자체결상된 늘려진 원형격자(elongated circular grating)의 무아레 무늬를 이용한 마이크로 변위의 자동측정

Automatic measurement of micro-displacements using moiré fringes obtained by the superposition of self-imaging elongated circular gratings

이상일, 백승선, 조재홍
한남대학교 자연과학부 광·전자물리학전공
jhjo@mail.hannam.ac.kr

계측분야에서 물체의 변형정도를 알아내는 광학적인 방법으로 물체에 격자를 부착하여 격자의 변위에 의한 무아레 무늬(moiré fringes)를 이용하여 물체의 변형정도를 알아내는 방법이 있다. 최근에 본 그룹에서 물체의 변형정도를 피치간격으로 측정할 수 있고, 한 피치 내의 세밀한 부분은 유사한 두 개의 격자가 겹쳐서 형성되는 버니어 무아레 무늬를 이용하여 세부적인 변위 정도를 알아낼 수 있는 방법을 제안하였다.[1] 이러한 버니어 무아레 무늬를 관측하여 변위정도를 알아내는 방법은 원형격자와 직선격자가 합쳐서 만든 늘려진 원형격자(elongated circular grating: ECG)를 사용하는 것으로 원형격자 부분은 피치간격의 횡변위 정도를, 한 피치 내의 세부적인 변위는 직선격자 부분의 버니어 무아레 무늬를 이용하여 변위정도를 측정하는 것이다. 특히 이러한 ECG 격자를 사용하는 무아레 계측에서 격자간의 간격이 매우 좁은 경우에는 ECG의 자체 결상을 사용하여 무아레 무늬를 만들 수 있다.[2]

자체결상된 ECG를 이용하여 형성한 무아레 무늬로부터 물체의 횡변위를 자동으로 측정하기 위하여 사용한 실험장치가 그림1이다. 사용한 광원은 헬륨-네온 레이저로 이 광속을 광속확대기로 확대하여 G_1 격자에 평행하게 조사하였다. G_1 격자는 격자간격이 40㎛이고 격자수가 99이며, 자체결상 거리는 $Z_T = 5mm$ 이다, G_1 격자의 상은 자체결상거리에서 자체결상된 G_1'을 형성한 후, G_2 격자(격자간격 39.6㎛, 격자수 100)와 겹쳐서 버니어 무아레를 형성한다. 형성된 무아레 무늬는 결상렌즈 L(f=25cm)로 CCD 카메라에 결상한다.

그림 2는 CCD에서 측정된 무아레 무늬의 밝기 결과로 오른쪽 상단 그림의 복사조도분포는 ECG의 무아레 무늬에서 직선격자 부분에 의한 분포이고 오른쪽 하단 그림은 원형격자 부분에 의한 복사조도 분포이다. 그림 2에서와 같은 복사조도 분포를 image board를 통하여 디지털 값으로 환원하여 푸리에 변환에 의하여 주파수 영역에서 필터링하였다. 이때 한번에 사용하는 데이터 포인트 개수 50이고, 근접한 두 데이터 포인트의 간격으로 5.4 um이며 $f_c = 3.7 \times 10^3$ Hz 이다. 필터링된 값은 분포가 복잡하므로 근접 평균에 의하여 분포의 최대값과 최소값을 작합곡선(fitting curve)을 구하였다. 그리고 극대치의 정확한 변위를 확인하기 위하여 극대값 근처 내에서 최소 자승법에 의한 적합곡선을 계산하고 이 적합곡선의 미분이 0 인 위치를 계산하여 변위에 따른 강도분포의 극대점으로 정하였다.

그림 3에서 5 um 변위에서 근접평균한 복사조도 분포는 굵은 선으로 그렸으며, 적합곡선은 가는 적

색 선으로 그렸다. 이 결과 5 um씩 변위하면서 적합곡선에 의하여 얻어진 극대위치로 선형적으로 변하며, 무아레 격자 한 피치 내의 변위 폭이 5 um씩 변위 할 때 변위 폭이 평균 45 단위씩 증가하며 변한다. 이러한 변위 폭은 선형 변위에서 오차가 0.1% 이내가 된다. 이 결과 직선격자 부분에서의 복사조도 분포의 극대 위치를 인식하고, 원형격자 부분의 무아레 무늬의 개수를 알면, 물체가 원래의 위치에서 횡변위 정도가 얼마인지를 알 수가 있다.

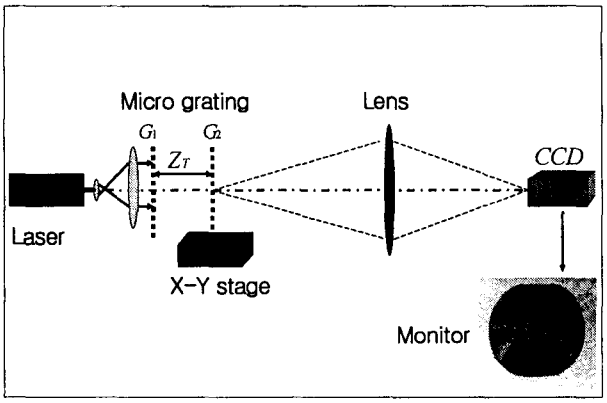

그림1: Self image 에 의한 버니어 무아레 무늬 발생 장치

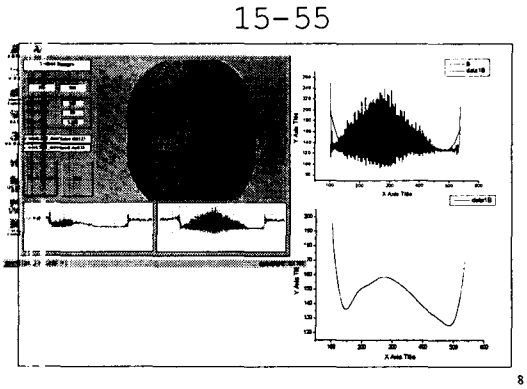

그림2

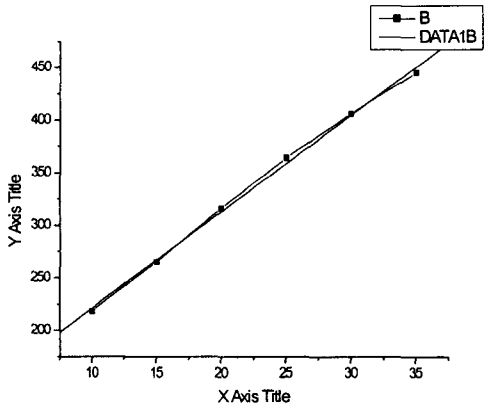

그림3

참고문헌

[1] J. S. Song, Y. H. Lee, J. H. Jo, S. Chang, and K. C. Yuk, Opt. Commun., 154, 100-108. (1998).
[2] 강종성, 이명수, 장수, 김봉진, 육근철, 새물리 44(4), 206-213 (2003).