

거친 표면 형상측정을 위한 큰 등가파장 회절격자 간섭계

황태준 · 김승우[†]

한국과학기술원 기계공학과 BUPE연구단

⊕ 306-701 대전광역시 유성구 구성동 373-1번지

(2003년 8월 4일 받음, 2003년 12월 29일 수정본 받음)

거친 표면의 형상을 측정하기 위해서 큰 등가파장 회절격자간섭계를 구성하였다. 제안된 시스템은 두 개의 투과회절격자를 사용해서 두 광을 측정물체에 각각 다른 각으로 경사지게 입사시켜서, 그 입사각에 따른 큰 등가파장의 간섭무늬를 얻는다. 이런 등가파장 간섭계는 기존의 광학 간섭계보다 넓은 영역에 걸쳐서 거친 표면을 빠른 시간에 측정할 수 있다. 제안된 시스템은 편광광속분할기와, 광속분할기, 프리즘을 사용해서, 불필요한 광을 제거하는 부분을 설계하여, 회절격자의 불필요한 회절광을 최소화하고, 회절격자의 형상으로 인한 시스템 오차를 줄였다. 뿐만 아니라, 큰 작동거리를 가지며 정렬이 쉽다. 측정 정밀도를 향상시키기 위하여 위상편이법을 도입하였고, 등가파장보정법을 제안하였다. 실험을 통해서 측정시스템을 평가해보았다. 주제어 : interferometry, diffraction grating, phase-shifting.

I. 서 론

표면 형상측정은 산업계에서 요구되는 고부가가치 기계부품들의 표면 정보의 확보와 향상에 반드시 필요하고, 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.

기계가공된 표면들을 넓은 영역에서 정확하고 빠르게 측정하기 위하여 큰 등가파장(equivalent wavelength) 간섭계에 대한 연구가 이루어져 왔다. 등가파장간섭계는 기존의 간섭계와는 달리, 간섭무늬의 주기가 광원의 파장에 관련되어 있지 않고 특정한 등가파장에 관련되어 있는 간섭계를 의미한다. 광원의 파장은 레이저의 경우, 수백 nm로 그보다 큰 단차를 가지고 있는 표면을 측정하기에는 상대적으로 작은 값이다. 여기서 소개하는 등가파장간섭계는 광원의 파장을 그대로 이용하지 않고, 광을 물체표면에 경사지게 조사함으로써 보다 큰 등가파장을 만들어 측정하는 방법을 이용한다.

광을 측정면에 경사지게 조사하여 큰 등가파장을 얻는 간섭계는 1969년에 Nils Abramson에 의해 처음 제안되었다.^[1] 프리즘을 이용하여 광을 80° 이상의 큰 경사각으로 물체표면에 조사하여 광원의 파장보다 6배 이상 큰 등가파장으로 측정한다. 프리즘 대신 두 개의 회절격자를 사용한 대표적인 등가파장간섭계로 K.G. Birch가 설계한 깊은 경사조사 간섭계가 있다.^[2] 길고, 좁은 폭의 물체를 측정하는데 적합한, 이 간섭계의 등가파장은 회절격자의 파장, 즉 격자들의 간격과 일치한다. 등가파장이 광원과 무관하게 격자주기의 함수로 정확히 정해지는 장점을 가지고 있지만, 광을 큰 경사로 입사하므로

경사가 커질수록 측정면의 복잡한 형상들에 광이 정확히 조사되지 못하고, 결상하기 어려운 단점이 있다. 특히 쪽 들어간 곳이 있는 표면은 깊은 경사로 조사할 경우 측정이 불가능하다.

깊은 경사각으로 물체표면에 조사하지 않고 큰 등가파장을 얻을 수 있는 방법이 1996년에 P. J. de Groot에 의해 제시되었다.^[3] 두 개의 회절격자를 이용하여 두 개의 광을 각기 다른 각으로 측정물체에 입사하면 그 간섭무늬의 등가파장은 광원의 파장보다 수 오더 큰 값이다. 큰 등가파장 간섭계는 큰 단차의 평면을 손쉽게 측정할 뿐 아니라, 큰 작동거리를 가지고 있다는 장점이 있다. 그러나, 투과위상격자를 두 개 나란히 사용해서 불필요한 투과회절성분들과 반사회절성분들이 많이 발생하고, 이러한 불필요한 회절성분들은 간섭무늬를 훼손시킬 수 있다. 또한, 간섭을 일으키는 두 개의 광이 회절격자를 여러 번 통과하여서 회절격자의 형상으로 인한 시스템 오차가 크다는 단점도 존재한다.

본 연구에서는 이러한 큰 등가파장간섭계를 구현하고, 제시되었던 문제를 해결하기 위한 새로운 간섭계를 제안하고자 한다. 세부적으로는 기존의 경사조사 간섭계의 측정방식을 유지하면서, 불필요한 회절광들을 줄이고, 상대적으로 작은 시스템 오차를 갖도록 하는데 목적을 두었다. 간섭계를 설계하고 제작한 후 측정을 수행하고 회절격자를 이송하는 방식으로 위상편이법을 적용한다.

