

자체 진동 보상기능을 가진 레이저 도플러 진동측정계에 관한 연구

이 영진*, 김 호 성
 중앙대학교 전자전기공학부

Laser Doppler Vibrometer with Self Vibration Compensation

Youngjin Lee*, Hoseong Kim

Dept. of Electrical & Electronic Eng. Chung Ang University

Abstract - A dual probe laser Doppler vibrometer (LDV) that has one laser source and provides two independent object beams has been developed for the first time. An electronic circuit that converts light signal to electronic signal has been also developed using phase locked loop(PLL). It was found that this types of dual probe LDV can be used in differential mode and self-vibration compensation mode.

1. 서 론

날로 발전하고 있는 현대사회에서 hard disk driver(HDD), CD player (CDP)등이 고속, 경량화 되어감에 따라 그 동작특성의 측정과 성능평가를 위한 진동측정기의 수요가 크게 증가하고 있다. 특히 고정밀, 비접촉식 측정기인 레이저 도플러 진동측정기(Laser Doppler Vibrometer, 이하 LDV)의 사용이 크게 증가하고 있다. LDV는 비접촉식이므로 접근이 어려운 장소의 측정이 가능하고 측정시 접촉에 의한 오차를 줄일 수 있어 소형기기의 측정과 먼 거리에서 초음파의 측정이 가능하다고 할 수 있다.

그러나 정밀한 측정이 요구되는 만큼 진동측정시 측정기 자체의 진동은 측정의 오차요인으로 작용하게 되어 자체진동을 보상할 수 있는 새로운 시스템이 요구된다. 이에 본 연구에서는 하나의 레이저 source를 이용하나 독립된 두 개의 빔을 사용하여 측정하고자 하는 물체의 진동과 자체진동자를 이용하여 계측기 자체 진동을 동시에 측정하여 자체진동에 의한 오차를 보상할 수 있는 시스템을 제시하였다.

자체 진동을 측정할 수 있는 자체 진동자와 자체진동 효과를 위한 모터와 레일을 제작하고 기존의 LDV^[1]에 추가 설치하여 실험하였다.

2. 본 론

2.1 LDV의 구성과 이론.

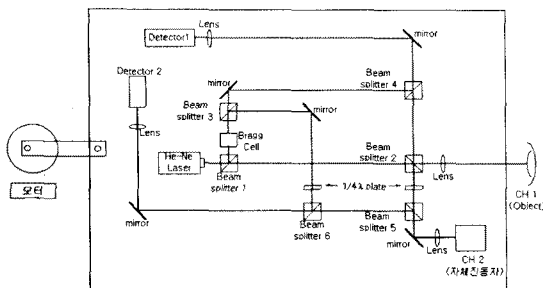


그림 2-1. LDV 광학부 구성도

2.1.1 LDV 광학부의 구성.

그림 2-1의 구성도와 같이 He-Ne 레이저빔은 beam splitter 1에서 기준광과 측정광으로 각기 나뉘어지고, 나누어진 기준광은 Bragg cell을 통과하여 40MHz의 주파수 천이가 일어나며 beam splitter 3에서 물체의 진동을 측정하기 위한 기준광 1과 자체진동을 측정하기 위한 기준광 2로 각기 나뉘어진다. 마찬가지로 나누어진 측정광은 각각 진동측정을 위한 측정광 1과 자체진동 측정을 위한 측정광 2로 나뉘어진다. 측정광 1은 beam splitter 2를 통과한 후 측정하려는 물체(CH 1)의 표면에 반사되어 기준광 1과 beam splitter 4에서 합쳐진다. 그리고 측정광 2는 beam splitter 2에서 나누어져 beam splitter 5를 통과하여 자체진동을 측정하기 위한 진동자(CH 2)에 반사된 후 beam splitter 6에서 기준광 2와 합쳐지게 된다. Beam splitter 5와 beam splitter 6의 앞에 각각 λ/4 plate를 설치하여 CH 1과 CH 2의 진동에 의한 간섭을 제거하였다. 이렇게 합쳐진 각각의 빔은 간섭을 일으키고 이 빛은 응답속도가 빠른 PIN 광검출기인 detector 1과 detector 2에 의해 전기신호로 바뀌어진다.

