

표면 형상측정을 위한 큰 등가파장 회절격자 간섭계

황대준*, 이혁교*, 김승우,

*한국과학기술원 대학원, 한국과학기술원

*muto@kaist.ac.kr

표면 형상측정은 산업계에서 요구되는 고부가가치 기계부품들의 표면 정보의 확보와 향상에 반드시 필요하다. 이는 정밀부품의 정상적인 기능 수행에 대한 판별과 예측에 중요한 위치를 차지한다. 광원파장의 1/4 이상의 단차를 측정할 수 없는 기존의 간섭계는 이러한 큰 단차와 거친 표면을 가지고 있는 기계가공된 표면들을 측정하는데 어려움이 있다.

이러한 표면들을 넓은 영역에서 정확하고 빠르게 측정하기 위하여 큰 등가파장 간섭계에 대한 연구가 이루어져 왔다. 이는 기존의 간섭계와는 달리 광원의 파장을 그대로 이용하지 않고, 광을 물체표면에 경사지게 조사함으로써 보다 큰 등가파장(equivalent wavelength)을 만들어 측정하는 방법이다. N. Abramson이 제시한 간섭계는 프리즘을 이용하여 하나의 광을 물체표면에 경사조사하여 큰 등가파장을 얻는 대표적인 간섭계이다⁽¹⁾. 그러나, 큰 등가파장을 얻기 위해 깊은 각으로 조사해야 하는 단점이 있으므로, P. J. de Groot은 두 개의 회절격자를 이용해서, 두 개의 광이 물체표면에 각각 다른 각으로 조사하는 간섭계를 제시하였다⁽²⁾. 이는 깊은 입사각을 사용하지 않고 큰 등가파장을 얻을 수 있다는 장점을 가진다. 그러나, 투과위상회절격자를 나란히 장치하여 불필요한 광이 많고, 간섭을 일으키는 광들이 회절격자를 여러 번 통과하여서 그로 인한 시스템 오차가 크다는 단점이 있다.

두 개의 광이 각기 다른 각으로 측정물체에 입사할 경우, 그 간섭무늬의 등가파장은 광원의 파장보다 수 오더 큰 값이다⁽³⁾.

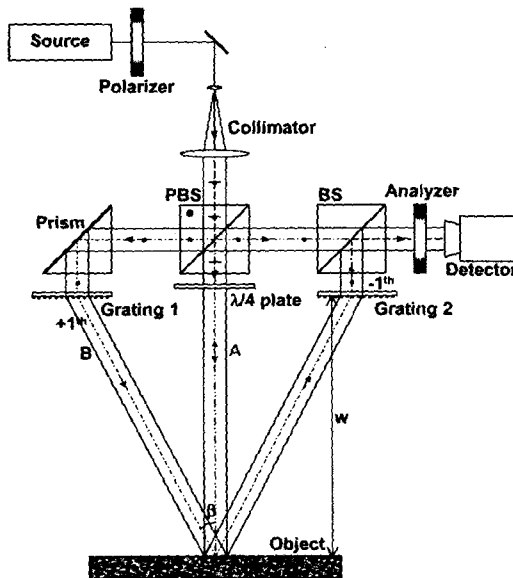


그림 1 큰 등가파장 회절격자 간섭계

광이 회절격자에 조사되면 수많은 회절성분들이 존재한다. 이 중, 측정에 사용되는 광을

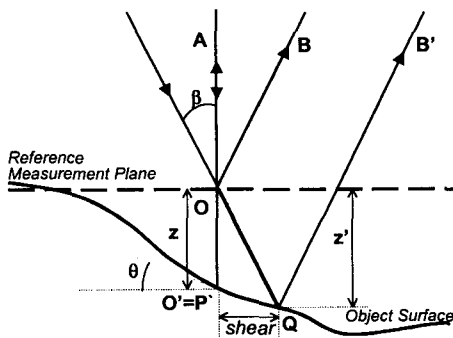
$$\Lambda = \frac{\lambda}{\cos \alpha - \cos \beta} \quad [1]$$

그림 1은 본 논문에서 제안한 간섭계를 나타낸다. 측정영역에 걸쳐 두 개의 광이 물체표면에 각각 다른 각으로 조사할 수 있도록 동일한 두 회절격자를 사용하였다. 광 A는 물체표면에 입사각 0° 로 조사되고, 광 B는 회절격자 1의 +1차 회절각으로 조사된다. Prism, PBS, BS는 광을 나누고 합쳐서 간섭무늬를 만들기 위해 사용하였다. 이것은 광이 회절격자를 투과하는 회수를 줄여 회절격자의 형상으로 인한 시스템오차를 줄이고, 불필요한 회절성분이 간섭무늬에 영향을 미치지 않도록 하기 위함이다.