II. 간섭계의 원리 및 설계

그림 1은 이러한 간섭계에서 큰 등가파장을 얻는 기본적인 원리를 나타낸다. 그림 1(a)는 측정광이 물체표면에 수직으로 조사되는 일반적인 간섭계의 경우로서, 측정물체가 위치 I에서 위치 II로 높이 z만큼 변한다면, 두 광 A_I와 A_{II} 사이에 발생

[†]E-mail: swk@kaist.ac.kr

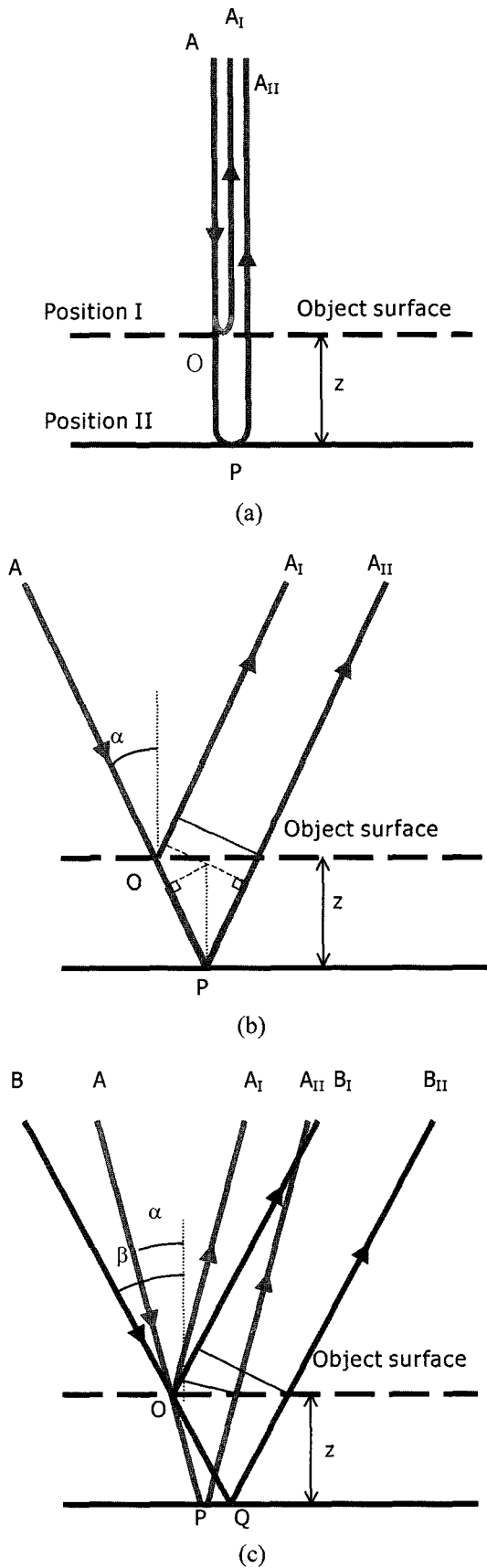


그림 1. 등가파장간섭계에서의 광경로차; (a) 수직조사간섭계, (b) 경사조사 간섭계 (c) 두 측정광 경사조사 간섭계.

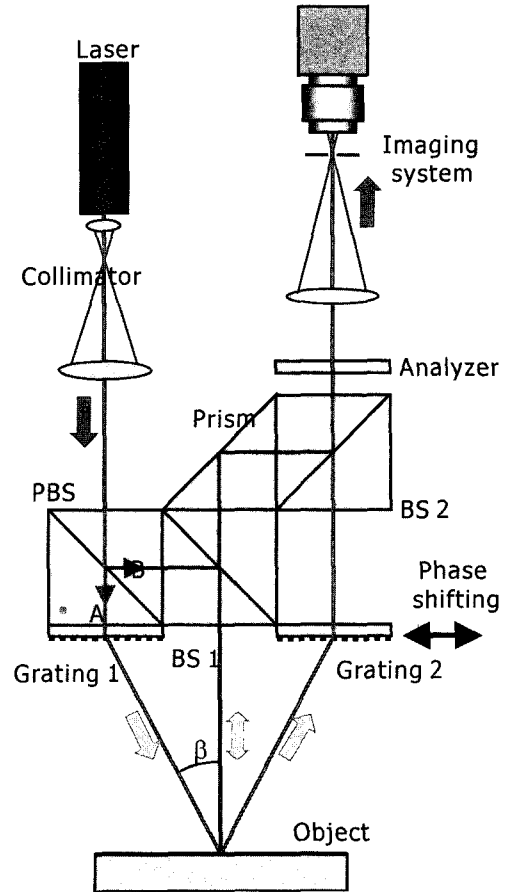


그림 2. 큰 등가파장 회절격자 간섭계.

하는 광경로차는 높이의 두 배가 된다. 그림 1(b)에 나타난 것은 하나의 광을 물체표면에 각 α 로 경사지게 조사하는 경우로써, 발생하는 광경로차는 $2z\cos\alpha$ 이고, 별도의 기준파와 간섭해서 발생한 간섭무늬의 등가파장은 광원의 파장보다 큰 값으로 식 (1)과 같다.

$$A = \frac{\lambda}{\cos\alpha} \quad (1)$$

여기서 λ 는 사용하는 광원의 파장이다.

