밀림 간섭계

*주지영, 김승우

한국과학기술원 기계공학과

Lateral Shearing Interferometer using Retro-reflectors

*Jiyoung Chu, Seung-Woo Kim

Department of Mechanical Engineering, KAIST

Key words : Lateral shearing interferometer, Aspheric surface

1. 서론

초정밀 기술의 발달로 CD, DVD 플레이어나 핸드폰 카메라, PC 카메라 등 렌즈를 사용하는 제품이 증가하고 있으며 특히 좋은 성능과 제품의 부피를 줄이기 위해 비구면 렌즈에 대한 수요가 증가하고 있다. 비구면 렌즈는 주로 다이아몬드 선삭 가공과 같은 초정밀 가공기에 의해 가공된 비구면 금형을 이용해 사출성형을 통해 만들어지는데 좋은 성능의 비구면 렌즈를 제작하기 위해서 비구면 금형을 정확하게 가공하는 것이 중요하다. 비구면 금형은 초정밀 가공에 의해 표면이 거울면 같이 반사율이 높아 주로 광학식 방법을 통해 측정되는데 비구면의 정도가 심하므로 일반적인 광학계 측정 시스템인 피조(Fizeau) 간섭계나 트와이만-그린(Twyman-Green) 간섭계를 통해서 측정하기 힘들다. 비구면을 측정하기 위해서는 각 비구면에 맞는 널(null) 렌즈나 CGH(Computer Generated Hologram)를 제작해야 하는데 이들 광학 부품들은 제작시간이 많이 소요되고 고가이므로 측정에 어려움이 많다. 이밖에 구역별로 간섭무늬를 얻어 측정하는 구역별 주사(Zonal scanning) 방법이 있으나 각 측정된 구역을 서로 붙여야(stitching) 되므로 번거로운 점이 있다. 각 비구면에 맞는 광학부품의 제작 없이 한번에 측정이 가능한 시스템으로 층밀림 간섭계(lateral shearing interferometer)가 있는데 측정하고자 하는 표면끼리 층밀림(shear)을 주고 서로 간섭을 시켜 표면을 복원하는 방법으로 여러 종류의 간섭계가 제안되고 있다.

본 논문에서는 비구면을 쉽게 측정하기 위해 역반사경과 편광을 이용한 층밀림 간섭계를 제안하고 실제 실험을 통해 제안된 시스템을 평가해 보았다.

2. 실험장치 구성

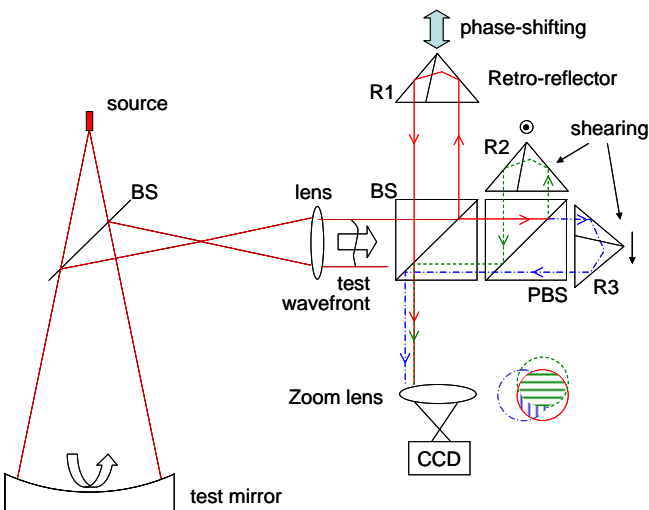


Fig. 1 Schematic diagram of the lateral shearing interferometer using retro-reflectors

층밀림 간섭계를 Fig. 1 과 같이 구성하고 역반사경

(retro-reflector)과 편광분리기(PBS)를 이용하여 수직, 수평 방향으로 층밀림 된 파면을 획득했다. 테스트 거울에서 반사되어 온 파면을 렌즈를 통해 평행광으로 만들고 이것을 층밀림 시스템에 입사시킨다. 입사된 테스트 파면은 광분리기(BS)에서 두 개로 갈라져 역반사경(retro-reflectors) R1 과 R2, R3 쪽으로 향하게 된다. R2, R3 쪽으로 향하는 광은 PBS를 통과시켜 R2 와 R3 로 가는 광이 서로 수직인 편광을 가지도록 하여 이들에서 반사된 광들 사이에 간섭이 일어나지 않도록 했다. R2 와 R3 를 각각 Fig. 1 에 표시된 방향으로 이동시켜 R1 에서 반사되어 온 파면에 대해 층밀림된 파면이 생성되도록 했다. R1 과 R2, R1 과 R3 에서 반사되어 온 광들이 서로 간섭을 일으켜 CCD에서 Fig. 1 과 같이 서로 수직된 간섭무늬를 획득할 수 있다. R1 에 PZT를 장착하여 위상천이를 통해 간섭무늬로부터 위상을 구하고, 구해진 두 개의 위상으로부터 Rimmer-Wyant 방법¹을 이용하여 원래의 파면을 복원할 수 있다. 광원으로는 파장이 633 nm 인 He-Ne 레이저를 사용했고 CCD는 640x480 의 흑백 카메라를 사용했다.

