

피조 간섭계의 정밀도 개선에 관한 연구

Improvement of Phase Measuring Accuracy for Fizeau Interferometry

김학용, 김병창, 이혁교, 김승우
 한국과학기술원 기계공학과
 forgood@pem.kaist.ac.kr

작은 영역에서 고정밀도의 가공과 측정을 필요로 했던 과거와는 달리 점점 그 영역은 확대되고 있고 정밀도 또한 그에 못지 않게 높은 사양을 요구하고 있다. 노광 장비를 구성하는 많은 광학 렌즈와 미러의 경우 웨이퍼의 크기가 커지면서 영역은 넓어지고 광원의 파장이 짧아지면서 요구되는 형상오차가 더욱 엄밀해지고 있다. 인공위성에 설치되는 우주망원경의 렌즈와 미러도 그 영역이 갈수록 커지고 높은 형상 정밀도를 필요로 한다. 따라서 이러한 넓은 영역을 고정밀도로 측정할 수 있는 측정장비의 개발은 가공기술의 발달과 더불어 반드시 수반되어야 한다.

피조 간섭계⁽¹⁾는 대영역의 표면 형상 측정에 있어서 업계의 표준으로 알려져 있는 대표적인 측정 방법이다. 고가의 기준면이 필요한 단점이 있지만 광학계가 간단하기 때문에 구현이 용이하고 구면이나 평면, 그리고 약한 비구면의 측정 등에 호환이 가능하다. 현재는 측정영역을 확대해야 하는 필요성이

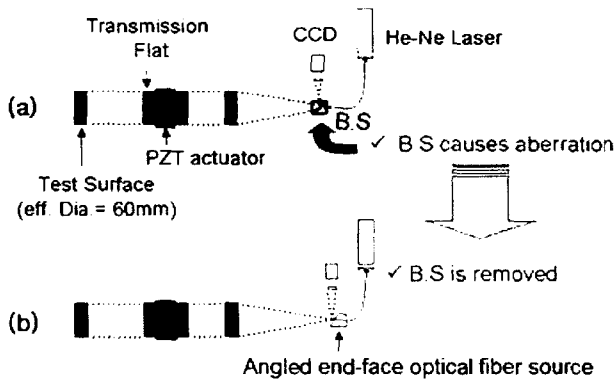


그림 1 (a) 평판측정용 피조 간섭계의 구성
 (b) 경사 단면 광섬유 광원을 이용한 피조 간섭계

대두됨에 따라 대영역을 정밀하게 측정할 수 있는 해결책으로 제시되고 있다. 그림 1 (a)는 평판 측정용 피조 간섭계의 구성을 보여주고 있다. 광원은 중심파장 632.8nm의 He-Ne 레이저이고 단일모드 광섬유를 연결해서 점광원으로 사용한다. 여기서 생긴 구면파는 광분할기(B.S)를 통과하고 콜리메이터에 의해서 평행광이 된다. 이 평행광은 기준평판(Transmission flat)에 의해 일부는 반사해서 기준파면을 만들고 나머지는 그대로 투과해서 측정면에 도달한다. 측정면에 의해서 반사된 광은 측정파면을 형성하게 되어 기준파면과 간섭을 일으키게 된다. 이 간섭무늬는 광분할기를 통해 CCD

로 관찰할 수 있다. 하지만 이 광분할기는 측정파면에 구면수차를 비롯한 여러 가지 수차를 유발하기 때문에 측정오차를 줄이기 위해서는 제거해야 한다. 그림 1 (b)는 광분할기를 제거한 경사 단면 광섬유 광원을 이용한 피조 간섭계의 구성을 보여주고 있다. 이 경사 단면 광섬유 광원의 앞단에는 반사코팅이 되어 있어서 광분할기의 역할을 대신한다. 광섬유의 코어의 굴절률과 클래딩의 굴절률이 거의 같을 경우에 광섬유의 끝단에서 광선이 나아가는 방향은 스넬이 법칙에 의해서 구할 수 있다.⁽²⁾ 본 연구에서는 광섬유의 단면 경사를 간섭계의 광축과 CCD의 광축이 서로 직교하도록 함으로써 간섭무늬의 관찰을 더