그림 1(c)에 나타난 것과 같이, 광 A, 광 B를 각기 입사각 α, β 로 측정물체에 입사할 경우, 측정물체가 위치 I에서 위치 II로 높이 z 만큼 변한다면, 두 광 A_{II} 와 B_{II} 사이에 발생하는 광경로차와 등가파장은 다음과 같다.^[4]

$$OPD = 2z(\cos\alpha - \cos\beta) \quad (2)$$

$$A = \frac{\lambda}{\cos\alpha - \cos\beta} \quad (3)$$

광원으로 파장이 632.8 nm인 레이저를 사용하고, 입사각 α 가 0° 이고, β 가 12.18° 인 경우, 등가파장은 $28.11 \mu\text{m}$ 가 된다. 이는 광원의 파장보다 44.4배 크다.

그림 2는 이러한 기본원리를 구현하고 불필요한 회절성분들을 제거한 등가파장간섭계를 보여준다. 광원에서 나온 편광성분의 광은 시준기(Collimator)를 거치면서 넓은 영역의 평행광이 된다. 평행광은 편광광속분할기(Polarized Beam Splitter)를

거쳐서 수평편광성분, 광 B는 그대로 통과하고, 수직편광성분인 광 A는 반사하여 오른쪽의 광속분할기(Beam splitter) 1로 향하게 된다. 광 A는 광속분할기에서 반사하여 측정표면에 수직으로 입사하고, 광 B는 회절격자 1에 수직으로 입사한다. 회절격자를 통과한 회절성분은 식 (4)와 같은 회절격자방정식에 따라 여러 성분으로 나뉘게 된다.

$$d(\sin \theta_m - \sin \theta_i) = m\lambda \quad (4)$$

여기서 d 는 회절격자의 주기, m 은 회절차수, θ_i 는 입사광의 입사각, θ_m 차 회절광의 회절각을 의미한다.

회절격자를 통과한 광들은 크게 0차, 1차, -1차로 나뉘어지고 그 중 +1차 성분은 $\theta_i = 0^\circ$ 따라 각 $\theta_{+1} = \beta$ 로 꺾이고, 이는 측정표면에 각 β 로 입사한 후 반사한다. 이는 회절격자 1과 동일한 회절격자 2에 각 β 로 조사되고, 그 중 -1차는 식 (2.1.1)에서 $\theta_i = \beta$ 따라 각 $\theta_{-1} = 0^\circ$ 가 되므로, 광속분할기 2에 수직으로 입사하여 두 개의 광으로 갈라진다. 그 중 광속분할기 2를 통과한 광은 광 A와 간섭을 일으킨다.

광 A, B는 각각 광속분할기를 통과, 반사한 후 편광판(Analyzer)을 지나서, CCD에서 간섭무늬를 형성한다. 이 때 얻어지는 간섭무늬의 가시도는 편광판의 각에 따라서 달라질 수 있으며, 편광판의 편광방향을 조정하여 가시도가 1에 가깝게 조정할 수 있다.

형성된 간섭무늬는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I = A + B \cos\left(\frac{2\pi z}{\Lambda}\right) \quad (5)$$

이 때 z 값은 물체 표면의 상대적인 높이이고, Λ 은 식 (3)의 등가과장이다.

광이 회절격자에 조사되면 수많은 회절성분들이 존재한다. 이 중, 측정에 사용되는 광을 제외한 나머지 성분들과 반사회절성분들은 간섭무늬에 배경광이나, 불필요한 간섭 등의 영향을 미칠 수 있으나, 제시한 간섭계에서는 광을 경사지게 조사하는 경우에만 회절격자를 사용하고 간섭을 일으키는 두 개의 광을 분할하고 다시 합치는 데에는 광속분할기를 사용하여, 광이 회절격자를 통과하는 회수를 줄여 대부분의 불필요한 투과회절성분과 반사회절성분이 간섭무늬에 영향을 미치지 않도록 설계하였다.

정확한 측정결과를 얻기 위하여 두 개의 측정광 중 하나 이상의 위상을 변하게 하여 위상편이기법을 도입한다.^[5] 크게 두 가지 방법으로 나누어 소개할 수 있는데, 하나는 물체표면을 이송하여서 두 측정광의 광경로를 각각 입사각에 해당하는 다른 값으로 동시에 변하게 하는 방법이다. 이 방법은 간단하게 적용할 수는 있으나, 물체표면이 이송할수록 두 측정광 사이에 층밀림 현상이 커지므로 정확한 측정에는 적합하지 않다. 또 다른 방법은 간섭계를 구성하는 광부품을 이용하는 방법인데, 회절격자를 2를 격자방향에 수직으로 이송하면 간섭무늬를 구성하는 두 측정광의 기하학적인 광경로를 바꾸지 않고, 위상만 바꿀 수 있다. 회절격자 2의 이송량을 Δx 라고 한다면, 회절격자 2에서 -1차 회절성분으로 회절하는 측정광 B의 위상편이량은 식 (6)과 같다.^[6]

$$\Delta\Omega = (-1) \times \frac{2\pi\Delta x}{d} \quad (6)$$

여기서 d 는 회절격자의 주기이다.

III. 기준측정평면과 등가과장보정

그림 3(a)에서 살펴보면, 광 A와 광 B는 각각 입사각 α , β 로 측정물체로 향하게 되고, 회절격자가 정확히 평면이고 두 회절격자가 평행하면 두 광은 한 점에 모이게 된다. 이 점을 측정점(Measurement Point)이라고 하고, 이러한 측정점들로 이루어지는 평면을 기준측정평면(Reference measurement plane)이라 정의한다. 기준측정평면은 두 회절격자와 평행으로 측정기의 측정영역에 걸쳐 하나로 정의된다.

