

고정밀 광학계 측정을 위한 점회절 간섭계의 특성 연구

이경희, 최영욱
한국전기연구원

Characteristics of Point-diffraction interferometer for certification of high-precision optical system

Kyeong-Hee Lee, Young-Wook Choi
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - The use of conventional Twyman and Fizeau interferometers inevitably fails in testing high precision optics because of errors always existing in reference elements producing the reference wavefront. Therefore it is necessary to apply to this task the interferometers of a radically new type, which are able to produce perfect reference wavefront with the help of light diffraction by a small obstacle or pinhole. In this paper new theoretical approaches and schematics of point diffraction interferometers are considered in detail with paying attention to constructive reliability. Such interferometers do not use reference optical surfaces and readily provide adequate estimation of errors and aberrations value of 0.01 wavelengths.

진 시험 장치 및 부품의 불충분한 감응도를 가지며, 이러한 오차로 인하여 시험체에 대한 측정의 정확성, 신뢰도, 생산성, 시험의 효율성 등이 떨어진다.
이러한 문제를 개선하기 위하여 편홀에서 발생하는 구면파를 기준 파면으로 활용하는 간섭계에 대한 연구가 Linnik 등[1][2]에 의하여 시도되었다.(그림2)

1. 서 론

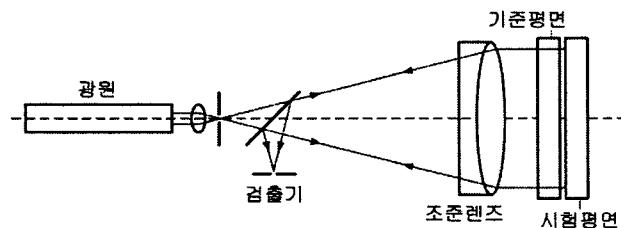
기술의 발전으로 인하여 광학 및 전자 장비의 고 정밀화나 고 집적화 등이 급속하게 이루어지고 있고, 특히 나노기술의 발달로 인하여 초정밀 광학 부품의 수요가 크게 증대되고 있다. 이러한 초정밀 광학부품의 제작을 위해서는 그에 따른 측정 장비의 오차도 증가하여야 하는데, 일반적으로 측정 장비의 오차는 광학부품에서 요구되는 오차한계의 1/10 이하의 정밀도가 요구된다. 현재 상품화 되고 있는 간섭계의 경우 대부분 가공된 기준면에서 반사 혹은 투과 될 때 발생하는 평면 혹은 구면파를 기준파면으로 사용하는데, 이 때 사용된 기준면은 가공 시 발생하는 잔재 오차(약 1/20파장)를 가지고 있다. 이러한 잔재오차는 결국 간섭계의 정밀도를 제한하게 되므로 정밀 부품에 대한 측정값의 신뢰도가 떨어진다.

본 논문에서는 기존 간섭계의 한계를 극복하기 위하여 편홀에서 발생하는 구면파를 기준파면으로 이용하여 기존의 간섭계와 달리 잔재 오차를 포함하지 않는 점회절 간섭계의 특성에 대한 연구를 수행하였다.

2. 본 론

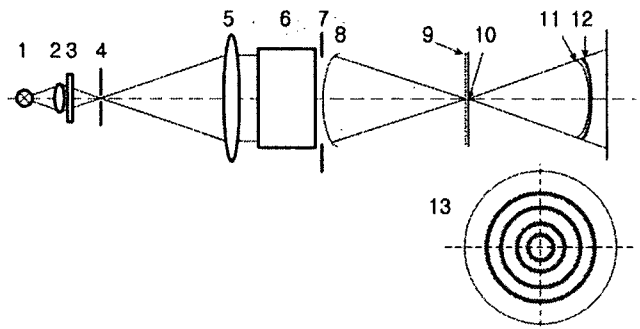
2.1 기존 간섭계의 문제점

현재 광학부품의 표면 지형 측정을 위한 간섭계로는 다양한 종류가 있지만, 고 정밀 광학부품을 측정하기 위한 간섭계로는 피조 간섭계가 널리 알려져 있으며, 현재 가장 널리 사용되고 있는 간섭계이다.



