

## 이차미분법을 이용한 형상측정

### Profile measurement based on second derivative method

김병창<sup>+</sup>, 권용관\*, 김세현\*, 허은창\*

<sup>+</sup>경남대학교 기계자동화공학부, \*경남대학교 기계자동화공학부 대학원

이윤우\*\*

\*\*한국표준과학연구원 우주광학연구단

<sup>+</sup>bckim@kyungnam.ac.kr(주저자)

고정밀 광학식 표면 형상 측정은 현재와 미래 산업 발전의 방향을 바꾸어 놓을 사안으로 대두되고 있는데 이는 국내 경제 기반이 되는 반도체 사업, 대형 디스플레이 사업, 카메라, 통신 및 우주개발 사업 등 광범위한 분야의 기반기술로 자리 잡고 있기 때문이다. 광학식 표면 형상 측정의 난이도는 측정 대상의 형상 종류, 대상물의 크기, 측정 정밀도 세 부분으로 나누어 접근을 하여야 한다. 기존 형상 측정법에 근거하면 대상물의 크기와 측정 정밀도는 상호 배타적 관계를 가지고 있어, 넓은 대상물을 높은 정밀도로 측정하는 것이 불가능한 것으로 여겨져 왔다. 하지만 최근 산업계에서 개발되는 광학식 표면은 제품의 대형화, 고기능성, 고정밀성 추구에 따라 넓고 복잡한 형상을 높은 측정 정밀로 측정하는 방법들을 요구하고 있다. 특히 광학식 표면의 복잡성은 평면, 구면, 비구면, 자유곡면의 형태로 진화하며 제품의 단순성과 고부가가치를 증가시키고 있으나, 측정 방법이 보조를 맞추지 못하고 있는 실정이다.

빛의 가간섭성을 이용한 레이저 간섭계는 시준(Collimated)된 광을 넓게 확장시킴으로써 넓은 평면 또는 구면 광학식 표면의 형상을 고정밀로 측정하는 일반적인 방법으로 자리매김을 하고 있는데, 이는 간섭계 내에 잘 가공된 평면 또는 구면 기준면이 있어 측정면의 형상과 상호 비교측정 함으로서 가능하게 한다. 하지만 비구면, 자유곡면의 경우 기준면 생성이 불가능하며, 설령 기준면을 마련하더라도 다양한 광학식 표면에 대한 범용적인 기준(universal reference)을 마련하기는 불가능하다. 따라서 기존의 측정법을 응용한 다양한 측정 방법들이 제안되어져 시도되어지고 있다. 이들 방법 중 하나가 일련의 국부영역의 2차미분값인 곡률(Curvature)을 획득하고, 이로부터 피측정물의 전체형상을 복원하는 방법이다. 이 측정법은 기하학적 관점에서 상당한 장점을 가지고 있어 비구면 또는 자유곡면 형상 측정에 있어 나노미터 측정 정밀도 구현을 위한 대안으로 떠오르고 있다.

기존 간섭계를 이용해 자유곡면형상을 측정하기 위해서는 측정과 해석이 가능한 국부영역으로부터 형상(Profile), 일차미분값(Slope) 또는 이차미분값(Curvature) 등을 획득하여 전체를 복원하는 기술이 요구된다. 첫째, 국부형상(0차미분값)을 이용하는 경우 이를 subaperture-stitching법이라 하며, 외부 절대 기준점(Metrology frame)에 대한 상대 거리 좌표로 측정된 국부형상들을 통합하여 표현한다. 이때 최종적으로 측정 복원된 결과는 그림1(a)와 같이 측정 구동부의 진직도, 회전, 광축정렬 등의 오차에 비례하게 된다. 둘째, 형상의 기울기(1차미분값)를 이용할 경우, 전체 형상 복원에 있어 외부 절대기준의 필요성은 사라지지만 그림1(b)와 같이 여전히 구동부의 정렬(Tilt-Tip)에 영향을 받는다. 셋째, 국부형상의 곡률값(2차미분값)을 획득하는 방법으로 2차미분값은 측정물 형상 고유의 성질(intrinsic property)이며 절대 기준과 측정 시스템 간에 발생하는 중요 시스템 오차들에

대해 독립성을 유지한다. 즉 그림1(c)와 같이 국부영역의 곡률값은 측정기의 자세나 위치에 상관없이 항상 일정하게 유지된다. 이러한 기학적인 개념은 Glenn에 의해 처음으로 형상측정에 시도되었으며<sup>1</sup>, 그 이후 비구면 거울의 형상 측정을 시도했던 PTB(Physikalisch-Technische Bundesanstalt)에서 LACS(Large Area Curvature Sensor)로 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서는 GEMM(GEometry Measuring Machine)<sup>2</sup>으로 구체화 되어졌다.