이러한 기준측정평면에서 두 측정광 A, B는 이론적으로 층밀림(shear) 없이 한 점에 도달하고, 광경로차는 0이다. 기준측정평면에서 상대적으로 z 만큼 떨어진 물체표면은 두 측정광에 광경로차를 만든다. 이 광경로차는 식 (2)와 같다.

물체표면의 측정점이 기준측정평면보다 멀리 떨어질수록 두 광의 광경로차는 커지고, 층밀림 역시 커지게 된다. 층밀림이

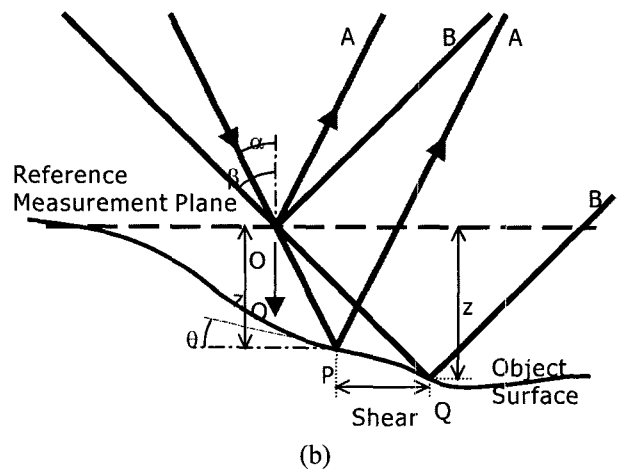
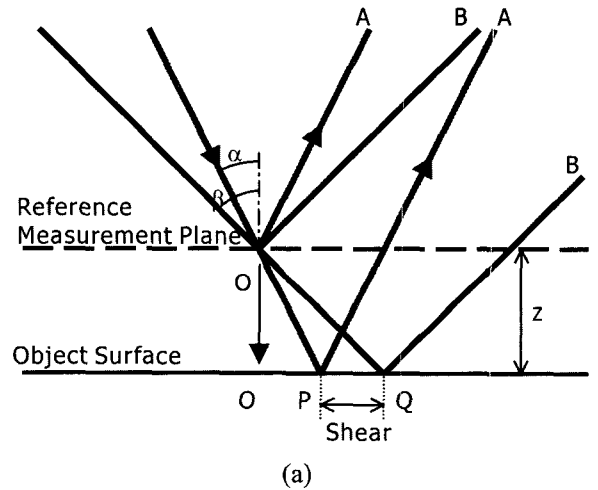


그림 3. 두 측정광이 한 점에 모이지 않았을 때 발생하는 층밀림 현상: (a) 두 개의 측정점이 동일한 높이인 경우, (b) 두 개의 측정점이 다른 높이인 경우.

커질수록 두 광은 물체표면의 같은 점에 입사하지 못하고, 다른 두 점 P, Q에서 반사하게 된다. 기준측정평면보다 멀리 떨어진 물체표면에서 층밀림이 커지면 두 점 P, Q 사이의 거리가 증가하게 될 뿐 아니라 그림 3(b)와 같이 표면에 따라 두 점의 높이차가 생긴다. 이런 경우 광경로차는 더 이상 식 (2)과 같지 않다.^[7]

$$OPD = 2\cos\alpha - 2z'\cos\beta \quad (7)$$

물체표면에서 높이는 점 O와 점 O' 사이의 거리여야 하지만, 이 값은 알 수 없으므로 z 값을 기준측정평면과 P 사이의 거리로 정의하고 기준측정평면과 Q 사이의 거리는 z'이라 둔다. 점 P와 Q 사이의 높이 차를 표시하기 위해서, 점 P에서 표면의 미분치를 즉, 표면의 경사각을 θ 라 둔다. 높이차는 다음과 같이 표시된다.

$$z' - z = (z'\tan\beta - z\tan\alpha)\tan\theta \quad (8)$$

식 (8)을 식 (7)에 대입하고 정리하면, 광경로차와 등가파장은 다음과 같이 표시된다.

$$OPD = 2z(\cos\alpha - \cos\beta) + 2z\cos\beta\tan\theta \frac{\tan\alpha - \tan\beta}{1 - \tan\beta\tan\theta} \quad (9)$$

$$\Lambda = \frac{\lambda}{\cos\alpha - \cos\beta} \left\{ \frac{(\cos\alpha - \cos\beta)(1 - \tan\beta\tan\theta)}{\cos\alpha(1 - \tan\beta\tan\theta) - \cos\beta(1 - \tan\alpha\tan\theta)} \right\} \\ = \frac{\lambda}{\cos\alpha - \cos\beta} \left\{ 1 + \tan\theta\cos\beta \frac{\tan\beta - \tan\alpha}{\cos\alpha(1 - \tan\beta\tan\theta) - \cos\beta(1 - \tan\alpha\tan\theta)} \right\} \quad (10)$$

즉, 측정점의 θ 값에 따라 등가파장의 값이 달라지게 된다. 측정광 A가 수직으로 물체표면에 조사한다면 측정점 O'은 점 P와 같다. 이 경우 α 의 변화율이 역시 작아진다. 식 (10)을 α 의 값이 0°인 경우로 다시 나타낼 수 있다. 그림 4는 α 의 값이 0°인 경우 층밀림 현상을 도식화 한 것이다.