본 시스템을 이전에 제안되었던 방법들과 비교해 보면 Table 1 과 같다. 층밀림을 시키는 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 하나는 파면에 경사를 두어 층밀림이 되도록 하는 것으로 주로 격자(grating)¹나 췌기면(wedge plate)², 경사진 거울(tilted mirror)³을 이용한다. 다른 하나는 프리즘(prism)⁴이나 평행판(parallel plate)⁵을 이용하여 경사 없이 층밀림 시키는 방법이다. 경사진 파면을 이용할 경우 파면 복원시 파면의 경사를 고려해 주어야 하고 경사에 의해 파면의 크기가 약간 달라서 측정 결과에 영향을 미치게 된다. 프리즘과 평행판의 경우 경사를 고려할 필요가 없으므로 계산시 편리하지만 서로 수직된 파면을 획득하기 힘든 단점이 있다. 또 격자나 평행판은 층밀림 거리를 조절할 수 없다. 본 논문에서 제안된 방법의 경우 역반사경을 이용하여 파면의 경사가 없고 층밀림 거리를 쉽게 조절할 수 있으며 또한 서로 수직하게 층밀림 된 파면을 쉽게 획득할 수 있다. 하지만 역반사경의 모서리 부분에서 반사가 되지 않아 이것이 측정되는 간섭무늬에 영향을 미치나 측정결과 모서리 부분의 영향은 적은 것으로 확인되었다.

Table 1 Comparison of lateral shearing interferometers

| | Grating | Wedge plate | Tilted mirror | Prism | Parallel plate | Retro-reflector |
|--------------|---------|-------------|---------------|-------|----------------|-----------------|
| 파면 경사 없음 | X | X | X | O | O | O |
| 층밀림 거리 조절 | X | O | O | O | X | O |
| 수직, 수평 파면 획득 | O | O | O | Δ | Δ | O |

3. 측정결과

제안된 시스템을 평가하기 위해 직경이 50 mm 이고 곡률반경이 200 mm, 원뿔상수 K = -2 인 비구면 거울을 측정하고 널 렌즈를 이용하여 Fizeau 간섭계로 측정한 결과와 비교했다. 비구면이 심하기 때문에 널 렌즈를 사용하지 않을 경우 Fig. 2 와 같이 구면파에 곡률에 맞는 일부 영역에

서만 간섭무늬가 뜨고 나머지 부분에선 간섭무늬가 너무 촘촘하여 측정할 수가 없다.

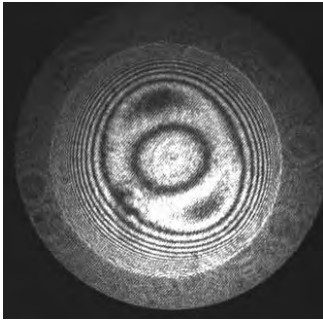


Fig. 2 Partial interferogram of aspheric surface using Fizeau interferometer without null lens

제안된 증밀립 간섭계로 획득한 간섭무늬는 Fig. 3에서 볼 수 있다. Fig. 3(a)는 R1, R2, R3에서 반사되어온 파면들이 증밀립이 없을 때 간섭무늬가 생기지 않는 것을 보여준다. 그림의 가는 선들은 역반사경에서 모서리 부분에 해당한다. Fig. 3(b)는 R2, R3를 이동시켜 두 개의 서로 수직된 간섭무늬를 한꺼번에 얻은 것이다. 각각 수평, 수직 방향으로 파면을 증밀립시켰을 때 획득되는 간섭무늬는 Fig. 3(c), (d)와 같다. 비구면이 심함에도 파면이 겹치는 영역에서는 간섭무늬가 획득 가능하고 Fig. 2의 간섭무늬에 비해 전 영역에서 들성한 간섭무늬를 얻을 수 있었다. PZT로 R1의 위치를 이동시키면서 4버킷 알고리즘을 써서 구한 위상들로부터 복원된 파면은 Fig. 3(e)와 같다. 이 파면은 비구면 거울의 수차에 해당하는 값이 된다. 비구면 거울에 수차가 전혀 없다면 간섭무늬도 생기지 않고 측정된 파면도 평면이 된다. Fig. 3(f)는 같은 비구면 거울을 널 렌즈를 사용하여 피조 간섭계를 통해 측정한 결과로 각 간섭계로 측정된 결과를 비교하면 주요 특징적인 부분들이 서로 닮았음을 볼 수 있다. 형태에 약간 차이가 나는 것은 측정값에 경사성분이 서로 차이가 나기 때문이다.

