

---

# 레이저 스펙클을 이용한 진동분석

육도진 · 성덕용 · 강성수 · 이원진

대구산업정보대학 안경광학과

---

본 논문은 저출력 He-Ne 레이저의 스펙클 현상을 이용하여, 진동하는 물체의 표면요소들에 의한 운동 상태를 분석하는데 그 목적이 있다.

레이저에서 나온 빛은 구리판에서 반사되어 진동판에 스펙클로 나타난다. 이것을 뒤에 설치된 스피커의 음파로 진동시키면 스펙클은 여러 가지 형태로 변화한다. 진동판이 최대로 진동할 때의 진동수는 역학적 공명 진동수이므로 그때의 스펙클변화를 진동판에 표시한다.

스펙클은 진동하는 부분과 진동하지 않는 부분으로 나뉘어 지는데 진동하는 부분은 흐려지거나 스펙클이 나타나지 않는다. 진동모드의 변화는 진동판의 종류와 크기, 고정단 집계의 위치에 따라 달라지는 것을 볼 수 있다.

## Vibration Analysis Using Laser Speckle

Do - Jin Ruck · Duk - Yong Sung · Sung - Soo Kang · Won-Jin Lee

*Department of Ophthalmic Optics, Daegu Polytechnic College*

The purpose of this work is that by using speckle phenomena of low-level He-Ne laser, it analyzes the movement condition of surface elements on a substance vibrating.

The lights from laser reflect against a copper plate and will be shown as speckles on a vibration board. If we vibrate these speckles by sound waves of a speaker installed on the back, the speckles change with various shapes.

When a vibration board has a maximum vibration, the frequency becomes a dynamical resonance frequency and we can mark the changes of speckles at that time on a vibration board.

### I 서 론

스펙클이란 미세하게 불규칙한 표면으로부터 산란되거나 혼잡하게 비균질인 물질을 통해 발산된 파장의 간섭으로 생긴 반점을 말한다. 많은 실험상에서 레이저 스펙클 현상은 홀로그래피 또는 광학적 데이터분석 등에서의 장애요소가 되었는데 많은 연구자들이 이 스펙클을 최소로 줄이고자 노력하였다<sup>[1]</sup>. 그러나, 몇 가지 방법상에서는 이 스펙클이 중요한 정보를 제공해 주는데, 그 한 예가 진동하는 물체의 운동분석이다.

1787년에 chladni<sup>[2]</sup>는 간단한 형태의 평판을 이용해 진동모드를 결정하는 strewn sand method를 발표했는데, 이것은 모래를 이용해 진동하는 물체의 변화를 연구한 것이다. 또, Massay<sup>[2]</sup>는 레이저 빛을 사용하여 처음으로 진동 분석을 하였으며, 1970년에 Fernelius와 Tome<sup>[3]</sup>은 원형진동판을 사용한 스펙클모형의 변화를 연구하였다.

이와 같은 레이저 스펙클이 생기는 원인은 거의 모든 물체표면은 광파장의 기준에서는 대단히 거칠며, 또한 레이저광은 coherent한 광이기 때문에 파동이 간섭을 잘 일으키기 때문으로 알려져 있다.

본 결과에서는 저출력 레이저를 사용하여 스펙클현상

을 관측하였으며, 이를 이용하여 진동물체의 표면요소들에 의한 운동상태를 분석하는데 이용하고자 한다.