$$\Lambda = \frac{\lambda}{1 - \cos\beta} \left\{ \frac{(1 - \cos\beta)(1 - \tan\beta\tan\theta)}{1 - \cos\beta - \tan\beta\tan\theta} \right\} \\ = \frac{\lambda}{1 - \cos\beta} \left\{ 1 + \frac{\cos\beta\tan\beta\tan\theta}{1 - \cos\beta - \tan\beta\tan\theta} \right\} \quad (11)$$

등가파장의 변화율은 다음과 같다. θ 값은 등가파장에 영향을 미치고, 오차로 작용한다.

$$\frac{\Delta\Lambda}{\Lambda} = \frac{\cos\beta\tan\beta\tan\theta}{1 - \cos\beta - \tan\beta\tan\theta} \quad (12)$$

β 의 값으로 12.18°을 사용하고, θ 값이 매우 작다고 가정했을 경우에서 고려해 볼 때, θ 가 1 mrad 변했을 때 등가파장은 약 1% 변한다.

이러한 오차를 보정하기 위해 등가파장보정(equivalent wavelength calibration)을 제시한다. 기준측정평면의 위치를 정

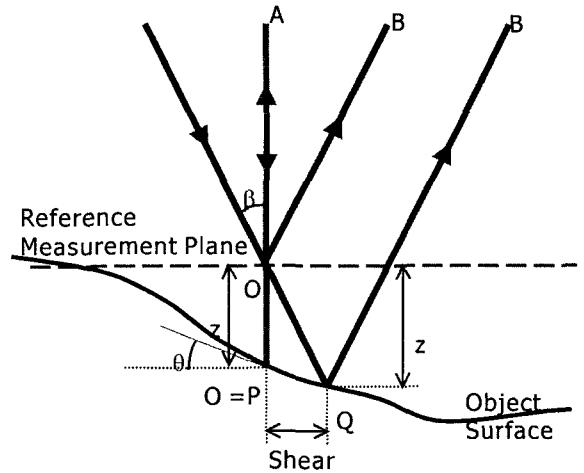


그림 4. 하나의 광이 수직으로 입사할 경우, 두 측정점에서의 층밀림 현상.

확히 알고, 각 측정점에서 각각 다른 등가파장을 구할 수 있다. 이론적인 등가파장으로 형상을 얻은 후, 층밀림이 일어나는 방향으로 미분을 취해서 θ 값을 알아낸다. 실험을 수행할 때 각각의 측정점의 등가파장을 정확히 알 수 없으므로, 측정 후 결과를 이용해서 측정점마다 등가파장의 보정을 수행한다. 물체표면이 기준측정평면과 일치한다고 가정한다면, 그 때의 등가파장 Λ_0 는 식 (2)와 같다. 이 등가파장을 실험에서 얻어진 형상의 위상정보에 곱하여 물체표면의 형상을 구한다. 이렇게 구한 형상은 등가파장의 오차가 고려되지 않은 상태에서 얻어진 결과이다.

$$Z(x, y) = \frac{\Lambda_0}{2\pi} \phi(x, y) \quad (13)$$

여기서 $\phi(x, y)$ 는 실험에서 얻어진 각 측정점의 위상정보이다. 이렇게 얻어진 형상에 미분을 취해서 각 측정점의 x 방향 경사각을 구한다.

$$\theta(x, y) = \frac{d}{dx} Z(x, y) \quad (14)$$

식 (8)에 대입하여 각 측정점의 등가파장을 계산한다. 식 (8)의 결과는 다음과 같이 경사각에 대한 함수로 표현할 수 있다.

$$\Lambda = \Lambda_0 + \Delta\Lambda(\theta(x, y)) \quad (15)$$

얻어진 등가파장을 다시 식 (13)에 적용하여 형상을 다시 구한다. 다시 새롭게 구한 형상으로 경사각을 구하여 다시 등가파장을 계산하고, 이를 반복 수행하여 수렴하는 값을 등가파장으로 취한다.

이를 검증하기 위해서 다음과 같이 임의의 형상에 대해서 시뮬레이션을 수행해 보았다. 이 때 기준측정평면의 위치는 모든 측정점에서 $z=0$ 이다. 그림 5(a)와 같이 조화함수 형상을 가지는 측정대상을 일정한 등가파장으로 측정한다면 각 측정점의 광경로차를 식 (7)에 적용하여 그림 5(b)와 같은 형상을 얻게 된다. 이는 실제 형상과 달리 측정점의 경사각에 대한

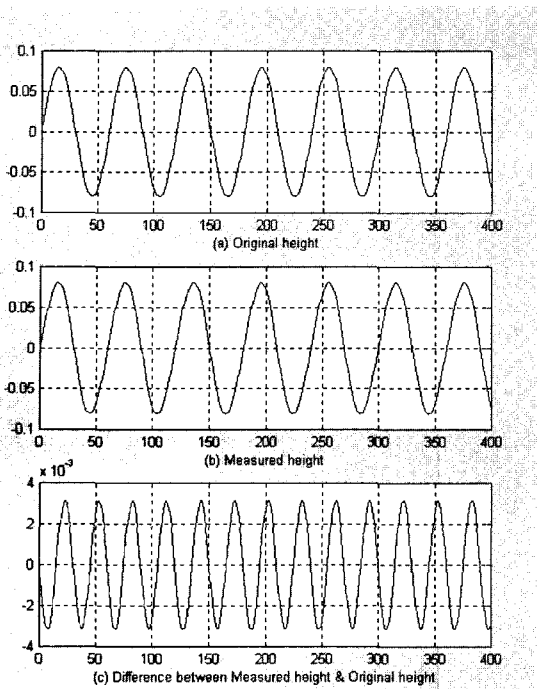


그림 5. 수치모사 결과, 측정점에서의 증밀립 현상으로 인한 측정점의 실제 높이와 측정결과의 차이.