이러한 heterodyne vibrometer는 2개의 다른 주파수를 갖는 wave를 사용하는 방법이며, 간섭광의 크기를 측정하는 것이 아니라 FM변조된 신호의 주파수를 측정하므로 잡음에 강하고 높은 S/N 비를 얻을 수 있어 작은 반사광으로도 높은 측정정밀도를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 다중 주파수 레이저를 사용하는 대신에 단일 주파수 레이저를 사용하였고 대신 Bragg cell을 이용하여 기준광을 40MHz 주파수 천이하여 실험을 하였다.

2.1.2 자체진동판의 구성.



그림 2-2. 자체진동판의 구성도

그림 2-2의 구성도와 같이 LDV광학부가 있는 진동판을 바퀴와 레일을 이용하여 한 방향으로 움직일 수 있게 제작하였고 모터와 연결하여 모터가 회전할 때 CH 1을 향해 진후 운동을 하게된다. 본 연구에서 진동판의 주기는 1초, 진폭은 6mm로 하였다. 자체진동자^[2]는 진동판의 위에 설치되며 가속도계의 원리로 제작되었기 때문에 가속도의 형태로 측정된다.

2.1.3 LDV의 기본 이론.

측정광 E_1 과 기준광 E_2 는 다음 식과 같이 표현될 수 있다.

$$E_1(t) = E_1 \exp(i\omega t) \quad (1)$$

$$E_2(t) = E_2 \exp(i(\omega + \omega_B)t + \delta(t)) \quad (2)$$

- ω : laser beam frequency
- ω_B : Bragg cell에 의한 frequency shift
- $\delta(t)$: 진동에 의해 발생하는 위상변화

function generator에 의해 구동되는 진동하는 물체의 변위 $S(t)$ 와 그 진동에 의한 위상변화 $\delta(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$S(t) = A \cos \omega_s t \quad (3)$$

$$\delta(t) = \frac{4\pi}{\lambda} S(t) \quad (4)$$

- A : 진폭
- λ : 빛의 파장
- ω_s : 진동의 주파수

이때, 각 detector에서의 출력 전류 직류성분을 제외한 교류성분만을 측정하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I(t) = I_0 \cos \left(\omega_B t + \frac{4\pi S(t)}{\lambda} \right) \quad (5)$$

식(3)을 식(5)에 대입하고 위상을 시간으로 미분하여 신호의 주파수로 나타내면

$$f = f_B - \frac{2}{\lambda} A \omega_s \sin \omega_s t \quad (6)$$

이다. 여기서 검출기의 출력신호는 중심주파수가 f_B (40 MHz)인 주파수 변조(FM)된 신호임을 알 수 있다. 그림 2-3은 CH 1이 100Hz로 진동할 때 detector 1의 출력을 spectrum analyzer로 측정한 증폭된 FM신호의 형태이다.

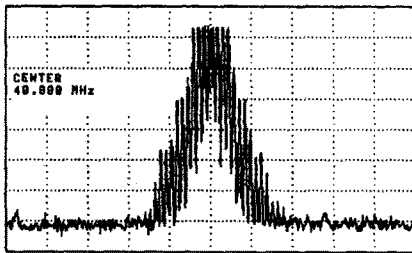


그림 2-3. CH 1이 100Hz로 진동할 때 detector 1에서의 출력

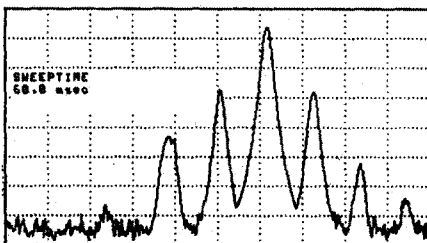


그림 2-4. 진동판이 진동할 때 detector 1에서의 출력

그림 2-4는 CH 1을 고정시키고 진동판을 진동시켰을 때 detector 1에서의 출력이다. CH 1은 진동하지 않음에도 불구하고 마치 진동하는 형태의 파형이 측정되었다.