〈그림 1〉 피조(Fizeau) 간섭계 개략도

피조 간섭계의 경우 정밀한 광학시스템의 특성 실험을 위하여 많이 사용되고 있지만, 기준면에서 발생하는 파면을 이용하기 때문에 기준면의 잔재오차로 인한 측정오차가 포함되어 높은 정밀도를 가



〈그림 2〉 Linnik 회절 간섭계의 개략도

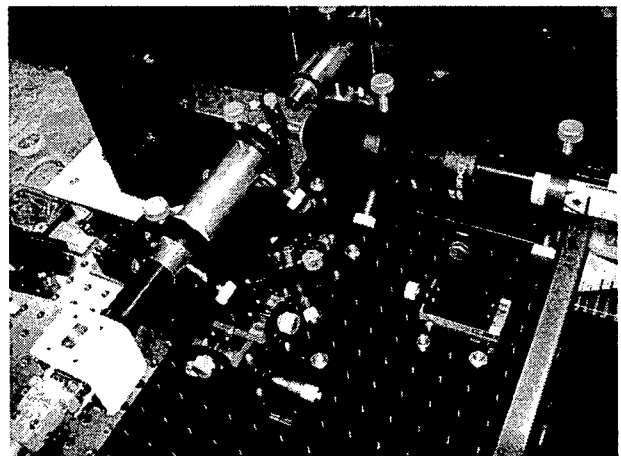
1- light source, 2,3,4- illumination system, 5-collimator, 6-tested system, 7-exit pupil, 8 and 12-working wavefront, 9-semi-transparent coating, 10-pinhole, 11-reference wavefront, 13-fringe pattern.

Linnik 간섭계의 경우 구조적으로 간단하며, 회절된 구면파를 기준 파로 사용하기 때문에 높은 정밀도를 가지지만, 회절광원과 물체파면의 강도 조절에 대한 어려움이 있다.

2.2 점회절 간섭계의 설계 및 제작

기존 간섭계와 Linnik 간섭계의 한계를 극복하기 위하여, 다음과 같은 조건을 가지는 회절 간섭계를 설계하여 제작하였으며, 그림 3과 같은 구조를 가진다.

- 1) 기준파면으로 편홀에서 발생하는 회절광을 사용하였다. 회절광은 가공 면에서 발생하는 잔재 오차를 포함하지 않는 완전한 구면파이기 때문에 기존 간섭계와 같은 잔재오차를 내포하지 않는다.



〈그림 3〉 제작된 점회절 간섭계

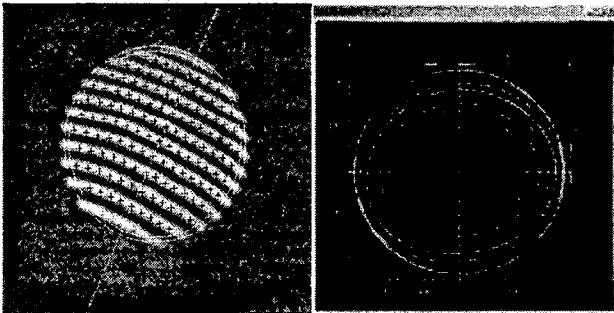
- 2) 측정파에 대한 광축과 기준파에 대한 광축을 90도로 배열되게 하였으며, 기준파면과 측정파면을 각각 독립적으로 발생시킴으로 두 파면간의 contrast 차이를 최소화 시켰음.
- 3) auto collimating etalon의 거울면을 피에조 소자에 고정시키고, 압전소자 조절회로에 의하여 광축에 따라 평면거울의 왕복운동을 제어하여 시준기의 초점이 핀홀의 구경에 맞도록 자동 조절한다.
- 4) 발생하는 간섭상은 CCD 카메라로 기록되며, 영상신호는 간섭 무늬 중앙 측정 회로를 통하여 모니터로 연결된다.
- 5) CCD 카메라를 통하여 기록된 영상신호는 전자신호 분석회로를 통하여 발생한 정현파(sine wave)의 위상차이를 전압차이로 변환하여 압전소자 조절회로로 피드백 시킨다.