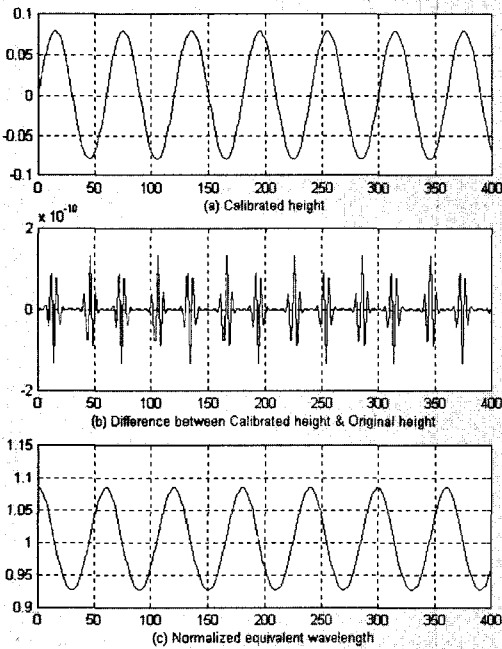


그림 6. 등가파장보정결과(20회 반복); (a) 보정된 측정점의 높이, (b) 보정된 높이와 실제 높이와의 차이, (c) 각 측정점에서의 보정된 등가파장.

오차를 포함하고 있다. 그림 5(c)는 이러한 측정형상과 실제형상과의 차이를 나타낸다.

측정된 형상에 등가파장보정을 수행하여서 보정된 결과를 얻

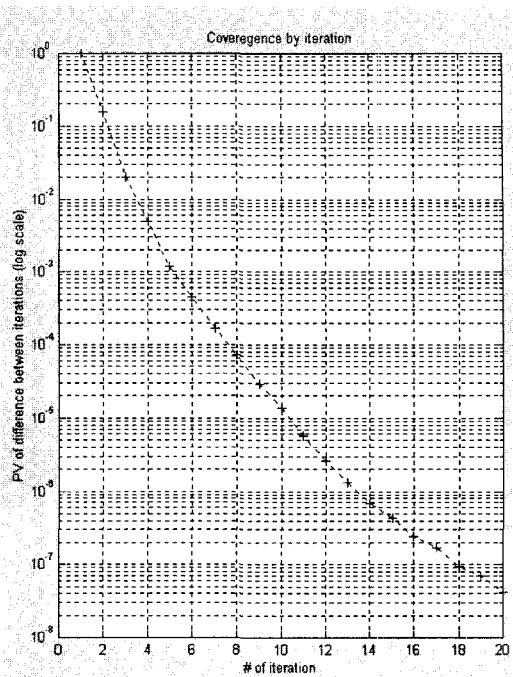


그림 7. 보정회수와 실제값과의 오차 관계.

어보았다. 그림 6(a)는 측정 형상에 등가파장보정을 20번 반복 수행해서 얻은 결과이다. 그림 6(b)는 실제 형상과 등가파장보정을 한 후에 얻어진 형상의 차이를 나타내고, 이 때 얻어진 등가파장은 그림 6(c)와 같다. 경사각이 크게 8.4 mrad 변했을 때, 등가파장은 8.6% 변화했다.

보정을 보다 많은 회수로 반복수행하면 실제높이와 보정 후 높이의 차이 값은 줄어들고, 보정 후의 결과는 실제와 거의 일치하게 된다. 그림 7은 이 보정을 반복적으로 수행하였을 때 그 보정 회수의 영향을 나타낸다. 측정 형상에 등가파장 보정을 반복적으로 수행하였을 때, I+1번째 수행시의 형상과 I번째 수행했을 때 형상의 차이 값은 그 수행회수가 증가함에 따라 작아져서 실제 값으로 수렴되어감을 알 수 있다.

VI. 실험결과 및 보정

실험실에서 등가파장 간섭계를 구성하여 실험을 수행하였다. 파장 632.8 nm의 헬륨네온 레이저를 간섭계의 광원으로 채택하고, 25.4 mm 크기의 편광광속분할기, 광속분할기, 프리즘을 사용하였다. 물체에 광을 경사지게 조사하기 위하여 전자빔 리소그래피 장비를 사용하여서 이산진폭형인 1mm에 333개의 격자무늬가 있는 두 개의 회절격자를 따로 제작하여 사용하였다. 회절격자 2에는 압전소자(PZT) 마이크로 스테이지를 사용하여서 회절격자 2를 이동하여 경사지게 조사된 후 반사한 측정광의 위상을 편이시키는데 이용하였다. 하나의 측정광은 측정대상물에 수직으로 조사되고 다른 하나의 측정광은 회절격자 1의 1차 회절성분이므로 12.18°의 경사각을 가지고 경사지게 조사된다. 간섭무늬의 등가파장은 28.11 μm 이다.