## II 실험장치 및 방법

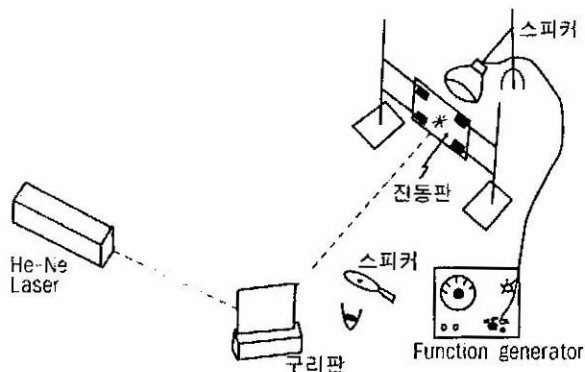


그림 1. 진동하고 있는 면의 스펙클 변화를 관찰하는 실험장치도

그림 1의 원형진동판은 반경 7 cm로 하여 나무판에 고정시켰으며, 합석진동판(두께 : 0.375 cm)은 스펙클이 잘 나타날 수 있도록 sand-blasting 처리한 후 백색페인트를 칠하여 윤기를 없앴다. 스탠드에 고정단 집게를 그림 1의 장치도와 같이 위치하였으며, 구리판은 스펙클의 위치를 자유로이 움직일 수 있게 설치하였다. 또한 스피커는 진동판의 한 가운데에 오게 하여 진동이 풀고루 전달할 수 있게 하였으며, Function Generator를 움직여 진동판이 최대로 움직일 때의 진동수를 찾아서 레이저 스펙클의 변화를 측정하였다. 이 때의 진동수는 그 진동판의 역학적 진동모드이다. 진동판에 모눈종이를 붙여 x축, y축으로 분할하여 각 부분에서의 변화를 모눈종이에 표시하였으며, 합석진동판일 경우에는 고정단 집게를 여러 가지 방법으로 부착하여 그때의 스펙클 변화를 조리개으로써 관찰하였다.

## III 실험결과 및 토의

그림 2는 종이(습자지)를 이용한 진동판의 실험결과를 보여주고 있는데, 170 Hz 부근에서의 스펙클 변화를 나타내고 있다. 원형진동판 전체가 진동하고 있어서 스펙클은 흐려 보이거나 보이지 않았다.

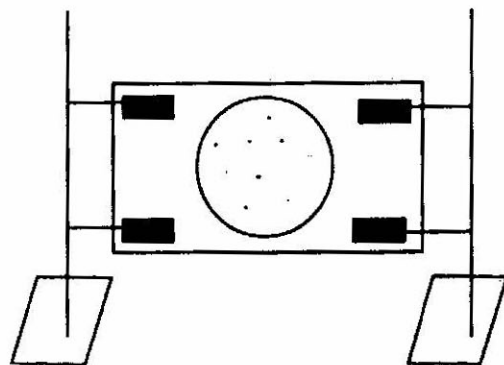


그림 2. 종이를 이용한 진동판에서의 스펙클현상

그림 3은 나무로 고정된 합석판을 이용하여 190 Hz부근에서 생긴 스펙클 변화를 측정된 결과이다. 나무로 고정된 부분은 스펙클이 또렷이 보여 진동하지 않음을 알 수 있었다.

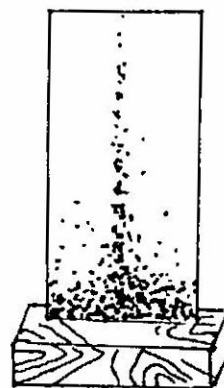


그림 3. 아래 부분이 나무로 고정된 합석판에서의 스펙클 현상

그림 4는 네 귀퉁이에 고정된 합석판을 이용한 결과인데, node와 antinode가 명확히 구별이 되며, 진동면과 고정단 집게로 고정된 부분(nodes)과 크게 진동하는 부분(antinodes)은 스펙클이 나타나지 않음을 알 수 있다.

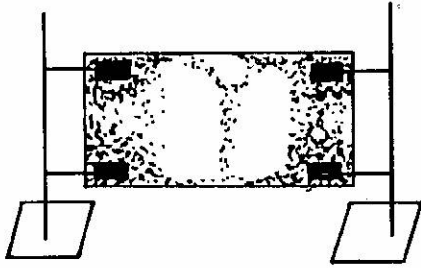


그림 4. 네 귀퉁이가 고정된 합석판에서의 스펙클현상

그림 5는 두 부분이 고정된 합석판을 이용한 결과인데, 고정된 위치에 따른 node와 antinode의 변화 형태가 명확히 보여지고 있으며, 고정된 위치에 따라서 서로 다른 스펙클 변화를 보여주고 있다.

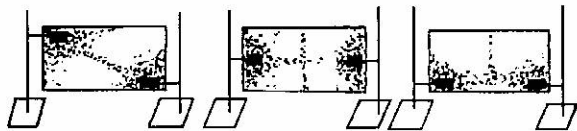


그림 5. 두 부분이 고정된 합석판에서의 스펙클현상

그림 6은 아래에 한군데 고정된 합석판을 이용한 결과인데, 나무로 아래 전체를 고정시킨 그림 3의 결과와 다른 스펙클의 모양을 보여주고 있다.

