

연속웨블레트변환으로 간섭무늬대조도를 실시간평가하는 방법에 기초한 미소진동변위측정

강정철, 김철수, 차주일

미소진동변위측정에는 시간평균홀로그래피간섭법, 스펙클간섭법과 같은 전마당측정법들이 널리 이용되고있다.[1-3] 그러나 이 방법들은 고정된 측정조건을 전제로 한것들이므로 구동신호가 변하는 특정한 물체점에서의 진동측정에는 불합리하다.

우리는 연속웨블레트변환을 이용하여 간섭무늬의 대조도를 실시간평가하는 방법으로 미소진동을 측정하는 한가지 방법을 고찰하였다.

1. 측 정 원 리

간섭법에서 고찰하는 물리적량은 정적상태에서 무늬의 세기를 다음과 같이 변조시킨다.

$$I(x) = I_0[1 + \gamma(x) \cdot \cos \Delta\phi(x)] \quad (1)$$

여기서 $I(x)$ 는 간섭무늬의 세기, I_0 은 배경세기, $\gamma(x)$ 는 무늬국부대조도, $\Delta\phi(x)$ 는 고찰하는 물리적량과 연관된 물체빛과 참조빛사이의 위상차이다. 진동면을 연속발진레이자로 조명하면 그것으로부터 반사된 빛이 참조빛과 함께 수감면에서 간섭무늬를 형성한다. 무늬기록시간이 진동주기보다 훨씬 긴 경우 간섭무늬는 다음과 같이 채변조된다.

$$I = I_0[1 + \gamma \cdot J_0(4\pi z / \lambda) \cos \Delta\phi] \quad (2)$$

여기서 J_0 은 1종의 령차베셀함수, z 는 측정물체의 진동변위이다.

식 (2)로부터 진동변위를 얻는 수학적과정은 아주 복잡하다. 진동변위와 구동신호사이의 관계를 밝히자면 신호를 변화시키면서 간섭무늬를 매 단계에서 해석하여야 한다.

구동신호(구동전압)의 세기가 령부터 점차적으로 증가하고 간섭무늬의 상대대조도를 매 단계에서 실시간으로 평가할수 있다면 무늬대조도를 J_0 과 비교하는 방식으로 진동변위를 쉽게 측정할수 있을것이다.(그림 1)

그림 1에서 보는바와 같이 진동변위가 증가함에 따라 무늬대조도는 점차 낮아지다가 어떤 진동변위에서 령으로 되며 이때 무늬는 사라진다. J_0 의 부호는 이 점에서 정에서 부로 넘어가는데 이것은 이 점에서부터 무늬대조도는 다시 증가하지만(그림 1에서 점선) 무늬 그자체는 반전된다는것을 의미한다. 이러한 부호반전은 매 령대조도점에서 반복되며 무늬의 국부대조도는 진동변위가 증가함에 따라 감소된다. 따라서 상대무늬대조도의 평가는 진동면의 주어진 점에서 진동변위를 측정하는 관건적인 문제로 된다.

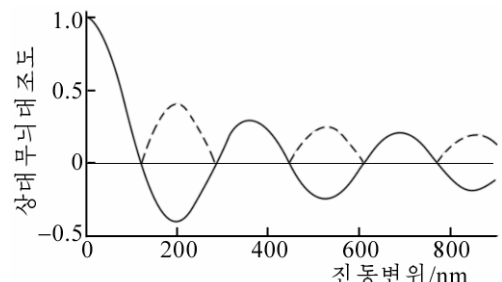


그림 1. 진동변위에 따르는 상대무늬대조도

2. 연속웨블레트변환에 의한 간섭무늬대조도의 평가

연속웨블레트변환은 주어진 신호 f 와 웨블레트함수 ψ 사이의 상관으로 표시된다.

$$W_{\psi}f(a, b) = (1/\sqrt{a}) \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\psi((x-b)/a)dx \quad (3)$$

여기서 $W_{\psi}f(a, b)$ 는 웨블레트변환의 결수행렬이며 $f(x)$ 는 신호, $\psi((x-b)/a)$ 는 척도파라미터 a 와 밀기파라미터 b 로 표시되는 웨블레트함수이다.

척도파라미터는 공간주파수나 공간주기와 같은 간섭무늬의 특징을, 밀기파라미터는 신호를 해석하려는 구역을 표시한다. 연속웨블레트변환과정에 공간영역에서의 신호는 공간주파수 영역으로 넘어간다. 국부신호해석은 푸리에변환에 비한 연속웨블레트변환의 우점이다.[3]

연속웨블레트변환은 본질에 있어서 신호와 웨블레트사이의 일종의 상관연산이므로 무늬의 해석정확도는 모웨블레트함수의 선택에 크게 의존한다. 간섭무늬는 코시누스형이므로 이에 적응한 웨블레트함수는 모를레트웨블레트이다.

$$\psi(x) = (1/\sqrt{2\pi})\exp(-x^2/2)\exp(i\omega_0 x) \quad (4)$$

여기서 ω_0 은 모를레트웨블레트의 주파수이다.