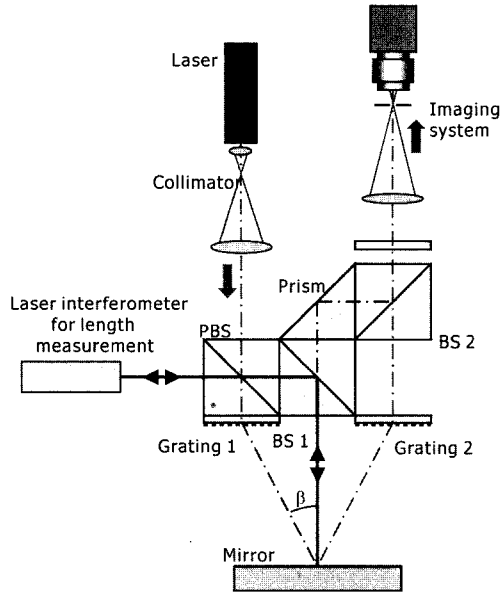


그림 8. 기준 측정평면을 생성하기 위한 간섭계와 길이측정장비.

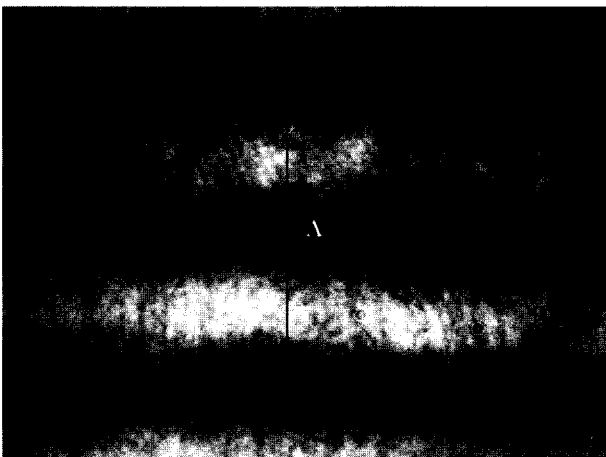


그림 9. 등가파장 간섭무늬.

두 개의 측정광이 정확히 한 점에 모이는 위치에서 측정을 수행하기 위하여 그림 8과 같이 별도로 길이측정장비를 도입하여 기준측정평면의 위치를 산출해 내었다. 거울을 측정대상물로 삼고 측정대상물을 이송해가면서 두 개의 측정광이 하나로 만나는 지점을 찾고, 널 간섭무늬를 획득한 다음 길이측정장비로 간섭계의 부품들을 통하여 거울 위의 한 점의 위치를 측정하고 기준측정평면을 결정하였다(그림 8).

그림 9은 알루미늄을 선삭가공한 표면을 결상렌즈와 CCD를 사용하여서 결상한 후 얻은 간섭무늬를 보여준다. 간섭무늬에 표시된 등가파장은 식 (2)의 λ 와 같다. 회절격자 2를 이송하여 위상편이를 통해 이런 간섭무늬를 각각 5개씩 획득한 후, 이로부터 위상전위 알고리즘^{15,8)}을 도입하여 위상을 얻어내고 상대적인 높이를 획득하였다.

그림 10은 이를 등가파장간섭계로 측정한 결과를 보여준다. 측정영역의 모든 측정점에서 계산한 R_a 의 경우 $0.539 \mu\text{m}$ 이고, R_q 은 $0.672 \mu\text{m}$, PV의 경우 $5.040 \mu\text{m}$ 의 값을 얻었다. 측정결

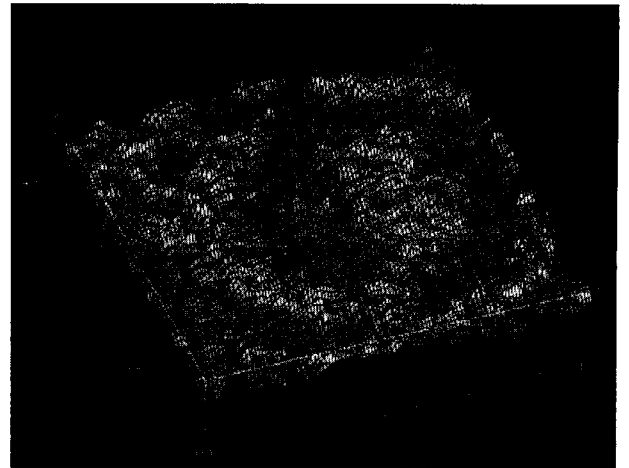
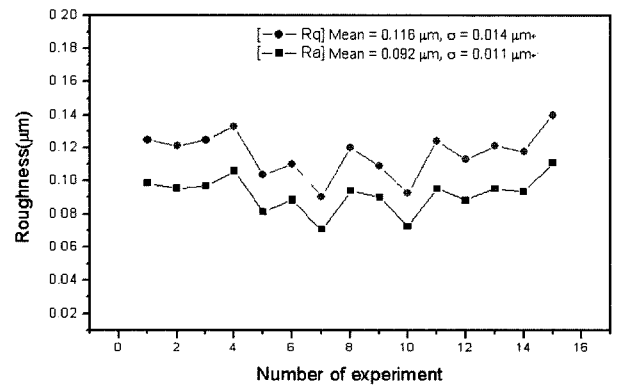
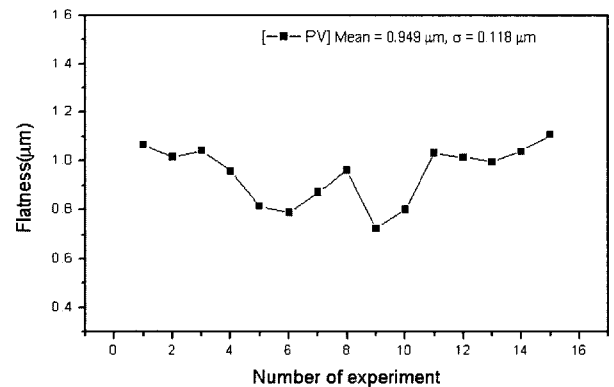