2.3 간섭계 특성 실험

핀홀에서 발생하는 회절 구면파의 profile 특성에 대한 연구를 수행하기 위하여, 140nm 및 340nm의 핀홀 크기에 대하여 실험을 수행하였으며, 두 파장에서 모두 이상적인 profile을 가지는 것을 볼 수 있었으며, 이 때 회절되는 파면의 벡터성분은 다음과 같은 수식을 가졌을 때에 대한 성분별 intensity profile에 대한 연구를 수행하였으며, diffraction field에서의 분포를 다음과 같은 벡터식으로 나타낼 수 있었으며, 완전한 구면파를 나타냄을 알 수 있었다.

$$E^{(e)} = \begin{pmatrix} E_x^{(e)} \\ E_y^{(e)} \\ E_z^{(e)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \mathcal{F}_z^{(e)} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{pmatrix}, \quad H^{(e)} = \begin{pmatrix} H_x^{(e)} \\ H_y^{(e)} \\ H_z^{(e)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{i\omega\mu} \left(\frac{\partial^2 f_z^{(e)}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f_z^{(e)}}{\partial z^2} \right) \\ -\frac{1}{i\omega\mu} \frac{\partial^2 f_z^{(e)}}{\partial x \partial y} \\ -\frac{1}{i\omega\mu} \frac{\partial^2 f_z^{(e)}}{\partial x \partial z} \end{pmatrix},$$

간섭계의 특성을 측정하기 위하여 광학부품 중 concave mirror를 이용하여 간섭상 측정 실험을 수행하였으며, 얻어진 간섭상은 그림 4와 같다.



〈그림 4〉 Concave mirror를 이용하여 측정된 간섭상



〈그림 5〉 비구면 거울에서 측정된 간섭상

측정된 간섭상은 잔재 오차를 포함하지 않는 완전한 구면파를 사용하였기 때문에 기준파로부터 발생하는 오차를 포함하지 않기 때문에 간섭상에 나타나는 오차는 시준체로부터 발생하는 오차만을 포함하며, 따라서 CCD 영상의 분석을 통하여 절대적인 오차를 측정할 수 있었으며, 측정 오차를 1/100파장 이하로 크게 낮출 수 있었다. 또한, 측정파와 기준파의 광축을 독립적으로 배열함으로써 측정체의 구경이 제한되지 않으며, 기준파는 광원에서 발생하는 회절파를, 기준파는 시준장치로부터 발생하는 회절파를 사용함으로써 각 파면의 독립성이 유지되며 간섭상의 선명도를 향상시킬 수 있었다.

간섭상 중심 측정 회로로부터 발생하는 전압의 피드백을 통하여 조절되는 피에조 소자를 사용하여 시준장치의 초점 조절을 하는 자동 시준장치를 사용함으로써 측정시 발생하는 미세 진동 등 오차 발생 요인을 실시간 제어할 수 있도록 함으로써 측정의 신뢰성을 향상시킬 수 있었다. 또한 그림5에서 측정된 간섭상과 같이 비구면거울을 이용하여 측정된 간섭상에 대한 실험을 수행하였으며, 이 때 얻어진 간섭상을 통하여 비구면 거울면에 대한 표면 특성에 대한 측정도 가능함을 확인하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 정밀 광학계의 측정을 위한 점회절 간섭계에 대한 연구를 수행하였다. 기준파면으로 사용된 회절 구면파의 특성 분석을 통하여 이상적인 구면파형을 가지는 것을 확인하였으며, 이를 이용한 간섭상 측정 실험에서 선명한 간섭무늬를 얻었으며, 간섭무늬의 분석을 통하여 1/100파장 이하의 정밀도를 가지는 것을 확인할 수 있었으며, 비구면 광학면에 대한 측정이 가능함을 확인하였다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] Kirillovsky V.K., Anitropova I.L. Ivanova T.A. *Synthesis of methods and equipment for testing optical systems* (IFMO, Leningrad, 1990 (in Russian)).
- [2] Kirillovsky V.K. Petruchenko I. R. *Diffraction interferometers* (IFMO, St.-Petersburg, 1990 (in Russian)).
- [3] C. J. Bouwkamp, "Diffraction theory", *Rep. Prog. Phys.* 17, pp. 35-100, 1954.
- [4] S. Seebacher, W. Osten, W. Jptner, V.P. Veiko, N.B. Voznesenski, "Determination of geometric properties of SNOM tips by means of combined far-field and near-field evaluation", *Proc. SPIE*, 3740, pp.312-322, 1999.
- [5] S. Seebacher, W. Osten, V.P. Veiko, N.B. Voznesenski, "Inspection of nano-sized SNOM-tips by optical far-field evaluation", *Optics and Lasers in Engineering/ ELSEVIER*, 36, pp. 451-473, 2001.