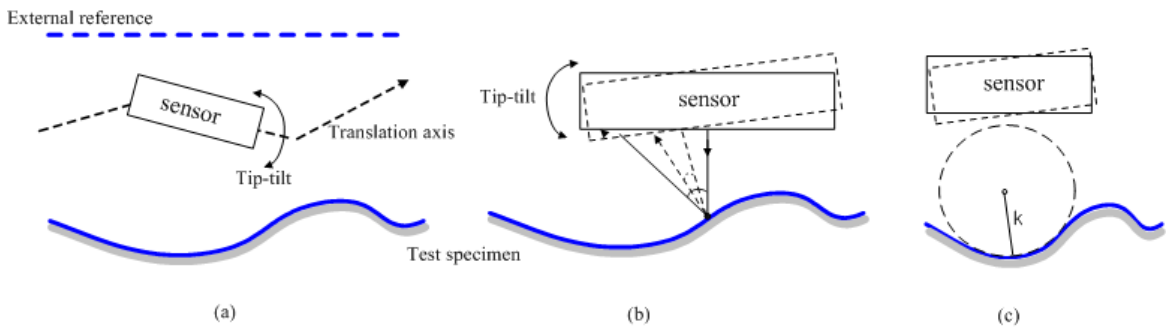


그림1. 복잡한 형상을 측정하기 위한 측정 방법 (a) 국부형상의 0차미분값 (b) 1차미분값 (c) 2차미분값

국부형상을 측정함으로써 측정물 전체 형상을 복원하는 일반적인 방법에서는 프로브의 이동이 필요하며, 이에 따른 구동부의 기계적 위치오차는 아베오차, 코사인 오차 등 다양한 형태로 발생하고 이는 전체 복원형상 정밀도에 영향을 미친다. 국부형상의 2차미분값을 이용하여 형상을 복원하는 방법을 사용하였을 경우 그림2와 같이 최대 20  $\mu\text{m}$  위치오차에 대해 최대 형상 복원오차는 0.35nm임을 알 수 있다. 따라서 2차미분값을 이용하는 형상복원법은 프로브의 자세, 진직도, 회전 뿐만 아니라 구동부의 위치오차에 대해서도 우수성을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

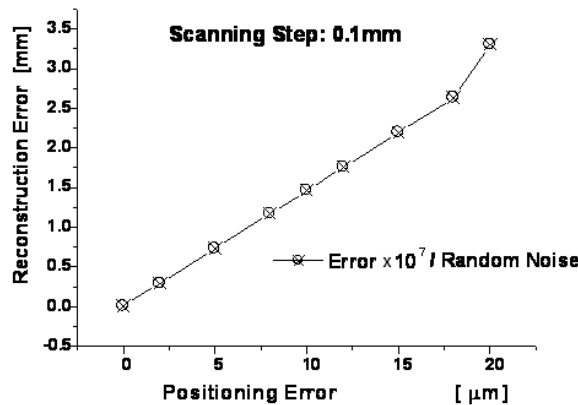


그림2. 구동부의 위치오차에 따른 복원오차

[1] P.E. Glenn, "Angstrom level profilometry for submillimeter to meter scale surface errors," Advanced Optical Manufacturing and Testing, Proc. SPIE 1333, pp.326, 1990.  
 [2] Byoung.C.Kim, Thomas Saiag, Quandou Wang, Johannes Soons, Robert S.Polvani, and Ulf Griesmann, "The Geometry Measuring Machine(GEMM) Project at NIST,"ASPE 2004 Winter Topical Meeting on Free-Form Optics: Design, Fabrication, Metrology, Assembly, pp.108, 2004.