그림 10. 알루미늄 표면을 측정한 3차원결과.



(a)



(b)

그림 11. 반복측정 결과; (a) R_a , R_q , (b) Peak-to-Valley.

과를 비교하기 위하여 스타일러스 타입의 표면조도 측정기로 측정해 본 결과 지름 10 mm의 측정영역에 대하여 R_a 의 경우, $0.56 \mu\text{m}$, PV의 경우 $6.51 \mu\text{m}$ 의 결과가 나타났다.

간섭계의 측정 정밀도는 반복측정 시험을 통해서 구할 수 있다. 그림 11은 동일한 측정면을 12회 반복 측정한 결과를 보여준다. 측정결과에서 표면거칠기의 대표적인 값인 R_a , R_q , PV값을 도식화하였다. 그래프를 통해서도 알 수 있듯이 R_a 의 경우 등가파장과 비교하였을 때 표준편차값이 0.000150λ

이고, R_q 은 0.000204 μ m, PV의 경우 0.00470 μ m의 값을 얻었다.

VII. 결 론

본 연구에서는 기계가공된 면과 같이 상대적으로 거칠고 넓은 영역의 평면 형상을 빠르게 측정할 수 있는 측정기의 구현에 그 목적을 두었다. 이를 위해 기존의 큰 등가파장으로 얻기 위해 사용한 두 개의 광을 각기 다른 각으로 측정표면에 조사하는 형식을 그대로 유지하면서, 기존의 간섭계가 가지는 불필요한 광으로 인해 간섭무늬가 훼손되는 문제와, 회절격자를 여러 번 통과해서 생기는 큰 시스템 오차 등의 문제를 근원적으로 해결할 수 있는 새로운 형태의 간섭계를 고안하였다. 실제의 측정에서는 보다 정확한 측정결과를 얻기 위해 위상편이 알고리즘을 적용하였고, 기준측정평면과 물체 표면이 일치하지 않아서 발생하는 층밀림현상에서 오는 등가파장오차를 해결하기 위해 등가파장보정법을 제시하였다. 측정시스템을 구축하여서 실제적인 반복능과 측정정도를 산출하였다.

참고문헌

- [1] Nils Abramson, "The interferoscope : a new type of interferometer with variable fringe separation," *Optik*, vol. 30, pp. 56-71, 1969.
- [2] K. G. Birch, "Oblique incidence interferometry applied to non-optical surfaces," *J. Phys. E. Vol. 6*, pp. 1045, 1973.
- [3] P. J. de Groot, "Grating interferometer for flatness testing," *Optics Letters*, vol. 21, no. 3, pp. 228-230, 1996.
- [4] G. Makosch, "Method and means for interferometric surface topography," U.S. patent 4,498,771 (Feb. 12, 1985).
- [5] D. Malacara, *Optical shop testing*, 2nd ed. (John Wiley & Sons, New York, 1992).
- [6] D. Malacara, M. Servin, Z. Malacara, *Interferogram analysis for optical testing*, (Marcel Dekker, Inc., 1998).
- [7] X. C. de Lega *et al.*, "Characterization of a geometrically desensitized interferometer for flatness testing," *SPIE 3520*, pp. 284-292, 1998.
- [8] I.-B. Kong and S.-W. Kim, "General algorithm of phase-shifting interferometry by iterative least-squares fitting," *Opt. Eng.*, vol. 34, no. 1, pp. 183-188, 1995.

Diffraction grating interferometer of large equivalent wavelength for flatness testing of rough surfaces

Tae-Joon Hwang and Seung-Woo Kim[†]

*Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology,
Science Town, Daejeon, 305-701, South KOREA*

[†]*E-mail: swk@kaist.ac.kr*

(Received October 4, 2003, Revised manuscript December 29, 2003)

We present a diffraction grating interferometer of large equivalent wavelength specially designed for flatness testing of rough surfaces. Two transmission diffraction gratings are illuminated on the object under test by use of two measurement beams with different angles of incidence, which yields a large equivalent wavelength. This interferometer design minimizes unnecessary diffraction rays and the systematic error caused by the diffraction gratings, and provides a large working distance and easy alignment. To improve the measurement accuracy, phase shifting technique is applied and the equivalent wavelength error caused by defocus is calibrated. Test results obtained from mirror surfaces and machined rough surfaces are discussed.

OSIC Codes : 120.3180, 050.1950, 050.5080.