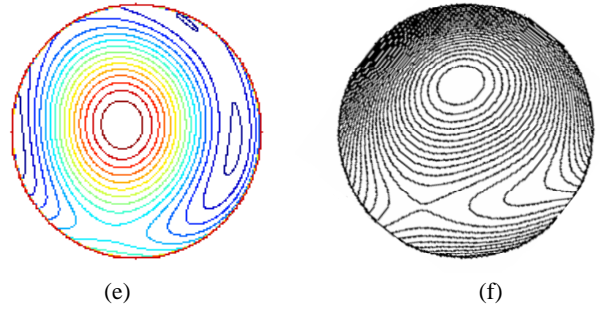
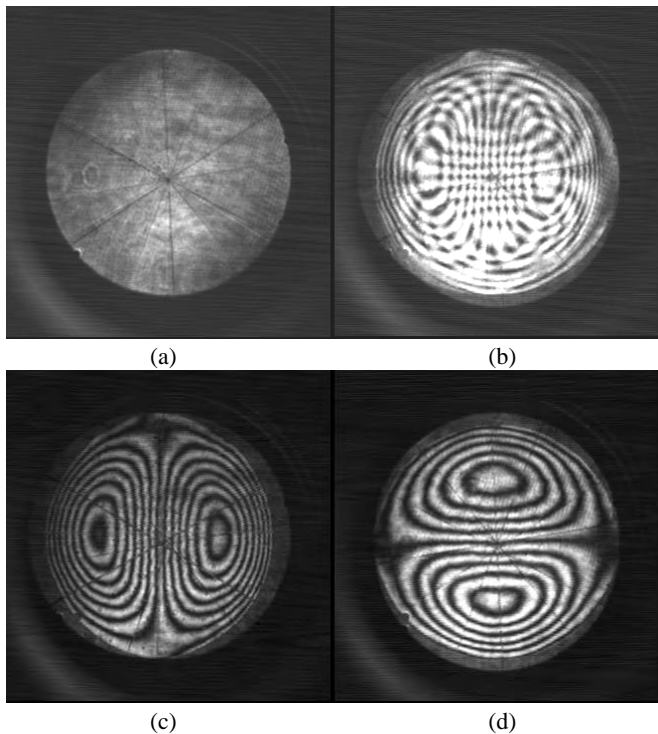


Fig. 3 Interferograms for aspheric surface using lateral shearing interferometer and its measuring result; (a) no shearing, (b) overlapped mutually orthogonal interferograms, (c) horizontal shearing, (d) vertical shearing, (e) measuring result by lateral shearing interferometer, (f) measuring result by Fizeau interferometer with null lens

증밀립 간섭계는 측정 물체에서 온 파면을 나눠서 사용하므로 외부 진동에 강인한 장점이 있으나 측정시 증밀립 거리를 정확히 알아야 한다. 본 실험을 통해 제안된 증밀립 간섭계가 비구면을 측정할 수 있음을 확인했다.

4. 결론

본 논문에서는 역반사경과 편광을 이용하여 경사가 없고 증밀립 거리가 조절 가능한 새로운 증밀립 간섭계를 제안했다. 실제 비구면을 측정하여 피조 간섭계로 측정된 결과와 비교하여 제안된 시스템이 비구면을 측정할 수 있음을 확인했다.

참고문헌

1. Rimmer, M. P. and Wyant, J. C., "Evaluation of Large Aberrations Using a Lateral-Shear Interferometer Having Variable Shear," *App. Opt.* **14**, 142-150, 1975
2. Lee, H., You, J. and Park, S., "Phase-shifting lateral shearing interferometer with two pairs of wedge plates," *Opt. Lett.* **28**, 2243-2245, 2003.
3. Siebert, T. and Schmitz, B., "A New Shearing Setup for Simultaneous Measurement of Two Shear Directions," *Proc. SPIE* **3637**, 225-230, 1999.
4. Kim, S. W., Cho, W. J. and Kim, B. C., "Lateral-shearing interferometer using square prisms for optical testing of aspheric lenses," *Meas. Sci. Technol.* **9**, 1129-1136, 1998.
5. Murty, M. V. R. K., "The Use of a Single Plane Parallel Plate as a Lateral Shearing Interferometer with a Visible Gas Laser Source," *Appl. Opt.* **3**, 531-534, 1964.