

# 가속도계 위상교정 시스템 구축

## Development of accelerometer phase sensitivity calibration system

\*이용봉<sup>1</sup>, #전종한<sup>2</sup>, 정성수<sup>1</sup>

\*Y. B. Lee<sup>1</sup>, #J. Jin (jonghan@kriss.re.kr)<sup>2</sup>, S. S. Jung<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국표준과학연구원 기반표준본부 음향진동센터, <sup>2</sup> 한국표준과학연구원 기반표준본부 길이시간센터

Key words : accelerometer, interferometer, phase sensitivity, calibration

### 1. 서론

움직이는 모든 물체는 진동을 수반한다. 기계 장치나 구조물 등에서 진동은 설계 단계에서 고려되지 않은 경우가 많으며 대부분의 경우 원치 않는 현상이다. 이와 같이 불필요한 진동으로 인해 고장 또는 오동작이 유발되며 진동을 억제하기 위한 부가적인 노력이 소요된다.

이러한 과정에 필수적인 요소가 진동계측이다. 근래에 들어 교량, 빌딩 등 구조물의 초대형화와 기계 부품의 초고속, 경량화 추세에 따라 이에 수반되어 발생하는 진동의 주파수 성분은 저주파 및 고주파 영역으로 확대되고 있다. 이와 같이 넓은 주파수 범위에 걸쳐서 높은 정밀도로 진동을 측정하려는 요구가 증가하면서 진동센서(vibration transducer)에 대한 교정(calibration) 필요성도 함께 증가하고 있다. 가속도계(accelerometer)를 사용하여 진동을 측정하고자 하는 경우 외부의 진동에 대한 가속도계의 응답특성을 정확히 알고 있어야 한다.

가속도계는 외부의 진동을 전기적 출력으로 변환해주는 장치이다. 가속도계의 감도는 가속도계에 진동이 가해졌을 때 가해진 진동의 크기와 이로 인하여 가속도계로부터 발생하는 전기적 출력의 비로서 정의된다. 가속도계의 감도(sensitivity)는 크기(magnitude)와 위상(phase)을 갖는 복소량이며 주파수의 함수이다. 가속도계 감도의 크기 성분만을 알고 있으면 외부 진동의 형태를 정확히 알 수 없다. 가속도계 감도의 위상 특성을 알아야 진동 측정 과정에서 가속도계에 의하여 발생하는 신호 왜곡의 정도를 평가할 수 있으며 측정 신호로부터 실제 발생하는 진동 신호를 완벽히 재현할 수 있다.

독일의 표준기관인 PTB, 일본의 NMIJ, 멕시코의 CENAM, 중국의 NIM 등에서는 이미 위상교정이 가능한 시스템을 갖춘 상태이다. 각국의 표준기관들 사이에는 국제적인 측정 신뢰성 확보를 위해 5년을 주기로 국제비교(Key Comparison, 이하 KC)를 수행하여 각자 보유하고 있는 측정능력을 상호 비교하고 있다. 그 동안은 한국표준과학연구원(KRISS)에서는 감도의 크기만을 비교하였으나 2010년에 수행될 예정인 진동 분야의 KC부터 감도의 위상 측정이 선택 사항으로 반영되기 시작하였다. 현재 KRISS 유동음향센터에서는 가속도계 감도의 크기만을 교정할 수 있는 시스템을 갖추고 있는 실정이며, 향후 시행될 KC에 대응하기 위해 크기 및 위상 교정이 가능한 가속도계 교정 시스템을 개발하고자 한다.

본 논문에서는 앞서 언급한 바와 같이 산업계에서 널리 사용되는 가속도센서의 교정을 위해 단일모드 레이저 간섭계와 가진기로 이루어진 교정 시스템을 실제 구현하고 이에 대한 응답특성을 정확히 파악함으로써 이를 검증하고자 한다.

### 2. 기본이론 및 기초실험

Figure 1은 가속도계 감도의 크기와 위상 특성을 설명하고 있다. 교정하고자 하는 가속도 센서에는 정현파 형태의 진동이 입력으로 가해지고 이에 따른 가속도 센서의 변위,  $u$ 가 시간에 따라 출력으로 나타난다. 이 미세 변위,  $u$ 는

단일모드 간섭계를 기반으로 하는 가속도계를 통해 측정되어지고, 이를 푸리에 변환함으로써 가속도 센서의 감도를 주파수에 따른 진폭과 위상 성분을 얻어낼 수 있다. 이는 정현가진 방법의 일반적인 설명이다.