제외한 나머지 성분들과 반사회절성분들은 간섭무늬에 배경광이나, 불필요한 간섭 등의 영향을 미칠 수 있다. 제시한 간섭계에서 대부분의 불필요한 투과회절성분은 자연스럽게 제거되거나 반사회절성분 중 회절격자 1에서의 0차 성분은 CCD로 향할 수 있으므로, PBS를 설치하여 회절격자 1에서 반사하는 성분이 PBS에서 다시 반사하여 광원으로 향하도록 설계하였다.

간섭계에서 넓은 영역에 걸쳐서 광 A와 광 B가 층밀림(shear)없이 정확히 한 점에서 만나는 임의의 평면을 기준측정평면(reference measurement plane)이라 정의한다. 이는 회절격자로부터 작동거리(w)의 위치에 평행하게 위치한다. 그러나, 회절격자의 형상이 정확한 평면이 아니므로 기준측정평면의 형상 역시 정확한 평면이 아니다. 그러므로, 측정형상은 회절격자의 형상으로 인한 시스템오차가 포함되므로 제거해야 한다.

기준측정평면의 위치에 측정대상의 표면을 설치하고, 그 사이의 상대적인 거리를 측정하여 물체표면의 형상을 얻을 수 있다. 그러나, 물체표면과 기준측정평면과의 간격이 크다면, 층밀림 역시 커져서 같은 점에 입사하지 못하고, 그림 2와 같이 다른 두 점 P, Q에서 반사하게 된다.⁽⁴⁾ P와 Q의 높이 차이가 있다면, 등가파장은 다음과 같이 변한다.



$$\Lambda = \frac{\lambda}{1 - \cos \beta} \left\{ 1 + \frac{\cos \beta \tan \beta \tan \theta}{1 - \cos \beta - \tan \beta \tan \theta} \right\} \quad [2]$$

그림 2 물체형상에 따른 등가파장의 변화

본 논문은 이러한 오차를 보정하기 위해 다음과 같은 등가파장보정(equivalent wavelength calibration)을 제시한다. 만약 정확히 기준측정평면의 위치와 형상을 알 수 있다면, 다음과 같은 보정과정을 수행함으로써 각 측정점의 새로운 등가파장을 알아 낼 수 있다. 먼저, 이론적인 등가파장으로 형상을 얻은 후, 층밀림이 일어나는 방향으로 미분을 취해서 θ 값을 알아낸다. 이를 다시 식 [2]에 적용하여 새로운 등가파장을 얻어낸다. 새로운 등가파장으로 다시 형상을 얻은 후, 이 과정을 반복하여 수렴하는 값을 그 점의 등가파장으로 취한다.

제시한 간섭계는 일반적인 간섭계가 측정하기 힘들었던, 넓은 영역의 기계가공된 면을 측정할 수 있다. 보다 정확한 결과를 위해서, 물체표면이나 회절격자를 이송하여 위상천이기법을 도입할 수도 있다. 그리고, 큰 작동거리를 가지고 있으며, 불필요한 회절광으로 인한 오차요인이 적고, 광학계 정렬이 쉽다는 장점들을 가지고 있다.

참고문헌

1. Nils Abramson, "The interferoscope : a new type of interferometer with variable fringe separation," *Optik*, **30**, 56-71 (1969).
2. P. J. de Groot, "Grating interferometer for flatness testing," *Optics Letters*, **21**(3) 228-230 (1996)
3. G. Makosch, "Method and means for interferometric surface topography," U.S. patent 4,498,771 (Feb. 12, 1985).
4. X. C. de Lega et al., "Characterization of a geometrically desensitized interferometer for flatness testing," *SPIE* 3520, 284-292 (1998)