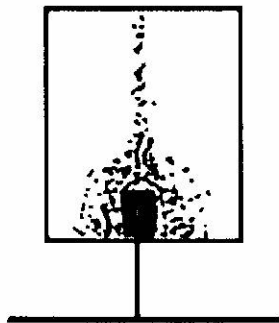


그림 6. 아래 한 부분이 고정된 합석판에서의 스펙클현상

본 실험에 사용된 He-Ne 레이저는 1mw의 저출력 레이저인데, 만약, 15mw정도의 고출력을 사용하면 위에서 실험한 결과들을 좀 더 명확히 한 눈에 볼 수 있고 촬영도 가능하였을 것이다. 또, 원형진동판일 경우, 진동모드의 변화도 확실히 분석할 수 있다. 저출력인 난점 때문에 진동판을 x축, y축으로 나눠 가면서 각 요소들에 일어나는 변화들을 하나 하나 관찰해야 했다는 어려움이 있었다.

본 실험결과는 금속표면이나 간 유리표면의 표면거칠기<sup>[4]</sup>를 측정하는데 응용될 수 있는데 레이저 광속이 각  $\theta$ 로 입사하고 있을 때, 제1차 노출이 실시되고, 이어서 각  $\theta + \Delta\theta$ 에서 2차 노출을 하였을 때 간섭무늬의 콘트라스트는

$$\gamma = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \dots\dots\dots (1)$$

로 주어지며, 표면거칠기  $\sigma$ 는

$$\sigma = \frac{\lambda \sqrt{-\log \gamma}}{2\pi \sin \theta \cdot \Delta\theta} \dots\dots\dots (2)$$

에 의하여 얻을 수 있다.

또한 원형진동판으로 고출력의 레이저를 쓰면 명확히 chladni pattern<sup>[2]</sup>을 볼 수 있을 것이며, chladni 모형에서 보여 주는 nodes는 레이저 스펙클을 사용해서도 충분히 관찰될 수 있다는 것은 놀라운 발견이 아닐 수 없다. 본 결과에서는 간단한 방법으로 chladni pattern을 측정하는 것에 의의를 가질 수 있으며, 이를 이용하여 진동 물체의 표면요소들의 운동상태를 분석하는데 응용될 수 있는 간단한 방법이다.

## IV 결론

구리판의 불규칙한 표면에 의해 산란된 레이저 빛은 진동판에서 스펙클 현상으로 나타난다. 진동판은 역학적 공명진동모드에서 최대로 진동하게 되는데, 이 때의 스펙클 모양은 표면이 정지 상태에서의 것과 다르게 나타난다. 즉, 진동판의 각 표면 요소에 따라 진동하는 정도가 다르므로 진동하는 부분(antinodes)과 진동하지 않는 부분(nodes)으로 나누어진다. 또, 진동판에 설치된 고정단 집계의 위치에 따라서도 진동모드의 변화를 관찰할 수 있었는데, 스피커에서 발생하는 음파(정상파)의 마디와 골부분에 따라 판은 진동하는 부분과 진동하지 않는 부분으로 갈라져 스펙클이 변화한다. 진동하는 부분은 스펙클이 흐려보이거나 보이지 않는다. 이와 같이 진동판의 nodes는 진동판의 종류, 크기 및 고정된 위치에 따라 달라졌으며, 이 방법은 진동분석을 위해 사용된 sand patterns 보다 더 간단하고 편리하여 앞으로 여러 가지 형태의 진동물체를 연구하는 데 많이 사용될 것이다.

**참고문헌**

- [1] T. Kallard, "Exploring Laser Light", AAPT, 168 (1977)
- [2] B. Eliasson and F.M Mottier, J. opt. Soc. Am. 61, 559(1971)
- [3] N. Fernelius and C. Tome, J. opt. Soc. Am. 61, 566 (1971)
- [4] 이상수, "레이저 스펙클과 홀로그래피", 교학연구사 (1988)