가속도계의 교정이라 함은 측정의 정확도를 높이기 위하여 가속도계의 감도를 평가하는 절차를 말한다. 가속도계를 교정하기 위해서는 가속도계에 진동을 가해주어야 하며 단일 주파수로 정현가진하는 경우와 충격 가진을 하는 방법이 있다. 충격 가진은 높은 가속도를 발생시키고자 하는 경우에 사용되며 범용 가속도계를 교정하기 위해서는 정현 가진(sinusoidal excitation) 방법이 많이 사용된다. 정현 가진은 정현파 발생기와 전자기식 가진기(electro-dynamic exciter)를 사용하여 구현한다. 가속도계가 정현 운동을 하는 동안에 가속도계의 진동과 가속도계 출력을 측정하면 가속도계 감도의 크기와 위상을 결정할 수 있다.

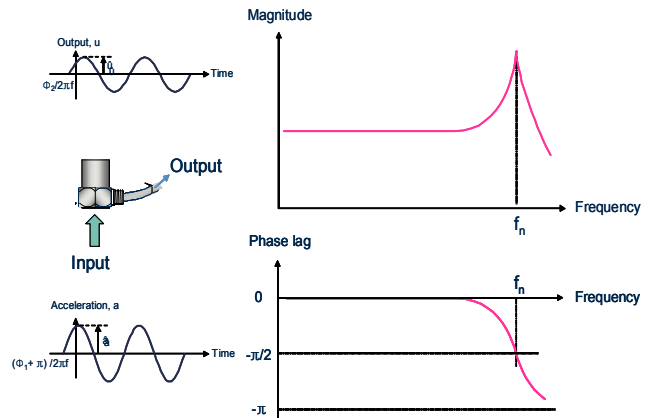


Fig. 1 Magnitude and phase lag of an accelerometer

가진 시스템으로부터 가속도계에 가해진 진동은 여러 가지 방법으로 측정할 수 있으나 각국의 국가표준기관에서는 길이 및 시간 소급성을 위해 안정화된 레이저를 광원으로 하는 레이저 간섭계(laser interferometer)를 구성하여 진동을 측정하는 방법을 사용한다. 가속도계의 전기적 출력은 정밀 전압계 또는 신호수집장치 등을 통하여 측정할 수 있으며, 이 또한 전자기 표준에 소급성을 갖도록 미리 교정되어진다.

전체적으로 위상 교정 시스템은 정확한 정현 가진을 위한 진동 가진 시스템, 외부 잡음 없이 측정 주파수 대역이 넓은 진동 파형 측정에 적합한 단일모드 레이저 간섭계 및 신호 수집 및 평가 시스템으로 이루어진다. 현재 위상 교정이 가능한 주파수 범위는 10 Hz ~ 5 kHz 이다. Figure 2는 위상 측정에 사용된 단일 모드 레이저 간섭계이다. 광원은 632.8 nm 의 HeNe 안정화 레이저를 사용하였으며, 주파수 안정도는  $10^{-8} \sim 10^{-9}$  수준이다. 기본적으로 마이켈슨 간섭계 형태를 취하고 있으며, 현재는 간섭계의 테스트를 위해 기준거울과 측정거울을 두고 있으며, 측정 거울 쪽에 아래쪽으로 빛을 전송할 수 있는 거울을 돔으로써 광학 테이블과 분리되어 아래 설치되어있는 가속도 센서의 윗면의 움직임을 측정할 수 있다. 가속도 센서는 앞서 설명한 바와 같이

정현 가진기 위해 설치 되어 있으며, 가속도 센서에서 나오는 신호와 단일모드 레이저 간섭계의 신호를 가진기에 입력된 신호와 비교함으로써 가속도 센서를 정밀 교정할 수 있다. Figure 2 는 진동 측정을 위하여 구성된 간섭계를 보여준다. 그림 중앙 바닥면의 구멍 아래쪽에는 가진기가 놓여 있으며 그 위에 가속도계가 나사 체결되어 있다. 시험하고자 하는 주파수의 신호를 가진기에 가하여 가속도계에 원하는 진동을 발생시킨다.