2.2 신호처리부의 구성

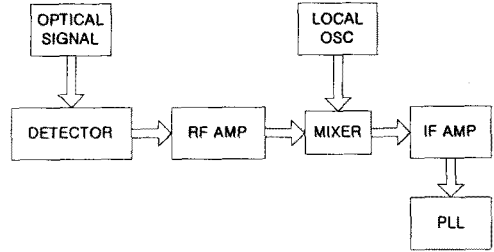


그림 2-5. 신호처리부 구성도

그림 2-5는 광학부에서 측정된 신호의 처리단계를 나타낸 신호처리부의 구성도이다. Detection부는 물체의 진동에 의해 Doppler천이된 광신호를 40MHz를 중심 주파수로 하고 Doppler천이에 의해 FM변조된 전기적 신호로 바꾸는 회로이다. 40MHz에서 30dB의 증폭을 가진 pre-amplifier를 거쳐 2단 RF증폭기에서 40dB 증폭을 한다. Mixing부는 39MHz의 출력을 갖는 crystal 발진기와 AD834 곱셈기를 사용하여 중심주파수가 40MHz인 RF부의 출력신호를 중심주파수가 1MHz인 IF신호로 주파수를 낮추는 회로로써 중심주파수를 1MHz로 하여 진동의 방향을 구분하고 PLL에서의 신호복원을 빠르게 하였다. IF증폭부에서는 Mixer의 출력을 증폭하고 고주파를 filtering하는 회로이다. PLL부는 IF신호에서 속도에 비례하는 Doppler shift 주파수를 검출하는 회로이며 NE564 PLL chip을 사용하였고, 출력은 VCO free running 주파수 1MHz와 IF신호 주파수의 차이에 비례하는 전압이다. PLL에서 복원된 속도 신호는 counter enable과 주파수 측정에 사용된다. 그림 2-6은 CH 1을 100Hz로 가진 시켰을 때 PLL의 출력이다.

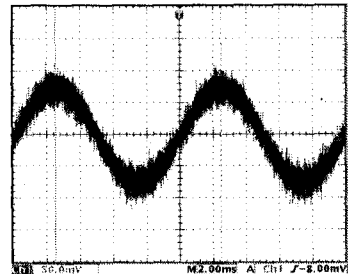


그림 2-6. CH1이 100Hz로 진동할 때 PLL의 출력

2.3 실험결과

기존의 LDV에 자체 진동을 측정할 수 있는 자체 진동자와 자체진동 효과를 위한 모터와 레일을 제작 설치하여 실험하였다. CH 1을 100Hz로 진동시키고 자체진동을 1Hz로 하여 동시에 측정하였다.

그림 3-1은 자체 진동이 없는 상태에서 CH 1이 100Hz로 진동할 때 CH 1의 출력이고, 그림 3-2는 CH 1이 진동하지 않고 자체진동이 있을 때 CH 1의 출력이다. 측정하고자 하는 물체의 진동은 그림 3-1과 같이 측정되어야 하나, 자체 진동이 있을 경우 그림 3-4의 진동이 함께 측정되므로 실제 진동과 다르게 된다. 그림 3-5는 자체진동이 있을 때 100Hz를 동시에 측정된 파형이

다. 1Hz의 파형에 100Hz가 섞여있는 것을 볼 수 있다. 이상에서와 같이 자체진동에 의해 본래의 파형에 오차가 있음을 알 수 있다. 그림 3-6은 자체진동이 있을 경우 CH 2의 파형이다.