속 용이하게 했다. 경사 단면 광섬유 광원은 중심에 세라믹 페룰이 있고 간섭무늬 관찰을 위해서 경사면은 경면 가공되어 있다. 이 경사 단면 광섬유 광원을 피조 간섭계에 적용할 경우 구면파 광원이라는 가정을 하게 되는데 본 연구에서는 이를 실험적으로 검증할 수 있었다. 그림 2 (a)는 경사 단면 광섬유 광원의 파면을 측정하기 위한 PS/PDI(Phase Shifting/Point Diffraction Interferometer)⁽³⁾-형태의 간섭계의 구성을 보여주고 있다. He-Ne 레이저 광원은 커플러에 의해서 분기되고 한쪽은 위상천이를 위해서 튜브형 압전소자에 감겨있다. 두 광섬유는 각각 경사 단면 가공된 페룰과 경사가 없는 페룰에 의해 끝단이 고정되어있고 둘 사이의 간섭무늬는 바로 CCD로 관찰할 수 있다. 그림 2 (b)는 광원 부분을 확대한 모습을 보여준다.

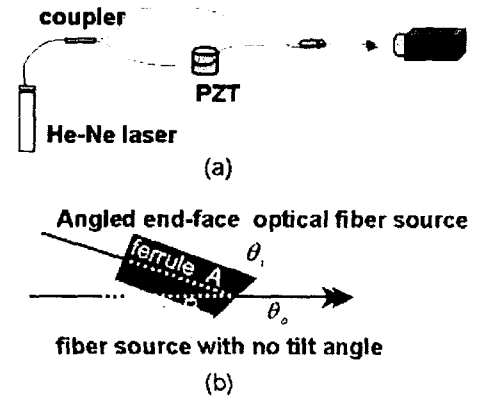


그림 2 경사 단면 광섬유 광원의 구면파 검증 실험

페룰 A는 끝단이 θ_1 의 각도로 경사 단면을 갖고 있으며 두 페룰은 광섬유의 광축이 최대한 접근할 수 있도록 가공되었다. 두 광원 즉 이상적인 구면파 광원과 경사 단면 광섬유 광원의 간섭무늬를 파면 복원함으로써 경사 단면 광섬유 광원의 구면파 정도를 알아낼 수 있는 것이다. 이러한 간섭방식은 두 광축이 서로 일치하지 않기 때문에 이상적인 구면파라고 해도 간섭무늬로부터 파면을 복원하게되면 기하학적인 기울기(tilt)성분과 코마(coma)수차가 크게 나타난다. 하지만 이러한 기하학적인 수차성분들은 이론적으로 예측할 수 있고 Zernike 다항식의 계수에서 이러한 성분들을 제거하면 원하는 파면정보만을 얻을 수 있게 된다.⁽³⁾ 구면파 검증 실험결과 경사 단면 광섬유 광원은 0.005λ 보다 훨씬 작은 정도로 구면파의 정도를 보장할 수 있었다.

위의 광분할기를 제거한 경사 단면 광섬유 광원을 이용한 피조 간섭계와 기존의 피조 간섭계의 측정결과를 비교한 것은 그림 3과 같다. 측정시편은 직경 60mm의 반사도가 4%인 평판유리로서 첫 번째 가로축은 기존의 피조 간섭계로부터 얻은 결과이고 두 번째 가로축은 광분할기를 제거한 경사 단면 광섬유를 이용한 피조 간섭계로 측정된 결과이다. PV 값의 경우 대략 26%정도 낮아진 것을 볼 수 있는데 이것은 광분할기에 의한 원인이라고 볼 수 있다.

	Interferogram	Reconstructed wavefront	P V & RMS
Original Setup (with BS)			PV : $0.329 \mu\text{m} \pm 0.00529$ RMS : $0.0785 \mu\text{m} \pm 0.00113$
Revised Setup (without BS)			PV : $0.261 \mu\text{m} \pm 0.0216$ RMS : $0.0586 \mu\text{m} \pm 0.00701$

그림 3 기존의 피조 간섭계와 경사 단면 광섬유를 이용한 피조 간섭계의 측정결과

참고문헌

1. Daniel Malacara, *Optical Shop Testing 2nd ed*, John Wiley Sons, Inc. (1992).
2. W. J. Smith, *Modern Optical Engineering*, McGraw-Hill, New York (1966).
3. Patrick P. Naulleau, Kenneth A. Goldberg, "Extreme-ultraviolet phase-shifting point-diffraction interferometer: a wave-front metrology tool with subangstrom reference-wave accuracy," *Appl. Opt.* **38**(35), 7252(1999).