

덧셈 방식 무아레 토포그래피에서 물체의 경사각에 따른 무아레 무늬의 가시도

Moire fringe contrast due to surface slope of an object in additive type moire topography

류재명, 조재홍, 임천석, 강호동, 김태현
한남대학교 자연과학부 광·전자물리학 전공
quickryu@hitel.net

무아레 무늬는 주기적인 두 격자에 비간섭성 광원을 사용하여 얻을 수 있으며, 격자의 모양에 따라 측정 물체의 병진 운동 및 회전 운동 측정이 가능하다. 무아레 기술은 비접촉식 측정 방법으로 실험 장치가 단순하여 물체의 3차원 형상 측정[1], 진동 및 응력 측정[2], 매질의 굴절률 측정[3], 회전각 측정[4] 등과 같은 많은 분야에 응용할 수 있다.

무아레 무늬는 발생 방법에 따라 그림자식과 영사식으로 나뉘며, 영사식은 격자를 측정면에 투영시키는 방법으로 그림자식과 비교하여 격자보다 상대적으로 큰 물체도 측정할 수 있다[5]. 또한 발생 원리에 따라 덧셈 방식, 곱셈 방식, 뺄셈 방식으로 나뉜다[5]. 덧셈 방식은 측정 장치가 매우 단순하나, 가시도가 떨어지고, 뺄셈 방식은 측정 장치가 매우 복잡하지만 가시도가 좋다. 곱셈 방식은 두 방식의 특징을 모두 가지고 있어서 최근에도 많이 사용되는 방식이었다. 하지만 덧셈 방식도 실시간 영상 처리 방법을 이용해 가시도를 높일 수 있기 때문에[6] 이 방식도 널리 사용된다.

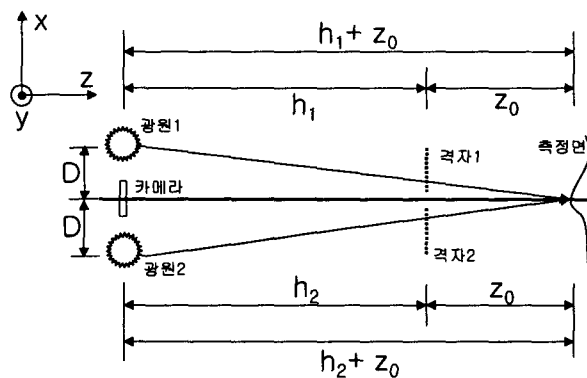


그림 1. 덧셈 방식 무아레 무늬를 얻기 위한 장치도.

그림 1은 덧셈 방식의 무아레 무늬를 얻기 위한 실험장치도이다. 코사인 함수로 근사할 수 있는 격자간격이 p 인 직선 격자가 광원 1로부터는 h_1 만큼, 그리고 광원 2로부터는 h_2 만큼 떨어져 있다면 격자 좌표계 (x, y, z) 를 물체 좌표계 (x_0, y_0, z_0) 로 변환하여 격자의 투과도를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

여기에서 카메라는 두 광원으로부터 같은 거리 D 에 놓는다.

$$T_1(x_0, z_0) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos \left(\frac{2\pi}{p} \cdot \frac{-Dz_0 + h_1x_0}{h_1 + z_0} \right) \right\} \quad (1)$$

$$T_2(x_0, z_0) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos \left(\frac{2\pi}{p} \cdot \frac{Dz_0 + h_2x_0}{h_2 + z_0} \right) \right\}$$

두 격자가 같은 평면 위에 놓으면($h_1=h_2$), 두 격자가 물체에 투영된 격자들에 의한 무아래 무늬는 (1)식의 두 함수를 더해서 생긴다. 이 결과에 삼각함수 합의 공식을 적용한 후, 가장 주기가 낮은 항을 선택하면 다음과 같은 저주파의 무아래 무늬 항을 얻을 수 있다.

$$T(x_0, z_0) = T_1(x_0, z_0) + T_2(x_0, z_0) = 1 + \cos \left(\frac{2\pi}{p} \cdot \frac{h_1x_0}{h_1 + z_0} \right) \cdot \cos \left(\frac{2\pi}{p} \cdot \frac{Dz_0}{h_1 + z_0} \right) \quad (2)$$

식 (2)의 결과에서 물체의 높이에 따른 무아래 무늬의 차수를 단순하게 결정하게 위하여 $\frac{x_0}{D} \gg \frac{z_0}{h_1}$, $\frac{x_0}{z_0} \gg \frac{D}{h_1}$ 의 조건을 적용하면, 밝은 무늬의 개수 N 을 세면 다음과 같이 물체의 높이 z_0 를 알 수 있다.

$$z_0 = \frac{Nph_1}{2D - Np} \quad (3)$$

식 (2)를 자세히 보면 무아래 무늬는 두 코사인 항의 곱으로 되어있음을 알 수 있고, 물체의 특정 지점에서의 x_0 와 z_0 에 의해서 결정됨을 알 수 있다. 이 결과 물체의 경사각인 x_0/z_0 을 고려하면 덧셈 방식의 무아래 무늬에서는 곱셈 방식의 무아래 무늬와는 다르게 밝은 부분의 차수가 $N/2$ 의 정수배가 되는 곳에서 생김을 알 수 있었다.

본 실험에 사용한 격자는 격자 간격이 0.3 mm인 두 격자를 사용하였으며, 이를 측정 물체에 12배 확대 투사하여 격자 간격이 3.6 mm가 되도록 했고, 광원에서 격자까지의 거리(h_1)는 1200 mm, 광원 사이의 거리($2D$)는 246 mm가 되도록 설치하였다. 측정 물체인 원뿔의 꼭지각과 높이는 각각 17° 이고 18 mm, 45° 이고 79 mm, 65° 이고 91 mm인 3 종류를 사용하였다.

실험결과 식 (2)에서 이론적으로 예측한 대로 덧셈식 무아래 무늬의 밝은 무늬수는 곱셈 방식의 같은 차수보다 2배 많은 밝은 무늬를 관찰할 수 있었다. 또한 원뿔의 높이를 측정한 결과 꼭지각이 커질수록 무늬의 가시도가 나빠져서 이를 이용한 물체의 높이 측정시 오차가 커짐을 이론 및 실험적으로 밝혔다. 이로부터 덧셈 방식 무아래 토포그래피가 적용될 수 있는 측정 높이의 범위를 알 수 있었다.

참고문헌

1. D. M. Meadows, W. O. Johnson, and J. B. Allen, "Generation of Surface Contours by Moire Fringe", App. Opt. 9(4), (1970)
2. P. S. Theocaris, "Moire Fringes in Strain Analysis", Pergman, chap. 4, (1969).
3. Y. Nishijima, and G. Oster, "Moire Patterns : Their Application to Refractive Index and Refractive Index Gradient Measurements", JOSA 54(1), (1964)
4. 김일환, 육근철, 조재홍, 장수, "두 원형 격자의 무아래 간섭무늬를 이용한 회전각 측정", 새물리 32(5), (1992)
5. K. Patorski, "Handbook of Moire Fringe Technique", Elsevier, chap. 2, chap. 9~10, (1993)
6. J. S. Lim, J. S. Kim, and M. S. Chung, "Additive Type Moire with Computer Image Processing", App. Opt. 28(13), (1989)