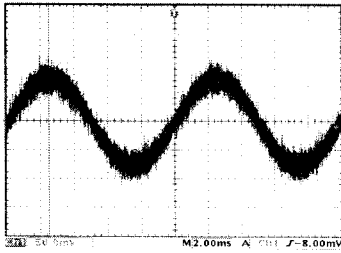


그림 3-1. CH 1이 100Hz로 진동할 때 CH 1의 출력

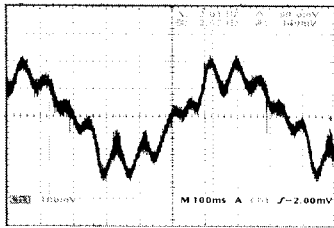


그림 3-2. 자체진동에 의한 CH 1의 출력

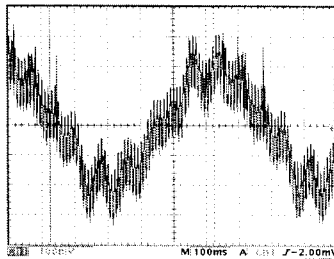


그림 3-3. 100Hz 진동과 자체 진동이 동시에 있을 때 CH 1의 출력

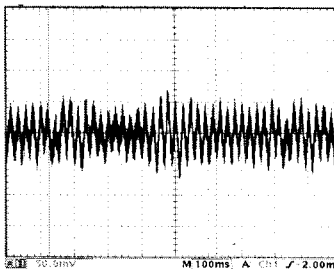


그림 3-4. 자체진동에 의한 CH 2의 파형

그림 3-5와 같이 물체의 진동과 자체 진동이 동시에 있어 원래의 신호가 왜곡되었으나 자체 진동 보상 신호처리 알고리즘⁽³⁾을 적용하여 그림 3-6과 같이 자체진동을 제거하고 본 신호만을 복원할 수 있었다.

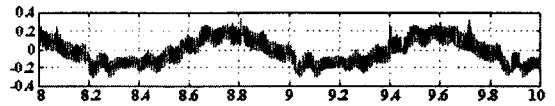


그림 3-5. 100Hz의 신호에 자체진동이 동시에 있는 파형

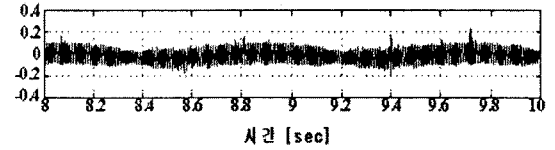


그림 3-6. 진동보상 신호처리 알고리즘에 의해 복원된 신호

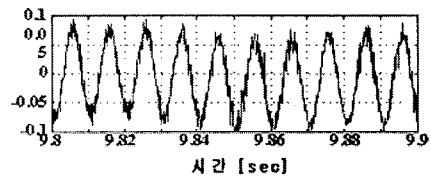


그림 3-7. 확대한 복원 신호

3. 결 론

기존의 LDV에 자체진동이 있을 경우 발생할 수 있는 오차를 보상하기 위하여 모터를 이용하여 자체진동을 발생시켰고, speaker를 이용하여 물체의 진동을 대신하였다. 자체진동의 진폭을 6mm로 하였고 왕복주파수는 1Hz로 하였다. 이렇게 측정된 진동은 진동보상 신호처리 알고리즘을 적용하여 본 진동을 보상할 수 있음을 확인하였다. 더 높은 자체진동주파수를 사용하였을 때 광학부가 불안정해져 측정을 할 수 없었다.

본 논문은 한국과학재단 특장기초 연구 지원에 의해 수행한 연구결과입니다. 관계부처의 지원에 감사 드립니다. (과제번호 : 1999-2-302-015-3)

(참 고 문 헌)

- [1] 김성훈, 고진환, 김호성, 대한전기학회 논문지 49C-2-12 (2000)
- [2] 강민식, "스캐닝 도플러 진동계를 이용한 모드해석," 대한기계학회 논문집 A권, 제24권, 제10호, pp.2560-2567, 2000.
- [3] 이재식, 장태규, 김호성, 강민식, "레이저 도플러 진동보상 신호 처리기법 연구", 대한전기학회 2001 하계 학술대회, 2001