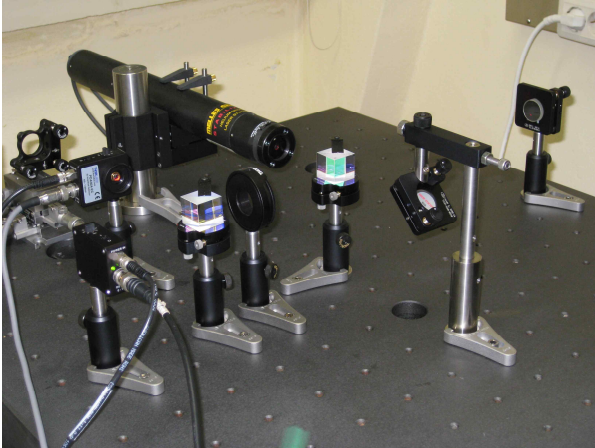
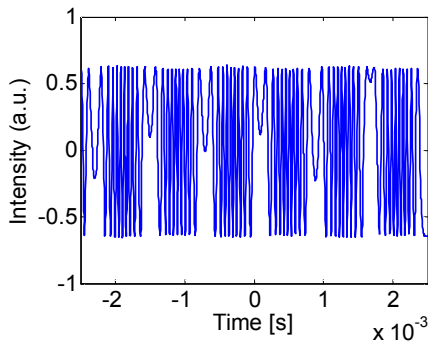
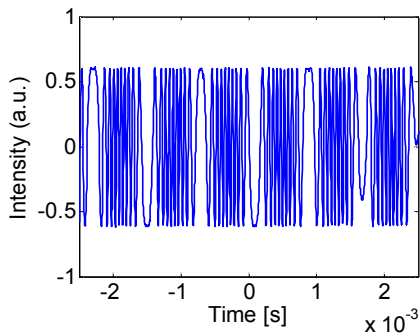


Fig. 2 Experimental setup of a homodyne laser ineterferometer

Figure 3 은 630 Hz 의 주파수로 가속도계(B&K 8305)에 진동을 가하였을 때 간섭계의 두 광검출기로부터 얻은 신호이다. 이 두 신호는 서로 90°의 위상차를 갖게 된다. 이를 통해 변위의 방향성을 확인할 수 있다.



(a) Interference signal at PD1



(b) Interference signal at PD2

Fig. 3 Interference signals at photo-detectors

Figure 4 는 단일모드 레이저 간섭계로 측정된 Figure 3 의 신호를 해석하여 얻은 가속도 신호이며, 정현파 형태이다. 이는 가속도계에 입력으로 가해진 정현파인 630 Hz 와 같은 주파수이며, 이를 통해 실제 출력은 입력 주파수를

잘 따라가는 것을 알 수 있다.

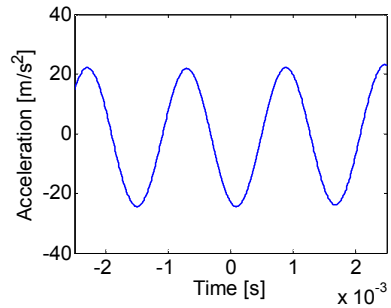


Fig. 4 Reconstructed signal

Figure 5 는 가속도계로부터 나오는 전기적 출력 신호를 보여주며, Fig. 4 에서 얻어진 단일모드 레이저 간섭계 신호와 비교함으로써 가속도계의 감도의 크기와 위상을 결정할 수 있다. 두 신호의 크기의 비가 감도의 크기 성분이고 위상차가 감도의 위상 성분이 된다. 이 두 신호를 분석한 결과 가진 주파수 630 Hz 에서 시험 가속도계의 감도는 0.118 pC/ms<sup>2</sup>로 평가되었다.

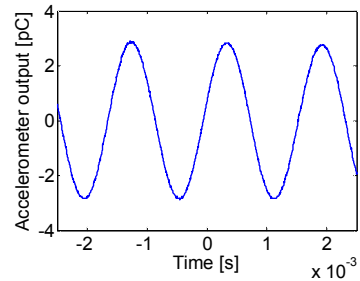


Fig. 5 Accelerometer output signal

### 3. 결론

안정화된 HeNe 레이저 간섭계를 바탕으로 크기와 위상이 교정 가능한 가속도계를 구현하였다. 이를 검증하기 위해 630 Hz 정현파를 가속도계(B&K 8305)에 가진함으로써 감도를 0.118 pC/ms<sup>2</sup>로 평가하였다. 향후 측정 불확도 평가를 통해 국가 표준 교정 장비로 활용될 예정이다.

### 후기

본 연구는 KRISS 기반측정표준선진화 사업의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. International Standard ISO 16063-1 1998 Methods for the calibration of vibration and shock transducers : Part 1: Basic concepts
2. International Standard ISO 16063-11 1999 Methods for the calibration of vibration and shock transducers : Part 11: Primary vibration calibration by laser interferometry
3. W. Wabinski and H. J. von Martens, "Time Interval Analysis of Interferometer Signals for Measuring Amplitude and Phase of Vibrations," Proc. SPIE, **2868**, 166-77, 1996
4. Q. Sun, W. Wabinski and T. Bruns, "Investigation of primary vibration calibration at high frequencies using the homodyne quadrature sine-approximation method: problems and solutions," Meas. Sci. Technol., **17**, 2197-20,1996