복소수의 모를레트웨블레트를 리용하면 식 (3)은 다음과 같이 변환된다.

$$W_{\psi}f(a, b) = \sqrt{2\pi}I_0 \exp\left(-\frac{\omega_0^2}{2}\right) + \frac{\sqrt{a}}{2}I_0 \gamma \exp\left(-\frac{a^2}{2}\left(\omega_s - \frac{\omega_0}{a}\right)^2\right) \exp(i\omega_s b) \quad (5)$$

여기서 ω_s 는 간섭무늬의 국부공간각주파수이다.

웨블레트변환은 일종의 상관연산이므로 웨블레트변환결수가 클수록 해당한 척도에서 신호와 웨블레트는 보다 더 유사하다. 따라서 간섭무늬를 통하여 웨블레트를 밀기하는 과정에 변환결수가 최대인 곳에서 척도파라미터는 간섭무늬의 국부공간주기를 가리키며 변환결수의 절대값은 해당 위치에서 무늬대조도를 가리킨다.

3. 실험 결과

실험에서 리용한 물체는 공진상태에서 진동하는 PZT압전박막이다.

1 300Hz와 각이한 구동전압에서 진동압전박막에 의하여 형성된 간섭무늬는 그림 2와 같다.

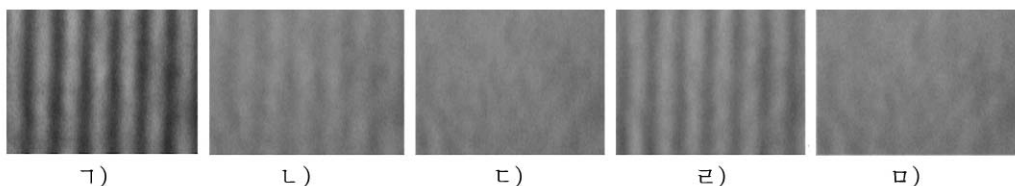


그림 2. 1 300Hz와 각이한 구동전압에서 진동압전박막에 의하여 형성된 간섭무늬

1)~5)는 구동전압과 상대대조도가 각각 0V, 1; 0.60V, 0.210; 0.66V, 0.001; 0.85V, 0.400; 1.0V, 0.080인 경우

그림 2에서 보는바와 같이 령대조도(그림 2의 1))이후의 간섭무늬는 그전의 무늬(그림 2의 1), 1))들과 비교할 때 반전되었다. 실험에서는 정지상태의 간섭무늬(그림 2의 1))의 상

대대조도를 1로 정하고 그것을 기준으로 다른 간섭무늬들의 상대대조도를 평가하였다.

각이한 주파수에서 구동전압에 따르는 상대무늬대조도와 상대무늬대조도를 J_0 과 비교하여 얻은 구동전압에 따르는 진동변위는 그림 3, 4와 같다.

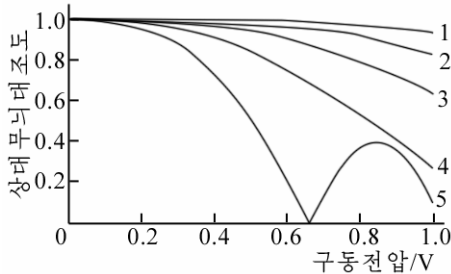


그림 3. 각이한 주파수에서 구동전압에 따르는 상대무늬대조도
1-50Hz, 2-350Hz, 3-700Hz,
4-1000Hz, 5-1300Hz

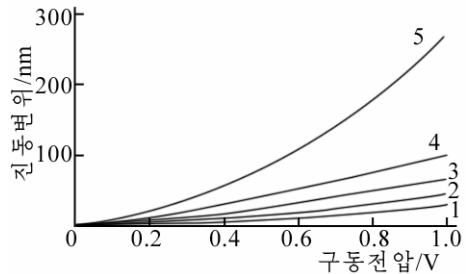


그림 4. 상대무늬대조도변화를 J_0 과 비교하여 얻은 구동전압에 따르는 진동변위
1-5는 그림 3에서와 같음

그림 3에서 보는바와 같이 상대무늬대조도는 실례로 1300Hz일 때 그림 1에서 보여준 이론적인 예측값과 정확하게 일치한다. 상대무늬대조도변화를 J_0 과 비교하여 얻은 구동전압에 따르는 진동변위는 그림 4에서 보는바와 같이 1차공진주파수 1300Hz근방에서 급격히 증가한다.

맺는 말

진동압전박막에 의하여 형성된 시간평균간섭무늬의 대조도를 연속웨이블릿변환을 리용하여 평가하는 방식으로 나노미터대역의 미소진동변위를 측정하는 한가지 방법을 제기하였다.

참고 문헌

- [1] H. J. Tiziani et al.; Appl. Opt., **52**, 30, 2013.
- [2] T. Kreis; Handbook of Holographic Interferometry: Optical and Digital Methods, Wiley-VCH Verlag, 147~170, 2005.
- [3] M. A. Gdeisat et al.; Optics and Lasers in Engineering, **47**, 1348, 2009.

주체106(2017)년 7월 5일 원고접수

Measurement of Small Vibration Amplitude by Real Time Estimation of Contrast of Interference Fringe Pattern with Continuous Wavelet Transformation

Kang Jong Chol, Kim Chol Su and Cha Ju Il

We presented a method for measurement of small vibration amplitude by estimation of time averaged interference fringe pattern contrast formed by vibrating piezoelectric membrane with continuous wavelet transformation.

Key words: vibration measurement, wavelet transformation